

СПРАВОЧНАЯ
КНИГА
ПО СВЕТОТЕХНИКЕ



ББК 31.294
С 74
УДК 628.9(035.5)

Научные редакторы: канд. техн. наук Л.П. Варфоломеев
канд. техн. наук В.Н. Степанов

Члены Редакционной коллегии:

доктор технич. наук, проф.

Г.Н. Рохлин

кандидаты технич. наук

Л.П. Варфоломеев

А.А. Коробко

В.Н. Степанов

Н.В. Рожкова

Г.В. Федюкина

Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга.
С 74 3-е изд. перераб. и доп. М.: Знак. — 972 с: ил.

ISBN 5-87789-051-4

Содержит полную информацию о физических принципах работы и технических характеристиках основных групп светотехнических изделий, нормативные и справочные данные по источникам излучения, пускорегулирующим аппаратам, электроустановочным устройствам, световым приборам и светотехническим установкам. Содержит сведения об основных понятиях и величинах светотехники, метрологии излучения, нормировании, расчетах, проектировании и эксплуатации светотехнических установок различного назначения, а также о естественном освещении, облучательных установках, подводном освещении. Рассмотрены проблемы «Свет и здоровье», «Энергосбережение и экология». В приложениях даны действующие нормативные документы России и МКО.

Для инженеров-светотехников и электриков, архитекторов и светодизайнеров, работников светотехнического рынка.

ББК 31.294

Генеральные спонсоры:

ЗАО НПО «ЛИТ» (президент С.В. Костюченко);

ООО «Световые технологии» (президент Д.О. Налогин);

ООО «Компания «Точка опоры» (президент С.Н. Коломийцев);

ООО «Ватра» (президент Р.Ю. Яремчук)

Московские представительства концернов:

ООО «Филипс» (руководитель В.Г. Габриелян);

ГmbH «ОСРАМ» (руководитель Р. Хартманн);

ООО «GE» (руководитель О.А. Ермолова)

Спонсоры:

ОАО «Ардатовский светотехнический завод» (президент В.Д. Кудашкин);

ООО «АМП Юнисвет» (президент Ю.А. Левчук)

Московское представительство фирмы «Торн» (руководитель Ю.Б. Бабанова)

Всем спонсорам приносим искреннюю благодарность!

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	9
Введение	11
История светотехники	14

РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ

Основные понятия и величины	21
1.1. Оптическое излучение	21
1.2. Краткие сведения о приемниках энергии излучения	22
1.3. Энергетическая и световая системы величин	24
1.4. Оптические и светотехнические характеристики тел	25
1.5. Энергетические и световые характеристики импульсного излучения	27
1.6. Эффективные системы величин для оценки УФ-излучения	28
1.7. Характеристики светового поля	29
1.8. Неустановившиеся зрительные процессы, зрительное утомление и дискомфорт	30
1.9. Зрительная работоспособность	32

РАЗДЕЛ ВТОРОЙ

Измерения и метрология оптического излучения	35
2.1. Основные положения и понятия измерений и метрологии	35
2.2. Основы измерений световых (фотометрических) и энергетических (радиометрических) величин	38
2.3. Фотометрия	39
2.4. Колориметрия	69
2.5. Радиометрия и спектрометрическая оптического излучения	81

РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ

Источники оптического излучения	89
3.1. Введение	89
3.2. Тепловые излучатели	93
3.3. Разрядные лампы	113
3.4. Импульсные лампы	170
3.5. Светодиоды	180
3.6. Различные разрядные лампы	185
3.7. Лазеры	189

РАЗДЕЛ ЧЕТВЕРТЫЙ

Пускорегулирующая аппаратура и системы управления освещением	202
4.1. Пускорегулирующая аппаратура	202
4.2. Системы управления освещением	226

РАЗДЕЛ ПЯТЫЙ

Светотехнические электроустановочные устройства	233
5.1. Патроны	233
5.2. Клеммные колодки	242
5.3. Штепсельные соединители	244

РАЗДЕЛ ШЕСТОЙ

Световые приборы	245
6.1. Основные понятия, общая классификация СП	245
6.2. Светотехнические характеристики СП	249
6.3. Энергетические характеристики	255
6.4. Характеристики безопасности	256
6.5. Характеристики надежности работы	262
6.6. Новые светотехнические материалы	268
6.7. Осветительные устройства со световодами	273
6.8. Система обозначений и маркировка	285

РАЗДЕЛ СЕДЬМОЙ

Нормирование осветительных установок	288
7.1. Цели и задачи нормирования освещения	288
7.2. Нормирование количественных и качественных параметров освещения	288
7.3. Структура нормативных документов	322

РАЗДЕЛ ВОСЬМОЙ

Светотехнические расчеты осветительных установок	332
8.1. Введение	332
8.2. Постановка задачи	332
8.3. Представление светораспределения ОП	333
8.4. Упрощенные методы расчета	337
8.5. Методы глобального освещения	344
8.6. Методы расчета качественных показателей	348
8.7. Светотехническое программное обеспечение	351

РАЗДЕЛ ДЕВЯТЫЙ

Электрическая часть осветительных установок	367
9.1. Введение	367
9.2. Расчетные осветительные нагрузки	367
9.3. Уровни и постоянство напряжения	368
9.4. Источники питания	370
9.5. Схемы питания ОУ различного назначения	371
9.6. Управление освещением	382
9.7. Выполнение осветительных сетей	389
9.8. Расчет осветительных сетей	391
9.9. Защита осветительных сетей	395
9.10. Повышение коэффициента мощности в ОУ	398

9.11. Стабилизация напряжения в осветительных сетях	400
9.12. Электробезопасность ОУ	400
9.13. Автоматизированное проектирование электрической части ОУ	405
9.14. Электрооборудование для ОУ	406

РАЗДЕЛ ДЕСЯТЫЙ

Проектирование осветительных установок	411
10.1. Общие положения	411
10.2. Светотехническая часть проектов	413
10.3. Электротехническая часть проектов	419
10.4. Учет требований эксплуатации в проектах	420
10.5. Экономия электроэнергии в ОУ	420
10.6. Методы технико-экономической оценки ОУ	421
10.7. Автоматизированное проектирование ОУ	424
10.8. Аварийное освещение	425
10.9. Освещение помещений с видеотерминалами	431

РАЗДЕЛ ОДИННАДЦАТЫЙ

Эксплуатация и контроль качества осветительных установок	436
11.1. Общие задачи эксплуатации ОУ	436
11.2. Организация обслуживания ОУ внутреннего и наружного освещения	438
11.3. Международные требования к эксплуатации осветительных установок	442
11.4. Контроль качества освещения	447
11.5. Утилизация отработанных РЛ	452

РАЗДЕЛ ДВЕНАДЦАТЫЙ

Промышленное освещение	454
12.1. Основные требования к промышленным ОУ	454
12.2. Осветительные установки основных общепромышленных производств	459
12.3. Освещение основных цехов разных отраслей промышленности	484

РАЗДЕЛ ТРИНАДЦАТЫЙ

Архитектурное освещение	538
13.1. Введение	538
13.2. Приемы и средства архитектурного освещения	538
13.3. Проектирование установок архитектурного освещения	547
13.4. Динамичное архитектурное освещение	572
13.5. Реализация проектов архитектурного освещения	579
13.6. Эксплуатация установок	579

РАЗДЕЛ ЧЕТЫРНАДЦАТЫЙ

Освещение общественных зданий и сооружений	581
14.1. Общие требования и рекомендации	581
14.2. Административные здания	591
14.3. Лечебно-профилактические учреждения	600
14.4. Школы и дошкольные учреждения	610
14.5. Библиотеки и архивы	618

14.6. Предприятия торговли	621
14.7. Освещение спортивных сооружений	629

РАЗДЕЛ ПЯТНАДЦАТЫЙ

Наружное освещение городов и населенных пунктов	651
15.1. Проектирование установок наружного утилитарного освещения	652
15.2. Техника освещения городских пространств	656
15.3. Средства наружного утилитарного освещения улиц	663
15.4. Проектирование дорожного освещения по международным правилам и нормам	675
15.5. Освещение автотранспортных туннелей	689
15.6. Контроль параметров установок наружного освещения	703

РАЗДЕЛ ШЕСТНАДЦАТЫЙ

Облучательные светотехнические установки	708
16.1. Введение	708
16.2. ОСУ фотофизического действия	709
16.3. Установки фотохимического действия	719
16.4. Установки фотобиологического действия	728

РАЗДЕЛ СЕМНАДЦАТЫЙ

Освещение и световая сигнализация на транспорте	762
17.1. Освещение и световая сигнализация на железнодорожном транспорте	762
17.2. Освещение и световая сигнализация на автомобильном транспорте	771
17.3. Светосигнальное оборудование в авиации	801

РАЗДЕЛ ВОСЕМНАДЦАТЫЙ

Естественное освещение зданий	820
18.1. Гигиеническая, энергетическая и экологическая роль естественного света	820
18.2. Световой климат местности	821
18.3. Системы естественного света в зданиях	823
18.4. Светопроницающие материалы и изделия для световых проемов	825
18.5. Совмещенное освещение помещений	831
18.6. Нормирование естественного и совмещенного освещения	833
18.7. Расчеты, проектирование и измерение естественного освещения	835
18.8. Инсоляция и солнцезащита	848
18.9. Современные тенденции в расчетах и проектировании естественного и совмещенного освещения	854
18.10. Естественное освещение помещений с помощью полых световодов	856
18.11. Технико-экономическая и энергетическая оценка систем естественного освещения зданий	862
18.12. Компьютерный расчет естественного освещения	863

РАЗДЕЛ ДЕВЯТНАДЦАТЫЙ

Проблемы энергосбережения и экологии	874
19.1. Общие положения	874
19.2. Средства и методы снижения энергоемкости ОУ	875
19.3. Оценка потенциала экономии ЭЭ	880
19.4. Энергоаудит осветительных установок	881
19.5. Охрана окружающей среды	882

РАЗДЕЛ ДВАДЦАТЫЙ

Свет и здоровье	886
20.1. Свет — элемент жизненной среды человека. Гигиена освещения — отрасль профилактической медицины	886
20.2. Видимый свет — его значимость и механизм воздействия на организм человека	886
20.3. Гигиеническое значение естественного и искусственного света	889
20.4. Биологическая неадекватность естественного и искусственного света	889
20.5. «Световое голодание». Его проявления и меры профилактики	891
20.6. Оздоровляющее влияние бактерицидных свойств света	893

20.7. Гигиенические аспекты нормирования освещения	893
20.8. Экологические аспекты внутреннего освещения	900
20.9. Светотерапия. Использование света в клинической медицине	901

РАЗДЕЛ ДВАДЦАТЬ ПЕРВЫЙ

Подводное освещение	903
21.1. Требования, предъявляемые к подводным световым приборам	905
21.2. Подводные световые приборы для фотографирования и сигнализации	906
21.3. Искусственное освещение при кино- и телесъемке под водой	911
21.4. Подводные световые приборы непрерывного действия	912
21.5. Цветопередача под водой	914
Приложение 1. Публикации МКО	918
Приложение 2. Список стандартов	926
Приложение 3. Международная система обозначений	933
Список общих сокращений	937
Список основной литературы	938
Предметный указатель	940

АВТОРЫ

Айзенберг Ю.Б. (разделы 6 и 19; § 18.10; введение, предисловие)

Агаев А.Е. (История светотехники)

Басов Ю.Г. (§ 3.4; § 3.7; § 17.3; раздел 21)

Бахарев Д.В. (§ 18.12)

Белякова О.В. (§ 12.3.5)

Боос В.Г. (§ 3.3.2)*

Варсанофьева Г.Д. (§ 11.2; § 12.2.1; § 12.2.2)*

Варфоломеев Л.П. (§ 3.5)

Василяк Л.М. (§ 16.4)

Волкова Е.Б. (§ 3.3.5)*

Гаврилкина Г.Н. (§ 16.3; § 16.4)

Гарифулина Г.И. (§ 14.7)

Горбачева З.К. (§ 14.1)

Гуторов М.М. (раздел 1)*

Дмитриевская Н.И. (§ 12.3.4)

Дойников А.С. (§ 3.4.)*

Зимнович И.А. (§ 18.12)

Ильина Е.И. (§ 11.4; § 12.3.4)

Карачев В.М. (§ 7.2.3; § 15.1)

Клыков М.Е. (раздел 4)

Клюев С.А. (раздел 10 (кроме § 10.8; § 10.9); § 12.1; § 12.2.5; § 12.3.1)*

Коробко А.А. (раздел 8; § 10.8; § 15.4; § 15.5)

Костюченко С.В. (§ 16.4)

Котюк А.Ф. (раздел 2)

Кроль Ц.И. (§ 7.1; § 7.2; § 7.2.1; § 7.3; § 11.1; § 11.2)*

Кудрявцев Н.Н. (§ 16.4)

Левитин К.М. (§ 17.2)

Малкина И.Д. (раздел 10 (кроме § 10.8; § 10.9)

Мудрак Е.И. (§ 16.4)

Мурашова М.А. (§ 17.1)

Мясоедова Е.И. (§ 7.1; § 7.2; § 7.2.1; § 7.3)*

Никитина Е.А. (раздел 1)*

Никифорова Т.Н. (приложение 2)

Николаева Л.Д. (§ 12.3.7)*

Оболенцев Ю.Б. (§ 12.3.6)*

Овчукова С.А. (§ 16.4)

Орлова Л.Н. (§ 18.12)

Пляскин П.В. (§ 3.2)*

Пятигорский В.М. (раздел 13 (кроме § 13.4)

Раймонди М. (раздел 5)

Рожкова Н.В. (§ 3.1; § 3.2; § 3.3; § 3.6; § 11.1; § 11.5; раздел 19)

Рохлин Г.Н. (§ 3.1; § 3.3; § 3.6)*

* Материалы этих разделов готовились авторами ко 2-му изданию «Справочной книги по светотехнике» и в доработанном виде вошли в настоящее 3-издание.

Рычков В.И. (§ 16.2)

Сарыгчев Г.С. (раздел 16)

Семенов Ю.С. (§ 16.2)

Скобарева Э.А. (раздел 20)

Соловьев А.К. (раздел 18 (кроме § 18.10; § 18.11; § 18.12))

Столяревская Р.И. (раздел 2)

Тихомиров А.А. (§ 16.4)

Ундасынов Г.Н. (§ 7.3.3)*

Фаермарк М.А. (§ 12.1; § 12.2.3; § 12.2.4; § 12.3.3; § 10.9)*

Федюкина Г.В. (§ 7.3.3; § 11.3)

Флодина Т.Л. (§ 15.1; § 15.2; § 15.3)

Форов А.Ю. (раздел 9)

Царьков В.М. (§ 14.7)

Циперман Л.А. (раздел 9; § 14.2)*

Частухина Т.Н. (§ 11.4; § 12.3.4)

Черняк А.Ш. (§ 13.4)

Шмаров И.А. (§ 7.1; § 7.2; § 7.2.1; § 7.3)

Руководители подготовки разделов

Айзенберг Ю.Б. (разделы 5, 10, 11, 12, 14, 17)

Пятнгорский В.М. (раздел 13)

Рожкова Н.В. (раздел 19)

Рохлин Г.Н. и **Рожкова Н.В.** (раздел 3)

Сарычев Г.С. (раздел 16)

Соловьев А.К. (раздел 18)

Федюкина Г.В. (раздел 7)

Флодина Т.Л. (раздел 15)

ПРЕДИСЛОВИЕ

Первое издание Справочной книги вышло в 1983 году тиражом 65 тыс. экземпляров, второе — исправленное и дополненное — в 1995 году тиражом 5 тыс. экземпляров. За 20 лет с момента первого издания «Справочная книга по светотехнике» стала без преувеличения настольной книгой всех специалистов, работающих в нашей области. За этот же период темпы научно-технического прогресса сильно возросли, появилось много нового в номенклатуре и характеристиках изделий, нормативной документации, методах проектирования светотехнических установок, сильно изменилась значимость проблем «Свет и здоровье», «Энергосбережение в освещении», «Световой дизайн», «Фотобиологическое воздействие ультрафиолетового излучения» и др.

Наряду с этим произошли кардинальные изменения в организации светотехнического производства, в структуре и функционировании светотехнического рынка, связанные с переходом от социалистической системы планирования и распределения к свободному рынку и капиталистической системе хозяйства.

На российский рынок получили широкий доступ зарубежные, как ведущие светотехнические фирмы (Philips, Osram, General Electric, Zumtobel, Trilux, Thorn, Sateco, SLI и др.), так и сотни средних и мелких производителей из стран Европы и Азии.

Важным фактором современной светотехники стал фронтальный переход от ручных, инженерных методов расчета осветительных установок и приборов к компьютерным методам расчета не только светотехнической, но и электротехнической частей проектов.

Все это приводит к необходимости переиздания «Справочной книги по светотехнике», приведения ее структуры и содержания к новым реалиям. К их числу относятся исключение из Справочной книги многочисленных таблиц с номенклатурой и техническими характеристиками отечественных изделий, которые длительное время выпускались ограниченным числом специализированных отечественных предприятий.

В новом, 3-м издании, которое готовилось коллективом авторов в 2004–2006 годах, сильно расширены разделы «Источники света» (за счет введения материалов об энергоэффективных люминесцентных лампах, включая компактные и тонкие, металлогалогенных лампах, светодиодах, о высоко- и сверхвысокочастотных безэлектродных лампах, лазерах), «Пускорегулирующие устройства» (за счет материалов по электронным аппаратам и системам автоматического управления освещением), «Нормирование» (за счет использования новых редакций СНиП, МГСН, СанПиН и

ПУЭ). Пересмотрены методы расчета и проектирования на основе широкого использования компьютерной техники (в частности, методов компьютерного моделирования и визуализации).

В связи с расширяющейся интеграцией нашей страны в мировое сообщество в Справочной книге по светотехнике широко отражены современные документы МКО, МЭК, ЕЭС, нормы и стандарты технически передовых стран и фирм, наиболее важные публикации в отечественной и зарубежной светотехнической литературе.

Важным является также введение новых разделов «Световой дизайн», «Свет и здоровье», «Энергосбережение и экология в осветительных установках», «Подводное освещение», «История светотехники».

«Справочная книга по светотехнике» предназначена для широкого круга специалистов-светотехников, электриков, архитекторов, гигиенистов, врачей, работников охраны труда, связанных с применением естественного и искусственного освещения, разработкой и производством светотехнических изделий, проектированием, монтажом и эксплуатацией светотехнических установок, работников коммерческих фирм, действующих на светотехническом рынке.

Книга дает достаточно полное представление о современном состоянии светотехнической науки, техники и производства: излагает физические основы работы светотехнических изделий; содержит сведения о принципах нормирования, расчета, проектирования, измерений и эксплуатации светотехнических установок: в ней приведены рекомендации по освещению промышленных предприятий, общественных зданий, улиц и площадей городов и поселков, транспортных средств, по созданию облучательных установок. Книга содержит большой объем справочного материала, необходимого для повседневной работы специалистов. «Справочная книга по светотехнике» (3-е издание) во многих случаях может быть использована в качестве учебного пособия в связи с отсутствием современной специальной литературы по ряду вопросов.

Третье издание «Справочной книги по светотехнике» имеет значительно увеличенный объем и современное полноцветное исполнение.

Для удобства пользования Справочной книгой она снабжена тремя приложениями:

- 1) П1 Публикации МКО
- 2) П2 Список стандартов
- 3) П3 Международная система обозначений типов и модификаций источников света (ILCOS).

Справочная книга по светотехнике (3-е издание) — результат творческого труда большого числа высококвалифицированных специалистов, среди которых 10 докторов и 16 кандидатов наук.

В книге бережно сохранен (хотя и осовременен) материал авторов второго издания Книги, которых, к сожалению, уже нет с нами: М.М. Гугорова и Е.А. Никитиной (раздел 1), И.И. Кроль и Е.И. Мясоедовой (разделы 7 и 11), С.А. Ключева и Л.А. Ципермана (разделы 9, 10, 12, 14), Н.А. Брянского (§ 12.3.5) и др. В конце работы над этим изданием Книги скончался проф. Рохлин Г.Н., много сделавший для подготовки раздела 3 «Источники оптического излучения» всех трех изданий. Нельзя не отметить большой вклад в подготовку предыдущего издания (часть материалов которого перешла в настоящую Книгу) М.А. Фасермарк, Г.Д. Варсанюфьевой, Н.П. Дмитриевской, Ю.Б. Оболенцева.

Активное участие в подготовке раздела 4 приняли проф. А.Е. Краснопольский (§ 4.1.2.10), Т.Н. Никифорова (§ 4.1.7) и Л.Н. Ольшанская (§ 4.1.8).

В Редакцию Справочной книги, оказавшую большую помощь при подготовке издания, входили известные специалисты, кандидаты технических наук Л.П. Варфоломеев, А.А. Коробко, Н.В. Рожкова, В.Н. Степанов и Г.В. Федюкина.

Большой вклад в научно-техническое редактирование издания внесли редакторы, кандидаты технических наук Л.П. Варфоломеев и В.Н. Степанов.

Рецензирование книги осуществляли в основном члены редколлегии Справочной книги и ее редакторы, а также проф. В.П. Будак и проф. И.А. Зеленков. Общий просмотр рукописи осуществил директор ВНИСИ Г.Р. Шахпарунианц.

Впервые к участию в работе был привлечен иностранный автор — М. Раймонди (Италия, фирма

Stucci), подготовивший пятый раздел «Светотехнические электроустановочные устройства».

Отдельно необходимо остановиться на тех фирмах и лицах, которые своей спонсорской помощью обеспечили возможность появления на свет настоящего издания. Они указаны в начале книги, а реклама фирм-спонсоров приведена в конце книги.

Всем спонсорам выражается искренняя благодарность за поддержку третьего издания Справочной книги по светотехнике, за понимание потенциальной роли этого издания в развитии отечественной науки, техники и образования, за проявленную высокую благотворительность. Особо важно подчеркнуть роль представительства зарубежных фирм — ведущих мировых концернов Philips, Osram, General Electric Lighting, Thorn, действующих на российском светотехническом рынке.

Справочная книга (3-е издание) опубликована при исключительно важной партнерской поддержке НПСП «Светосервис» (руководитель Е.В. Лирин), приобретшим права на переиздание этой книги.

Отдельная благодарность всем, кто помогал при подготовке третьего издания книги: редакции журнала «Светотехника» (заведующая редакцией А.Н. Вердеревская), редакции «Техника» «Большой российской энциклопедии».

Исключительно велика роль М.И. Титаренко (Дом Света) в подготовке рукописи к печати и И.И. Шильштейна, осуществившего огромную работу по компьютерной верстке книги, выполненную на высоком уровне.

Большая работа по изданию Справочной книги была выполнена издательством «Знак» под руководством Л.С. Слуцкого.

Всем этим лицам выражается огромная благодарность.

Ю.Б. Айзенберг

ВВЕДЕНИЕ

Светотехника — область науки и техники, предметом которой являются исследование принципов и разработка способов генерирования, пространственного перераспределения и измерения характеристик оптического излучения, а также преобразование его энергии в другие виды энергии и использование в различных целях. Светотехника включает в себя также конструкторскую и технологическую разработку источников излучения и систем управления ими, осветительных, облучательных и светосигнальных приборов, устройств и установок, проектирование, монтаж и эксплуатацию светотехнических установок.

«Если 20-й век прошел под знаком электрона, то сегодня мы стоим перед эпохой фотона» (книга «Оптические технологии 21-го века»). Новые технические возможности позволяют создавать принципиально новые условия жизненной среды человека.

Современное человеческое общество немыслимо без повсеместного использования света. Осветительные установки создают необходимые условия освещения, которые обеспечивают зрительное восприятие (видение), дающее около 90% информации, получаемой человеком от окружающего его мира. Свет создает нормальные условия для работы и учебы, улучшает наш быт. Без современных средств освещения невозможна работа шахт и рудников, предприятий в бесфонарных и безоконных зданиях, метрополитена, многих взрыво- и пожароопасных производств. Без искусственного света не может обойтись современный город, невозможны строительство, сельскохозяйственные работы, а также работа транспорта в темное время суток. Свет обеспечивает возможность космических полетов, освоения мирового океана. Оптическое излучение все в большей степени используется в современных технологических процессах в промышленности и сельском хозяйстве для обеззараживания помещений и воды, становится неотъемлемой частью фотохимических производств, играет все возрастающую роль в повышении продуктивности животноводства и птицеводства, урожайности растительных культур. Световая сигнализация является одним из распространенных средств связи, особенно на всевозможных видах транспорта.

Эффективное использование света с помощью достижений современной светотехники — важнейший резерв повышения производительности труда и качества продукции, снижения травматизма и сохранения здоровья людей.

О масштабах современной светотехники можно судить по следующим цифрам. В нашей стране в настоящее время только в промышленности и сельском хо-

зяйстве, в общественных и жилых зданиях и на улицах городов установлено более 1,0 млрд. световых точек суммарной мощностью около 100 млн. кВт. На освещение ежегодно расходуется свыше 110 млрд. кВт·ч электроэнергии, т.е. примерно 13% вырабатываемой в стране электроэнергии (по данным 2000 г.).

Светотехническими исследованиями и разработками в России систематически занимались многие научные и учебные центры. Среди них Всероссийский научно-исследовательский светотехнический институт им. С.И. Вавилова (ВНИСИ, Москва), Всероссийский научно-исследовательский институт источников света им. А.Н. Лодыгина (ВНИИС, Саранск), светотехнические лаборатории научно-исследовательских институтов охраны и гигиены труда, кафедры светотехники ряда учебных институтов (Московского энергетического института, Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарева, Томского политехнического университета), НПО ЛИТ, светотехнические лаборатории институтов Госстроя СССР и Госкомархитектуры СССР (НИИСтройфизики, ЦНИИЭП инженерного оборудования, жилых зданий, учебных и лечебных зданий и др.). Работы по светотехническому проектированию возглавлялись ВНИПИ «Тяжпромэлектропроект», НПСР «Светосервис», ГПИ «Электропроект» и их отделениями, управлениями Моспроект-1, 2, 3 и 4.

Становление и развитие светотехники неразрывно связано с прогрессом в области физиологии зрения, оптики, учения об электричестве. Большое значение для формирования светотехники имели работы И. Ньютона, И. Ламберта, М.В. Ломоносова, П. Бугера, В.В. Петрова, Я. Пуркине, Г. Гельмгольца. Новая эра в истории развития светотехники открылась с переходом на использование электрических источников света. Работы А.Н. Лодыгина, Т.А. Эдисона, П.Н. Яблочкова, приведшие к созданию электрических ламп, послужили основой прогресса светотехники. Важными вехами на этом пути явились разработка и внедрение люминесцентных ламп, разрядных ламп высокого давления, галогенных ламп накаливания.

В последние годы особое значение имели работы по созданию и освоению производства металлогалогенных ламп, натриевых ламп высокого давления и компактных люминесцентных ламп, безэлектродных ВЧ и СВЧ-ламп, светодиодов, открывших новые перспективы высококачественного освещения и эффективного использования электроэнергии.

Российская светотехническая школа внесла значительный вклад в прогресс мировой светотехники. Работы С.И. Вавилова (люминесценция, действие света),

М.А. Шатслена (фотометрия, нормирование), С.О. Майзеля (физические основы процесса зрения), А.А. Гершуна (теоретическая фотометрия), П.М. Тиходеева (нормирование, световые эталоны и измерения), В.В. Мешкова (принципы нормирования и проектирования), В.А. Фабриканта (теория и создание люминесцентных ламп, открытие принципа действия квантовых генераторов), Г.М. Кнорринга (принципы светотехнических расчетов и проектирования осветительных установок) сыграли большую роль в развитии отечественной и мировой светотехники.

Главной задачей современной светотехники является создание комфортной световой среды для труда и отдыха человека, сохранения здоровья, а также эффективное применение оптического излучения в технологических процессах при рациональном использовании электрической энергии.

На современном этапе развития светотехнической науки и техники становится возможным создание такой жизненной среды обитания, которая обладает практически всей совокупностью параметров, необходимых для человека. Световая среда (СС) является одной из важнейших составных частей жизненной среды.

Комплексный подход к СС был сформулирован в 70–80-х годах при изучении проблем «Свет как элемент жизненной среды человека» (С.Г. Юров, Н.С. Иванова, ВНИИТЭ), «Человек и свет» (МГУ им. Н.П. Огарева), «Бытовые многофункциональные световые комплексы» (ВНИСИ). Было предложено использование многофункциональной природы света, который призван обеспечивать не только условия видения предметной среды, но и выполнять многие другие функции: психологические, биологические, эстетические и др. Именно тогда была высказана идея комплексного проектирования СС управляемыми установками осветительного, облучательного и декоративного действия и их комбинаций. Однако технические возможности светотехники тогда были ограничены, и теоретические исследования не всегда могли быть подкреплены практикой. Дальнейшее совершенствование светотехнических средств привело в 90-х гг. к широким возможностям создания комфортной динамичной СС. Так были разработаны многофункциональные осветительно-облучательные лампы, спектр излучения которых приближен к солнечному и насыщен строго дозированным ближним УФ. Созданы «интеллектуальные» инженерные системы освещения, которые обеспечивают широкие возможности управления СС, где человек вступает с ней в диалоговое взаимодействие. Новые способы перераспределения светового потока в ОУ — ноль протяженные световоды для общего освещения и волоконные световоды для архитектурного и местного освещения, приборы со светодиодами (СД), модульные системы с трубчатыми ЛЛ и шинопроводы с ГЛН, точечные светильники с зеркальными отражателями с ГЛН и КЛЛ, светильники отраженного света — позволили широко варьировать количественные и качественные характеристики освещения, полностью воссоздавая требуемые комфортные условия.

Изменились наши представления о функциональном освещении, широко внедрились в практику мето-

ды и приемы, ранее использовавшиеся только в таких специальных видах «художественного» освещения, как в театре, кино, телевидении. Стали обычными смелые в прошлом эксперименты с цветом, изменилось соотношение общего и местного освещения, широко используются тенсообразующие свойства в установках и другие. В результате появились установки, которые по праву можно назвать произведениями искусства. Дизайн в освещении как самостоятельное направление связан с комплексным решением эстетических, функциональных и технико-экономических задач. И если раньше это проявлялось в основном по отношению к наружному архитектурному освещению, то сейчас всем объектам требуется придавать неповторимый облик с помощью света. Нет сомнений в дальнейшем развитии дизайна в освещении, как важнейшего компонента создания оптимальной световой среды для современного человека.

Развитие светотехники базируется на компьютеризации процессов исследований, конструирования изделий и проектирования установок, электронизации самих изделий и систем управления ими, а также использовании новых конструктивных и светотехнических материалов и технологий их переработки.

Столь значительные успехи светотехники последнего десятилетия XX века не могут не привести в будущем к качественным изменениям — возрастанию роли светотехники в жизни общества, неизбежному ее влиянию на его развитие.

Проявление этого процесса следует ожидать в следующих направлениях. Во-первых, это дальнейшее развитие проблемы световой среды, когда свет становится одним из эликсиров для человека, занимая важное, запово осмысленное место в профилактике и охране здоровья, улучшении условий труда. **Здесь следует отметить выявленные в недавних исследованиях незрительные влияния света на настроение и поведение человека, стимуляцию его жизнедеятельности на совершенно новом уровне.** Результаты подобных работ по исследованию незрительных функций света могут изменить подходы к нормированию освещения, а их реализация — привести к более совершенному развитию отдельной личности человека и общества в целом. Успехи технологии, а особенно электронизации, позволят создать гибкую управляемую световую среду, где **вместо того, чтобы человек приспосабливался к освещению, становится возможным освещение подчинить человеку.**

Можно предполагать, что ближайшее десятилетие, т.е. годы активного использования настоящей Справочной книги, станет периодом революционных изменений: светодиоды и светящие материалы вступают в светотехнику. Постепенно будут стираться границы между освещением, информацией и развлечением. Осветительные установки на базе СД могут служить основой для Интернета, телевидения, видеотелефона.

Будущие ОУ — это не только комфортные многофункциональные световые комплексы, но и энергоэкономичные, эффективные и экологичные ОУ, производящие высококачественный свет только в таком количестве и в то время, сколько, где и когда это требуется. Это

главное направление светотехники, подчеркивающее ее важное значение.

Проблема энергосбережения в ОУ всех стран мира, не только переломных, но и развивающихся, приобрела за последние годы исключительное значение. При этом от успехов в решении этой проблемы во многом зависит будущее человеческой цивилизации не только в связи с постепенным истощением горючих ископаемых, идущих на выработку электроэнергии, но и из-за быстро происходящего загрязнения окружающей среды выбросами в атмосферу вредных веществ (диоксидов углерода и серы, а также ртути), образующихся в результате сжигания топлива при производстве электроэнергии.

В этой связи во многих государствах мира приняты и реализуются специальные программы энергосбережения, включающие самостоятельные разделы применительно к ОУ. Задачей этих программ является резкое снижение расхода ЭЭ в ОУ (на 20–50%) и выброса вредных веществ в атмосферу. Снижение энергопотребления при реализации этих программ является результатом разностороннего воздействия как на структуру производства светотехнических изделий, так и на качество выпускаемой техники и эффективность ее использования. Основная ставка при этом делается на компактные люминесцентные лампы (КЛЛ) и тонкие ЛЛ типа Т5, а также электронные ПРА (ЭПРА) и их внедрение в наиболее важных и «отзывчивых» сферах применения — в жилом секторе, а также в коммерческих и общественно-административных зданиях, прежде всего государственного подчинения. В ближайшем будущем в решении этой проблемы все большую роль будут играть светодиоды.

Общая программа энергосбережения принята и в России, а также в некоторых регионах страны. Ее реализация осуществляется недостаточными темпами. Отдельной программы в области освещения в стране до сих пор нет, хотя ее необходимость совершенно очевидна.

Прогресс в области светотехники за последние годы в нашей стране выражается не только в темпах роста светотехнической продукции, но и в появлении новых производителей и в разработке и внедрении новых из-

делий, многие из которых соответствуют всем современным требованиям, и в появлении осветительных установок различного назначения, выполненных на самом высоком мировом уровне, а также и в других проявлениях, например, в лучшей организации светотехнического рынка, большей его цивилизованности.

Российская светотехника всегда была интегрирована в мировую. Участие отечественных специалистов в деятельности Международной комиссии по освещению (МКО), Международной электротехнической комиссии (МЭК), Люкс-Европа, Люкс-Пасифика и в др. международных организациях, позволяет, с учетом особенностей нашей страны, выбирать наиболее правильные направления развития, лежащие в русле прогресса мировой светотехники. Это, в свою очередь, позволяет создать более благоприятный инвестиционный климат как важный фактор дальнейшего развития.

Одним из важных и, как правило, недоучитываемых направлений энергосбережения в ОУ, является всемерное расширение использования естественного света и, прежде всего, прямого солнечного излучения.

В заключение нельзя не упомянуть необходимость и полную возможность в XXI веке комплексного решения всех инженерных систем зданий: ограждающих конструкций, освещения (естественного и искусственного), отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха. Только комплексное, взаимосвязанное рассмотрение и решение этих проблем в процессе проектирования и строительства зданий и сооружений может позволить выйти на качественно новый уровень технико-экономических характеристик и комфорта окружающей человека среды.

Новое (третье) издание Справочной книги по светотехнике ставит перед собой задачу представления различных граней нашей отрасли науки и техники с современных позиций и в тесной связи с уровнем ее международного развития.

Содействие наиболее полному и квалифицированному использованию современных достижений светотехнической науки и промышленности для решения указанных задач — цель «Справочной книги по светотехнике».

Ю.Б. Айзенберг

ИСТОРИЯ СВЕТОТЕХНИКИ

Современная светотехника базируется на фундаментальных достижениях физики, математики, биологии и ряда других наук.

Ниже рассмотрена история развития основополагающих для светотехники представлений о свете, науки о зрительных восприятиях, источниках света, отмечены основные этапы развития советской светотехники.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ СВЕТА, ФОРМИРОВАНИЕ ЗРИТЕЛЬНОГО ОЩУЩЕНИЯ, ОЦЕНКА СВЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В основу учения о свете легли представления древнегреческих философов и ученых:

Эмпедокл из Агригента (492–432 г. до н.э.) утверждал, что изображение предмета в глазах возникает при пересечении тончайших истечений из глаза и от предмета.

Демокрит Абдерский (460–370 г. до н.э.) восстаивает против учения о лучах, выходящих из глаза и говорит, что зрение обуславливается падением на поверхность глаза мелких атомов, исходящих от предмета.

Аристотель (384–322 г. до н.э.) поддерживает Демокрита: «Если бы видение зависело от света, исходящего из глаза, как из фонаря, то почему бы нам не видеть в темноте? Предполагать, что свет гаснет, когда по выходе из глаза попадет в темноту, — бессмыслица». Цвет, по мнению Аристотеля, зависит от смешения света и тьмы.

Евклид (300 г. до н.э.) оставил сочинения «Оптика» и «Катоптрика». В этих книгах есть важные утверждения о зависимости кажущейся величины предмета от угла зрения, о прямолинейности хода лучей, выходящих из глаза, о равенстве углов падения и отражения от зеркала. Два последних утверждения легли в основу оптики.

Клеомед (50 г. н.э.) в сочинении «Циклическая теория метеоров» пишет, что световой луч при переходе из менее плотной среды в более плотную и наоборот преломляется и при этом при вхождении в более плотную среду приближается к перпендикуляру к поверхности, а при переходе в менее плотную среду отдалается от него.

Клавдий Птолемей (70–147 г. н.э.), вопреки Аристотелю, но подобно Евклиду считает, что лучи света исходят из глаза. Он замечает, что место звезд меняется вследствие преломления лучей света в воздухе. Объясняет причину сплюснутых траекторий звезд вокруг полюса земли преломлением лучей.

Альгазен (1038 г. н.э.), арабский ученый, считал, что изображение возникает в хрусталике, а не на сетчатке глаза. Теория зрительных лучей им полностью отвергалась. Показал, что углы падения и преломления неоди-

наковы. Изучал способность стеклянной чечевицы увеличивать размеры рассматриваемых предметов.

Роджер Бэкон (1214–1294), английский ученый, открыл, что при преломлении лучей при их прохождении через сферические поверхности кажущиеся размеры предметов могут быть увеличены. Советовал людям со слабым зрением накладывать шаровой отрезок стекла (меньше полшара) на предмет, который они хотят рассмотреть. Бэкон замечает: «Таким образом, увеличивая зрительный угол, мы будем в состоянии читать мельчайшие буквы с огромных расстояний и считать песчинки на земле, так как видимая величина обусловлена не расстоянием, а зрительным углом. Мальчик может казаться великаном, а взрослый — горой».

Сальвино Арматти в 1285 году изобрел очки.

Иоганн Кеплер (1571–1630), немецкий астроном, разработал модель формирования изображения в глазе. По его модели конусы лучей, исходящие из точек предмета и имеющие общим основанием зрачок, преломляются хрусталиком так, что позади него снова образуются конусы, вершины которых лежат на сетчатой оболочке глаза и здесь дают изображение светящегося предмета. Изображение бывает обратным, так как оси конусов пересекаются в хрусталике. Аккомодацию глаза к близким и далеким предметам Кеплер объяснял сжатием и расширением хрусталика или приближением сетчатой оболочки к хрусталику. Близорукость и дальнорукость он относил к неправильной кривизне хрусталика. Кеплеровская теория зрения долгое время оставалась образцовой.

Рене Декарт (1596–1650), французский физик и математик, полагал, что свет имеет корпускулярную природу.

Христиан Гюйгенс (1629–1695) — нидерландский ученый, создал волновую теорию света, объяснил двойное лучепреломление.



Исаак Ньютон

Исаак Ньютон (1643–1727), английский физик, открыл дисперсию света и дал теорию цветов. По мнению Ньютона всякое светящееся тело испускает мельчайшие частицы, которые попадая на сетчатку, производят ощущение света. Величина этих частиц различна: она больше для красного и меньше для фиолетового цвета. Все частицы при своем перехо-

де в более плотную среду или даже при приближении к ней испытывают притяжение, вследствие чего при наклонном падении на поверхность раздела двух сред мельчайшие из частиц отклоняются сильнее, а крупные — слабее. Для объяснения процесса отражения света Ньютоны пришлось использовать понятие отгаликивающей силы.

Когда вышла в свет ньютоновская «Оптика», трактат Гюйгенса о волновой природе света был уже известен. Однако волновая теория света Ньютоном была начисто отвергнута и в силу его огромного научного авторитета последующими поколениями физиков не признавалась, она получила признание лишь после упорной борьбы.



Михаил Васильевич Ломоносов

Ломоносов Михаил Васильевич (1711–1765), русский ученый, был сторонником волновой теории света, разработал теорию цветов, разработал ряд оптических приборов. В 1756 г. написал работу «Слово о происхождении света, новую теорию о цветах представляющую», в которой резко выступает против корпускулярной теории света, защищая волновую. Так, он указывает, что если бы была правильной корпускулярная теория света,

то непонятно, почему потоки световых частиц при пересечении не мешают друг другу. По волновой же теории если вокруг алмаза поставить тысячи свечей, то тысячи лучков будут пересекаться и не мешать друг другу. Другое возражение против корпускулярной теории света Ньютона: если взять черную песчинку и положить ее на солнце, то по теории Ньютона в нее потечет огромное количество световых песчинок. Однако, если потом ее унести в темное помещение, она не будет светиться. Куда же подевались все световые частицы, которые были поглощены этой черной песчинкой.

Ломоносов писал, что существует три сорта шариков эфира, отличающихся по величине и шероховатости. Вращение частиц эфира каждого сорта производит ощущение определенного цвета — красного, желтого и голубого. Все остальные цвета являются комбинацией этих трех цветов.

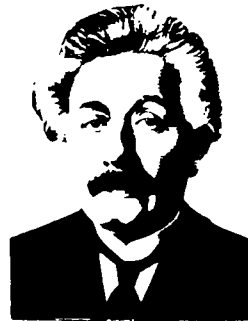
Томас Юнг (1773–1829), английский ученый, сделал в 1801 г. доклад королевскому обществу Англии «Теория света и цветов», в котором отдал предпочтение волновой природе света. Когда два ряда волн различного происхождения вполне или хотя бы приблизительно совпадают по своему направлению, то движение, притекающее из их соединения, является сочетанием движений, присущих каждому отдельному колебанию. Результирующее движение всего сильнее, когда волны тождественны по фазам, и всего слабее, когда наибольшее прямое движение одной волны совпадает с наибольшим обратным движением другой волны. В последнем случае может даже произойти совершенное уничтожение движения, если оба колебания обладают

одинаковой интенсивностью. Юнг сопоставил цвета с длинами волн и составил таблицу, в которой представлены длины волн от красного до фиолетового цветов.

Френель Огюстен Жан (1788–1827), французский физик, исследовал интерференцию волн, разработал теорию дифракции света, открыл эллиптическую и круговую поляризации света, установил законы отражения и преломления на плоской неподвижной границе двух сред.

Джеймс Клерк Максвелл (1831–1879), английский физик, высказал идею электромагнитной природы света.

Петр Николаевич Лебедев (1866–1912), русский физик, открыл и измерил давление света на твердые тела (1899) и газы (1907). Количественно подтвердил электромагнитную теорию света.



Альберт Эйнштейн

Альберт Эйнштейн (1879–1956), немецкий физик, впервые установил, что свет обладает наряду с волновыми, также корпускулярными свойствами. Автор теории относительности и основополагающих трудов по квантовой теории света: ввел понятие фотона (1905 г.), установил законы фотоэффекта.

Фотометрия

Франческо Мавролико (1494–1575) — итальянский ученый греческого происхождения, написал трактат «Свет о свете», в котором были уже зачатки науки о фотометрическом расчете.

Андерс Цельсий (1701–1744), шведский астроном и физик, для сопоставления силы света от двух источников света брал рукописный шрифт и подносил его к светящимся телам, выбирая расстояние до них таким, чтобы оно соответствовало порогу различения шрифтов. Далее он утверждал, что для получения соотношения интенсивностей двух источников света достаточно взять восьмые степени обоих расстояний.

Жорж Луи Леклерк Бюффон, французский естествоиспытатель, в 1747 г. при измерении коэффициента отражения зеркал использовал способ, аналогичный способу Цельсия.

Пьер Бугер (1698–1758), французский ученый, является основателем фотометрии. Он изобрел несколько приборов для измерения силы света различных источников. Принцип действия этих приборов основывался на сравнении с другими источниками света (стандартными). Меняя расстояние между освещаемым предметом и источниками света (измеряемым и сравнимым), он добивался равенства освещенностей и вычислял силу света. При помощи подобных фотометров Бугер определил ряд коэффициентов отражения и пропускания излучения различных материалов. Кроме того, ему удалось сравнить силу света луны и солнца.

Он нашел, что при равной высоте над горизонтом солнце в 300000 раз светлее луны.

Бугер установил линейность обычных фотометрических соотношений; показал, что зрительное восприятие различия световых полей определяется не разностью их абсолютных значений, а отношением их яркостей; показал, что яркость не зависит от расстояния наблюдения, так как освещенность сетчатки глаза остается неизменной; ввел закон ослабления света при его прохождении через поглощающую среду, известный сегодня как закон Бугера.

Иоганн Генрих Ламберт (1728–1777), немецкий ученый, — основатель теоретической фотометрии, сформулировал следующие основные положения фотометрии:



Иоганн Генрих Ламберт

— сила этого освещения пропорциональна произведению нормального освещения на синус угла наклона лучей к освещаемой поверхности;

— количество света от предмета пропорционально произведению величины поверхности на яркость и синус угла наклона луча к нормали к поверхности.

Гершун Андрей Александрович (1903–1952), советский ученый, разработал общую теорию светового поля и впервые ввел понятие светового вектора. Векторные соотношения позволили проще и нагляднее формулировать светотехнические задачи. В 1946 г. им было предложено понятие эквивалентной яркости, как яркости поля сравнения, при которой для глаза устанавливается световое равновесие, он сформулировал основные требования к визуальному фотометрированию при малых яркостях.



Андрей Александрович Гершун

— видимая яркость предмета есть частное от деления количества света на величину изображения на сетчатке;

— при прочих равных условиях освещение от светящейся точки обратно пропорционально квадрату расстояния до этой точки;

— если освещенная поверхность наклонена по отношению к излучающему свет телу, то

ВОЗНИКНОВЕНИЕ, РАЗВИТИЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИСТОЧНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ

Доэлектрический период

- 2500 г. до н.э. Серийное производство глиняных ламп с маслом
- 500 г. до н.э. Первые свечи в Греции и Риме
- 450 г. н.э. Масляные лампы в Антиохии
- XIII–XVII вв. Свечи (сальные, восковые) в светильниках, фонарях внутреннего и наружного освещения
- 1730 г. Масляные фонари в Москве
- 1780 г. Водородные лампы
- 1783 г. Лампа с сурепным маслом и плоским фитилем
- 1785 г. Светильники на каменноугольном газе
- 1798 г. Газовые фонари в Англии
- 1811 г. Газовые лампы во Фрайбурге
- 1816 г. Стеариновые свечи
- 1818 г. Газовые фонари во Франции
- 1830 г. Парафиновые свечи
- 1839 г. Газовые фонари в Петербурге
- 1866 г. Газовые фонари в Москве

Электрическое освещение

Василий Владимирович Петров (1761–1834), русский физик, открыл электрическую дугу (1802 г.), работающую с помощью созданной им крупнейшей для своего времени гальванической батареи. Впервые высказал мысль о возможности использования электрической дуги для освещения.



Александр Николаевич Лодыгин

Александр Николаевич Лодыгин (1847–1923), русский электротехник, изобрел угольную лампу накаливания в 1872 г. (патент 1874 г.).



Павел Николаевич Яблочков

Павел Николаевич Яблочков (1847–1894), русский электротехник, изобрел дуговую безрегуляторную лампу — «электрическую свечу» (патент 1876 г.). Впервые разработав конструкцию свчедержателей, арматуры, ручных и автоматических переключателей свечей, трансформаторов («индукционных катушек») и применив методы монтажа с помощью проводов и кабелей, создал условия для повсеместного освещения улиц.

общественных, промышленных и даже жилых помещений.



Томас Альва Эдисон

Томас Альва Эдисон (1847—1931), американский изобретатель, усовершенствовал лампу накаливания Лодыгина, довел ее до промышленного образца (патент 1879 г.) и начал серийное производство ламп на своей фабрике. Построил первую в мире электростанцию общественного пользования (1882 г.).



Сергей Иванович Вавилов

Сергей Иванович Вавилов (1891—1951), советский физик, сформулировал законы фотолюминесценции. Это позволило впоследствии совершить скачок в развитии источников света за счет использования люминофоров, преобразующих излучения различных областей в видимую область.



Валентин Александрович Фабрикант

Валентин Александрович Фабрикант (1907—1991), советский физик, стоял у истоков зарождения квантовой электроники. Совместно с М.М. Вудыским и Ф.И. Бутаевой выдвинул идею квантового усиления, диплом на открытие с приоритетом от 1951 г.

Николай Генрихович Басов (р. 1922), **Александр Михайлович Прохоров** (р. 1916), советские ученые, **Чарльз Таунс**, американский ученый, выполнили основополагающие работы в области квантовой радиофизики, которые привели к созданию генераторов и усилителей в радио- и оптическом диапазоне длин волны (лазеров и мазеров). Нобелевская премия 1964 г.

Жорес Иванович Алферов (р. 1930), российский ученый, автор фундаментальных исследований в области полупроводников, гетероструктур и приборов на их основе, в том числе светодиодов. Нобелевская премия 2001 г. совместно с американскими учеными Г. Кремер и Дж. Килби.

Исторические вехи развития электрических источников света

- 1802 г. Дуга В.В. Петрова между угольными стержнями.
- 1802 г. Свечение тлеющего разряда в опытах В.В. Петрова.
- 1807 г. Электрическая дуга между угольными стержнями английского физика Г. Дэви.
- 1840 г. Немецкий физик Грове использует для подогрева нити накала электрический ток.
- 1844 г. Старт в Америке делает попытку создать лампу с угольной нитью.
- 1845 г. Кинг в Лондоне получает патент «Применение накаливаемых металлических и угольных проводников для освещения».
- 1854 г. Х. Гебель создает в Америке первую лампу с угольной нитью и освещает ею витрину своего магазина.
- 1860 г. Появление первых ртутных разрядных трубок в Англии.
- 1860 г. Х. Гейслер изобретает вакуумную светящуюся трубку.
- 1872 г. Изобретена первая угольная лампа накаливания А.Н. Лодыгиным (Россия).
- 1876 г. Изобретение Н.П. Яблочковым (Россия) свечи, состоящей из двух параллельных угольных стержней.
- 1877 г. Максим в США изобрел лампу без колбы из платиновой ленты.
- 1878 г. Сваи в Англии предложил лампу с угольным стержнем и конструкцию фокусирующего патрона.
- 1878 г. Эдисон в США предложил лампу с платиновой завитой проволокой.
- 1879 г. Эдисон разрабатывает системы освещения лампами накаливания (резьбовой цоколь, патрон, выключатель, центральное электропитание).
- 1880 г. Эдисон получает патент на лампу с угольной нитью.
- 1882 г. Фирма Сименс производит лампы с угольными нитями.
- 1897 г. Нернст изобретает лампу с металлической нитью накаливания.
- 1901 г. Купер-Хьюит (США) изобретают ртутную лампу низкого давления.
- 1903 г. Первая лампа накаливания с танталовой нитью, предложенная Больтенем.
- 1905 г. Ауэр предлагает лампу с вольфрамовой спиралью.
- 1906 г. Кюх изобретает ртутную дуговую лампу высокого давления.
- 1907 г. С.Д. Паули наблюдал электролюминесценцию неорганических кристаллов.
- 1909 г. Патент Скауни (Германия) на использование в лампах накаливания галогенных соединений.

1908–1910 гг. Начало выпуска первых ламп накаливания с вольфрамовым телом накала (General Electric, Philips).

1913 г. Газонаполненная лампа Ленгмюра с вольфрамовой спиралью.

1923 г. О.В. Лосев, советский ученый, впервые заметил явление электролюминесценции кристаллов («свечение Лосева»).

1926 г. Первая лампа накаливания с двойной спиралью.

1929 г. Первая лампа накаливания с матовым стеклом.

1931 г. Пиранни изобретает натриевую лампу низкого давления.

1936 г. Разработка в СССР образца люминесцентной лампы низкого давления с аргоно-ртутным наполнением.

1938 г. Освоение серийного выпуска первых линейных люминесцентных ламп с галофосфатными люминофорами (General Electric, Philips, Osram).

1939 г. О.В. Лосев теоретически объяснил появление свечения при пропускании тока через *p-n*-переход полупроводников.

1939 г. Повышение световой отдачи биспиральных ламп накаливания за счет криптонового наполнения.

1940 г. Заявка В.А. Фабриканта на открытие вынужденного излучения и возможность создания среды, усиливающей проходящее через нее излучение. Диплом на открытие с приоритетом от 1951 г. (совместно с М.М. Вудынским и Ф.А. Бутаевой).

1946 г. Шульц предлагает ксеноновую лампу.

1946 г. Ртутная лампа высокого давления с люминофором.

1947 г. Дестрио (Франция) открывает электролюминесценцию.

1958 г. Первые галогенные лампы накаливания (General Electric, Osram, Philips).

1962 г. Начало производства и использование в установках наружного и промышленного освещения натриевых ламп высокого давления типа Lucalox (General Electric).

1962 г. Начало массового производства красных светодиодов со световой отдачей 0,1 лм/Вт (General Electric).

1964 г. Нобелевская премия Н.Г. Басову, А.М. Прохорову и Ч. Таунсу за фундаментальные исследования в области квантовой электроники.

1969 г. Внедрение металлогалогенных ламп со светящими добавками на базе йодидов редкоземельных элементов (Osram, Philips).

1978 г. Создание первых компактных люминесцентных ламп (Philips).

1982 г. Галогенные лампы накаливания низкого напряжения (General Electric, Philips).

1985 г. Компактные люминесцентные лампы со встроеным электронным ПРА и резьбовым цоколем (Philips, Osram, General Electric).

1988 г. Разработка маломощных натриевых ламп высокого давления с улучшенной цветопередачей (Philips).

1991 г. Безэлектродные ЛЛ типа QL с рабочей частотой 2,65 МГц и сроком службы 60 тысяч часов (Philips).

1992 г. Безэлектродные сверхвысокочастотные серные лампы с СВЧ накачкой на частоте 2,45 ГГц (Fusion Lighting Co, USA).

1994 г. Безэлектродные индукционные лампы типа Sepura с встроеными высокочастотными аппаратами (General Electric Lighting).

1997 г. Безэлектродные индукционные ЛЛ типа Endura (Osram).

2001 г. Нобелевская премия Алферову Ж.И. (Россия), Кремеру Г. (США) и Килби Дж. (США) за фундаментальные исследования в области полупроводников, гетероструктур и приборов на их основе, в том числе светодиодов.

НЕКОТОРЫЕ ДАТЫ РАЗВИТИЯ СВЕТОТЕХНИКИ В СССР В XX ВЕКЕ

Знаменательные даты советской светотехники

1920 г. Основана фотометрическая лаборатория ГОИ, организованная проф. С.О. Майзелем.

1922 г. Учреждена Комиссия по осветительной технике в Петрограде по председательством проф. М.А. Шателена (постоянный орган Петроградского отделения Центрального электротехнического общества).

1927 г. Первая всесоюзная светотехническая конференция (Москва). Первая всесоюзная светотехническая выставка в Политехническом музее в Москве.

1928 г. Введены в действие первые нормы «Правила искусственного освещения фабрик, заводов, мастерских и других рабочих и служебных помещений», утвержденные Наркомтрудом.

1929 г. Секция осветительной и бытовой нагрузки при Ленинградском отделении Всесоюзного энергетического комитета, впоследствии (1945 г.) Секция светотехники Всесоюзного научно-технического общества энергетической промышленности.

1932 г. Кафедра светотехники в МЭИ г. Москва.

1932 г. Журнал «Светотехника».

- 1935 г. СССР вошел в состав стран-членов Международной комиссии по освещению (МКО). С 1937 г. светотехники СССР принимают непосредственное участие в работе МКО.
- 1951 г. Всесоюзный научно-исследовательский светотехнический институт (ВНИСИ), с 1990 г. им. С.И. Вавилова.
- 1958 г. Всесоюзный научно-исследовательский институт источников света (ВИИС), г. Саранск, с 1972 г. имени А. Лодыгина.
- 1959 г. Кафедра светотехники в Мордовском государственном университете им. П. Огарева, г. Саранск.
- 1962 г. Кафедра светотехники в Харьковском институте коммунального хозяйства (ХИИКС).
- 1971 г. Кафедра светотехники в Томском политехническом институте.
- 1974 г. Кафедра светотехники в Ереванском политехническом институте.
- 1976 г. Кафедра светотехники в Львовском политехническом институте.

Светотехнические предприятия

- 1923 г. На «Кудринской» электроламповой фабрике в Москве (создана в 1907 г.) началось массовое производство современных ламп накаливания.
- 1929 г. Московский завод «Электросвет» (с 1974 г. имени Н.П. Яблочкова).
- 1930 г. Московский прожекторный завод.
- 1938 г. Московский электроламповый завод (МЭЛЗ).
- 1941 г. Электроламповый завод, г. Томск.
- 1942 г. Электроарматурный завод в г. Аша (Башкирия).
- 1952 г. Московский завод ламп дневного света (ныне Московский опытный светотехнический завод).
- 1954 г. Ардатовский светотехнический завод. Рижский светотехнический завод. Ереванский опытный светотехнический завод. Гусевский светотехнический завод. Саранский электроламповый завод.
- 1956 г. Завод «Электроарматура», г. Тернополь (ныне производственное объединение «Вагра»).
- 1957 г. Завод «Светотехника», г. Лихославль.
- 1958 г. Завод «Эстоиласт», г. Таллин. Завод электроизделий, г. Лида. Стенанакертский светотехнический завод. Амурский светотехнический завод.
- 1959 г. Исфаринский светотехнический завод. Ашхабадский электротехнический завод.
- 1962 г. Полтавский завод газоразрядных ламп.
- 1963 г. Бакинский электроламповый завод.

- 1964 г. Производственное объединение «Светотехника», г. Саранск, в последующем ПО «Лисма».
- 1966 г. Производственное объединение «Армэлектросвет», в последующем ПО «Луйс». Электроламповые заводы в городах Брест, Смоленск. Орджоникидзе (Владикавказ).
- 1968 г. Электроламповый завод в Майли-Сас. Фрунзенский опытный завод электровакуумного машиностроения.
- 1971 г. Производственное объединение «Свет» в г. Рига.
- 1972 г. Производственное объединение «Искра», г. Львов. Гагаринский светотехнический завод. Производственное объединение «Вагра».
- 1975 г. Производственное объединение «Азербэлектросвет».

СВЕТОТЕХНИЧЕСКАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ РОССИИ (1990–2005 гг.)

Кардинальные изменения в экономике, происшедшие после 1990 года, работа в условиях достаточно жесткой конкуренции привели к формированию светотехнического рынка и созданию принципиально новых светотехнических производственных компаний и общественных организаций. К числу наиболее крупных можно отнести:

- 1991 г. Компания «Светосервис», состоящая из двух блоков: производственного, объединяющего заводы «Светотехника» (г. Лихославль), Московский опытный светотехнический (МОСЗ), Электротехнический завод (КЭТЗ) (г. Кадошкино) и Торговый дом «Светотехника», а также проектно-монтажного — «Светосервиса».
- 1991 г. Межрегиональное светотехническое общество, объединяющее светотехников России и стран бывшего СССР.
- 1992 г. Компания ОМТЕК (торговая марка «Техполикс»), г. Александров, Владимирская область, по производству светильников.
- 1993 г. Ассоциация «Российский свет», объединяющая более 40 предприятий и фирм.
- 1994 г. Компания «Нордклифф», г. Самара, по производству светильников.
- 1995 г. Компания «Рефлекс», г. Москва, по производству разрядных ламп высокого давления.
- 1997 г. Компания «Световые Технологии», г. Рязань, по производству светильников.
- 1998 г. Компания «Люмсвет» (торговый дом «Серебряный плес»), г. Мытищи, Московская область, по производству светильников.
- 1999 г. Светотехническая Торговая Ассоциация (СТА).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Розенбергер Ф.* История физики. Часть первая. Гос. технико-теоретическое издательство, Москва-Ленинград, 1934 г.
2. *Розенбергер Ф.* История физики. Часть вторая. Гос. технико-теоретическое издательство, Москва-Ленинград, 1934 г.
3. *Розенбергер Ф.* История физики. Часть третья. Гос. технико-теоретическое издательство, Москва-Ленинград, 1934 г.
4. *Конюшко Г.В., Сапожников Р.А., Стратоновский Г.А.* Иоганн Генрих Ламберт. Светотехника. № 8. 1977.
5. *Гершун А.А.* Избранные труды по фотометрии и светотехнике. Гос. издательство по физ.-мат. литературе, Москва, 1956.
6. *Гершун А.А.* Световое поле. Издательство ОНТИ НКТП, 1936.
7. *Белькинд Л.Д.* А.Н. Лодыгин. Госэнергоатомиздат, 1948.
8. *Фабрикант В.А.* Альберт Эйнштейн и учение о свете. Светотехника. № 3. 1979.
9. *Лампа Лодыгина.* Светотехника. № 1. 1985.
10. *Явно И.О.* О развитии галогенных ламп накаливания. Светотехника. № 10. 1972.
11. *Иванова Н.С., Скобелев В.М.* Знаменательные даты советской светотехники. Светотехника. № 11. 1957.

12. *Милкин А.К.* Из истории отечественной электроламповой промышленности. Светотехника. № 7. 1981.

13. *Ашкенази Г.И., Гольдшмидт И.А.* Основные этапы развития советской светотехники. Светотехника. № 11. 1977.

14. *Электротехническая* промышленность — важная отрасль народного хозяйства страны. Светотехника. № 12. 1982.

15. *Калязин Ю.Ф.* Основные направления развития источников света в России. Светотехника. № 1. 1998.

16. *Валентов П.Ф., Лезнов С.И.* Из истории электрического освещения Москвы. Светотехника. № 8. 1982.

17. *Сапожников Р.А., Федюкина Г.В.* Из истории отечественной светотехники. Светотехника. № 1. 1978.

18. *Арсеньева Т.А., Сапожников Р.А.* Из истории освещения городов Светотехника. № 3. 1981.

19. *Атаев А.Е.* О кафедре «Светотехника» и ее преподавателях. Светотехника. № 1. 2003.

20. *Ашкенази Г.И.* Памяти Льва Давидовича Белькинда. Светотехника. № 8. 1986.

21. *Рохлин Г.Н.* Дуговым источникам света. 200 лет. М.: ВИГМА, 2001.

22. *Дунская И.М.* Возникновение квантовой электроники. М.: Наука, 1974.

23. *Атаев А.Е., Рохлин Г.Н.* Свет в жизни человека. Иллюминатор. № 3. 2003.

24. *Хайнц Р., Вахтманн К.* Неорганические светодиоды. Обзор. Светотехника. № 3. 2003.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ВЕЛИЧИНЫ

Развитие светотехники, как самостоятельной области науки и техники, неразрывно связано с фундаментальными достижениями оптики, электротехники, физиологии зрения. Как хорошо видно из раздела «История светотехники», вклад И. Ньютона, И. Ламберта, М.В. Ломоносова, П. Бугера, Я. Пуркине, Г. Гельмгольца в развитие основ светотехники трудно переоценить. Российские ученые С.И. Вавилов, М.А. Мешков, В.А. Фабрикант, С.В. Кравков и др. [1–11] сыграли большую роль в формировании существующей системы основных понятий и величин, в развитии отечественной и мировой светотехники.

1.1. ОПТИЧЕСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

Излучение (радиация) является одной из форм существования материи в виде электромагнитного поля. Характерной особенностью излучения является корпускулярно-волновой дуализм.

Фотон — элементарная частица излучения, энергия которой (квант) ϵ равна $h\nu$, где $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с — постоянная Планка; ν — частота излучения, Гц.

В вакууме фотоны движутся со скоростью $c_0 = 2,9979 \cdot 10^8$ м/с (скорость света).

Корпускулярные свойства фотона определяются его массой $m_\phi = \epsilon / c_0^2$, и импульсом $P_\phi = h\nu / c$. Фотон движется со скоростью c_0 — максимальной скоростью, с которой может двигаться элементарная частица материи; $m_\phi = m_0 / \sqrt{1 - (v/c)^2}$. Скорость движения фотона $v = c$, очевидно, что фотон находится всегда в движении и массой покоя m_0 не обладает.

Волновые свойства фотона описываются частотой и длиной волны. Длина волны фотона в вакууме $\lambda = c_0 / \nu$.

Генераторами излучения являются движущиеся молекулы и атомы вещества. Монохроматическое (одноцветное) излучение получить на практике нельзя. Принято под *монохроматическим излучением* понимать совокупность выделяемых источником излучения фотонов, обладающих практически одинаковой длиной волны.

Сложное излучение представляют собой состоящим из совокупности монохроматических излучений. Светотехника имеет дело с *оптическим излучением*, т.е. с электромагнитным излучением с длинами волн примерно

от 1 нм до 1 мм, лежащими в области между рентгеновскими лучами и радиоизлучением.

Оптическая область спектра делится на ультрафиолетовую, видимую и инфракрасную.

Ультрафиолетовое излучение — ОИ, длины волн монохроматических составляющих которого лежат в пределах от 1 до 380 нм. МКО предлагает следующее деление УФ-излучений с длинами волн от 100 до 400 нм: УФ-А — от 315 до 400 нм; УФ-В — от 280 до 315 нм; УФ-С — от 100 до 280 нм.

Видимое излучение (свет) — излучение, которое, попадая на сетчатую оболочку глаза, может вызвать зрительное ощущение (ощущение — превращение энергии внешнего раздражителя в факт сознания). Видимое излучение имеет длины волн монохроматических составляющих в пределах 380–780 нм*.

Инфракрасное излучение имеет длины волн монохроматических составляющих, большие длин волн видимого излучения. МКО предлагает следующее деление ИК области излучений: ИК-А — от 780 до 1400 нм; ИК-В — от 1400 до 3000 нм; ИК-С — от 3000 до 10^6 нм (от 3 мкм до 1 мм).

Спектр излучения — совокупность монохроматических излучений, входящих в состав сложного излучения. Спектр излучения может описываться графической, аналитической или табличной зависимостями. Источники излучения могут иметь сплошной, полосатый, линейчатый спектр или спектр, имеющий сплошную и линейчатую составляющие.

Сплошной спектр — спектр, у которого монохроматические составляющие заполняют без разрывов интервал длин волн, в пределах которого происходит излучение.

Полосатый спектр — спектр, монохроматические составляющие которого образуют дискретные группы (полосы), состоящие из множества тесно расположенных монохроматических излучений.

Линейчатый спектр — спектр, состоящий из отдельных, не примыкающих друг к другу монохроматических излучений.

Поток излучения Φ_e — мощность излучения, т.е.

$$\Phi_e = dQ_e / dt;$$

$$\Phi_e(\lambda, d\lambda) = Q_e(\lambda, d\lambda) / dt, \quad (1.1)$$

где $Q_e, Q_e(\lambda, d\lambda)$ — энергии сложного и монохроматического излучений, испускаемые за время dt ; Φ_e ,

* Согласно термину 845-01-03 Международного светотехнического словаря [26], за нижний предел видимого излучения принимается диапазон 360–400 нм, а за верхний предел — 760–830 нм.

$\Phi_e(\lambda, d\lambda)$ — потоки сложного и монохроматического излучений. Вт.

Монохроматический поток излучения иногда измеряется также числом квантов в единицу времени.

Для описания распределения потока излучения по спектру пользуются *спектральной плотностью потока излучения*

$$\Phi_{e\lambda} = \Phi_e(\lambda, d\lambda) / d\lambda. \quad (1.2)$$

Во многих случаях размеры источника излучения намного меньше расстояния от него до облучаемого объекта, поэтому правомочно рассматривать условный *точечный источник излучения*, т.е. такой, размеры которого настолько малы по сравнению с расстоянием до приемника, что ими можно пренебречь при расчетах. Если принять за точечный источник излучения равномерно излучающий круг диаметром d , то погрешность при расчетах в зависимости от расстояния l от круга до приемника составляет около 9% при $l/d=3$ и около 4% при $l/d=5$.

Излучение источника распространяется в некотором телесном угле.

Телесный угол Ω — часть пространства, ограниченная незамкнутой поверхностью. Часто используются телесные углы, ограниченные разными коническими поверхностями (рис. 1.1). Мерой телесного угла с вершиной в центре сферы является отношение площади сферической поверхности dA , на которую он опирается, к квадрату радиуса сферы r . За единицу телесного угла — стерадиан (ср) — принят центральный телесный угол, вырезающий участок сферы, площадь которого

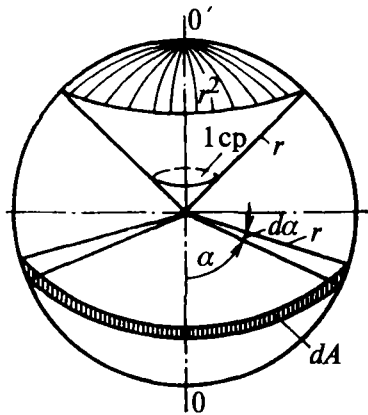


Рис. 1.1. К понятию и расчету телесного угла

равна квадрату ее радиуса. Элементарный зональный телесный угол $d\Omega$ ограничен двумя соосными коническими поверхностями, образующие которых смещены на угол $d\alpha$: $d\Omega = dA / r^2 = 2\pi \sin \alpha d\alpha$.

Зональный телесный угол $\Delta\Omega$, для которого $\alpha_2 - \alpha_1 = \Delta\alpha$, равен
$$\Delta\Omega = 2\pi \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \sin \alpha d\alpha = 2\pi (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2)$$

(табл. 1.1).

Значения зональных телесных углов

$\alpha_{\text{сред.}} \text{ град.}$	Граница телесного угла, град.	$\Delta\Omega, \text{ ср}$	Граница телесного угла, град.	$\alpha_{\text{сред.}} \text{ град.}$
5	0–10	0,095	170–180	175
15	10–20	0,283	160–170	165
35	20–30	0,463	150–160	155
35	30–40	0,628	140–150	145
45	40–50	0,774	130–140	135
55	50–60	0,897	120–130	25
65	60–70	0,993	110–120	115
75	70–80	1,058	100–110	105
85	80–90	1,091	90–100	95

1.2. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРИЕМНИКАХ ЭНЕРГИИ ИЗЛУЧЕНИЯ

Физический приемник излучения — прибор, в котором под действием поглощенного излучения изменяется один из его параметров, поддающихся измерению.

Чувствительность приемника S_{Π} характеризует реакцию приемника на падающий на его приемную поверхность поток излучения:

$$S_{\Pi} = c\alpha_e\eta_{\Sigma}, \quad (1.3)$$

где c — коэффициент пропорциональности; α_e — коэффициент поглощения приемником потока излучения; η_{Σ} — энергетический выход преобразования приемника излучения.

Спектральная чувствительность приемника $S_{\Pi\lambda}$ по аналогии с S_{Π} может быть определена так:

$$S_{\Pi\lambda} = c\alpha_{\lambda}\eta_{\Sigma\lambda}, \quad (1.4)$$

где α_{λ} — спектральный коэффициент поглощения приемником монохроматического потока излучения; $\eta_{\Sigma\lambda}$ — энергетический выход преобразования приемником монохроматического потока излучения.

Относительная спектральная чувствительность приемника излучения $V_{\Pi\lambda}$ — число, характеризующее отношение спектральной чувствительности приемника излучения к максимальной спектральной чувствительности этого же приемника $S_{\Pi \text{ max}}$, т.е.

$$V_{\Pi\lambda} = S_{\Pi\lambda} / S_{\Pi \text{ max}}. \quad (1.5)$$

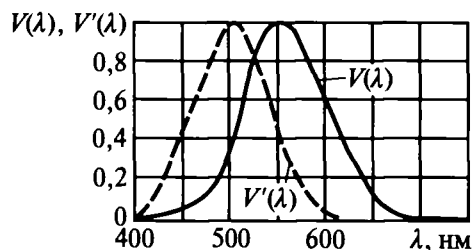
Для создания систем величин и единиц пользуются образцовыми приемниками, мера реакции которых на облучение должна отвечать следующим требованиям:

- 1) подвергаться непосредственному или косвенному измерению с достаточной степенью точности;
- 2) при облучении монохроматическим излучением относительная спектральная чувствительность $V_{\Pi}(\lambda)$ должна оставаться постоянной;
- 3) при облучении сложным излучением мера реакции должна однозначно определяться чувствительностью приемника S_{Π} .

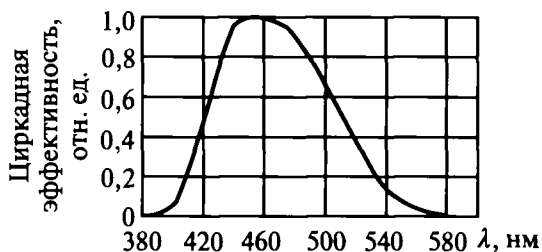
Каждая эффективная система величин строится на основании функции относительной спектральной чув-

ствительности $V_p(\lambda)$ и максимальной спектральной чувствительности образцового приемника $S_{п\max}$.

Одной из систем эффективных величин является система световых величин. Для этой системы характеристикой образцового приемника является относительная спектральная световая эффективность излучения для стандартного фотометрического наблюдателя МКО для дневного зрения $V(\lambda)$ и ночного зрения $V'(\lambda)$ (табл. 1.2, рис. 1.2). Зависимость $V(\lambda)$ определена для поля зрения, равного 2° . Кривые $V(\lambda)$ и $V'(\lambda)$ сдвинуты относительно друг друга, что объясняется различием в спектральной чувствительности колбочкового световоспринимающего аппарата — аппарата дневного зрения и палочкового — аппарата ночного зрения.



а)



б)

Рис. 1.2. Кривые функций относительной спектральной эффективности монохроматического излучения: а — для дневного $V(\lambda)$ и ночного $V'(\lambda)$ зрения; б — для циркадной эффективности (БОИ-эффект)

Максимум функции $V(\lambda)$ приходится на длину волны $\lambda = 555$ нм. Максимальная спектральная чувствительность $K_{\max} = 683$ лм/Вт.

Максимум функции $V'(\lambda)$ приходится на $\lambda = 507$ нм. Максимальная спектральная чувствительность $K'_{\max} = 1700$ лм/Вт.

В конце XX и в первые годы XXI столетия выполнен целый ряд важных исследований [1.2–1.4], подтвердивших не только зрительное, но биологическое и психологическое воздействие света на человека. Эффекты без образования изображения (БОИ-эффекты) воздействуют на здоровье, самочувствие и производительность труда. Эти эффекты являются взаимодейст-

Относительная спектральная световая эффективность излучения для стандартного фотометрического наблюдателя МКО

Длина волны λ , нм	Дневное зрение $V(\lambda)$	Ночное зрение $V'(\lambda)$
380	0,0000	0,000589
390	0,0001	0,002209
400	0,0004	0,00929
410	0,0012	0,03484
420	0,0040	0,0966
430	0,0116	0,1998
440	0,023	0,3281
450	0,038	0,455
460	0,060	0,567
470	0,091	0,676
480	0,139	0,793
490	0,208	0,904
500	0,323	0,982
510	0,503	0,997
520	0,710	0,935
530	0,862	0,811
540	0,954	0,60
550	0,995	0,481
560	0,995	0,3288
570	0,952	0,2076
580	0,870	0,1212
590	0,757	0,0655
600	0,631	0,03315
610	0,503	0,01593
620	0,381	0,00737
630	0,265	0,003335
640	0,175	0,001497
650	0,107	0,000677
660	0,061	0,0003129
670	0,032	0,0001480
680	0,017	0,0000715
690	0,0082	0,00003533
700	0,0041	0,00001780
710	0,0021	0,00000914
720	0,00105	0,00000478
730	0,00052	0,000002546
740	0,00025	0,000001379
750	0,00012	0,000000760
760	0,00006	0,000000425
770	0,00003	0,000000241
780	0,000015	0,000000139

вующими и интегрированными. Спектр наибольшего воздействия БОИ-эффектов на появление мелатонина (рис. 1.2, б) в организме человека лежит в области 380–580 нм с максимумом при 430–460 нм (образование и концентрация мелатонина влияют на циркадные, т.е. суточные, ритмы человека).

1.3. ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ И СВЕТОВАЯ СИСТЕМЫ ВЕЛИЧИН

Световой поток — мощность световой энергии, эффективная величина, измеряемая в люменах:

$$\Phi = dQ / dt. \quad (1.6)$$

Единица светового потока — люмен (лм); 1 лм соответствует световому потоку, излучаемому в единичном телесном угле точечным изотропным источником с силой света 1 кандела (определение канделы будет дано ниже).

Монохроматический световой поток

$$\Phi(\lambda, d\lambda) = K_{\max} \Phi_e(\lambda, d\lambda) V_\lambda = 683 \Phi_e(\lambda, d\lambda) V_\lambda.$$

Световой поток сложного излучения; с линейчатым спектром

$$\Phi = 683 \sum_{i=1}^n \Phi_e(\lambda_i, d\lambda) V_{\lambda_i},$$

со сплошным спектром

$$\Phi = 683 \int_{380}^{780} \Phi_{e\lambda}(\lambda) V(\lambda) d\lambda.$$

где n — число линий в спектре; $\Phi_{e\lambda}(\lambda)$ — функция спектральной плотности потока излучения.

Сила излучения (энергетическая сила света) $I_{e\alpha\beta}$ — пространственная плотность потока излучения, численно равная отношению потока излучения $d\Phi_e$ к телесному углу $d\Omega$, в пределах которого поток распространяется и равномерно распределяется:

$$I_{e\alpha\beta} = d\Phi_e / d\Omega. \quad (1.7)$$

Сила излучения определяет пространственную плотность излучения точечного источника, расположенного в вершине телесного угла (рис. 1.3). За направление $I_{e\alpha\beta}$ принимают ось телесного угла $d\Omega$, ориентированную углами α и β в продольной и поперечной плоскостях. Единица силы излучения Вт/ср названия не имеет.

Распределение в пространстве потока излучения точечного источника однозначно определяется его *фотометрическим телом* — частью пространства, ограниченного поверхностью, проведенной через концы радиус-

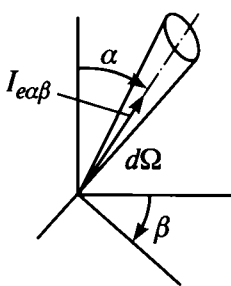


Рис. 1.3. К определению силы излучения

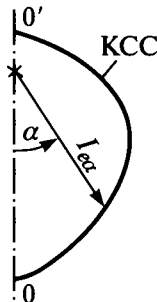


Рис. 1.4. Кривая силы света в продольной плоскости

сов-векторов силы излучения. Сечение фотометрического тела плоскостью, проходящей через начало координат и точечный источник, определяет *кривую силы света (КСС)* источника для данной плоскости сечения. Если фотометрическое тело имеет ось симметрии, источник излучения характеризуют КСС в продольной плоскости (рис. 1.4).

Поток излучения точечного круглосимметричного источника излучения

$$\Phi_e = \int_{\Delta\Omega} I_e(\alpha) d\Omega = 2\pi \int_{\alpha_1}^{\alpha_n} I_e(\alpha) \sin \alpha d\alpha,$$

где $\Delta\Omega$ — зональный телесный угол, в пределах которого распространяется излучение источника; определяется в продольной плоскости углами α_1 и α_n .

Сила света точечного источника — пространственная плотность светового потока

$$I_{e\beta} = d\Phi / d\Omega. \quad (1.8)$$

Кандела (кд) — единица силы света (одна из основных единиц системы СИ). Кандела равна силе света, испускаемого в перпендикулярном направлении с площади в $1/600000$ м² черного тела при температуре затвердевания платины $T = 2045$ К и давлении 101325 Па.

Световой поток ИС определяется по КСС, если фотометрическое тело имеет ось симметрии. Если КСС $I(\alpha)$ задана графиком или таблицей, расчет светового потока источника определяется выражением

$$\Phi = \sum_{i=1}^n I_{\alpha i} \Delta\Omega_{i,i+1},$$

где $I_{\alpha i}$ — среднее значение силы света в зональном телесном угле; $\Delta\Omega_{i,i+1} = 2\pi(\cos \alpha_i - \cos \alpha_{i+1})$ (см. табл. 1.1).

Энергетическая светимость (излучательность) — отношение потока излучения, исходящего из рассматриваемого малого участка поверхности, к площади этого участка:

$$M_e = d\Phi_e / dA; \quad M_{e\text{ср}} = \Phi_e / A, \quad (1.9)$$

где $d\Phi_e$ и Φ_e — потоки излучения, испускаемые участком поверхности dA или поверхностью A .

Единица измерения энергетической светимости (Вт/м²) — поток излучения, испускаемый с 1 м² поверхности; эта единица названия не имеет.

Светимость — отношение светового потока, исходящего от рассматриваемого малого участка поверхности, к площади этого участка:

$$M = d\Phi / dA; \quad M_{\text{ср}} = \Phi / A. \quad (1.10)$$

где $d\Phi$ и Φ — световые потоки, испускаемые участком поверхности dA или поверхностью A . Светимость измеряется в лм/м² — это световой поток, испускаемый с 1 м².

Энергетическая освещенность (облученность) — плотность лучистого потока по облучаемой поверхности

$$E_e = d\Phi_e / dA; \quad E_{e\text{ср}} = \Phi_e / A. \quad (1.11)$$

где E_e, E_{cp} — соответственно облученность участка поверхности dA и средняя облученность поверхности A .

За единицу измерения облученности, Вт/м², принимают такую облученность, при которой 1 Вт лучистого потока падает и равномерно распределяется по поверхности в 1 м²; эта единица названия не имеет.

Освещенность — плотность светового потока по освещаемой поверхности

$$dE = d\Phi / dA; E_{cp} = \Phi / A, \quad (1.12)$$

где dE и E_{cp} — освещенность участка поверхности dA и средняя освещенность поверхности A .

За единицу освещенности принят люкс (лк). Освещенность в 1 лк имеет поверхность, на 1 м² которой падает и равномерно по ней распределяется световой поток в 1 лм.

Энергетическая яркость тела или участка его поверхности в направлении α — отношение силы излучения в направлении α к проекции излучающей поверхности на плоскость, перпендикулярную этому направлению (рис. 1.5):

$$L_{e\alpha} = dI_{e\alpha} / (dA \cos \alpha); L_{e\alpha cp} = I_{e\alpha} / \sigma, \quad (1.13)$$

где $L_{e\alpha}$ и $L_{e\alpha cp}$ — энергетические яркости участка поверхности dA и поверхности A в направлении α , проекции которых на плоскость, перпендикулярную этому направлению, соответственно равны $dA \cos \alpha$ и σ ; $dI_{e\alpha}$ и $I_{e\alpha}$ — соответственно силы излучения, испускаемые dA и A в направлении α .

За единицу энергетической яркости принята энергетическая яркость плоской поверхности в 1 м², имеющей в перпендикулярном направлении силу излучения 1 Вт/ср. Эта единица (Вт/ср · м²) названия не имеет.

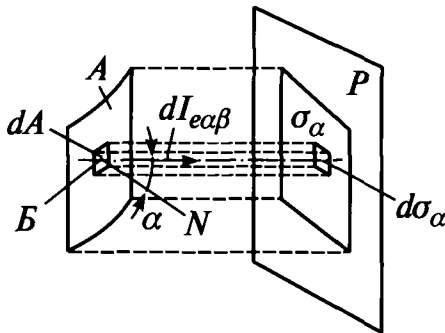


Рис. 1.5. К определению понятий энергетической яркости и яркости

Яркость в направлении α тела или участка его поверхности равна отношению силы света в этом направлении к проекции поверхности:

$$L_{\alpha} = dI_{\alpha} / (dA \cos \alpha); L_{\alpha cp} = I_{\alpha} / \sigma, \quad (1.14)$$

где I_{α} и $L_{\alpha cp}$ — яркости участка поверхности dA и поверхности A в направлении α , проекции которых на плоскость, перпендикулярную этому направлению, соответственно равны $dA \cos \alpha$ и σ ; dI_{α}, I_{α} — соответственно силы света, испускаемые поверхностями dA , и A в направлении α .

За единицу измерения яркости (кд/м²) принята яркость такой плоской поверхности, которая в перпендикулярном направлении излучает силу света в 1 кд с площади в 1 м².

Эквивалентная яркость. В условиях сумеречного зрения относительная спектральная световая эффективность органа зрения зависит от уровня адаптации $V(\lambda, I)$ и занимает промежуточное положение между $V(\lambda)$ и $V'(\lambda)$, показанными на рис. 1.2. В этих условиях излучения различного спектрального состава, одинаковые по яркости для дневного зрения, будут для глаза разнояркими (эффект Пуркине), например, голубое будет ярче красного. В области сумеречного зрения используется понятие эквивалентной яркости.

Можно выбрать излучение определенного спектрального состава, для которого яркость на всех уровнях принимается пропорциональной мощности излучения. А.А. Гершун [1] предложил в качестве такого излучения, названного опорным, использовать излучение черного тела при температуре затвердевания платины. Излучение иного спектрального состава, равно-светлое с опорным, будет иметь одинаковую с ним эквивалентную яркость, хотя стандартные яркости излучений будут различными. Эквивалентная яркость позволяет сравнивать различные излучения по их световому действию даже в условиях неопределенности функции относительной спектральной чувствительности.

1.4. ОПТИЧЕСКИЕ И СВОТТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕЛ

Преломлением излучения называется изменение его направления при переходе из одной прозрачной среды в другую (рис. 1.6).

Согласно закону преломления лучи — падающий и преломленный — лежат в одной плоскости с перпенди-

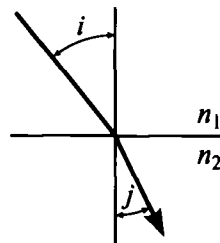


Рис. 1.6. К закону преломления

куляром к элементу преломляющей поверхности в точке падения луча, причем отношение синусов углов падения i и преломления j для рассматриваемых сред зависит только от длины волны излучения, но не зависит от угла падения:

$$\sin i / \sin j = n_{21}. \quad (1.15)$$

Постоянная n_{21} называется относительным показателем преломления второй среды относительно первой.

Показатель преломления n среды относительно вакуума называют абсолютным показателем преломления среды. Он равен отношению скоростей распространения света в вакууме c_0 , и в данной среде v : $n = c_0 / v$.

Относительный показатель преломления n_{21} выражается через абсолютные показатели преломления первой

и второй сред n_1 и n_2 соотношением $n_{21} = n_2/n_1$. Если $n_{21} < 1$, то при $\sin i/n_{21} > 1$ свет не выходит из среды, происходит полное внутреннее отражение — зеркальное отражение света от границы двух сред с коэффициентом отражения $\rho = 1$. При полном внутреннем отражении угол i превосходит предельный угол $i_{\text{пр}}$, определяемый из соотношения $\sin i_{\text{пр}} = n_{21}$.

Отражением называется возвращение излучения объектом без изменения длин волн составляющих его монохроматических излучений.

Имеют место следующие виды отражений:

а) зеркальное без рассеяния отраженного потока (лучистого, светового) (рис. 1.7, а); при зеркальном отражении: 1) падающий и отраженный лучи лежат в одной плоскости с перпендикуляром к элементу отражающей поверхности в точке падения луча; 2) угол падения луча равен углу его отражения; 3) закон квадратов расстояний для отраженного пучка соблюдается от источника света, а не от отражающей поверхности ($\Delta\Omega_i = \Delta\Omega_p$);

б) равномерно диффузное, при котором отраженный поток излучения (световой) рассеивается так, что энергетическая яркость (яркость) во всех направлениях полупространства одинакова (рис. 1.7, б);

в) диффузное (смешанное), при котором наблюдается частично зеркальное и частично диффузное отражение (рис. 1.7, в);

г) направленно-рассеянное, при котором фотометрическое тело отраженных от участка поверхности сил света можно приближенно описать вытянутым эллипсоидом вращения (рис. 1.7, г), большая ось которого располагается в направлении зеркального отражения. При зеркальном отражении $\Delta\Omega_i = \Delta\Omega_p$, яркость в пределах телесного угла L_p постоянна и равна $L_p = L_n \rho_z$, где L_n — яркость источника в пределах телесного угла $\Delta\Omega_i$.

В случае равномерно диффузного отражения (рис. 1.7, б)

$$\Delta\Omega_i \ll \Delta\Omega_p = 2\pi.$$

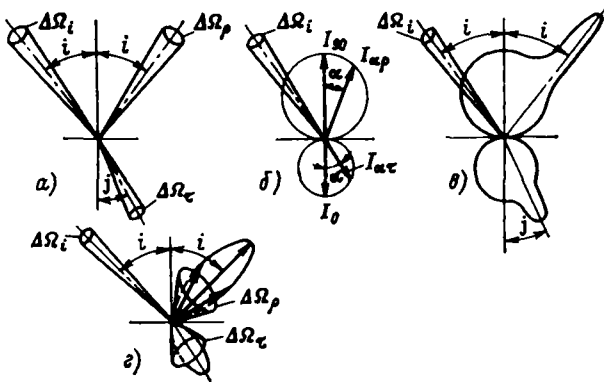


Рис. 1.7. Виды отражения и пропускания света различными материалами

Яркость участка равномерно диффузно отражающей поверхности равна

$$L = E\rho / \pi, \quad (1.16)$$

где L и E — яркость и освещенность поверхности, равномерно диффузно отражающей свет; ρ — ее коэффициент отражения.

Наряду с традиционными видами отражений, в последние годы все шире применяются отражения на многослойных интерференционных структурах и многократные отражения в призматических системах световодов и световозвращателей (см. подробнее раздел б).

Коэффициент яркости — отношение яркости освещенной поверхности к яркости идеального рассеивателя (идеальной поверхности) $L_{\text{ид}}$ с $\rho = 1$, находящегося в тех же условиях освещения:

$$L_{\text{ид}} = E / \pi; \quad B_{\alpha\beta} = L_{\alpha\beta} / L_{\text{ид}}. \quad (1.17)$$

Коэффициент яркости зеркальной поверхности

$$B_z = \rho_z L_n / E, \quad (1.18)$$

где L_n — яркость источника, освещающего зеркальную поверхность; ρ_z — коэффициент зеркального отражения; E — освещенность зеркальной поверхности.

Коэффициент яркости направленно рассеивающей свет поверхности с хаотически расположенными неровностями (выпуклости и вмятины) описывается в [1.1].

При смешанном отражении (рис. 1.7, в) индикатриса рассеяния можно разделить на две составляющие, одна из которых описывает равномерно диффузное отражение, другая — приближенно зеркальное. Напомним, что *индикатрисой* называют функцию, выражающую зависимость относительных значений фотометрической величины от направления. Ниже этим термином обозначается индикатриса силы излучения (света).

Направленно-рассеянное отражение (рис. 1.7, г) характерно для металлических поверхностей после химической или пескоструйной обработки. Для таких поверхностей $\Delta\Omega_i < \Delta\Omega_p$. В пределах $\Delta\Omega_p$ яркость участка отражающей поверхности непостоянна. Максимальная яркость наблюдается в направлении зеркального отражения.

Коэффициент яркости направленно рассеивающей свет поверхности

$$B_{\alpha\theta} = \frac{2akA \operatorname{tg} \alpha_a}{|A^2(1-p^2) \sin^2 \alpha_a| \cos \alpha}, \quad (1.19)$$

где $A = \cos \theta \sin \alpha + \operatorname{ctg} \alpha_a \cos \alpha$; $p = a/b$; a и b — полуоси вытянутого эллипсоида вращения.

Пропусканием называется прохождение излучения (света) сквозь среду без изменения длин волн составляющих его монохроматических излучений. Наблюдаются следующие виды пропускания: а) направленное без рассеяния (рис. 1.7, а); б) равномерно диффузное, при котором прошедший поток излучения (световой) рассеивается так, что энергетическая яркость (яркость) во всех направлениях полупространства одинакова (рис. 1.7, б):

$$L_{e\tau} = E_e \tau_e / \pi = \text{const}; \quad L_\tau = E\tau / \pi = \text{const},$$

где $L_{e\tau}$ и L_τ — энергетическая яркость и яркость поверхности, пропустившей поток излучения и световой поток; E_e, E — облученность и освещенность поверхности, на которую падает световой поток; τ_e и τ — коэффициенты пропускания слоя среды: в) смешанное, при котором наблюдается частично направленное и частично равномерное диффузное пропускание (рис. 1.7, в); г) направленное-рассеянное, при котором индикатриса силы света приближенно описывается вытянутым эллипсоидом вращения (рис. 1.7, г).

Монохроматический поток излучения $\Phi_e(\lambda, d\lambda)$, падающий на тело, делится на три части: отраженную $\Phi_{ep}(\lambda, d\lambda)$, поглощенную $\Phi_{ea}(\lambda, d\lambda)$ и прошедшую $\Phi_{e\tau}(\lambda, d\lambda)$. Отношения каждой из этих частей к падающему потоку называются соответственно *спектральными коэффициентами отражения* $\rho(\lambda)$, *поглощения* $\alpha(\lambda)$ и *пропускания* $\tau(\lambda)$. Очевидно, что $\rho(\lambda) + \alpha(\lambda) + \tau(\lambda) = 1$. Интегральные коэффициенты отражения, поглощения и пропускания для потока излучения (ρ_e, α_e и τ_e) и светового потока (ρ, α и τ) описываются выражениями

$$\left. \begin{aligned} \rho_e &= \frac{\int \Phi_{e\lambda}(\lambda) \rho(\lambda) d\lambda}{\int \Phi_{e\lambda}(\lambda) d\lambda}; & \rho &= \frac{\int \Phi_{e\lambda}(\lambda) \rho(\lambda) V(\lambda) d\lambda}{\int \Phi_{e\lambda}(\lambda) V(\lambda) d\lambda}; \\ \alpha_e &= \frac{\int \Phi_{e\lambda}(\lambda) \alpha(\lambda) d\lambda}{\int \Phi_{e\lambda}(\lambda) d\lambda}; & \alpha &= \frac{\int \Phi_{e\lambda}(\lambda) \alpha(\lambda) V(\lambda) d\lambda}{\int \Phi_{e\lambda}(\lambda) V(\lambda) d\lambda}; \\ \tau_e &= \frac{\int \Phi_{e\lambda}(\lambda) \tau(\lambda) d\lambda}{\int \Phi_{e\lambda}(\lambda) d\lambda}; & \tau &= \frac{\int \Phi_{e\lambda}(\lambda) \tau(\lambda) V(\lambda) d\lambda}{\int \Phi_{e\lambda}(\lambda) V(\lambda) d\lambda}, \end{aligned} \right\} (1.20)$$

где $\Phi_{e\lambda}(\lambda)$ — спектральное распределение потока излучения; $\rho(\lambda), \alpha(\lambda), \tau(\lambda)$ — значения спектральных коэффициентов отражения, поглощения и пропускания.

Оптическая плотность среды $D = \lg(1/\tau)$. Поглощение монохроматического потока $\Phi_e(\lambda, d\lambda)$ в слое среды описывается законом Бугера:

$$\Phi_{ea\alpha} = \Phi_{e0}(\lambda, d\lambda) \exp(-a'x) = \Phi_{e0}(\lambda, d\lambda) \cdot 10^{-ax}, \quad (1.21)$$

где a' и a — натуральный и десятичный показатели поглощения.

Спектральный коэффициент пропускания монохроматического излучения слоем среды толщиной x $\tau(\lambda) = \exp(-a'x) = 10^{-ax}$. Спектральный коэффициент поглощения такого слоя $\alpha(\lambda) = 1 - 10^{-ax}$.

Коэффициент отражения пучка лучей естественного света от поверхности диэлектрика описывается уравнениями Френеля

$$\rho_{\parallel} = \frac{\lg^2(i-j)}{\lg^2(i+j)}; \quad \rho_{\perp} = \frac{\sin^2(i-j)}{\sin^2(i+j)}; \quad \rho = \frac{\rho_{\parallel} + \rho_{\perp}}{2}, \quad (1.22)$$

где i и j — углы падения и преломления пучка лучей; ρ_{\parallel} и ρ_{\perp} — коэффициенты отражения лучей, поляризованных в плоскости падения и в перпендикулярной ей (рис. 1.8). Принимают, что плоскость поляризации соответствует плоскости колебаний вектора напряженности электрического поля пучка лучей. При $i + j = 90^\circ$ отраженный пучок лучей полностью поляризован в плоскости, перпендикулярной плоскости падения.

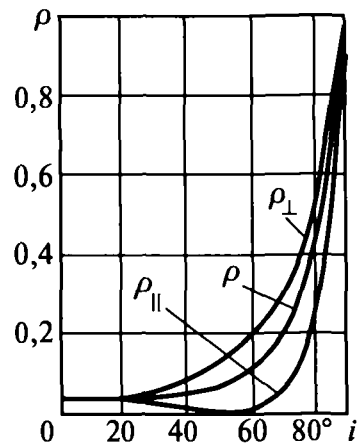


Рис. 1.8. Отражение света прозрачным диэлектриком. $i_B = 56^\circ 40'$ при $n_{21} = 1.53$

Угол i , при котором происходит полная поляризация отраженного света, называется углом Брюстера (i_B). Для него имеет место соотношение

$$\lg i_B = n_{21} \quad (1.23)$$

(закон Брюстера).

При перпендикулярном падении пучка лучей на границу двух прозрачных сред

$$\rho_0 = (1 - n_{21})^2 / (1 + n_{21})^2.$$

Коэффициент отражения незначительно меняется до угла падения, равного 45° . Можно считать, что $\rho_{45} = \rho_0$.

Степень поляризации — отношение потока поляризованной части пучка лучей к потоку всего пучка:

$$\Delta_p = \frac{\rho_{\perp} - \rho_{\parallel}}{\rho_{\perp} + \rho_{\parallel}}; \quad \Delta_{\tau} = \Delta_p \frac{\rho}{1 - \rho}, \quad (1.24)$$

где Δ_p и Δ_{τ} — степени поляризации отраженного и преломленного плоскопараллельной пластинкой из диэлектрика пучков лучей.

1.5. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И СВЕТОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИМПУЛЬСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Изменение во времени величины x_t показано на рис. 1.9 и характеризуется кривой мгновенных значений x_t (потока излучения или светового потока, силы

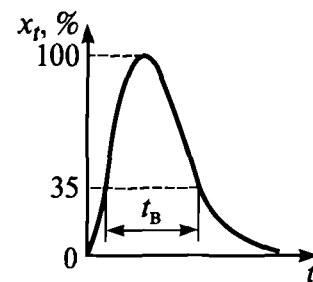


Рис. 1.9. Типичная зависимость изменения фотометрической величины импульсного ИС

излучения или силы света, освещенности или облученности, а также других величин.

Основные величины, применяемые для описания импульсного излучения, перечислены в табл. 1.3 (см. также п. 3.3.7).

Таблица 1.3

Энергетические и световые величины, характеризующие вспышку (импульс)

Наименование	Обозначение и формула	Единица измерения
Лучистая энергия	$Q_e = \int_0^{t_B} \Phi_{et} dt$ (1.25)	Дж
Световая энергия	$Q = \int_0^{t_B} \Phi_t dt$ (1.26)	лм·с
Энергетическое освечивание	$\theta_e = \int_0^{t_B} I_{et} dt$ (1.27)	Дж/ср
Освечивание	$\theta = \int_0^{t_B} I_t dt$ (1.28)	кл·с
Интеграл импульса энергетической яркости	$\int_0^{t_B} L_{et} dt$ (1.29)	Дж/(ср·м ²)
Интеграл импульса яркости	$\int_0^{t_B} L_t dt$ (1.30)	кд·с/м ²
Энергетическая экспозиция	$H_e = \int_0^{t_B} E_{et} dt$ (1.31)	Дж/м ²
Экспозиция	$H = \int_0^{t_B} E_t dt$ (1.32)	лк·с
Интеграл импульса энергетической светимости	$\int_0^{t_B} M_{et} dt$ (1.33)	Дж/м ²
Интеграл импульса светимости	$\int_0^{t_B} M_t dt$ (1.34)	лм·с/м ²
Спектральная плотность энергетического освечивания	$\theta_{e\lambda} = d\theta_e / d\lambda$ (1.35)	Дж/(ср·м ²)

Длительность импульса (вспышки) — время t_B , в течение которого значение x_t , характеризующее вспышку, удовлетворяет неравенству $x_t > nx_{\max}$, где x_{\max} — максимальное значение за время вспышки параметра вспышки, например $I_{et \max}$, $I_t \max$, $E_{et \max}$, $E_t \max$ и др.; n — коэффициент, определяющий выбранную длительность вспышки (часто используется значение $n=0,35$, а также $n=0,1$ и $n=0,5$).

1.6. ЭФФЕКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ ВЕЛИЧИН ДЛЯ ОЦЕНКИ УФ ИЗЛУЧЕНИЯ

Кванты УФ-излучения, обладающие большой энергией, способны изменять химическую структуру отдельных клеток и тканей живых организмов. Установлено, что УФ-излучение с длинами волн от 280 до 400 нм оказывает полезное действие на организм человека, животных и птиц. При облучении их определенными дозами УФ-излучения улучшается дыхание, кровообращение, повышается содержание гемоглобина в крови, активизируется деятельность желез внутренней секреции, в организме образуется витамин D, укрепляется нервная система, ускоряется рост, снижается заболеваемость. Это благоприятное действие УФ-излучения называют витальным действием. Ультрафиолетовое излучение в диапазоне от 200 до 400 нм обладает бактерицидным действием, т.е. способно в определенных условиях вызывать гибель бактерий. Однако действие УФ-излучения неодинаково для монохроматических излучений различных длин волн, что показано на рис. 1.10. Например, благоприятное действие УФ-излучения на организм человека может характеризоваться кривой витальной эффективности 2, бактерицидное действие — кривой 1. Там же показаны кривые спектральной эффективности образования витамина D (кривая 3) и эффективности беззрительной пигментации (кривая загарного действия 4). На основе этих кривых были предложены эффективные системы величин — витальная и бактерицидная [1, 2], которые применяются в некоторых случаях для оценки действия излучения. *Витальный поток излучения* со сплошным спектром

$$\int_{280}^{400} \Phi_{e\lambda} s_{\text{вит}}(\lambda) d\lambda, \quad (1.36)$$

где $s_{\text{вит}}(\lambda)$ — функция витальной эффективности (вита-эффективности) излучения, вит/Вт.

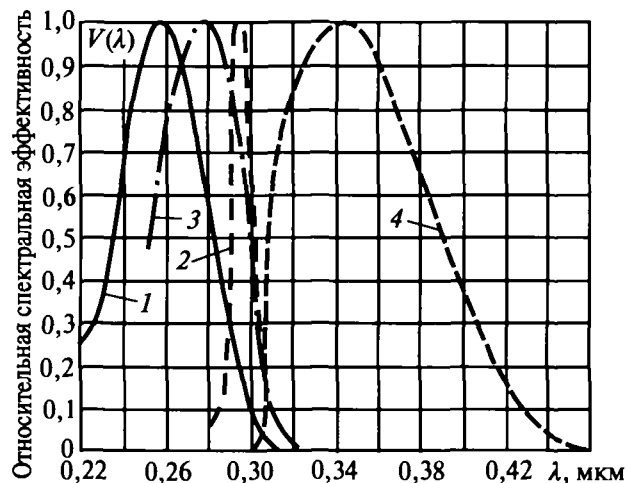


Рис. 1.10. Относительная спектральная эффективность излучения: 1 — бактерицидная; 2 — витальная; 3 — антирадиционная; 4 — загарная

За единицу витального потока (вит) принят 1 Вт монохроматического излучения с длиной волны 297 нм.

Бактерицидный поток излучения со сплошным спектром записывается в виде

$$\int_{200}^{400} \Phi_e \lambda s_{\text{бак}}(\lambda) d\lambda, \quad (1.37)$$

где $s_{\text{бак}}(\lambda)$ — функция бактерицидной эффективности излучения, бк/Вт.

Единицей бактерицидного потока принято считать бакт (бк), численно равный потоку УФ излучения мощностью 1 Вт с длиной волны 254 нм.

Витальные и бактерицидные величины и единицы приведены в табл. 1.4.

Таблица 1.4

Витальные и бактерицидные величины и единицы

Наименование	Обозначение и формула	Единица измерения
Витальный поток (вита-поток), мощность вита-излучения	$\Phi_{\text{вит}}$	вит
Витальная энергия	$Q_{\text{вит}}$	вит·ч
Витальная эффективность излучения	$s_{\text{вит}} = \Phi_{\text{вит}} / \Phi_e$ (1/38)	вит/Вт
Сила вита-излучения	$I_{\alpha\beta\text{вит}} = \frac{d\Phi_{\text{вит}}}{d\Omega}$ (1/39)	вит/ср
Вита-яркость	$L_{\alpha\beta\text{вит}} = \frac{dI_{\alpha\beta\text{вит}}}{dA \cos \alpha}$ (1/40)	вит/(ср·м ²)
Вита-экспозиция	$H_{\text{вит}} = \int_0^t E_{\text{вит}} dt$ (1.41)	вит·ч/м ²
Вита-облученность	$E_{\text{вит}} = \frac{d\Phi_{\text{вит}}}{dA}$ (1.42)	вит/м ²
Бактерицидный поток, мощность бактерицидного излучения	$\Phi_{\text{бк}}$	бк
Бактерицидная энергия	$Q_{\text{бк}}$	бк·ч
Бактерицидная эффективность излучения	$s_{\text{бк}} = \Phi_{\text{бк}} / \Phi_e$ (1.43)	бк/Вт
Сила бактерицидного излучения	$I_{\alpha\beta\text{бк}} = \frac{d\Phi_{\text{бк}}}{d\Omega}$ (1.44)	бк/ср
Бактерицидная яркость	$L_{\alpha\beta\text{бк}} = \frac{dI_{\alpha\beta\text{бк}}}{dA \cos \alpha}$ (1.45)	бк/(ср·м ²)
Бактерицидная экспозиция	$H_{\text{бк}} = \int_0^t E_{\text{бк}} dt$ (1.46)	бк·ч/м ²
Бактерицидная облученность	$E_{\text{бк}} = d\Phi_{\text{бк}} / dA$ (1.47)	бк/м ²

1.7. ХАРАКТЕРИСТИКИ СВЕТОВОГО ПОЛЯ

Световое поле — область пространства, в которой имеет место перенос световой энергии данного источника света (излучения) [1].

Общий вид интегральной характеристики светового поля согласно [1.3] определяется выражением

$$c = \int_{\Omega} L_{\varphi\beta} f(\varphi, \beta) d\Omega = \int_{\Omega} f(\varphi, \beta) dE_{\text{н}}, \quad (1.48)$$

где c — интегральная характеристика светового поля — средняя освещенность выбранной поверхности, расположенной в окрестности точки светового поля (размеры этой поверхности малы и отраженными потоками световое поле не искажают); $f(\varphi, \beta)$ — функция ценности излучения, определяющая эффективность излучения, поступающего от источника на выбранную поверхность; Ω — телесный угол, окружающий точку, в которой определяется значение c ; $dE_{\text{н}}$ — нормальная освещенность, создаваемая элементом источника света на площадке, расположенной перпендикулярно направлению на этот элемент в исследуемой точке поля.

Функция $f(\varphi, \beta)$ зависит от положения элемента источника, освещающего выбранную поверхность, и формы этой поверхности:

$$f(\varphi, \beta) = \Delta\sigma \Delta A, \quad (1.49)$$

где $\Delta\sigma$ — проекция выбранной поверхности на плоскость, перпендикулярную направлению от элемента источника к данной точке поля; ΔA — площадь поверхности, средняя освещенность которой определяется.

В настоящее время используются следующие интегральные характеристики светового поля:

1) освещенность E участка плоскости ΔA . В этом случае (рис. 1.11) $f(\beta) = \Delta\sigma / \Delta A = \cos\beta$; освещенность участка поверхности ΔA в окрестности точки B

$$E_B = \int \cos\beta dE_{\text{н}}, \quad (1.50)$$

где $0 \leq \beta \leq \pi/2$;

2) пространственная освещенность E_0 — сумма нормальных освещенностей в данной точке поля [8]. Очевидно, что

$$f(\beta) = 1; \quad E_0 = \int_{\Omega} dE_{\text{н}}. \quad (1.51)$$

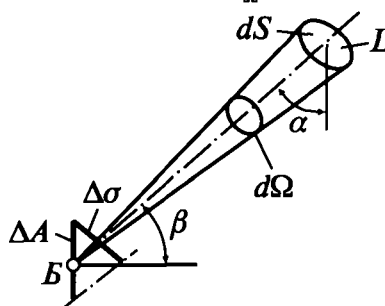


Рис. 1.11. К расчету освещенности участка плоской поверхности

3) средняя сферическая освещенность $E_{4\pi}$ — средняя освещенность поверхности сферы исчезающе малого радиуса r [1.3]:

$$\left. \begin{aligned} f(\beta) &= \pi r^2 / (4\pi r^2) = 1/4; \\ E_{4\pi} &= E_0 / 4. \end{aligned} \right\} \quad (1.52)$$

4) средняя полусферическая освещенность $E_{2\pi}$ — средняя освещенность сферической поверхности полусферы исчезающе малого радиуса r (рис. 1.12. а):

$$f(\beta) = \frac{\pi r^2}{4\pi r^2} (1 + \cos \beta) = 0,25(1 + \cos \beta);$$

$$E_{2\pi} = 0,25 \int_{\Omega} (1 + \cos \beta) dE_{\Pi} = E_{4\pi} \pm 0,25 E_{\text{осн}}, \quad (1.53)$$

где $E_{\text{осн}}$ — освещенность основания полусферы, при этом знак «+» берется для $0 \leq \beta \leq \pi/2$ и знак «-» для $\pi/2 < \beta \leq \pi$.

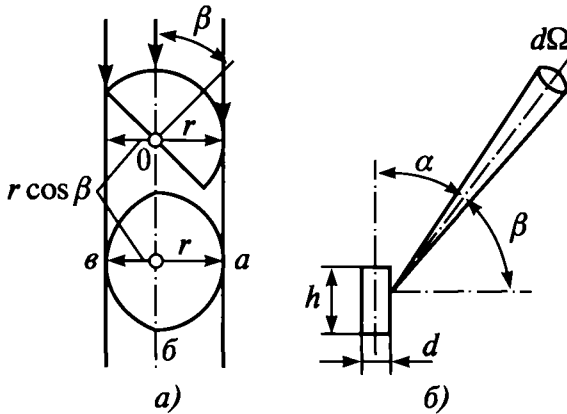


Рис. 1.12. К понятиям средней полусферической (а) и средней цилиндрической (б) освещенностей

За ориентацию средней полусферической освещенности принимают положение основания полусферы;

5) для оценки насыщенности светом помещения используется средняя цилиндрическая освещенность E_{Π} с вертикальной ориентацией оси цилиндра. Под средней цилиндрической освещенностью понимают среднюю освещенность боковой поверхности цилиндра с исчезающе малыми размерами d и h [1.4]. Функция ценности (рис. 1.12. б)

$$f(\beta) = \frac{hd \cos \beta}{\pi hd} = \frac{\cos \beta}{\pi}; \quad E_{\Pi} = \frac{1}{\pi} \int_{\Omega} \cos \beta dE_{\text{н}}. \quad (1.54)$$

В каждой точке светового поля можно определить световой вектор, модуль которого численно равен максимальной разности освещенности двух сторон площадки, расположенной в данной точке светового поля; проекция этого вектора на любое направление численно равна разности освещенности двух сторон площадки, помещенной в данной точке поля перпендикулярно этому направлению. Световой вектор определяет в точ-

ке поля значение и направление переноса световой энергии в единицу времени через единицу площади, расположенной перпендикулярно световому вектору.

А.А. Гершун ввел понятие вектора телесного угла. Вектор бесконечно малого телесного угла $d\vec{\Omega}$ направлен, как указано на рис. 1.13. Его модуль $|d\vec{\Omega}| = d\Omega$. Вектор телесного угла $\vec{\Omega} = \int d\vec{\Omega}$. Используя понятие вектора телесного угла, световой вектор можно описать выражением

$$\vec{e} = \int_{\Omega} L_{\phi\beta} d\vec{\Omega}, \quad (1.55)$$

где $L_{\phi\beta}$ — яркость в пределах телесного угла $d\Omega$. Обычно световой вектор определяется по его проекциям на ортогональные координатные оси, причем проекции численно равны разностям освещенностей соответствующих координатных плоскостей.

Модуль светового вектора равен

$$|\vec{e}| = \sqrt{\epsilon_x^2 + \epsilon_y^2 + \epsilon_z^2}$$

а его направление определяется направляющими косинусами

$$\cos(\hat{e}x^0) = \epsilon_x / |\vec{e}|; \quad \cos(\hat{e}y^0) = \epsilon_y / |\vec{e}|; \quad \cos(\hat{e}z^0) = \epsilon_z / |\vec{e}|,$$

где ϵ_x , ϵ_y и ϵ_z — проекции светового вектора на координатные оси.

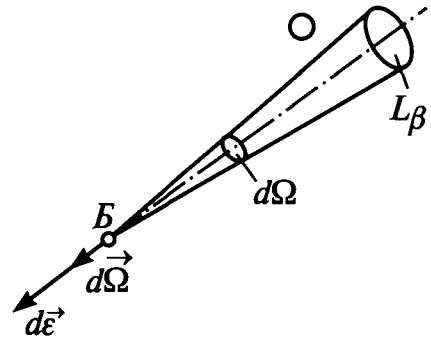


Рис. 1.13. К понятиям вектора телесного угла и светового вектора

1.8. НЕУСТАНОВИВШИЕСЯ ЗРИТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ, ЗРИТЕЛЬНОЕ УТОМЛЕНИЕ И ДИСКОМФОРТ

Адаптация — приспособление глаза к изменившимся условиям освещения. Благодаря механизму адаптации зрительная система обладает способностью работать в широком диапазоне освещенностей зрачка. Различают два вида адаптации — темновую и световую.

Темновая адаптация — приспособление глаза к работе в условиях низких яркостей поля зрения. Темновая адаптация происходит при понижении яркостей в поле зрения, т.е. при переходе от условий дневного зрения к условиям ночного зрения.

Световая адаптация — приспособление глаза к работе в условиях высокой яркости поля зрения. Световая адаптация происходит при повышении яркостей в поле зрения.

Продолжительность темновой адаптации 1–2 ч, световой 5–10 мин.

Процесс адаптации сопровождается фотохимическими и нервными процессами, перестройкой рецептивных полей в сетчатке глаза, изменением диаметра зрачка (зрачковый рефлекс). При яркостях поля зрения до 150–200 кд/м² адаптация определяется в основном фотохимическими и нервными процессами и перестройкой рецептивных полей, роль зрачкового рефлекса невелика. При яркостях поля зрения от 150–200 до 1500 кд/м² фотохимические и нервные процессы становятся второстепенными, а зрачковый рефлекс становится основным фактором, определяющим адаптацию. При яркостях, больших 1500 кд/м², зрачок максимально сужен и глаз быстро утомляется. В основе фотохимических процессов лежит изменение концентрации зрительного пурпура в фоторецепторах сетчатки. Под действием света происходят распад молекул зрительного пигмента фоторецепторов.

При световой адаптации скорость распада зрительного пигмента превышает скорость восстановления. В конце адаптационного периода наступает равновесие. В процессе темновой адаптации скорость реакции восстановления значительно превышает скорость реакции распада зрительного пигмента до тех пор, пока концентрация зрительного пигмента не достигает максимума.

Зрительная индукция. Действие побочных световых раздражителей, приводящее к усилению или ослаблению эффекта прямого раздражителя, называется индукцией. Усиление светового эффекта прямого раздражителя — положительная индукция, ослабление светового эффекта прямого раздражителя — отрицательная индукция. Примером отрицательного индуктивного действия является снижение функции зрения при неравномерном распределении яркости в поле зрения, а также при наличии в поле зрения ярких источников. Последнее принято называть *ослепленностью*.

Снижение зрительных функций при повышенной яркости периферии поля зрения по сравнению с яркостью его центральной части принято объяснять возникновением *вуалирующей пелены*.

Согласно [6] отношение пороговых разностей яркостей при наличии и отсутствии в поле зрения блеского источника

$$(\Delta L_{\text{пор}})_s / \Delta L_{\text{пор}} = (L_{\text{ад}} + \beta) / L_{\text{ад}},$$

где $\Delta L_{\text{пор}}$ — пороговая разность яркости объекта и фона при обнаружении объекта на фоне равномерной яркости; $(\Delta L_{\text{пор}})_s$ — то же при наличии в поле зрения блеского источника; $L_{\text{ад}}$ — яркость адаптации (см. ниже); β — яркость вуалирующей пелены.

Отношение пороговых разностей яркостей при наличии в поле зрения блеского источника $(\Delta L_{\text{пор}})_s$ и при равномерном распределении яркости в поле зре-

ния $\Delta L_{\text{пор}}$ принято называть *коэффициентом ослепленности* [6]:

$$S = (\Delta L_{\text{пор}})_s / \Delta L_{\text{пор}} = 1 + \beta / L_{\text{ад}}. \quad (1.56)$$

Часто пользуются *показателем ослепленности*:

$$P = (S - 1) \cdot 10^3. \quad (1.57)$$

Яркость вуалирующей пелены β , создаваемой точечным излучателем, определяется выражением

$$\beta = m E_{\text{зр}} / \theta^2, \quad (1.58)$$

где m — постоянный коэффициент, зависящий от яркости блеского источника [5]; $E_{\text{зр}}$ — освещенность, создаваемая блеским источником в плоскости зрачка глаза наблюдателя, лк; θ — угол действия блескости (угол между линией зрения и лучом от блеского источника по направлению к глазу наблюдателя), град. При яркости $L = 10^6$ кд/м² (ОП с ЛН, МГЛ и НЛВД) $m = 9,46$; при $5 \cdot 10^3 \leq L \leq 10^6$ кд/м² (ОП с вышеуказанными лампами, перекрытые рассеивателями, ОП с ЛЛ и лампами типа ЛРЛ) $m = 3 \lg L_{\theta} - 8,54$, где L_{θ} — яркость блеского источника в направлении к глазу наблюдателя, кд/м².

Результирующее значение яркости вуалирующей пелены от одновременно действующих блеских источников не подчиняется закону аддитивности. При ЛН [1.5]

$$\beta_{\Sigma} = \left[\sum_{i=1}^n \beta_i^{3/2} \right]^{2/3}, \quad (1.59)$$

где β_i — яркость вуалирующей пелены, создаваемая точечным источником; n — число блеских источников.

Нормирование и расчет показателя ослепленности приведены в разл. 7 и 8.

Другим примером отрицательного индуктивного действия является явление *дискомфорта*, классифицируемое как ощущение неудобства или напряженности, возникающее при неудовлетворительном распределении яркости в освещаемом пространстве [6]. При этом снижение зрительных функций необязательно, нарушаются только условия комфортности зрения, наиболее проявляющиеся со временем. Например длительное пребывание в условиях, вызывающих ощущение дискомфорта, приводит к отвлечению внимания, уменьшению сосредоточенности, а также может привести к зрительному и общему утомлению.

Согласно рекомендациям МКО, количественный критерий субъективного ощущения дискомфорта, вызванного одиночным блеским источником, может быть выражен уравнением

$$G = L_c^a = \omega_c^b / |L_{\text{ад}}^c f(\theta)|, \quad (1.60)$$

где L_c — яркость блеского источника в направлении глаза наблюдателя, кд/м²; ω_c — телесный угол блеского источника, ср; $L_{\text{ад}}$ — яркость окружающего поля адаптации, кд/м²; $f(\theta)$ — функция, в основном определяемая расположением блеского источника; a, b, c — показатели степени, зависящие от методов, принятых для оценки дискомфорта в разных странах.

Значения функции $\varphi(\theta)^{\pi/2}_{\theta_1}$

θ_1 , град	$\varphi(\theta)^{\pi/2}_{\theta_1}$	θ_1 , град	$\varphi(\theta)^{\pi/2}_{\theta_1}$
1	5,76	20	1,36
2	4,76	25	1,06
4	3,75	30	0,812
6	3,25	35	0,681
8	2,72	40	0,482
10	2,38	45	0,378
12	2,11	50	0,266
14	1,88	60	0,130
16	1,69	70	0,050
18	1,51	80	0,037

При совокупном действии n блеских источников суммарное ощущение дискомфорта определяется по формуле

$$G = \left[\sum_{i=1}^n G_i^{1/d} \right]^d \quad (1.61)$$

где d зависит от принятого метода оценки. О дискомфорте см. также в разд. 7 и 8.

Яркость адаптации. Понятие зрительной адаптации часто относят к заключительной фазе адаптационного процесса. В этом случае принято говорить о яркости адаптации. При неравномерном распределении яркости в поле зрения яркость адаптации $L_{ад}$ определяется яркостью равномерного фона $L_{ф}$, для которого $\Delta I_{пор}$ равна $(\Delta I_{пор})_s$ при равномерном поле зрения.

Для полей со схематическим распределением яркости по двум зонам поля зрения — центральной и периферической, представленным на рис. 1.14, яркость адаптации при $\theta_{11} \geq 3 \div 5^\circ$ определяется следующий образом [1.6]:

$$L_{ад} = L_{ц} + 2,5 \cdot 10^{-2} (L_{пер} - L_{ц}) \varphi(\theta)_{\theta_1}^2$$

для $1 \leq L_{пер} / L_{ц} \leq 10$;

$$L_{ад} = L_{ц} + [0,23L_{ц} + 7 \cdot 10^{-3} (L_{пер} - 10L_{ц})] \varphi(\theta)_{\theta_1}^2$$

для $10 < L_{пер} / L_{ц} \leq 100$, где $L_{ц}$ — яркость центральной части поля зрения, кд/м²; $L_{пер}$ — яркость периферической части поля зрения, кд/м²; θ — размер центральной части поля зрения, град.

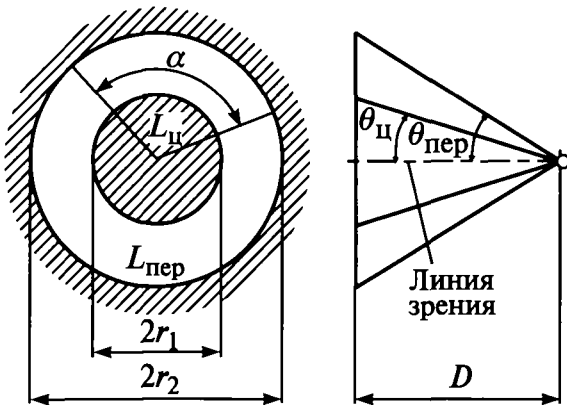


Рис. 1.14. Вид неравнояркого поля зрения

В табл. 1.5 приведены значения функции $\varphi(\theta)^{\pi/2}_{\theta_1}$ для различных начальных углов θ .

Для $L_{пер} / L_{ц} > 1$ ($L_{ц} \leq 100 + 200$ кд/м²; $L_{пер} \leq 1000$ кд/м²) при $0,5^\circ < \theta_{11} < 3 + 5^\circ$

$$L_{ад} = L_{ц} + (L_{пер} - L_{ц}) (1 - K_1) + \beta,$$

где β — яркость вуалирующей пелены, кд/м²; для круглых полей яркость вуалирующей пелены [10] $\beta = 2,81 \cdot 10^{-3} (L_{пер} - L_{ц}) \cdot 2\pi \cdot 1,5 \varphi(\theta)_{\theta_1}^2$ [$\varphi(\theta)$ определяется по табл. 1.5; $L_{ц}$ и $L_{пер}$ — яркости центральной и периферической частей поля зрения, кд/м²]; K_1 — параметр

модели работы зрительной системы, учитывающий индуктивное влияние светлой периферии.

$$K_1 = 0_{ц} / \sqrt{1 + 0_{ц}^2}.$$

Для $L_{пер} / L_{ц} < 1$:

при $0,3^\circ < \theta_{11} < 0,5^\circ$

$$L_{ад} = L_{ц} \cdot 0,5 / \theta_{11} + (L_{пер} - L_{ц}) (1 - K_1) + \beta,$$

при $0,5^\circ < \theta_{11} < 10^\circ$

$$L_{ад} = L_{ц} + (L_{пер} - L_{ц}) K_2;$$

при $\theta_{11} > 10^\circ$

$$L_{ад} = L_{ц}.$$

где K_2 — параметр модели работы зрительной системы, учитывающий индуктивное влияние темной периферии.

$$K_2 = 1 / \sqrt{1 + 0_{ц}^2}.$$

При $\theta_{11} < 0,5^\circ$ и $1 > L_{пер} / L_{ц} > 0,1$ яркость адаптации можно определять по выражению $L_{ад} = L_{ц} + (L_{пер} - L_{ц}) K_2$ [1.7].

1.9. ЗРИТЕЛЬНАЯ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ

Зрительная работоспособность — способность выполнять зрительную работу и поддерживать высокую степень мобилизации зрительных функций. Зрительная работоспособность (ЗР) определяет возможность органа зрения совершать какую-либо работу за определенный промежуток времени и влияет на производительность труда и качество работы, может оцениваться состоянием различных функций: критической частотой слияния мельканий, остротой зрения, быстротой различения, видимостью, временным порогом адиспаронии (см. далее) и т.д.

Для оценки ЗР используется произведение быстроты различения $1/t$ на вероятность P правильного опознания формы кольца Ландольта (по Вестону):

$$\eta = P / t,$$

где t — время различения объекта наблюдения, с.

Орган зрения обладает зрительной инерцией, поэтому зрительное ощущение отстает от светового раздражения, его вызывающего, и не исчезает сразу после прекращения действия светового раздражителя. Источник излучения (поле сравнения) с яркостью, изменяющейся во времени или постоянной по значению, но возникающей кратковременными вспышками, характеризуется эффективной яркостью $L_{\text{эф}}$ [1.8].

Эффективная яркость — яркость источника (поля сравнения) с постоянной яркостью, светлота которого в данный момент равна светлоте источника (поля сравнения) с переменной во времени яркостью. Для определения значения эффективной яркости используют функцию зрительной инерции (функцию затуханий зрительного ощущения) $f(t)$. Эффективную яркость $L_{\text{эф}}$ описывают выражением

$$L_{\text{эф}} = c \int_0^{\infty} L_t f(t) dt, \quad (1.62)$$

где c — коэффициент пропорциональности; L_t — мгновенное значение яркости.

При $L_t = L = \text{const} = L_{\text{эф}}$

$$1/c = t_{\text{эф}} = \int_0^{\infty} f(t) dt,$$

где $t_{\text{эф}}$ — *время инерции зрения* (время сохранения зрительного ощущения).

Зрительную инерцию предложено описывать следующей функцией [1.8]:

$$f(t) = \exp(-t/t_{\text{эф}}). \quad (1.63)$$

На основании экспериментальных исследований порогового блеска проблесковых источников излучения, проведенных Блонделем и Реем, определена функция зрительной инерции, которая имеет вид

$$f(t) = t_{\text{эф}}^2 / (t + t_{\text{эф}})^2. \quad (1.64)$$

Таким образом, функцию зрительной инерции принимают или за экспоненту, или за гиперболу второго порядка.

Если сетчатка освещается световыми импульсами, то мелькания перестают восприниматься при некоторой их частоте. *Критическая частота слияния мельканий* ν_k — это такая частота, при которой мелькания перестают быть заметными как по светлоте, так и по цвету. Критическая частота слияния мельканий характеризует лабильность (функциональную подвижность) органа зрения, т.е. скорость его реакции на световое раздражение. Критическая частота слияния мельканий описывается уравнением [6]

$$\nu_k = 12 \lg L + 35. \quad (1.65)$$

которое применимо для яркостей $L \leq 500 + 1000 \text{ кл/м}^2$ и углового размера источника $\omega \geq 0,01 \text{ ср}$.

Закон Тальбота описывает зрительное ощущение, возникающее под действием мельканий. Если некоторая площадь сетчатки возбуждается световым стимулом, яркость которого периодически меняется с частотой,

превышающей критическую частоту слияния мельканий, то вызываемое зрительное ощущение тождественно тому, которое создается постоянной яркостью, равной средней яркости за период.

Для серии проблесков с постоянной яркостью L при частоте проблесков $\nu > \nu_k$ эффективная яркость

$$L_{\text{эф}} = L t_1 / (t_1 + t_2), \quad (1.66)$$

где t_1 — время проблеска; t_2 — время темного промежутка между двумя смежными проблесками.

Блеск — величина, применяемая при визуальном наблюдении ИС, когда наблюдатель не воспринимает размеры источника. Блеск измеряется освещенностью, которую создает источник в плоскости, перпендикулярной лучам и проходящей через зрачок наблюдателя.

Эффективный блеск

$$E_{\text{эф}} = \frac{1}{t_{\text{эф}}} \int_0^t E(t) f(t) dt, \quad (1.67)$$

где $t_{\text{эф}}$ — время инерции; $E(t)$ — функция изменения во времени блеска; $f(t)$ — функция зрительной инерции; t — время проблеска.

Зависимость времени инерции $t_{\text{эф}}$ от яркости фона $L_{\text{ф}}$ [6] имеет вид

Яркость фона $L_{\text{ф}}$, кл/м ²	$3,2 \cdot 10^{-5}$	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1	10	10^2	10^3
$t_{\text{эф}}$, с	0,2	0,2	0,19	0,167	0,134	0,1	0,066	0,01	0,05

Зависимость $t_{\text{эф}}$ от эффективного блеска $E_{\text{эф}}$ имеет вид

$E_{\text{эф}}$, 10^8 лк	2	5	10	50	10^2	$5 \cdot 10^2$	10^3	10^4
$t_{\text{эф}}$, с	0,2	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,045	0,032

Стробоскопический эффект — кажущееся изменение или прекращение движения предмета, освещаемого светом, периодически изменяющимся с определенной частотой. Если вращающийся белый диск с черным сектором освещать вспышками, то сектор будет казаться неподвижным при $\nu_{\text{всп}} = \nu_{\text{вращ}}$, медленно движущимся в обратную сторону при $\nu_{\text{всп}} > \nu_{\text{вращ}}$, медленно движущимся в ту же сторону при $\nu_{\text{всп}} < \nu_{\text{вращ}}$. Где $\nu_{\text{всп}}$ и $\nu_{\text{вращ}}$ — соответственно частоты вспышек и вращения диска. Стробоскопический эффект наблюдается при освещении вращающегося или периодически перемещающегося предмета, причем поток ИС изменяется с определенной частотой от минимального до максимального значения (например, ЛЛ, питаемая от сети частотой 50 Гц).

Быстрота различения (скорость обнаружения) — величина, обратная минимальному времени $t_{\text{мин}}$, в течение которого объект должен находиться в поле зрения для того, чтобы наблюдатель заметил объект. Время различения принято измерять в секундах. Быстрота различения описывается выражением [6]

$$1/t_{\text{мин}} = a + b \lg I_{\text{ф}}. \quad (1.68)$$

Значения параметров a и b приведены в табл. 1.6.

Значения параметров a и b

Объект	Парамстр	
	a	b
Черный кружок на белом фоне при $\alpha = 2,4'$; $K = 0,95$; $L_{\phi} = (5 + 3,2) \cdot 10^{-3}$ кд/м ²	-7	63
Две черные полосы на белом фоне при $\alpha = 1,8'$; $K = 0,95$; $L_{\phi} = 5 + 300$ кд/м ² (рис. 1.15, а)	-53	100
То же при наличии мешающих изображений (рис. 1.15, б, в)	16	20



Рис. 1.15. К определению быстроты различения

Приближенно быстроту различения можно определить по номограмме, приведенной в [6]. Номограмма построена для быстроты различения порогового контраста колец Ландольта при вероятности различения $P = 0,7$.

Адиспарония — невосприятие неравенства яркости или цвета двух контрастных соприкасающихся полей. Исследование адиспаронии проводится с использованием как ахроматического, так и хроматического теста [1.9]. Тест представляет собой круг размером 1–1,5°, состоящий из двух цветных или серых полей, расположенных на белом фоне. После предварительной адаптации к установленной яркости фона наблюдатель фиксирует точку в центре круга на разделе двух полей. Временной порог адиспаронии определяется временем от момента фиксирования наблюдателем тест-объекта до момента нарушения четкой границы между контрастирующими полями при $K \geq 0,5$ или до исчезновения различия сравниваемых полей с контрастом $K \leq 0,2$. Временной порог адиспаронии измеряется в секундах и характеризует функциональную устойчивость зрения.

Интенсивная и длительная зрительная работа или воздействие неблагоприятных факторов условий труда приводит к временному снижению ЗР, т.е. к зрительному утомлению.

Отношение видимости объектов в начале (после окончания периода врабатываемости) и конце рабочего периода определяется выражением

$$V_0 / V_t = 1 + a_V t = c_t,$$

Значения коэффициента a_V и отношения c_8/c_4

Параметр	Точные работы			Работы малой точности и грубые
	$1,5' > \alpha$	$3' > \alpha \geq 1,5'$	$5' \geq \alpha \geq 3'$	
a_V	1,15	0,1	0,075	0,05
c_8/c_4	1,1	1,1	1,1	1,05

где a_V — коэффициент пропорциональности; t — продолжительность рабочего периода. Значение коэффициента a_V для 4-часового рабочего периода и отношение $c_t = c_8 / c_4$ при 8- и 4-часовой продолжительности работы приведены в табл. 1.7.

Снижение временного порога адиспаронии t_a выражается такой же, как и для видимости, прямолинейной зависимостью, в которой коэффициент пропорциональности $a_t = 0,9a_V$ при $K \geq 0,5$ и $a_t = 1,1a_V$ при $K \leq 0,2$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1.1. Луизов А.В. Инерция зрения. М.: Оборонгиз. 1961.
- 1.2. Брейнард Г.К., Гликман Г.Л. Биологическое влияние света на здоровье и поведение человека. Светотехника. 2001. № 1.
- 1.3. Ван ден Бельд Г. Освещение и самочувствие человека. Светотехника. 2004. № 6.
- 1.4. Ван Боммель В. Зрительные, биологические и эмоциональные аспекты освещения. Результаты последних исследований и их значение для светотехнической практики. Светотехника. 2005. № 1.
- 1.5. Излучение ультрафиолетовое. Величины и единицы. Термины и определения. Руководящий технический материал. РТМ. 3-381-73. 1974.
- 1.6. Гершун А.А. Световое поле от поверхностных излучателей равномерной и неравномерной яркостей. Тр. ГОИ. 1928. Т. 4. Вып. 38.
- 1.7. Мясоедова Е.И. Исследование закона суммации яркости вализирующей пелены. Светотехника. 1968. № 11.
- 1.8. Епанешников М.М., Сидорова Т.Н., Севера В. Адаптации при неравномерном распределении яркости в поле зрения. Светотехника. 1964. № 10.
- 1.9. Никитина Е.А. Обнаружение объектов при неравномерном распределении яркости в поле зрения. Безопасность и гигиена труда. М.: Профиздат. 1980.
- 1.10. Рабкин Е.Б. Об условнорефлекторном изменении относительной устойчивости хроматического зрения. Проблемы физиологической оптики. М.: Изд-во АН СССР. 1955. Т. 11.

ИЗМЕРЕНИЯ И МЕТРОЛОГИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

2.1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ПОНЯТИЯ ИЗМЕРЕНИЙ И МЕТРОЛОГИИ

Современная отечественная терминология в области измерений и метрологии регламентирована рекомендациями Межгосударственного Совета по стандартизации, метрологии и сертификации РМГ 29-99 [2.1], в которых учтены принятые Международной организацией по стандартизации (ИСО, ISO) термины и определения в измерениях и метрологии [2.2].

Термины **измерение** и **метрология** являются основополагающими для любой области измерений, в том числе и для рассматриваемой в настоящем разделе.

Измерение — это совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу физической величины, обеспечивающих нахождение соотношения (в явном или неявном виде) измеряемой величины с ее единицей и получение значения этой величины.

Физической величиной (величиной) именуется одно из свойств физического объекта (физической системы, явления или процесса), общее в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них. **Размером величины** является ее количественная определенность, не зависящая от выбора единицы измерения. При заданном размере величины выбор единицы предопределяет значение величины, т.е. позволяет получить лишь различные значения одного и того же «количества» этой величины.

Метрология — это наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

Современная метрология включает три составляющие: теоретическую, законодательную и практическую (прикладную) метрологию [2.1].

Теоретическая метрология — это раздел метрологии, предметом которого является разработка фундаментальных основ метрологии.

Законодательная метрология — это раздел метрологии, предметом которого является установление обязательных технических и юридических требований по применению единиц физических величин, эталонов, методов и средств измерений, направленных на обеспечение единства и необходимой точности измерений в интересах общества.

Практическая (прикладная) метрология — это раздел метрологии, предметом которого являются вопросы практического применения разработок теоретической метрологии и положений законодательной метрологии.

Одним из важнейших условий нормального функционирования всех отраслей экономики, науки, медицины, обороны и пр. является обеспечение единства измерений физических величин.

Единством измерений именуется их состояние, характеризующееся тем, что их результаты выражаются в узаконенных единицах, размеры которых в установленных пределах равны размерам единиц, воспроизводимых первичными эталонами, а погрешности результатов измерений известны и с заданной вероятностью не выходят за установленные пределы.

Обеспечение единства измерений — это деятельность метрологических служб, направленная на достижение и поддержание единства измерений в соответствии с законодательными актами, а также правилами и нормами, установленными государственными стандартами и другими нормативными документами по обеспечению единства измерений.

Государственной системой обеспечения единства измерений именуется комплекс нормативных документов межрегионального и межотраслевого уровней, устанавливающих правила, нормы, требования, направленные на достижение и поддержание единства измерений в стране (при требуемой точности), утверждаемых Государством страны*.

Служба, создаваемая в соответствии с законодательством для выполнения работ по обеспечению единства измерений и для осуществления метрологического контроля и надзора, называется метрологической службой.

Примечание. Различают государственную метрологическую службу, метрологические службы государственных органов управления, метрологические службы юридических лиц.

В 1993 г. принят Закон РФ «Об обеспечении единства измерений» [2.3]. До того, по существу, не было законодательных норм в области метрологии. Правовые нормы устанавливались постановлениями Правительства. По сравнению с положениями этих постановлений Закон установил немало нововведений — от терминологии до лицензирования метрологической деятельности в стране. Установлено четкое разделение функций государственного метрологического контроля и государственного метрологического надзора; пере-

* С марта 2004 г. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии.

смотрены правила калибровки, введена добровольная сертификация средств измерений и др. [2.3, 2.4].

Средством измерений (СИ) именуется техническое средство, предназначенное для измерений, имеющее нормированные метрологические характеристики, воспроизводящее и (или) хранящее единицу физической величины, размер которой принимают неизменным (в пределах установленной погрешности) в течение известного интервала времени.

Каждое СИ предназначено для применения в определенном диапазоне возможных изменений измеряемой величины, именуемом **диапазоном измерений СИ**, т.е. областью значений величины, в пределах которой нормированы допускаемые пределы погрешности СИ. Каждое СИ имеет шкалу, вид которой зависит от технического исполнения данного средства. В соответствии с [2.1] шкалой средства измерений считается часть показывающего устройства, представляющая собой упорядоченный ряд отметок вместе со связанной с ними нумерацией. Понятие шкалы СИ непосредственно связано с представлением о градуировочной характеристике СИ, являющейся зависимостью между значениями величин на выходе и входе СИ, составленной в виде таблицы, графика или формулы. Процедура определения градуировочной характеристики СИ именуется **градуировкой средства измерений**. Как правило, ее производят при первичном выпуске данного СИ в обращение.

По истечении определенного промежутка времени эксплуатации СИ необходимо убедиться в сохранности в определенных пределах его метрологических характеристик, основной из которых является **погрешность СИ**, представляющая собой разность между показанием СИ и истинным (действительным) значением измеряемой физической величины. Этой цели служат **поверка и калибровка СИ**, выполняемые через установленный для данного типа СИ межповерочный (межкалибровочный) интервал.

Поверочный средст измерений (поверкой) называется установление органом государственной метрологической службы (или другим официально уполномоченным органом, организацией) пригодности СИ к применению на основании экспериментально определяемых метрологических характеристик и подтверждения их соответствия установленным обязательным требованиям.

Калибровка СИ — это совокупность операций, устанавливающих соотношение между значением величины, полученным с помощью данного СИ, и соответствующим значением величины, полученным с помощью эталона, с целью определения действительных метрологических характеристик этого СИ.

Калибровка заменила ранее существовавшую в нашей стране ведомственную поверку и метрологическую аттестацию СИ. В отличие от поверки, которую осуществляют органы государственной метрологической службы, калибровка может проводиться любой метрологической службой (или физическим лицом) при наличии надлежащих условий для квалифицированного выполнения этой работы. Калибровка — добровольная операция, и ее может выполнить также и метрологиче-

ская служба самого предприятия. Это еще одно отличие от поверки, которая обязательна и подвергается контролю со стороны органов государственной метрологической службы [2.4].

Средства измерений делятся на рабочие и эталонные. **Рабочее средство измерений** предназначено для выполнения **технических измерений**, т.е. не связанных с передачей размера единицы другим средствам измерений. Это означает, что оно не может служить более точным СИ при выполнении поверки или калибровки СИ аналогичного назначения.

Для выполнения **эталонных измерений** предназначены **эталон** разных точностных рангов. Эталонные измерения регламентируются **поверочными схемами** для СИ.

Поверочной схемой (для средств измерений) называется нормативный документ, устанавливающий соподчинение средств измерений, участвующих в передаче размера единицы от эталона рабочим средствам измерений (с указанием методов и погрешности при передаче).

Поверочные схемы разделяют на **государственные** и **локальные**. **Государственные поверочные схемы** распространяются на все СИ данного вида, применяемые в стране. **Локальные поверочные схемы** предназначены для метрологических органов регионов, отраслей, ведомств; распространяются они также и на СИ подчиненных им предприятий. Кроме того, может составляться и локальная схема на СИ, используемые на конкретном предприятии. Все локальные поверочные схемы должны соответствовать требованиям соподчиненности, которая определена государственной поверочной схемой. Государственные поверочные схемы разрабатываются научно-исследовательскими институтами Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии РФ, держателями государственных эталонов.

Эталон единицы физической величины представляет собой средство измерений (или комплекс средств измерений), предназначенное для воспроизведения и (или) хранения единицы и передачи ее размера нижестоящим по поверочной схеме средствам измерений и утвержденное в качестве эталона в установленном порядке.

Эталоны классифицируют как первичные, вторичные и рабочие.

Первичный эталон обеспечивает воспроизведение единицы с наивысшей в стране (по сравнению с другими эталонами той же единицы) точностью. Первичный эталон, признанный решением уполномоченного на то государственного органа в качестве исходного на территории государства, именуется **государственным первичным эталоном**. С этим определением совпадает понятие национального эталона. Последний термин применяют в случаях проведения сличения эталонов, принадлежащих отдельным государствам, с международным эталоном или при проведении так называемых круговых сличений эталонов ряда стран.

Международным служит эталон, принятый по международному соглашению в качестве международной

основы для согласования с ним размеров единиц, воспроизводимых и хранимых национальными эталонами.

Международные эталоны хранит и поддерживает Международное бюро мер и весов. Важнейшая задача его деятельности состоит в систематических международных сличениях национальных эталонов крупнейших метрологических лабораторий разных стран с международными эталонами, а также в сличениях национальных эталонов между собой, что необходимо для обеспечения достоверности, точности и единства измерений как одного из условий международных экономических связей. Сличению подлежат эталоны как основных величин Международной системы единиц, так и производных. Установлены определенные периоды сличения.

От первичного эталона размер единицы передается вторичному эталону, а от него, в соответствии с поверочной схемой, — рабочим (разрядным) эталонам.

Таким образом, поверку и калибровку СИ соответствующего точностного разряда следует считать основной процедурой передачи размера единицы от более точного к менее точному СИ, т.е. процедурой эталонного измерения.

При технических измерениях фотометрических и радиометрических величин в качестве СИ наибольшее распространение получили меры, измерительные преобразователи, в том числе первичные (датчики), и измерительные приборы, а эталоны выполняются в виде измерительных установок.

Мерой физической величины (или просто мерой) служит средство измерений, предназначенное для воспроизведения и (или) хранения физической величины одного или нескольких заданных размеров, значения которых выражены в установленных единицах и известны с необходимой точностью.

Измерительным преобразователем является техническое средство с нормированными метрологическими характеристиками, служащее для преобразования измеряемой величины в другую величину или измерительный сигнал, удобный для обработки, хранения, дальнейших преобразований, индикации или передачи. **Первичным измерительным преобразователем** является измерительный преобразователь, на который непосредственно воздействует измеряемая физическая величина, т.е. первый преобразователь в измерительной цепи измерительного прибора (установки) [2.1].

Измерительный прибор — это средство измерений, предназначенное для получения значений измеряемой физической величины в установленном диапазоне. К измерительным приборам относятся и **компараторы**, предназначенные для сравнения измеряемых величин с величинами, воспроизводимыми мерами.

Совокупность функционально объединенных мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей и других устройств, предназначенная для измерения одной или нескольких физических величин и расположенная в одном месте, называется **измерительной установкой**. Соответственно, измерительную установку, применяемую для поверки, именуют **поверочной уста-**

новкой, а входящую в состав эталона — эталонной установкой.

К применению в Российской Федерации допускаются типы СИ, прошедшие соответствующие испытания и утвержденные Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии РФ. Утвержденные удостоверяется сертификатом.

Утвержденные типы СИ регистрируются в Государственном реестре (Госреестре) СИ, допускаемых к применению в РФ. Перечень СИ разбит на 13 групп, одна из них, к которой принадлежат применяемые в светотехнике СИ световых и энергетических величин оптического излучения, называется «оптические и оптико-физические измерения».

Структура описания в Госреестре типа СИ выглядит следующим образом: регистрационный номер (в скобках старый замененный номер); наименование типа СИ; номер сертификата об утверждении типа СИ (в скобках старый замененный номер); срок действия сертификата; наименование, местонахождение изготовителя; дополнительные сведения в случае необходимости; назначение типа СИ; основные технические характеристики.

Наличие того или иного СИ является условием необходимым, но не только явно недостаточным, а и не первоочередным. Прежде всего следует выбрать метод измерений, затем подобрать или разработать подходящий СИ, учесть условия выполнения измерений и, наконец, продумать методику выполнения измерений.

Физическое явление или эффект, положенное в основу измерений, называется **принципом измерений**, а прием или совокупность приемов сравнения измеряемой физической величины с ее единицей в соответствии с реализованным принципом измерений есть **метод измерений**.

Метод измерений, при котором значение величины определяют непосредственно по показывающему средству измерений, именуется **методом непосредственной оценки**. Быстрота процесса измерения методом непосредственной оценки часто делает его незаменимым для практического использования, хотя точность измерения бывает обычно ограниченной.

Метод измерений, в котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой, называется **методом сравнения с мерой**. Если при этом результирующий эффект воздействия измеряемой величины и меры на прибор сравнения (компаратор) доводят до нуля, то мы имеем дело с **нулевым методом измерений**. Если же измеряемая величина сравнивается с однородной величиной, имеющей известное значение, незначительно отличающееся от значения измеряемой величины, и при этом измеряется разность двух величин, то речь идет о **дифференциальном методе измерений**. Этот метод позволяет получить результаты с высокой точностью даже при использовании относительно грубых средств для измерения разности. Однако реализация этого метода возможна только при условии наличия меры требуемой точности. Это во многих случаях оказывается легче, чем изготовить СИ высокой точности для измерений методом непосредственной оценки.

Метод сравнения с мерой, в котором измеряемую величину замещают мерой с известным значением величины, широко известен и именуется методом **измерений замещением**.

Практически все применяемые в светотехнике методы измерений являются **бесконтактными**, т.е. основаны на том, что чувствительный элемент средства измерения не приводится в контакт с объектом измерения.

Условия измерений могут быть нормальными, рабочими и предельными.

Нормальные условия характеризуются совокупностью значений или областей значений влияющих величин, при которых изменением результата измерений пренебрегают вследствие его малости. Условия измерений, при которых значения влияющих величин находятся в пределах рабочих областей, именуются рабочими условиями. Предельные условия характеризуются экстремальными значениями измеряемой и влияющих величин, которые средство измерений может выдерживать без разрушений и ухудшения его метрологических характеристик.

Погрешностью результата измерения (погрешностью измерения) является характеристика результата измерения, представляющая собой отклонение найденного значения измеряемой физической величины от ее истинного (действительного) значения. При этом необходимо упомянуть о часто встречающейся путанице в понятиях «точность» и «погрешность» измерения.

Точность измерений — одна из характеристик качества измерения, отражающая близость к нулю погрешности результата измерения. Это означает, что высокая точность измерений соответствует малым погрешностям, и наоборот. Количественно точность может быть выражена обратной величиной модуля относительной погрешности. Например, если погрешность измерений равна $10^{-2}\% = 10^{-4}$, то точность равна 10^4 .

Поэтому расхожее выражение, например, «измерение с точностью до долей процента» неправильно, а правильно говорить о погрешности в доли процента.

С середины 70-х годов прошлого века рядом метрологов из разных стран был поднят дискуссионный вопрос о наличии или отсутствии истинного значения измеряемой физической величины. Утверждалось, что истинное значение всегда остается неизвестным, и результат измерения следует выражать получаемым значением с оценкой не погрешности, а неопределенности результатов измерения, приемлемой для решаемой измерительной задачи.

Поэтому Рабочей группой Международного бюро мер и весов были разработаны рекомендации по составлению отчета о неопределенностях, который давал бы правила выражения неопределенности результатов измерения и использовался бы службами стандартизации, калибровки, аккредитации лабораторий и метрологии. В этом руководящем документе [2.5] неопределенностью результатов измерения рекомендовано считать параметр, связанный с результатом измерений и характеризующий рассеяние значений, которые достаточно обоснованно могли бы быть приписаны измеряемой величине. Параметром может быть, например,

стандартное отклонение (или число, кратное ему), или половина интервала, имеющего указанный уровень доверия.

Таким образом, в последние годы при оценке точности эталонов, участвующих в международных сравнениях, российские метрологи вынуждены представлять результаты воспроизведения единиц с оценкой не погрешности, а неопределенности результатов измерений в соответствии с Руководством [2.5].

Независимо от способа оценки точности результата измерений (указанием погрешности или неопределенности) достоверность его зависит не только от погрешности СИ, но и от правильности выбранной методики выполнения измерений (МВИ), представляющей собой установленную совокупность операций и правил при измерении, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений с гарантированной точностью в соответствии с принятым методом. Обычно МВИ регламентируется каким-либо нормативно-техническим документом. Именно МВИ в значительной степени влияет на такие важнейшие элементы обеспечения единства измерений, как их воспроизводимость и сходимость.

Воспроизводимостью (результатов) измерений считается близость результатов измерений одной и той же величины, полученных в разных местах, разными методами, разными средствами, разными операторами, в разное время, но приведенных к одним и тем же условиям измерений (температуре, давлению, влажности и др.). Воспроизводимость измерений может характеризоваться средними квадратическими погрешностями сравниваемых рядов измерений.

Сходимостью (результатов) измерений считается близость друг к другу результатов измерений одной и той же величины, выполненных повторно одними и теми же средствами, одним и тем же методом в одинаковых условиях и с одинаковой тщательностью. Сходимость измерений двух групп многократных измерений может характеризоваться размахом, средней квадратической или средней арифметической погрешностью.

2.2. ОСНОВЫ ИЗМЕРЕНИЙ СВЕТОВЫХ (ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ) И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ (РАДИОМЕТРИЧЕСКИХ) ВЕЛИЧИН

2.2.1. Классификация и терминология

Во избежание разночтений и многозначностей в толковании терминов и определений последние заимствованы из Международного светотехнического словаря [2.6] и гл. 1 настоящего справочника.

Все основные виды световых приборов (светильники, проекторы, прожекторы, сигнальные и специальные лампы), предназначенные для освещения, облучения, световой сигнализации и проекции, являются генераторами **оптического излучения**, т.е. электромагнитного излучения какого-то источника в интервале длин волн от 1 нм до 1 мм, охватывающего ультрафиолетовый (УФ), видимый и инфракрасный (ИК) участки

спектра [2.6]. Необходимые сведения об оптическом излучении приведены в п. 1.1.

При рассмотрении **оптического излучения** светового прибора как **объекта измерения** «базовой» измеряемой физической величиной считается **лучистая энергия** (или **поток излучения**) (см. п. 1.5).

Измерение энергетических величин, характеризующих излучение, называется радиометрией [2.6]. Измерение энергетических величин, характеризующих оптическое излучение, называется **оптической радиометрией** [2.7]. Измерение величин, характеризующих излучение по произвольному им зрительному опущению (в условиях, определяемых известными соглашениями), именуется **фотометрией**. (В русской литературе термин «фотометрия» часто применяется в более широком смысле как наука об измерении оптического излучения) [2.6]. Оптическая радиометрия как область измерений охватывает, кроме фотометрии, и такие основные виды измерений, как **колориметрия**, **спектрофотометрия** и **спектрорадиометрия** излучения сложного спектрального состава, а также источников квазимонохроматического (светоизлучающих диоды) и монохроматического (лазеры) излучения.

Колориметрией называется измерение цвета, основанное на свойствах глаза и выполняемое в соответствии с международными соглашениями. **Спектрофотометрией** называется, в основном, измерение отношения двух спектральных величин, характеризующих излучение или образец. **Спектрорадиометрия** имеет дело, главным образом, с измерением спектральной плотности энергетической величины, характеризующей излучение [2.6].

Физические величины, характеризующие оптическое излучение, делятся на две системы — энергетическую и световую (см. п. 1.3). Поэтому градуировка СИ, предназначенных для измерений величин той или другой системы, осуществляется в соответствующих единицах.

Особое место в оптической радиометрии занимают измерения оптических и светотехнических характеристик тел (см. п. 1.4). Поскольку световой прибор помимо излучателя содержит осветительную арматуру, в состав которой входят отражающие, преломляющие и комбинированные системы и оптические элементы, то приходится измерять показатель преломления, коэффициенты отражения, пропускания, яркости, индикатрису рассеяния, а иногда и поляризационные характеристики оптических сред и материалов. Наибольшее распространение получили **рефлектометрия** (отражение, рассеяние, пропускание) и **рефрактометрия** (преломление).

2.2.2. Технические измерения в светотехнике

Как правило, технические измерения выполняются методом непосредственной оценки с использованием серийных измерительных приборов различного назначения, основу которых составляют **фотометры** (СИ световых величин) или **радиометры** (СИ энергетических величин). Структурная схема такого рабочего СИ универсальна: его основными частями являются соответ-

ственно фотометрическая или радиометрическая измерительная головка и электронный блок обработки и регистрации измерительной информации.

Измерительная головка в общем случае содержит входной оптический элемент, воспринимающий измеряемую величину, и следующий за ним приемник излучения, играющий роль первичного измерительного преобразователя оптической величины в функционально связанный с ней аналоговый электрический сигнал (краткие сведения о приемниках энергии излучения содержатся в п. 1.2, а подробное описание современных типов приемников излучения приведено в учебном пособии [2.8]). Чаще всего, оптическими элементами служат различные диафрагмы и оптические фильтры, а формирующие ночки линзы, объективы, телескопы и пр. входят в состав излучателя светового прибора. Если сохраняется аналоговая форма сигнала, то отсчет результата измерения производится по шкале стрелочного прибора. Однако чаще электрический сигнал с выхода приемника излучения аналого-цифровым преобразователем (АЦП) преобразуется в цифровую форму, а результат отображается на индикаторе или экране дисплея регистрирующего устройства. Измерительные головки фотометров и радиометров детально рассмотрены в монографии [2.7]. Чаще в них применяются приемники излучения фотонной группы [2.9] (фоторезисторы, фотодиоды, фотоэлектронные умножители), а приемники излучения тепловой группы находят применение в средствах эталонных измерений [2.7].

2.3. ФОТОМЕТРИЯ

Световые величины и единицы, их современные определения, соотношения между ними, обозначения и геометрическая трактовка наглядно представлены в табл. 2.1, заимствованной из [2.7, 2.10].

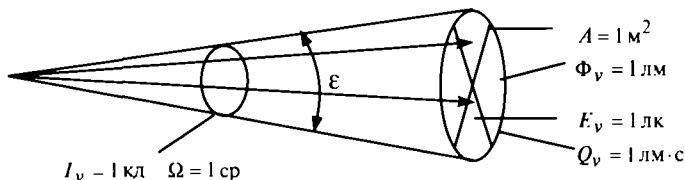
2.3.1. Методы и средства фотометрии непрерывного широкополосного излучения

Методы измерений световых величин, характеризующих непрерывное широкополосное оптическое излучение, представлены в табл. 2.2 с указанием используемой аппаратуры, основных вариантов измерений, расчетов и областей применений [2.11].

В третьем столбце табл. 2.2 перечислены методы измерений и основные принципы, на которых они базируются. В четвертом столбце табл. 2.2 кратко перечислены используемая аппаратура, основные варианты измерений и расчетов. При реализации методов (точнее, методик выполнения измерений, которые традиционно в литературе именуется методами) и принципов измерения приходится варьировать способы изменения значений световых (фотометрических) величин. Эти способы приведены в табл. 2.3, а в табл. 2.4 описаны компараторы, получившие в фотометрии широкое распространение в средствах пространственного (геометрического) формирования требуемой измеряемой величины и при использовании метода замещения измеряемых объектов эквивалентными им более точными (эталонными) объектами [2.11].

Световые величины и единицы

Величина	Сила света	Яркость	Световой поток	Световая энергия	Освещенность
1	2	3	4	5	6
Единица	Кандела	Кандела на квадратный метр	Люмен	Люмен-секунда	Люкс
Сокращенное обозначение	кд	кд·м ⁻²	лм	лм·с	лк
Определение	Кандела — сила света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частоты $540 \cdot 10^{12}$ Гц, энергетическая сила света которого в этом направлении составляет $1/683$ Вт/ср	Кандела на квадратный метр яркость равномерно светящейся плоской поверхности площадью 1 м^2 в перпендикулярном ей направлении при силе света 1 кд (эталонный излучатель)	Люмен — световой поток, испускаемый точечным источником в телесном угле 1 ср при силе света 1 кд	Люмен-секунда — испускаемая или получаемая световая энергия в течение 1 с при световом потоке, равном 1 лм	Люкс — освещенность поверхности площадью 1 м^2 при равномерно распределенном по ней световом потоке падающего на нее излучения, равном 1 лм
Символ	I_v	I_v	Φ_v	Q_v	E_v
Соотношение с другими величинами	Основная величина	$I_v = I_v / A$	$\Phi_v = I_v \Omega$	$Q_v = \Phi_v \tau$	$E_v = \Phi_v / A$
Пояснения	Ω — телесный угол; ϵ — угол конуса светового потока; индекс v означает «визуальный»				



К современным фотометрам как к рабочим средствам измерений предъявлены жесткие требования по точности определения освещенности, яркости и светового потока непрерывного излучения: погрешность на уровне 3–5%.

Выполнение этих требований привело к необходимости соблюдения предложенных Международной комиссией по освещению (ТС2-37) условий построения современных прецизионных фотометрических головок и фотометров (табл. 2.5). При этом основной задачей прецизионного приборостроения для световых измерений оказалось создание фотоэлектрических фотометров различного назначения (люксметров, яркометров и др.) с высоким качеством коррекции спектральной характеристики фотометрических головок этих приборов под относительную спектральную световую эффективность ($V(\lambda)$). Погрешность, вызванная отклонением спектральной характеристики от $V(\lambda)$, неразрывно связана со спектральным составом измеряемого излучения и

как следствие, с назначением прибора. В качестве примера на рис. 2.1 представлен современный распределительный фотометр (гониофотометр) фирмы LMT., предназначенный для измерений пространственного распределения силы света ИС или ОП в заданных направлениях. По полученным распределениям рассчитывается полный световой поток источника или прибора.

Важность и значимость создания именно прецизионной фотометрической головки и высокоточного фотометра на ее основе подтверждает рис. 2.2, на котором показаны основные решаемые этими средствами фотометрические задачи, а также характеристики головки, подлежащие определению при ее калибровке.

Наиболее значимыми источниками основной погрешности фотоэлектрической головки являются неточности определения ее спектральной характеристики, а также нелинейность характеристики преобразования в диапазоне измерений и зонная характеристика фотодиода. Источниками дополнительной системати-

Методы измерений световых величин

Измеряемая величина	Основные условия измерений	Методы измерения, основной принцип	Используемая аппаратура, основные варианты измерений и расчетов	Основные допущения, условия измерений	Область применения
Сила света	В одном направлении	Метод светомерной скамьи — измерение силы света через освещенность на удаленных расстояниях l от источника света с применением закона квадратов расстояний	Фотометрическая (светомерная) скамья. Фотометры разных устройств, люксметры. Измерения при постоянной освещенности с визуальным или фотоэлектрическим фотометром; измерения при переменной освещенности. Основная расчетная формула: $I = EI^2$	$l \geq (5+10)d$, где d — линейные размеры источника	ЛН, РЛ и ОП
Сила света	То же	Телесцентрический метод измерения силы света через освещенность на малых расстояниях путем выделения световых лучей заданного направления с установленным допуском в пределах телесного угла $\Delta\omega$	Аналитическая оптическая система (ОС) (преломляющая, отражающая, катодиоптрическая) с большим световым отверстием охватывает световые лучи заданного направления (в пределах телесного угла $\Delta\omega$) от всех элементов светящего тела. Диафрагма D в задней фокальной плоскости ОС пропускает от каждого светящего элемента всего источника световой поток в пределах $\Delta\omega$: $\Phi_x = I_x \tau \Delta S' / f^2,$ где I_x — сила света источника; τ и f — коэффициент пропускания и фокусное расстояние ОС; $\Delta S'$ — площадь диафрагмы D	ОС имеет одинаковые значения τ во всех точках. Светящее тело можно перемещать вдоль оси, пока ОС улавливает все лучи и заданном телесном угле	ЛН, ОП
Сила света	В разных направлениях	Метод распределительного фотометра — измерение силы света через измерения освещенности в разных точках шаровой (полушаровой) поверхности, условно окружающей ИС	Распределительные фотометры (РФ) разной конструкции	Выбор конструкции РФ связан со свойствами ИС и приемника излучения, возможностью вращения обоих, погрешностью измерений от введения зеркал (поляризация света, неоднородность отражения и пр.)	ЛН и РЛ, ОП и проекторы
Сила света	В разных направлениях, во внелабораторных условиях	Измерение силы света через измерения освещенности переносными приборами	Люксметры $I = EI^2$		ОП в производственных, уличных и подобных им условиях
Световой поток	На площади ограниченных размеров	Расчет по измерениям освещенности в данной точке	Люксметры $\Phi = ES$		
Световой поток	В выбранном телесном угле от ω до 4π	Метод распределительного фотометра. Расчет по измерениям освещенности в различных точках шаровой поверхности, условно окружающей ИС, центр которого совмещен с центром этого условного шара	Распределительный фотометр данного типа l (разной конструкции). Общее выражение для полного светового потока источника $\Phi = I^2 \int_0^{2\pi} \int_0^\pi E_i \sin \epsilon d\varphi d\epsilon,$ где φ и ϵ — углы поворота в горизонтальной и вертикальной плоскостях. E_i измеряют в выбранных точках, через равные или произвольные углы или равные телесные углы или же путем непрерывно-	Направления измерений ориентируются относительно шаровых поясов, расположенных перпендикулярно вертикальной оси источника и определяющих телесные углы, внутри которых заключен световой поток, падающий на данный пояс. Выбор	ЛН и РЛ

Измеряемая величина	Основные условия измерений	Методы измерения, основной принцип	Используемая аппаратура, основные варианты измерений и расчетов	Основные допущения, условия измерений	Область применения
			го перемещения приемника по винтовой линии. Основные расчетные формулы: $\Phi = 2\pi l^2 \left[\sum_0^{180} E_i \left(\frac{\cos e_i}{2} - \frac{\cos e_{i+1}}{2} \right) \right],$ где члены в скобках — «угловые коэффициенты» — телесные углы при выбранных линейных углах e_i ; расчет при измерениях для n равных телесных углов	направлений и точек определяется заданной точностью измерений и характером пространственного распределения силы света у данного источника	
Световой поток	Полный световой поток внутри угла 4π	Метод относительных измерений в интегрирующем фотометре (светомерном шаре). Измерение освещенности стенки шара в месте, защищенном от прямых лучей ИС	Светомерный шар $\Phi = \Phi_0 n / n_0,$ где Φ_0 — световой поток светоизмерительной лампы; n — показание фотометра при испытанном ОП; n_0 — показание фотометра при светоизмерительной лампе	Идеально диффузная краска, отсутствие посторонних предметов внутри шара	ЛП и РЛ, ОП
Яркость	Самосветящиеся поверхности равномерной яркости	По измерениям освещенности от площадки S определенных размеров на расстоянии l	Люксметры и фотометры различного устройства $L_x = E l^2 / S$		ЛЛ, ОП и др.
Яркость	Самосветящиеся поверхности малых размеров равномерной яркости	По освещенности оптического изображения	Люксметры различного устройства $L_x = E l^2 / (S_0 \tau),$ где S_0 — площадь отверстия у вспомогательной линзы; τ коэффициент пропускания линзы; l — расстояние от плоскости отверстия до приемной поверхности люксметра	—	ЛН, модели черного тела
Яркость	Поверхности разных размеров, светящиеся прямым и отраженным светом	Сравнение с известной яркостью L_0 по методу замещения	Яркмеры разных устройств $L_x = L_0 a_x / a_0,$ где a_x и a_0 — отсчеты по прибору при измерениях L_x и L_0 соответственно	При окрашенных поверхностях, т.е. при излучении в узком спектральном интервале, градуировка прибора должна быть выполнена в соответствующем диапазоне длин волн	Телескопические трубки, киноэкраны, различные покрытия, светоизлучающие диоды и др.
Яркость	Яркость диффузной освещенной поверхности	Косвенное измерение по освещенности E и коэффициенту яркости β	Люксметры $L_x = \beta_x E / \pi$	—	—

Изменения значений световых величин

Основная закономерность	Характеристики значений световых величин					
	Принцип действия, определение	Расчетная формула	Характеристика изменений освещенности	Границы практической применимости	Основные источники погрешности	Способы уменьшения и учета возможных погрешностей
Закон квадратов расстояний	Освещенность E_0 в точке поверхности (расположенной перпендикулярно по отношению к падающим на нее лучам света), обратно пропорциональна квадрату расстояния l от этой точки до источника с силой света I и размером, малым по сравнению с l	$E_0 = I / l^2$	Изменяется плавно, но неравномерно. Спектральный состав излучения в пределах видимого спектра не изменяется	Расстояние должно превышать линейные размеры источника света более чем в 10 раз	Поглощение воздуха, рассеянный свет, неточные размеры ИС по сравнению с l	Измерения в одинаковых условиях; защита от рассеянного света; поправочные коэффициенты для учета размеров и формы ИС
Закон косинусного изменения освещенности	Освещенность E_α (в точке поверхности) при падении световых лучей под углом α с нормалью к поверхности изменяется пропорционально косинусу этого угла	$E_\alpha = E_0 \cos \alpha$	Изменяется плавно, но неравномерно. Спектральный состав излучения, отраженного освещенной поверхностью, может изменяться		Изменения с углом освещения коэффициента яркости диффузной приемной поверхности в визуальных приборах. Изменение с углом чувствительности фотоэлектрических приемников в фотоэлектрических приборах	
Кубическая косинусная зависимость	Освещенность E'_α в точке, удаленной от основания перпендикуляра l , опущенного на поверхность из центра ИС, пропорциональна третьей степени косинуса угла α , под которым световые лучи падают на поверхность в данной точке	$E'_\alpha = E_0 \cos^3 \alpha$	Изменяется плавно, но неравномерно. Спектральный состав излучения, отраженного освещенной поверхностью, может изменяться	—	Изменения с углом освещения коэффициента яркости диффузной приемной поверхности в визуальных приборах. Изменение с углом α чувствительности фотоэлектрических приемников в фотоэлектрических приборах	—

Основная закономерность	Характеристики значений световых величин					
	Принцип действия, определение	Расчетная формула	Характеристика изменений освещенности	Границы практической применимости	Основные источники погрешности	Способы уменьшения и учета возможных погрешностей
Закон Тальбота (прерывистого освещения)	<p>Световой поток, изменяющийся периодически (с частотой, превышающей некоторое критическое значение, за пределами которого исчезает мелькание, вызванное перерывами или изменениями в условиях освещения), эквивалентен постоянному световому потоку, усредненному за период</p> $\bar{\Phi} = \frac{1}{T} \int \Phi(t) dt,$ <p>и воспринимается глазом как поток, уменьшенный в определенное число раз. Практически данный способ изменения освещенности на приемном устройстве реализуется путем применения жестких металлических дисков, имеющих секторные отверстия с точно измеренными углами и вращающихся от электродвигателя</p>	$\tau = n\alpha/360^\circ$, где n — число отверстий; α — угловой размер отверстия	Изменение E ступенчатое, без изменения спектрального состава излучения независимо от внешних условий работы (температуры, влажности и т.д.)	Наименьшее значение $\tau = 0,1 + 0,005$ определяется реальными размерами и погрешностью изготовления и измерений секторных отверстий в диске. Недопустимо применение данного способа с источниками световой поток которых периодически изменяется. Измерительные цепи фотоэлектрических приемников должны быть линейны и иметь подходящую постоянную времени	Неточность изготовления угловых отверстий, неточность измерений секторных отверстий, отраженный свет от краев отверстий. Косвенное влияние на окружающую аппаратуру вибрации двигателя и всего устройства	—
Нсизбирательное пропускание	<p>Прозрачные поглощающие среды (стекло, кварц и др.), пропускающие свет без рассеяния и изменения спектрального состава излучения, применяются после их проверки на общий коэффициент пропускания для ослабления светового потока в определенное число раз. Применяются стекла марки НС или сетчатые светофильтры, для которых имеются свои ограничения</p>	$\tau = \Phi_\tau / \Phi_0$, где Φ_0 — световой поток, падающий на поверхность образца; Φ_τ — прошедший сквозь него световой поток	Изменение E ступенчатое, спектральный состав излучения изменяется более или менее сильно в зависимости от оптической плотности стекла и его спектрального коэффициента поглощения	Наименьшие значения τ следует ограничивать из-за существенных искажений спектрального состава	Зависимость от температуры, многократные отражения между поверхностью стекла и другими оптическими элементами, спектральная избирательность в значениях τ , запеллене поверхности стекла при измерениях, геометрия падающего пучка света (направленный или диффузный)	Поддержание постоянства температуры в помещении, расположение стекол вдали от оптических элементов, расположение под небольшим углом по отношению к падающему световому пучку (при условии измерения под таким же углом), применение стекол в условиях аналогичных условиям проведения аттестации

Основная закономерность	Характеристики значений световых величин					
	Принцип действия, определение	Расчетная формула	Характеристика изменений освещенности	Границы практической применимости	Основные источники погрешности	Способы уменьшения и учета возможных погрешностей
Отражение	Отражение света полированными прозрачными диэлектрическими поверхностями определяется формулами Френеля, при наклонном падении светового пучка отраженный свет частично поляризуется. Для непрозрачных отражателей коэффициент отражения зависит от состояния полировки, частоты падающего света, плоскости поляризации и угла падения света	$\rho = \Phi_{\rho} / \Phi_0$, где Φ_{ρ} - отраженный световой поток; Φ_0 - падающий световой поток; $\rho_0 = \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^2$; $\rho_{\perp} = \left[\frac{\sin(\varphi_1 - \varphi_2)}{\sin(\varphi_1 + \varphi_2)} \right]^2$; $\rho_{\parallel} = \left[\frac{\operatorname{tg}(\varphi_1 - \varphi_2)}{\operatorname{tg}(\varphi_1 + \varphi_2)} \right]^2$; где n - показатель преломления; φ_1 и φ_2 - углы падения и преломления	Ступенчатое изменение освещенности	Изменение спектрального состава отраженного света. Изменение распределения яркости в отраженном пучке. Поляризация отраженного света	Зависимость чувствительности приемника от состояния поляризации света. Зависимость общего коэффициента отражения от углов падения света и от взаимного расположения поверхностей. Неоднородность свойств отражающей поверхности, искажающая спектр и распределение яркости в отраженном пучке	Применение ослабителя из двух отражающих пластин, взаимно перпендикулярных друг другу и работающих при одинаковых углах падения света
Изменение освещенности поверхности или сечения светового пучка	Освещенность от равномерно светящейся площадки одинаковой яркости I по всей поверхности пропорциональна площади A этой поверхности. Световой поток, равномерно распределенный в пучке некоторого сечения, пропорционален площади A этого сечения. Изменение площади A изменяет освещенность или световой поток	$E = LA / l^2$; $\Phi = kA$	Изменение освещенности плавное, но неравномерное	Минимальные размеры диафрагмы определяются чувствительностью измерительной установки, ошибками из-за дифракции, точностью измерений A ; наибольшие допустимые размеры зависят от равномерности распределения яркости и соотношения наибольшего размера площадки и расстояния до освещаемой поверхности l	Неравномерность распределения яркости в пучке или по поверхности. Ошибки измерительных диафрагм, изменяющих выделенную площадь	Проверка равномерности распределения яркости, введение поправок. Проверка и учет ошибок измерительных диафрагм

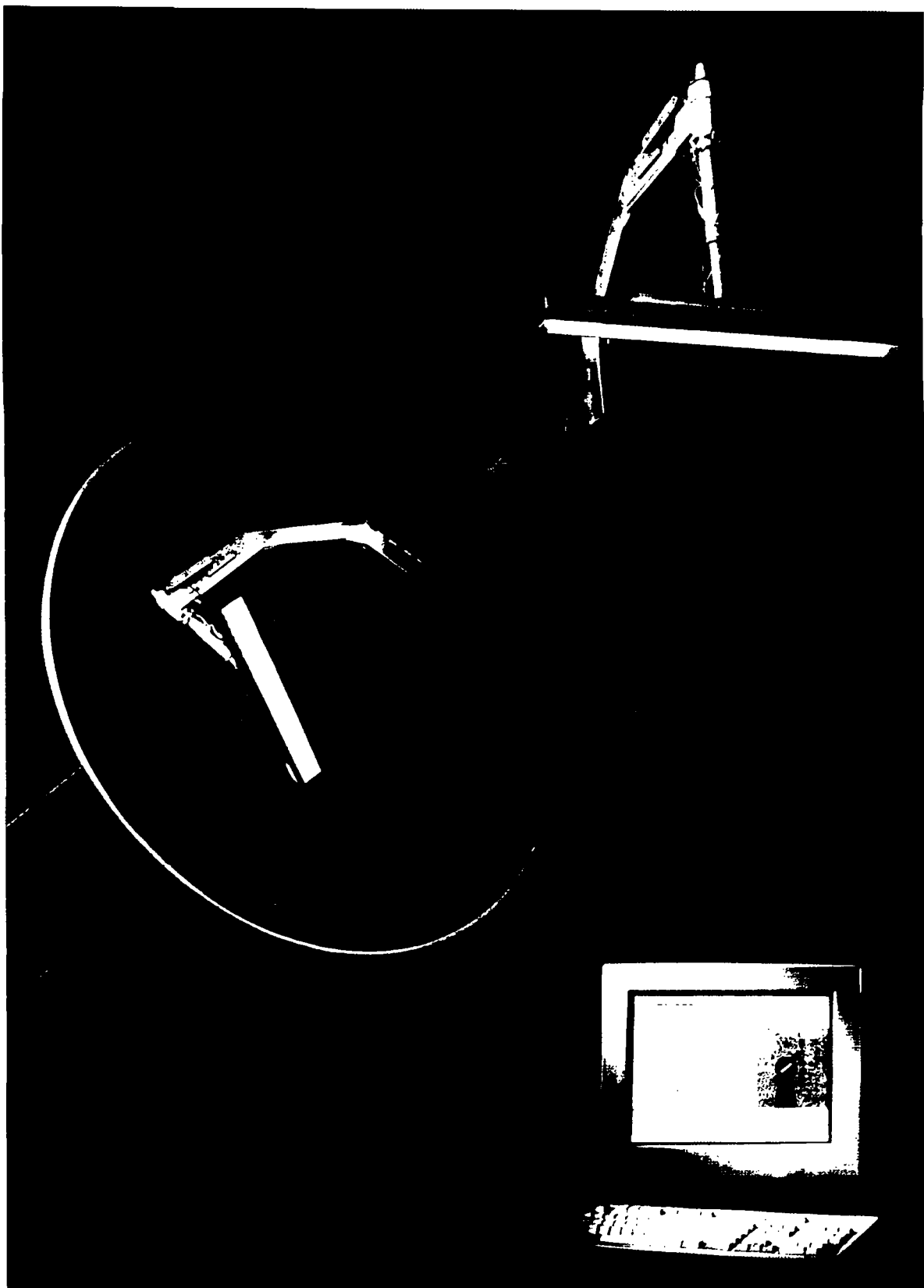


Рис. 2.1. Распределительный фотометр (гопнофотометр)

Светоизмерительные приборы — компараторы

Наименование	Определение, устройство, принцип действия	Технические характеристики, размеры, приспособления, комплектующие устройства	Назначение, область применения
Фотометрическая (светомерная) скамья	Основной принцип действия - применение закона квадратов расстояний. Основная часть — направляющие для размещения и передвижения по ним ИС и приемных устройств, подлежащих измерениям или участвующих в них. Система защитных щитов, диафрагм, занавесок предохраняет рабочее поле от рассеянного света. Обеспечение необходимой точности измерений требует большой механической жесткости всей конструкции	Длина лабораторных образцов составляет от 0,5 до 12–24 м, цена деления шкалы 1 мм, может быть пониженный отсчет. Снабжается: приемным устройством — зрительным или фотоэлектрическим фотометром; оптико-механическими приспособлениями для точной установки источников и приемников света и отсчета расстояний. Выпускаемая скамья ФС-М имеет длину 3 м, цену деления 1 мм	Измерения силы света (в одном направлении), освещенности, яркости при испытаниях ИС и приемников излучения. Измерения коэффициентов пропускания и др.
Распределительный фотометр (гониофотометр) (рис. 2.1)	Распределительный фотометр (РФ) - поворотный прибор, обеспечивающий возможность измерений силы света источника и ОП в разных направлениях, в пределах четырех или двух квадрантов. В разных конструкциях использованы принципы: неподвижного источника и поворота приемной системы, неподвижных источников и приемного устройства и вращающейся системы зеркал, сочетания поворотов источника и приемной части. В современных РФ перемещения и установка углов автоматизированы. Требуются большая механическая жесткость поворотных частей и высокая точность установки и отсчета углов	Длина рабочего плеча 2–7 м; цена деления круговых лимбов обычно в пределах 1–2° с погрешностью отсчета не более 0,2–0,5°	Измерения пространственного распределения силы света ИС или ОП в заданных направлениях, расчет на его основе полного светового потока
Гониофотометр	Поворотный прибор для определения индикатрис коэффициента яркости рассеивающих материалов. Обеспечивает в разных конструкциях поворот освещенного образца относительно приемного устройства, или вращение приемной части вокруг образца, или сочетание обоих поворотов поочередно и совместно	—	Измерение индикатрис коэффициента яркости образцов диффузного и смешанного отражения и пропускания, определение коэффициентов общего отражения и пропускания для рассеивающих свет материалов
Светомерный (фотометрический) шар	Полый шар, окрашенный изнутри однородной белой матовой краской (обычно на основе сернистого бария), равномерно рассеивающей свет. Сравнение световых потоков ИС и ОП, поочередно помещаемых в шар, основано на теоретическом положении о пропорциональности этим потокам освещенности на стенке шара, защищенной от прямых лучей источника. Практическое использование шара для указанных целей осложняется нарушением начальных допущений теории (идеальность свойства краски, отсутствие посторонних предметов и отверстий в шаре и др.) и требует учета этих нарушений и введения поправок	Диаметры лабораторных шаров в зависимости от размеров излучателей, подлежащих измерениям, от 0,4 до 5 м. Площади отверстий в измерительном шаре в сумме не должны превышать 0,01 общей площади поверхности шара	Измерение светового потока ИС и ОП сравнением со световым потоком светоизмерительных ламп по методу замещения

Фотометрические головки и приборы для световых измерений

Наименование фотометрической головки или прибора	Тип ОЭИП	Оптические преобразователи	Наличие систем термостабилизации	Электронные блоки	Чувствительность или шкала
$V(\lambda)$ — скорректированный приемник	Кремниевый фотодиод	$V(\lambda)$ -фильтр	—	—	А/лк
Фотометр	То же	То же	+	Усилитель-преобразователь, блок индикации	А/лк, В/лк, лк, кд/м ²
Фотометрическая головка	То же	То же	+	Усилитель	А/лк, В/лк
Люксметр	То же	$V(\lambda)$ -фильтр, диффузный рассеиватель	+	Усилитель-преобразователь, блок индикации	лк
Яркомер	То же	$V(\lambda)$ — фильтр, объектив	+	Усилитель-преобразователь, блок индикации, видеоискатель	кд/м ²



Рис. 2.2. Фотометрические измерительные задачи

ческой погрешности могут являться температурный и временной дрейф (деградация) ее чувствительности. Важнейшей метрологической характеристикой корректирующего фильтра служит спектральный коэффициент пропускания. Неточность его определения непосредственно входит в качестве составляющей в основную погрешность фотометра, а температурные и временные вариации так же, как и в случае фотодиода, порождают дополнительную погрешность. Поэтому выбору этих элементов и оптимизации моделей для отработки технологических процессов изготовления светофильтров были предпосланы разработка методик и установок для выполнения перечисленных метрологических исследований фотодиодов и фильтров, а также

выполнение большой серии отборочных экспериментов во Всероссийском НИИ оптико-физических измерений (ВНИИОФИ).

Объектами сравнения служили несколько типов наиболее часто используемых отечественных кремниевых фотодиодов и широко распространенные в международной практике фотодиоды фирм ЮДТ (США) и Хамамацу (Япония). Все исследования проводились на автоматизированной аппаратуре ВНИИОФИ.

Прецизионная фотометрическая головка состоит из шести частей (рис. 2.3):

- кремниевого фотодиода;
- жидкостного корректирующего фильтра;
- системы апертурной и входных диафрагм;

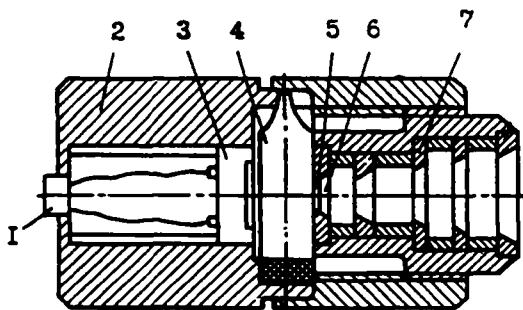


Рис. 2.3. Конструкция прецизионной фотометрической головки: 1 — электрический разъем; 2 — корпус; 3 — фотодиод; 4 — кювета жидкостного фильтра; 5 — диффузный рассеиватель; 6 — апертурная диафрагма; 7 — набор входных диафрагм

- внутреннего корпуса;
- системы термостабилизации;
- внешнего корпуса.

Приемником излучения обычно служит кремниевый фотодиод S 1227-1010BQ. $V(\lambda)$ корректирующий фильтр выполнен на основе стеклянной кюветы диаметром 30 мм с матированным входным окном и заполнен раствором сложных солей хрома и меди. Апертура выполнена в виде литографической диафрагмы (~3 или 6 мм в диаметре) и устанавливается перед матированным входным окном кюветы, вплотную к ней. Кремниевый фотодиод, кювета корректирующего фильтра и набор диафрагм крепятся во внутреннем корпусе, показанном на рис. 2.3.

Система термостабилизации выполнена на базе алюминиевого цилиндра с обмоткой из нихрома. Система поддерживает температуру (28–32)°С. Нестабильность поддержания температуры 0,05% на градус при условии, что температура в лаборатории (21 ± 2)°С. Для питания системы термостабилизации необходимо напряжение 15 В постоянного тока при токе 0,5 А. Погрешность калибровки головки не превышает 0,5% относительно первичного эталона ВНИИОФИ. Коррекция не хуже, чем $F^1 = 4\%$ (МКО публ. № 53). На рис. 2.4 представлена фотография головки и ее основных элементов.

Современные промышленные фотометры различного назначения, допущенные к применению на территории Российской Федерации как приборы, прошед-

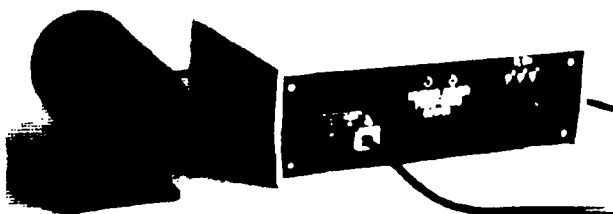


Рис. 2.4. Прецизионная фотометрическая головка в сборе: 1 — головка; 2 — электронный блок термостатирования и усиления

шие испытания на утверждение типа и включенные по состоянию на 2002 г. в Государственный реестр средств измерений, представлены в табл. 2.6 [2.7].

Отечественный многоканальный универсальный фотометр — радиометр «Аргус» разработан для контроля параметров оптического излучения солнечных имитаторов при ускоренных испытаниях, количественной оценки деструктивного и регулирующего воздействия УФ-излучения на иммунокомпетентные клетки, контроля световых характеристик дорожных покрытий, дорожных знаков, светофоров, контроля характеристик световой среды на производстве и опасного воздействия УФ-излучения и, наконец, мониторинга озонового слоя Земли. Этот прибор (рис. 2.5) — высокоточное средство для эталонных и технических измерений.



Рис. 2.5. Многоканальный универсальный фотометр — радиометр «Аргус»

Многоканальные радиометры позволяют измерять освещенность в диапазоне (1–200000) лк и яркость в диапазоне (1–200000)кд/м², а также коэффициент пульсаций в диапазоне (1–100)%.

Принцип действия многоканальных радиометров «Аргус» основан на преобразовании потока оптического излучения в выделяемых спектральных диапазонах в пропорциональный непрерывный электрический сигнал, который преобразуется АЦП в цифровой код. Результаты измерений отображаются на цифровом табло индикаторного блока.

Приборы предназначены для работы в диапазоне температур (10–35)°С. Дополнительная погрешность измерений за счет изменения температуры окружающей среды в рабочем диапазоне температур не более 0,3% на градус.

Предел допускаемого значения основной относительной погрешности измерения освещенности составляет 8%.

Предел допускаемого значения основной относительной погрешности измерения яркости не превышает 10%.

Современные промышленные фотометры

Наименование прибора	Организация, выполнившая испытания	Назначение прибора	Фирма-изготовитель	Регистрац. номер Государственного реестра СИ РФ, ТУ
Фотометр цифровый ТЕС 0693	ФГУП «ВНИИОФИ»	Предназначен для измерения освещенности, создаваемой естественным и искусственным освещением, и для измерения эквивалентной яркости протяженных объектов	ИПФ «Тензор», г. Черновцы, Украина	№ 16695-97 ТУ 14256766.002-94
Люксметр цифровый ТЮ 1403	ФГУП «ВНИИОФИ»	Предназначен для измерения освещенности, формируемой естественным и искусственным освещением	ПАООТ «Вибратор», г. Санкт-Петербург, Россия	№ 16851-97 ТУ 4485-0152-05764771-96
Прибор комбинированный (люксметр/ УФ-радиометр), модель «ТКА-01/3»	ФГУП «ВНИИОФИ»	Предназначен для измерения оптического излучения: освещенности; – энергетической освещенности в УФ-области спектра	НТП «ТКА», г. Санкт-Петербург, Россия.	№ 16172-97, ТУ 4437-002-16796024-96
Люксметр/яркометр, модель «ТКА-04/3»	ФГУП «ВНИИОФИ»	Предназначен для измерения освещенности, яркости самосветящихся объектов	НТП «ТКА», г. Санкт-Петербург, Россия	№ 16898-97 ТУ 4437-003-16796024
Люксметр «ТКА-Люкс»	ФГУП «ВНИИОФИ»	Предназначен для измерения освещенности	НТП «ТКА», г. Санкт-Петербург, Россия	№ 20040-00, ТУ 4437-005-16796024
Многоканальный радиометр «АРГУС»	ФГУП «ВНИИОФИ»	Предназначен для измерения параметров УФ, видимого и ИК оптического излучения	ФГУП «ВНИИОФИ», г. Москва, Россия	№ 15560-02 ТУ 4381-001-0582749-99
«АРГУС 01»	ФГУП «ВНИИОФИ»	Блок для измерения освещенности	ФГУП «ВНИИОФИ», г. Москва, Россия	№ 15560-02 ТУ 4381-001-0582749-99
«АРГУС 12»	«РОСТЕСТ МОСКВА»	Люксметр/яркометр	ФГУП «ВНИИОФИ», г. Москва, Россия	№ 15560-02
«АРГУС 02»	«РОСТЕСТ МОСКВА»	Блок для измерения яркости	ФГУП «ВНИИОФИ», г. Москва, Россия	№ 15560-02
«АРГУС 07»	«РОСТЕСТ МОСКВА»	Блок для измерения коэффициента пульсаций	ФГУП «ВНИИОФИ», г. Москва, Россия	№ 15560-02
Люксметр типа TESTO 0500	ГЦИ СИ ВНИИМ им. Д.И. Менделеева	Предназначен для измерения освещенности, формируемой естественным и искусственным светом	Фирма TESTO, Германия	№ 17269-98 НТД фирмы

Предел допускаемого значения относительной погрешности измерения коэффициента пульсации не превышает 10%.

Вид индикации — на жидких кристаллах, напряжение питания — 12 В постоянного тока.

Погрешность коррекции под относительную спектральную световую эффективность не превышает 5% для фотометрической головки «Аргус 12» и 6% для остальных фотометрических головок. Погрешность калибровки по источнику типа А не превышает 5%. нели-

Технические и метрологические характеристики портативного люксметра РОCKET-LUX2 и яркомера типа L1000 фирмы LMT

Обозначение составляющей погрешности	Наименование характеристики	Составляющая погрешности, %	
		люксметр	яркомер
f_1	$V(\lambda)$ – коррекция	<2,5%	<3%
U	УФ-«хвост» спектральной чувствительности	<0,1%	<0,1%
R	ИК-«хвост» спектральной чувствительности	<0,1%	<0,1%
f_2	Пространственная (косинусная) коррекция люксметра Погрешность установки направления измерения для яркомера Влияния окружающего светового поля	<1,5%	<2% для 3 и 1 угл. град <0,5%
f_3	Нелинейность функции отклика	<0,1% ± 1% последнего разряда	<0,15% ± 1% последнего разряда
f_4	Погрешность цифровой индикации дисплея	<0,55%	<0,6%
α_0	Температурный коэффициент	< 0,1%/°C	< -0,05%/°C
f_7	Погрешность модуляции света	<0,1%	<0,1%
f_8	Влияние поляризации		<0,4%
f_{11}	Погрешность установки фотометрической головки люксметра Погрешность фокусировки яркомера	<0,1%	<0,15%
f_{ges}	Суммарная погрешность	<5% (Класс А) <7% (Класс В)	<7,5% (Класс А)

нейность функции отклика не хуже, чем 3% во всем диапазоне измерений, погрешность косинусной коррекции составляет не более 4% в диапазоне (0–85)°.

Фирма LMT (Германия) выпускает современные, высококачественные люксметры и яркомеры. Люксметр типа «РОCKET-LUX2» имеет несколько модификаций, отличающихся по диапазону измерений:

вариант 1А – (0,1–1999,9) лк;

вариант 2А – (10–200000) лк;

вариант 1В – (0,01–199,99) лк;

вариант 2В – (1–19999) лк.

Яркомер типа L1000 имеет диапазон измерений (0,0001–2 · 10⁷) кд/м².

Технические и метрологические характеристики люксметра и яркомера приведены в табл. 2.7 [2.7].

На фотографиях рис. 2.6, 2.7 приведены в качестве примеров общие виды фотометра ТЕС 0693 и яркомера L1000.



Рис. 2.6. Фотометр цифровой ТЕС 0693

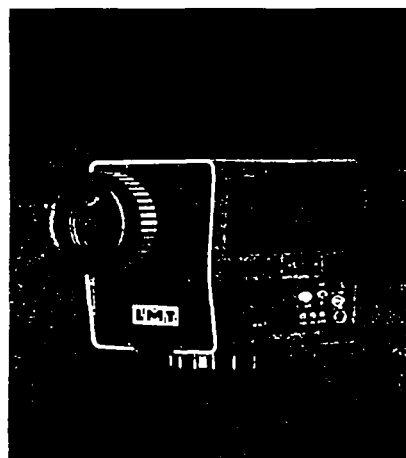


Рис. 2.7. Яркомер фирмы LMT типа L1000

В настоящее время все более широкое применение при измерениях яркости находят приборы на основе камеры с ПЗС-матрицей в сочетании с портативным компьютером, что позволяет получать объемную картину сканированных изображений освещенной поверхности [2.12].

2.3.2. Методы и средства фотометрии импульсного широкополосного излучения*

Нормативно-технической базой, регламентирующей методы измерения электрических параметров и параметров излучения газоразрядных источников высокоинтенсивного оптического излучения импульсного действия (импульсных ламп), является межгосударственный стандарт — ГОСТ 30831-2002, введенный в действие 01.07.2003 г. (взамен ранее действовавшего ГОСТ 22466.0-4).

Измеряемыми величинами являются освечивание θ [кд·с], пиковая $I_{\text{пик}}$ [кд] и средняя $I_{\text{ср}}$ [кд] силы света импульсных ламп. Их определяют посредством измерений световой экспозиции, пиковой или средней освещенности, создаваемой лампой на определенном расстоянии, и последующих вычислений.

Энергетические и световые величины, характеризующие вспышку (импульс), приведены в табл. 1.3 настоящего справочника.

При выполнении измерений применяют калиброванный фотометр (желательно люксметр или регистрирующий прибор с фотометрической головкой, преобразующей освещенность) в соответствии с ГОСТ 16465 и ГОСТ 8.023. Лампа, параметры которой измеряют, должна находиться на оптической оси фотометрической скамьи. При измерениях лампу следует помещать в испытательную камеру, обеспечивающую ее защиту от влияния внешних электрических и магнитных полей и посторонних источников света. Отражение света от стенок испытательной камеры и размещенных в ней деталей не должно влиять на результаты измерений; отверстие для выхода излучения из испытательной камеры должно обеспечивать распространение излучения лампы в заданном телесном угле.

Два последовательно установленных на фотометрической скамье экрана должны обеспечивать прохождение только прямого света от лампы вдоль оптической оси в пределах апертуры измеряемого пучка и не вносить дополнительного рассеяния света. Требование к количеству экранов не является жестким; важно, чтобы оно было достаточным для выполнения условий проведения измерений. Приемная поверхность фотометрической головки должна находиться на оптической оси. Расстояние l в метрах от светящегося тела лампы до приемной поверхности фотометрической головки измеряют с погрешностью $\pm 1\%$.

По полученному показанию регистрирующего прибора и значению чувствительности фотометрической головки определяют соответствующее значение светового параметра:

$$\theta = H L^2; I_{\text{пик}} = E_{\text{пик}} L^2; I_{\text{ср}} = E_{\text{ср}} L^2,$$

где: H — экспозиция, лк·с; $I_{\text{пик}}$ — пиковая сила света, кд; $E_{\text{пик}}$ — пиковая освещенность, лк; $I_{\text{ср}}$ — средняя сила света, кд; $E_{\text{ср}}$ — средняя освещенность, лк.

Значение погрешности измерения световых параметров импульсных ламп Δ с вероятностью не менее 0,95 рассчитывают по формуле:

$$\Delta = \pm 1,1 \sqrt{\Delta_0^2 + \Delta_c^2 + \Delta_{\text{н}}^2 + \Delta_{\text{л}}^2 + \Delta_{\text{н}}^2 + 2\Delta_L^2 + \eta\Delta_{\text{н}}^2},$$

где: Δ_0 — основная погрешность фотометра для измерения излучения источника типа А по ГОСТ 7721, $\leq \pm 10\%$; Δ_c — погрешность, обусловленная отклонением относительной спектральной чувствительности фотометра от относительной световой эффективности по ГОСТ 8.332, $\leq \pm 10\%$; $\Delta_{\text{л}}$ — погрешность, обусловленная отклонением от линейности характеристики преобразования, $\leq \pm 2\%$; $\Delta_{\text{н}}$ — погрешность, обусловленная применением нейтральных ослабителей света, $\leq \pm 3\%$; $\Delta_{\text{н}}$ — погрешность измерительного прибора; Δ_l — погрешность измерения расстояния, $\leq \pm 1\%$; $\Delta_{\text{н}}$ — погрешность, обусловленная неточностью установления режима питания, $\leq \pm 5\%$; η — коэффициент влияния погрешности установления и поддержания режима питания лампы на погрешность измерения светового параметра.

Значение относительной погрешности измерения находится в пределах $\pm 15\%$ с вероятностью 0,95.

В качестве средства измерений световых параметров рекомендован импульсный фотометр Ф-005. Он предназначен для измерений E с двумя пределами измерений $10^{-1} - 2 \cdot 10^4$ лк и $10^{-3} - 10^{-1}$ лк с погрешностями соответственно 5 и 15% и для измерений H с двумя пределами измерений $10^{-1} - 10^3$ лк·с и $10^{-2} - 10^{-1}$ лк·с с нормируемой погрешностью 5% в первом диапазоне и не нормируемой во втором. Прибор при измерении H работает при длительностях импульсов светового потока от $5 \cdot 10^{-5}$ до $2 \cdot 10^{-2}$ с, следующих с частотой повторения < 1 Гц (при измерениях E частота повторения импульсов 100 Гц).

Приемником излучения в фотометрической головке служит кремниевый фотодиод площадью 1 см^2 с направленной под $V(\lambda)$ спектральной чувствительностью. Угол поля зрения фотометрической головки около 10° . При измерениях H в диапазоне $10^{-2} - 10^{-1}$ лк·с применяются дополнительные поглотители в 10 и 100 раз с погрешностью до 3%. Регистрирующим прибором служит цифровой вольтметр.

2.3.3. Обеспечение единства измерений световых (фотометрических) величин

Мировой уровень точности технических измерений таких световых величин, как освещенность и яркость, создаваемых источниками непрерывного излучения, характеризуется погрешностью (3–5)%. В России до начала XXI века эта погрешность находилась в пределах от 5 до 25%. Для калировки и поверки рабочих люксметров и яркометров с погрешностью измерений (3–5)% необходимо воспроизводить единицы силы све-

* В отечественной литературе сохранился и часто встречается термин «импульсная фотометрия».

та или светового потока, по крайней мере, с погрешностью не хуже, чем 0,25%, и использовать приборы первого класса точности.

Поэтому измерение силы света, освещенности, яркости, светового потока различных естественных и искусственных излучателей с целью их сертификации и дальнейшей эксплуатации потребовало организации рациональной системы обеспечения единства измерений в фотометрии при современных уровнях точности.

До 2004 г. в Российской Федерации обеспечение единства измерений световых (фотометрических) величин регламентировалось Государственной поверочной схемой с возглавлявшим ее Государственным первичным эталоном единицы силы света — канделя (ГОСТ 8.023-90), охватывавшей находившиеся в обращении 8–10 тыс. светоизмерительных ламп, 40–50 тыс. люксометров и 2–3 тыс. светоизмерительных приборов различного назначения.

Повышение точности воспроизведения Государственным первичным эталоном единиц физических величин в фотометрии и радиометрии позволило пересмотреть ГОСТ 8-023 с целью приближения потребителя к эталонному уровню погрешностей измерений, а также усовершенствовать систему обеспечения единства измерений при производстве и применении новых ИС со сложным спектральным составом, отличающимся от спектров излучения ЛН. Новая Государственная поверочная схема для средств измерений световых величин, характеризующих непрерывное и импульсное оптическое излучения сложного спектрального состава, введена на территории Российской Федерации в 2003 г.

Разработанный во ВНИИОФИ в 2000–2002 гг. и хранимый в этом институте Государственный первичный эталон воспроизводит единицы силы света в размерах от 35 до 500 кд и светового потока в размерах от 50 до 1500 лм. Размеры этих единиц по назначению передаются в три ветви Государственной поверочной схемы, возглавляемые каждой своим рабочим эталоном нулевого (0) разряда: единиц силы света и освещенности непрерывного излучения; единицы светового потока непрерывного излучения; единицы яркости. Основы эталонов 0 разряда составляют светоизмерительные лампы светового потока и силы света.

Использование рабочих эталонов этих единиц 1-го разряда обеспечивает передачу их размеров рабочим средствам измерений при их калибровке и поверках с помощью как светоизмерительных ламп, так и эталонных фотометров, градуированных в соответствующих единицах, что обычно осуществляется в специализированных светотехнических лабораториях.

Достаточно подробные сведения об отечественных и зарубежных светоизмерительных лампах содержат публикации [2.7, 2.13–2.15].

2.3.4. Рефлектометрия

При измерениях оптических свойств веществ, сред, материалов особый интерес (кроме показателя преломления и поляризационных параметров) вызывает количественное определение коэффициента отражения ρ и коэффициента пропускания τ , настолько тесно связан-

ных друг с другом, что этот раздел спектрофотометрии получил общее название **рефлектометрии** [2.16].

Принимая во внимание особую важность и значимость количественного определения отражения и пропускания, Международная комиссия по освещению выпустила силами ряда членов технического комитета ТС2-14 руководство по практическим методам измерения этих двух свойств [2.16].

Общие соотношения и основные определения применительно к оптическим и светотехническим характеристикам тел заимствованы из [2.11] и приведены в п. 1.4 настоящего справочника. Однако международные рекомендации [2.16], опубликованные в 1998 г., содержат ряд приводимых далее определений и обозначений оптических характеристик сред, не нашедших отражения в [2.11] или трактуемых с некоторыми терминологическими отличиями.

2.3.4.1. Оптические характеристики сред

Зеркальным отражением (направленным пропусканием) считается отражение (пропускание) излучения без рассеяния, подчиняющееся законам геометрической оптики.

Примечание: В англоязычной литературе зеркальное отражение может именоваться *direct, regular* или *specular reflection*.

Диффузным отражением (пропусканием) считается отражение (пропускание), не содержащее в макроскопическом масштабе зеркальной составляющей.

Смешанным отражением (пропусканием) считается отражение (пропускание), частично содержащее зеркальную (направленную) и диффузную составляющие.

Изотропное диффузное отражение (пропускание) представляет собой диффузное отражение (пропускание), в котором пространственное распределение отраженного (прошедшего) излучения таково, что энергетическая яркость или яркость одинакова во всех направлениях в пределах полусферы, в которую происходит отражение (пропускание).

Совершенный отражающий (пропускающий) диффузор (рассеиватель) — идеальный изотропный диффузор (рассеиватель) с коэффициентом отражения (пропускания), равным единице.

Прозрачной (transparent) средой именуется среда, обладающая для видимого излучения диффузным пропусканием, в результате чего сквозь нее объекты практически неразличимы.

Примечание: В англоязычной литературе есть и другое наименование прозрачной среды — *transparent medium*. Для определенности обычно под *translucent medium* подразумевается **мутная среда**, в отличие от **прозрачной** (*transparent*).

Коэффициент отражения (ρ) (пропускания (τ)) (для падающего излучения с заданными спектральным составом, состоянием поляризации и пространственным распределением) — отношение отраженного (прошедшего) лучистого или светового потока к падающему потоку при данных условиях.

Коэффициент зеркального отражения (ρ_r) (направленного пропускания (τ_r)) — отношение зеркально отражен-

ной (направленно прорванной) части всего отраженного (прошедшего) потока к падающему потоку.

Коэффициент диффузного отражения (ρ_d) (диффузно-пропускания (τ_d)) — отношение диффузно отраженной (прорванной) части всего отраженного (прошедшего) потока к падающему потоку.

Примечания:

1. $\rho = \rho_r + \rho_d$ ($\tau = \tau_r + \tau_d$).
2. Результаты измерений ρ_r и ρ_d (τ_r и τ_d) зависят от методики измерений и выбора измерительной аппаратуры.
3. ρ и τ измеряются в безразмерных единицах.

Показатель энергетической яркости/яркости (β) (элемента поверхности несоизлучающей среды в заданном направлении при определенных условиях облучения/освещения) — отношение энергетической яркости/яркости элемента поверхности в заданном направлении к идентичным параметрам совершенного отражающего или пропускающего диффузора при одинаковых условиях облучения/освещения.

Примечания:

1. Для фотолюминесцентной среды $\beta = \beta_s + \beta_l$, где β_s — показатель энергетической яркости/яркости отраженной части потока, β_l — показатель энергетической яркости/яркости люминесцентной части потока.
2. Определение β применимо только к диффузному излучению.

Коэффициент энергетической яркости/яркости (q) (элемента поверхности среды в заданном направлении при определенных условиях облучения/освещения) — отношение энергетической яркости/яркости элемента поверхности в заданном направлении к облученности/освещенности среды.

Единица: ср^{-1} .

Примечания:

1. Определение q применимо только к диффузному излучению.
2. Показатель β и коэффициент q связаны соотношением: $\beta = \pi \cdot \Omega_0 \cdot q$, где $\Omega_0 = 1 \text{ ср}$.

Коэффициент поглощения (α) представляет собой отношение поглощенного лучистого или светового потока к падающему при данных условиях.

2.3.4.2. Параметры, влияющие на характеристики сред

Перечисленные в п. 1.4 и в 2.3.4.1 характеристики зависят не только от свойств материалов и веществ, но и подвержены влиянию ряда описываемых далее параметров.

Спектральные параметры

Спектральный состав падающего излучения

При проведении измерений должно быть известным спектральное распределение Φ_e падающего излучения. Для этого следует указать, например, тип осветителя по спецификации МКО, либо цветовую температуру или температуру распределения эталонной лампы. В случае использования источника монохроматического излучения фиксируется длина волны и ширина полосы (обычно полуширина на половине максимума интенсивности).

Примечание: При измерениях оптических свойств люминесцентных материалов образец должен облучаться либо источником с известными характеристиками, либо последние нужно предварительно измерить спектрофлуориметром.

Стандартизованные МКО источники светового потока снабжены табулированными значениями спектральных распределений мощности излучения. При измерениях спектральных коэффициентов отражения или поглощения интегральные значения соответствующих коэффициентов могут быть вычислены численным интегрированием с использованием уномянутых табулированных значений относительных спектральных распределений мощности.

Рекомендациями МКО и Международной организации по стандартизации установлено, что источником света типа А служит вольфрамовая лампа, работающая при коррелированной цветовой температуре 2856 К. Источник света типа С представляет собой сочетание источника типа А и набора жидкостных фильтров, вырезающих видимую часть спектра дневного света. Стандартный источник света типа D характеризует дневной свет с включением в спектр излучения УФ-компоненты. Другие источники света используются от случая к случаю: например, источники типа D55 и D75 применяют для выделения определенных стадий естественного освещения, а также в процессе исследований в требуемых условиях суммарного солнечного излучения. При необходимости к обозначению измеряемой величины может быть добавлен символ, характеризующий источник света, например, $\tau_{v,A}$ для коэффициента пропускания светового излучения при использовании источника типа А.

Интегральные характеристики

Если спектральная зависимость оптического свойства образца определена и известно спектральное распределение $\Phi_e(\lambda)$ мощности падающего на него излучения, то интегральная характеристика этого свойства вычисляется по формуле:

$$a = \frac{\int_0^{\infty} \Phi_e(\lambda) \cdot a(\lambda) \cdot w(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_0^{\infty} \Phi_e(\lambda) \cdot w(\lambda) \cdot d\lambda}, \quad (2.1)$$

где $a(\lambda)$ — спектральная характеристика образца; $w(\lambda)$ — относительная спектральная весовая функция, например, $V(\lambda)$ — для световых характеристик; единица для энергетических характеристик: $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$ и $z(\lambda)$ для колориметрических характеристик.

Значение a может быть либо измерено непосредственно, если источник имеет подлежащее относительное спектральное распределение мощности излучения, а спектральная характеристика приемника излучения скорректирована под соответствующую $w(\lambda)$, либо оно может быть вычислено, если известны все спектральные зависимости, включая $a(\lambda)$.

В случае возникновения неоднозначности при определении фотометрической характеристики следует пользоваться прилагательным «световая» и снабжать обозначение величины подстрочным индексом «v» (па-

Таблица 2.8

Геометрические условия выполнения измерений коэффициента отражения

Геометрическая схема	Характеристика	Обозначение
Полусфера/полусфера	Коэффициент отражения	ρ_{dif}
Полусфера/конус	Показатель отражения	R_{dif}
Полусфера/направленность	Показатель энергетической яркости	β_{dif}
Конус/полусфера	Коэффициент отражения	ρ_c
Конус/конус	Показатель отражения	R_c
Конус/направленность	Показатель энергетической яркости	β_c
Направленность/полусфера	Коэффициент отражения	ρ_g
Направленность/конус	Показатель отражения	R_g
Направленность/направленность	Показатель энергетической яркости	β_g

пример, световой коэффициент отражения ρ_v). Аналогично при определении энергетической характеристики применимы прилагательное «энергетическая» и подстрочный индекс «е» (например, энергетический коэффициент отражения ρ_e).

Возможно определение энергетической характеристики в ограниченном спектральном диапазоне. В этом случае следует использовать префикс и соответствующий подстрочный индекс (например, УФ (UV) энергетический коэффициент отражения $\rho_{\text{уф}}$ или ρ_{UV}).

Необходимо помнить, что каждая спектральная характеристика имеет свой световой или энергетический эквивалент или же другие аналоги.

Геометрические схемы выполнения измерений

В принципе существует девять геометрических схем выполнения измерений коэффициента отражения (табл. 2.8), когда падающий и наблюдаемый отраженный пучки могут быть:

- 1) направленными (почти параллельными);
- 2) коническими (ограниченными более или менее значительным телесным углом);
- 3) полусферическими.

Измерения в полусферической геометрии могут быть выполнены с использованием интегрирующей сферы (в дальнейшем сферы). Эти же геометрические схемы используются при выполнении измерений коэффициента пропускания.

Измеряемые величины зависят от геометрической схемы с соответствующими обозначениями:

- углы падения излучения ϵ_1 и ϵ_2 и углы наблюдения ϵ_2 и ϵ_2 (рис. 2.8);
- апертурные углы падающего и отраженного пучков $2\sigma_1$ и $2\sigma_2$ соответственно (рис. 2.9).

В случае, если апертурные углы превышают заданные значения, это должно особо оговариваться.

Изображенные на рис. 2.8 и 2.9 схемы строго справедливы при условии равномерного распределения интенсивности в поперечном сечении падающего пучка излучения и отсутствия неравномерности распределения чувствительности по активной поверхности приемника излучения.

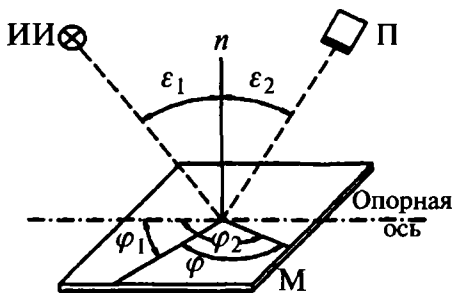


Рис. 2.8. Обозначения углов: ИИ — источник излучения; П — приемник излучения; М — образец; n — нормаль к поверхности образца; ϵ_1 — угол падения; ϵ_2 — угол наблюдения; ϕ_1 и ϕ_2 — азимутальные углы

Примечания:

индекс «dif» соответствует полусферическому облучению ($2\sigma_1 = 180^\circ$, рис. 2.10);

индекс «с» соответствует коническому облучению, описываемому размерами, формой и ориентацией телесного угла (ϵ_1 и $2\sigma_1$);

индекс «g» соответствует направленному облучению, описываемому размерами, формой и ориентацией телесного угла (углы ϵ_1 и $2\sigma_1$);

для совершенного отражателя значения всех девяти параметров равны единице.

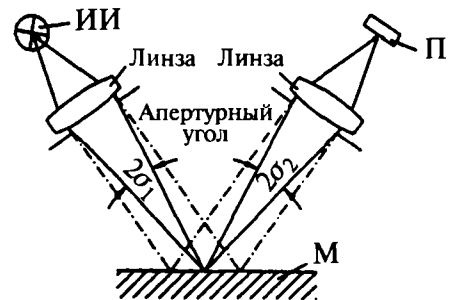


Рис. 2.9. Апертурные углы для случая зеркального отражения: ИИ — источник излучения; П — приемник излучения; М — образец; $2\sigma_1$ — апертурный угол падающего пучка; $2\sigma_2$ — апертурный угол отраженного пучка

Примечание: Для упрощения углы $2\sigma_1$ и $2\sigma_2$ относятся к падающему и отраженному пучкам, «стянутым» к центру измеряемой площадки

Если описываемые свойства среды определяются под конкретным углом наблюдения, он должен быть охарактеризован углом ϵ_2 между оптической осью наблюдения и нормалью к поверхности образца и азимутальным углом φ (углом между плоскостями падения и наблюдения, $\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$). В случае копланарности углов ϵ_1 и ϵ_2 ($\varphi = 0^\circ$ или 180°) их можно указывать в полостроичном индексе (например, при $\epsilon_1 = 45^\circ$ и $\epsilon_2 = 0^\circ \beta_{45/0}$).

Если поверхность материала обладает направленными свойствами, т.е. неоднородна или анизотропна, то необходимо зафиксировать ориентацию этих свойств относительно плоскости падения излучения или наблюдения.

Следовательно, для каждой измеряемой характеристики должна быть оговорена геометрическая схема и рекомендована методика выполнения измерений.

Прочие параметры

Помимо рассмотренных параметров, на результаты измерений отражения и пропускания влияют:

состояние поляризации излучения: если не определены характеристики неполяризованного падающего излучения, следует зафиксировать его состояние поляризации и азимут плоскости поляризации; отраженное или прошедшее сквозь образец излучение обычно оказывается частично поляризованным даже в том случае, когда падающее излучение не поляризовано;

температура: если не оговорены специальные условия, то значения характеристик отражения и пропускания приводятся при температуре 25°C ;

состояние поверхности: если не оговорены специальные условия, то значения характеристик отражения и пропускания приводятся для чистой, сухой поверхности образца.

2.3.4.3. Методики выполнения измерений.

Основные положения и принципы

Абсолютные и относительные измерения

Коэффициенты отражения и пропускания являются отношениями двух потоков, т.е. относительными характеристиками. Однако в случае их определения без применения стандартных образцов сред (рабочих эталонов), т.е. прямым, а не сравнительным методом, измерение именуется «абсолютным».

Измерения коэффициента диффузного отражения всегда выполняются с помощью стандартных образцов и поэтому считаются относительными. Абсолютные методы существуют, но выполняются лишь метрологическими лабораториями, располагающими соответствующей эталонной аппаратурой. Аналогичные рассуждения относятся и к измерениям коэффициента пропускания.

Спектральные и интегральные измерения

Как упоминалось ранее, при выполнении спектральных измерений определяется $a(\lambda)$ в виде зависимости оптического свойства образца от длины волны. При этом необходимо, чтобы излучение было предель-

но узкополосным. Интегральная характеристика вычисляется с использованием выражения (2.1).

Спектральные измерения выполняются в случаях, когда:

требуется информация о спектральных характеристиках;

спектральное распределение мощности $\Phi_e(\lambda)$ источника излучения не воспроизводимо;

не доступен приемник излучения с требуемой относительной спектральной характеристикой.

Интегральным методом непосредственно измеряется требуемая весовая характеристика, для чего необходимы излучатель и приемник излучения с известными $\Phi_e(\lambda)$ и $w(\lambda)$, соответственно (например, источник типа А и приемник, скорректированный под $V(\lambda)$ -функцию).

Для измерений спектральных и интегральных коэффициентов отражения и пропускания используются фотометры, радиометры и спектрометрические приборы (см. п. 2.2). Для измерений характеристик материалов с использованием сферы применяется радиометр (фотометр), известный под названием сферического радиометра (фотометра).

Измерения с учетом пространственного распределения отраженного или прошедшего излучения

Измерения характеристик отражения и пропускания при соблюдении геометрических условий падения излучения и последующего сбора отраженного или прошедшего потоков в пределах полусферы или конуса могут выполняться с использованием:

гониорадиометров (гониофотометров);
сферических радиометров (фотометров);
методов и средств формирования направленных пучков.

Методы первой группы используются в метрологических лабораториях при выполнении эталонных измерений.

В промышленных лабораториях коэффициенты отражения и пропускания измеряются, как правило, серийными радиометрами (фотометрами) с использованием методов второй или третьей упомянутых групп. Эти приборы достаточно просты в применении и не требуют привлечения высококвалифицированного персонала. Поэтому далее рассмотрены методы и средства технических измерений сферическими радиометрами (фотометрами), а также спектрометрическими (спектрофотометрами). Кроме того, описана техника измерений индикатрисы рассеяния излучения.

2.3.4.4. Измерительная аппаратура

В состав измерительной аппаратуры входят: источники излучения; приемно-усилительные устройства; вспомогательные механические и/или оптические компоненты.

При выполнении спектральных измерений в источник излучения или в приемно-усилительное устройство вводится монохроматор.

Источники излучения

Измерительная аппаратура выполняется по однолучевой или двухлучевой схеме. Однолучевые измерительные устройства проще, но при этом возникает ряд осложнений. Интенсивность излучения лампы или чувствительность приемно-усилительного канала могут изменяться в промежутки времени между измерениями оптического свойства исследуемого и стандартного образцов. В сферических радиометрах (фотометрах) усредненный коэффициент отражения стенки сферы также может измениться между этими измерениями, если исследуемый и стандартный образцы попеременно составляют часть внутренней поверхности сферы.

Подобные затруднения преодолеваются путем применения двухлучевой схемы, когда пучок излучения коммутируется и попеременно поступает в две ветви, одна из которых содержит исследуемый образец, а другая не содержит его и служит опорной (референтной) ветвью. Результатом измерений является отношение двух отсчетов. В качестве примера на рис. 2.10 приведена двухлучевая схема измерений коэффициента отражения, а на рис. 2.11 — коэффициента направленного пропускания. Из рисунков видно, что при измерении коэффициента пропускания референтный пучок минует образец, а при измерении коэффициента отражения он попеременно падает на исследуемый и стандартный образцы.

При измерениях ρ и τ не всегда стремятся применять двухлучевую схему. Недостатки однолучевой схемы стараются устранить стабилизацией характеристик и параметров излучателя и приемно-усилительного тракта, а также при необходимости числовой коррекцией погрешностей, присущих сфере.

Серьезное внимание следует уделить геометрическим условиям, в которых выполняются измерения. Как правило, пучок излучения считается аксиально симметричным. Однако промышленные приборы, такие, например, как спектро радиометры, обычно обладают пучком с прямоугольным поперечным сечением. Поэтому имеется ряд общих и конкретных рекомендаций по учету реальной формы сечения пучка излучения.

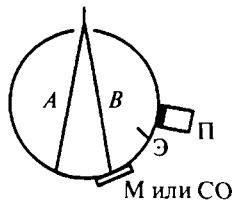


Рис. 2.10. Измерение коэффициента отражения (экспликация к рис. 2.11)

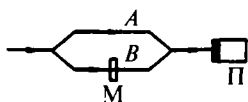


Рис. 2.11. Измерение коэффициента направленного пропускания: М — исследуемый образец; СО — стандартный образец; П — приемник излучения; Э — экран. Пучок излучения попеременно распространяется по ветви А или В

Общие рекомендации по выполнению геометрических условий сводятся прежде всего к тому, что:

сечение пучка излучения должно значительно превышать размеры облучаемого/освещаемого участка поверхности образца; если это неосуществимо, то следует выполнить несколько измерений в пределах данного участка, а полученные результаты усреднить;

необходимо стремиться к почти равномерному распределению облученности по измеряемой площадке на поверхности образца;

отношение рассчитываемой площади к облучаемой/освещаемой площади должно соответствовать решаемой измерительной задаче;

в случае наклонного падения излучения размеры облучаемой/освещаемой площадки увеличиваются пропорционально $(\cos \epsilon)^2$; для больших углов падения необходимо принимать меры, обеспечивающие сохранение этой зависимости;

следует избегать попадания на измеряемый участок поверхности образца рассеянного излучения;

угол между оптической осью и любым лучом пучка не должен превышать 5° , если не накладываются более строгие ограничения;

при отсутствии более строгих ограничений апертурный угол должен удовлетворять условию $2\sigma_1 \leq 10^\circ$;

угол ϵ_1 между нормалью к поверхности образца и оптической осью «при почти нормальном падении» пучка в процессе измерения ρ не должен превышать 10° , а при измерении τ и нормальном падении $\epsilon_1 = 0^\circ \pm 2^\circ$; при измерениях $\rho(\epsilon)$ и $\tau(\epsilon)$ при других углах падения последние должны быть указаны.

Общие рекомендации по выполнению спектральных условий сводятся прежде всего к тому, что:

при измерении световых (фотометрических) характеристик $\Phi_e(\lambda)$ должно соответствовать определенному эталонному источнику света или, по крайней мере, такому, $\Phi_e(\lambda)$ которого достаточно точно известно; предпочтительно по возможности использовать источник типа А;

при измерении энергетических характеристик обычно следует использовать источники с излучением, близким по спектральному составу к солнечному излучению;

при определении спектральных характеристик следует работать в любом из двух режимов: облучение монохроматическим источником и измерение в широкой полосе либо облучение широкополосным источником и измерение в узкой полосе; в случае люминесцентных материалов следует облучать образец полихроматическим потоком корректно выбранного источника и измерения выполнять в узкой полосе с помощью монохроматора.

Известно, что оптические свойства веществ и материалов при наклонном падении излучения зависят от состояния его поляризации. «Направленные» измерения с использованием неполяризованного падающего излучения можно выполнять лишь в том случае, если источник не генерирует поляризованное излучение или же отклоняющая либо фокусирующая оптика (разумеется, если таковая введена в оптический тракт), а также

приемник излучения нечувствителен к поляризации излучения. В противном случае при наклонном падении излучения необходимо выполнить два независимых измерения с линейно поляризованным падающим пучком: сначала в плоскости, перпендикулярной плоскости падения, а затем в плоскости, параллельной ей. Значение измеряемой характеристики при неполяризованном падающем излучении в этом случае равно среднему из двух полученных результатов.

В тех случаях, когда необходимо выполнить измерение при строго линейно поляризованном излучении, следует указывать угол между плоскостями поляризации и падения излучения.

Примечания:

1. Излучение лампы обычно частично поляризовано. Пучок, вводимый в сферу, деполаризуется за счет многократных отражений внутри нее.

2. Пучок излучения может быть деполаризован с помощью введенной в него под наклоном тонкой стеклянной пластинки. Степень деполаризации можно контролировать вращением поляризационного фильтра вокруг оптической оси падающего пучка при сохранении неизменности отсчета.

Для облучения/освещения образцов при измерениях ρ и τ используются измерительные лампы следующих типов:

при определении световых (фотометрических) характеристик ЛН (обычно газополные) в качестве источников типа А;

при определении спектральных характеристик:

– дейтериевые лампы при $200 \text{ нм} < \lambda < 350 \text{ нм}$;

– галогенные лампы при $350 \text{ нм} < \lambda < 3000 \text{ нм}$;

– ксеноновые лампы при $250 \text{ нм} < \lambda < 1200 \text{ нм}$;

при определении энергетических характеристик:

– ксеноновые лампы, чаще всего с фильтрами;

– сочетания ксеноновых ламп, МГЛ и ЛН.

С целью контроля стабильности во времени излучательных характеристик лампы должны быть снабжены аппаратурой для периодического измерения и регулирования интенсивности пучка.

Приемно-усилительные элементы и измерительные приборы

Измерительными приборами служат СИ облученности/освещенности или энергетической яркости/яркости. Для приборов первой из этих двух групп оценка влияния пространственного распределения потока излучения производится вычислениями в пределах полушария, а для приборов второй группы — в пределах участвующего в измерениях поля зрения, которое зависит от принятых геометрических условий. Более того, приборы первой группы должны быть снабжены косинусным корректором, располагаемым перед входной апертурой СИ.

Радиометр или фотометр в качестве измерительного преобразователя содержат измерительную (соответственно, радиометрическую или фотометрическую) головку. На ее характеристику преобразования могут оказывать влияние:

отклонение относительной спектральной характеристики от нормированной относительной спектральной весовой функции;

изменение чувствительности в зависимости от положения приемной площадки приемника излучения; поляризация падающего излучения.

Рекомендуемыми приемниками излучения в зависимости от измеряемой характеристики и диапазона длин волн являются:

при измерениях световых характеристик — калиброванные под $V(\lambda)$ -функцию фильтровые кремниевые фотогальванические элементы;

при измерениях энергетических характеристик — термоэлектрические батареи;

при измерениях спектральных характеристик:

– фотоэлектронные умножители при $200 \text{ нм} < \lambda < 900 \text{ нм}$;

– кремниевые фотогальванические элементы при $200 \text{ нм} < \lambda < 1100 \text{ нм}$;

– PbS, InGaAs и др. твердотельные приборы при $\lambda > 800 \text{ нм}$.

Кроме вышеуказанных факторов, на точность радиометра/фотометра могут оказывать отрицательное влияние:

нелинейность характеристики преобразования;

погрешность отсчетного устройства;

усталость;

температурная зависимость;

погрешности, возникающие при переключении пределов измерений;

время прогрева прибора;

колебания напряжения питания прибора.

Числовые способы уменьшения (коррекции) этих влияний достаточно подробно рассмотрены в [2.7]. Однако существует ряд влияющих факторов, для которых числовые способы коррекции пока не могут быть рекомендованы, а именно:

старение;

сдвиг нуля;

недостаточная механическая и климатическая стойкость конструкции радиометра/фотометра; влияние внешних магнитных полей.

В качестве регистрирующих устройств для рассматриваемых СИ рекомендовано использовать небольшие компьютеры/микропроцессоры в сочетании с принтерами/плоттерами. Эта рекомендация особенно эффективна применительно к спектральным измерениям из-за большого массива регистрируемой информации.

О роли и значении монохроматора при выполнении измерений спектральных характеристик веществ и материалов, а также о его принципе действия и основных параметрах достаточно подробно сообщено в параграфе, посвященном спектрорадиометрии. Здесь следует лишь отметить, что при измерениях оптических свойств люминесцентных материалов монохроматор может быть расположен в оптической системе либо излучателя, либо измерительного прибора. Однако если измерению с использованием одного монохроматора подлежат люминесцентные материалы, то его следует располагать между образцом и оптической системой СИ. Определение же всей совокупности рассматриваемых оптических свойств люминесцентного образца требует применения двух монохроматоров, один из ко-

торых должен быть введен в оптическую систему излучателя, а другой — в оптическую систему измерительного прибора.

Значительную роль при построении большинства описываемых далее оптических схем СИ ρ и τ играет сфера.

Интегрирующая сфера

Интегрирующая сфера представляет собой полый шар, внутренняя поверхность которого служит предельно неселективным диффузным отражателем. При оснащении сферы радиометром/фотометром она рекомендуется для выполнения измерений:

коэффициентов отражения и пропускания;

коэффициентов диффузного отражения и пропускания.

При этом зеркальные (направленные) компоненты этих коэффициентов могут быть получены путем вычитания одних результатов из других.

Примечания:

1. Распространенный ранее термин «box photometer», обозначавший измерительный прибор, конструктивно объединяющий сферу и фотометр, опыты не рекомендуем.

2. Интегрирующие сферы не предназначены для измерений ρ и τ люминесцентных материалов.

В основу применения сферы для измерения ρ и τ положен метод сравнения показаний радиометра/фотометра, которым она оснащена, функционально связанных с потоками излучения, отраженными/пропущенными исследуемым и стандартным образцами. При этом предполагается, что неяркие (indirect) облученность/освещенность или энергетическая яркость/яркость, порождаемые внутренней поверхностью сферы, пропорциональны потоку излучения.

Первоначально теория сферы была разработана применительно к измерению светового потока ламп и только позднее распространена на измерения лучистого/светового потока, отраженного/прошедшего от/сквозь материалов/лы.

Согласно теории Ульбрихта, лучистый/световой поток, отраженный/пропущенный образцом, связан с неяркой облученностью/освещенностью на внутренней поверхности сферы соотношением:

$$\Phi_r(\Phi_t) = E_{ind} \cdot A \cdot \frac{1}{\rho_k}, \quad (2.2)$$

где: $\Phi_r(\Phi_t)$ — отраженный (прошедший) поток; E_{ind} — неяркая облученность/освещенность на рассеивающем излучение входном окне радиометра/фотометра; A — площадь поверхности сферы; ρ_k — усредненное значение коэффициента отражения всей поверхности сферы.

Примечание: Уравнение (2.2) не учитывает плоскую форму исследуемого (стандартного) образца и входного окна измерительной головки радиометра (фотометра). При этом считается, что все, что помещено внутрь сферы, включая ее поверхность, является изотропным рассеивателем.

Вместо измерения облученности/освещенности некоторого участка внутренней поверхности сферы можно измерять ее энергетическую яркость/яркость. В лю-

бом случае для получения корректных результатов существенно, чтобы участвующая в измерениях часть поверхности сферы была полностью экранирована от прямого излучения, отражаемого/пропускаемого образцом. При измерении энергетической яркости/яркости обычно требуется экран большего размера, чем при измерении облученности/освещенности.

Поскольку характеристики реальной сферы отличаются от таковых у идеальной (расчетной) сферы, отраженный/прошедший лучистый/световой поток не может быть вычислен непосредственно из уравнения (2.2). Для этого необходимо провести дополнительные измерения по крайней мере коэффициента отражения стандартного образца, причем в идеальном случае коэффициент отражения образца равен:

$$\rho_x = \rho_N \cdot \frac{E_{ind,x}}{E_{ind,N}}, \quad (2.3)$$

где: ρ_x — коэффициент отражения исследуемого образца; ρ_N — коэффициент отражения стандартного образца; $E_{ind,x}$ — неяркая облученность/освещенность, создаваемая потоком, отраженным исследуемым образцом; $E_{ind,N}$ — неяркая облученность/освещенность, создаваемая потоком, отраженным стандартным образцом.

Все сказанное в равной мере относится и к измерению коэффициента пропускания, причем в отсутствие стандартного образца $\tau_N = 1$.

Таковы основные теоретические положения, обосновывающие возможность и целесообразность применения сферы для измерений ρ и τ . Однако более точные результаты могут быть получены с использованием **методик выполнения измерений**. При этом необходимо учесть ряд конструктивных, геометрических и технологических особенностей, характеризующих модернизируемую для проведения тех или иных измерений сферу. При измерении **методом замещения** исследуемый образец и стандартный образец (если он участвует в измерении) помещаются в отверстие сферы последовательно один за другим. В результате усредненное значение коэффициента отражения внутренней поверхности сферы может измениться. В спектрофотометрических экспериментах это затруднение преодолевается применением двухлучевой схемы (рис. 2.10, 2.11). При измерении методом сравнения исследуемый и стандартный образцы одновременно участвуют в эксперименте, будучи помещенными в двух различных отверстиях сферы и последовательно облучаемыми один за другим. Благодаря этому усредненное значение коэффициента отражения внутренней поверхности сферы остается неизменным.

Метод замещения эффективен при условии существенной малости отверстия в сфере (его диаметр не должен превышать 0,1 ее диаметра). В противном случае необходимо выполнять дополнительные измерения с применением вспомогательной лампы или вспомогательного экрана. На практике этот метод используется при измерениях оптических свойств толстых образцов из рассеивающих излучение материалов (мутных сред), если доступна сфера большого диаметра (> 2 м).

Покрывание внутренней поверхности сферы должно быть неселективным, практически диффузным и рав-

номерно распределенным по всей площади. Кроме того, оно не должно люминесцировать. Эти свойства внутренней поверхности сферы характеризуются **относительным показателем $K(\lambda)_{rel}$** :

$$K(\lambda)_{rel} = \frac{\rho_k(\lambda) \cdot (1 - \rho_{k \max})}{\rho_{k \max} \cdot (1 - \rho_k(\lambda))}, \quad (2.4)$$

где: $\rho_k(\lambda)$ — спектральный коэффициент отражения внутренней поверхности сферы; $\rho_{k \max}$ — его максимальное значение.

Даже незначительные относительные изменения $\rho_k(\lambda)$ могут существенно влиять на $K(\lambda)_{rel}$. Это влияние усиливается по мере возрастания коэффициента отражения. С другой стороны, эффективность сферы как интегратора падает по мере уменьшения ρ . Поэтому для измерений световых характеристик рекомендуется покрытие ее внутренней поверхности с коэффициентом отражения $\approx 0,8$.

Обычно в качестве покрытий используются высушаемые промышленностью краски, характеризующиеся $K(\lambda)_{rel}$. Для проведения спектральных измерений покрытие внутренней поверхности сферы следует выбирать с предельно возможным коэффициентом отражения. Для выполнения спектральных измерений в УФ-области спектра и энергетических характеристик материалов сферу изнутри покрывают прессованным политетрафторэтиленом (ПТФЭ) или сульфатом бария. Более того, покрытие распыленных внутри сферы экранов всегда должно обладать предельно достижимым коэффициентом отражения. С целью сведения к минимуму влияния старения и загрязнения внутренней поверхности сферы ее нужно регулярно очищать и периодически перекрашивать. Внешняя поверхность сферы должна быть покрыта черной краской во избежание переотражений между ней и образцом.

Полезно также отметить, что многие виды «шершавых» (матированных) образцов (опаловых стекол, керамических изразцов и пр.) абразивны и могут загрязняться в контакте с черной краской внешней поверхности сферы. Во избежание этого полезно отверстие для образца окружить тонким бумажным листом.

Чрезвычайно важно соблюдение строгих геометрических соотношений между элементами конструкции сферы и требований к этим элементам.

Диаметры сферы и отверстий для закрепления образцов

Требования к диаметру сферы достаточно противоречивы. Чем он меньше, тем слабее затухание излучения, но если сфера слишком мала, возникают осложнения, связанные с общей площадью отверстий в ней. Суммарная площадь отверстий в сфере не должна превосходить 0,1 ее внутренней отражающей поверхности. Минимальные диаметры толстых образцов из рассеивающего материала, требующих отверстия большого диаметра, должны вдвое его превышать, но при этом необходимы вспомогательные лампы или экран, если не используется двухлучевая схема. Для таких образцов рекомендуется, чтобы диаметр сферы превышал 0,5 м. Поскольку промышленные спектрометрические, предназначенные для измерений ρ и τ , снабжены сферами диаметром $< 0,2$ м, их нельзя использовать для точных

измерений характеристик толстых образцов из рассеивающих материалов.

Отверстия

Число, расположение и диаметры отверстий в сфере, требуемых для выполнения измерений, зависят от вида измеряемых характеристик и типов образцов. Поскольку отверстия всегда приводят к нарушению алгоритма измерений внутри сферы, их количество и диаметры (по сравнению с размерами сферы) должны быть минимизированы.

Следовательно, практика диктует требование всемерного уменьшения размеров различных отверстий в сфере. Откуда следует, что необходимо разумно увеличивать ее диаметр, чтобы отверстия не занимали чрезмерной части суммарной внутренней поверхности сферы. Поэтому при конструировании и сборке сфер должен быть достигнут компромисс между числом измеряемых характеристик (т.е. общим количеством отверстий) и достижимой точностью получаемых результатов.

Пример: Методом замещения с использованием универсального сферического радиометра (фотометра) измеряются:

ρ и τ при направленном практически нормальном падении излучения;

$\rho(\epsilon)$ и $\tau(\epsilon)$ при направленном падении излучения в зависимости от угла ϵ ;

τ_{dif} при полусферическом облучении;

ρ_{dif} и τ_{dif} .

Для выполнения этих измерений в сфере должны быть проделаны следующие отверстия (рис. 2.12):

Отверстие 1 для образца:

— диаметр отверстия должен быть достаточно большим, чтобы обеспечить попадание в сферу всего отраженного/прошедшего излучения; для измерений тонких образцов (или образцов только лишь с поверхностью

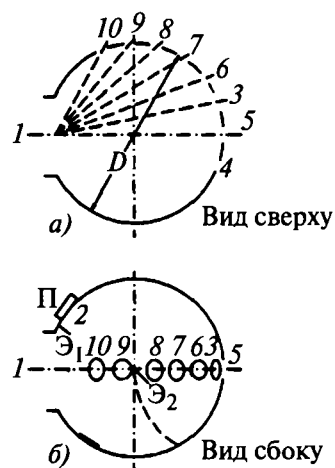


Рис. 2.12. Геометрия универсальной сферы: a — вспомогательный экран \mathcal{E}_1 внутри; b — вспомогательный экран \mathcal{E}_2 снаружи; D — диаметр сферы; 1 — отверстие для образца; 2 — отверстие для фотометрической головки; 3 — входное отверстие для светового потока при измерениях ρ ; 4 — ловушка для зеркального отражения; 5 — ловушка для зеркального пропускания; 6–10 — входные отверстия для измерений угловой зависимости ρ ; Π — приемник; \mathcal{E}_1 — экран между отверстием 1 и рассеивателем фотометрической головки

ным отражением) приемлем диаметр отверстия $d_1 \leq 0,1D$, где D — диаметр сферы; для измерений толстых образцов из рассеивающего излучения материала наиболее подходящи $d_1 = 25$ см при $D \geq 2d_1$;

— диаметр образца должен превосходить диаметр отверстия I ; если наблюдаются потери излучения из торцевой поверхности образца, ее нужно покрыть материалом с высоким коэффициентом зеркального отражения, например, анодировать алюминием; облучаемая поверхность толстых образцов из рассеивающих излучение материалов должна быть меньше диаметра отверстия для образца; при точных измерениях пропускания образец следует облучать но большой площадке, превышающей площадь отверстия для образца;

— стенка отверстия I должна быть предельно тонкой с острым краем и иметь высокий коэффициент зеркального или, на крайний случай, диффузного отражения.

Отверстие 2 для радиометрической/фотометрической головки:

— это отверстие должно быть предельно малым и расположено как можно ближе к отверстию I ; при измерении облученности/освещенности с использованием радиометрической/фотометрической головки отверстие 2 должно быть экранировано от прямого попадания излучения, порожденного образцом (рис. 2.12); измерение энергетической яркости/яркости выполняется сквозь защищенное экраном отверстие, через которое виден участок внутренней поверхности сферы, ближайший к отверстию I (рис. 2.13).

Отверстие 3 используется для ввода в сферу пучка излучения при измерении ρ :

— угол падения $\varepsilon_1 \leq 10^\circ$; диаметр отверстия $d_3 \leq 0,1D$; диаметр вводимого в сферу пучка должен быть меньше d_3 .

Отверстие 4 для вывода из сферы зеркально отраженного излучения:

— диаметр $d_4 = 0,02D$; диаметр площадки, облучаемой зеркально отраженным пучком, должен быть не более $0,8d_4$; отверстие 4 должно быть симметрично отверстию 3 относительно диаметра сферы, проходящего через центры отверстий I и 5.

Отверстие 5 для вывода из сферы направленно прошедшего излучения:

— диаметр $d_5 = d_4$; диаметр площадки, облучаемой направленно прошедшим пучком, должен быть не более $0,8d_5$.

Отверстия 6–10 служат входными при измерениях зависимости $\rho(\varepsilon)$ в диапазоне углов падения излучения от 20 до 60° . Для углов падения в расширенном диапазоне значений возможно увеличение числа отверстий, причем диаметры вводимых пучков должны быть меньше d_3 . При углах падения $>60^\circ$ в ИС не предусматривается отверстий для вывода излучения, аналогичных отверстию 4.

При измерении методом сравнения в сфере необходимо предусмотреть дополнительное отверстие CO для стандартного образца (рис. 2.14). Местоположение этого отверстия не критично, а диаметр тот же, что и у отверстия I .

Отверстия, не используемые при проведении данного измерения, должны быть закрыты крышками (заглушками), внутренние поверхности которых окрашены тем же составом, что и внутренние стенки сферы.

Разумеется, приведенная в примере геометрия сферы может быть упрощена, а при измерениях меньшего количества характеристик отпадает необходимость в целом ряде отверстий.

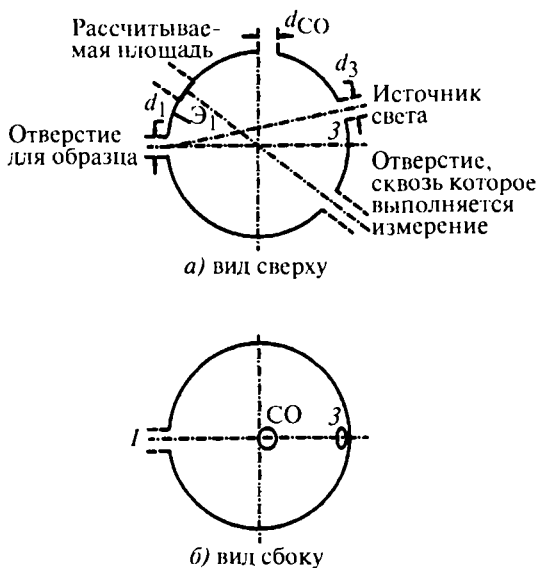


Рис. 2.13. Измерение ρ с использованием сферы с присоединенным к ней СИ энергетической яркости/яркости

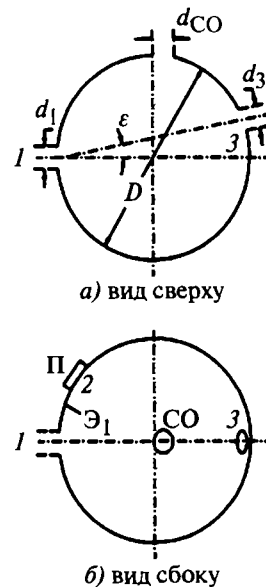


Рис. 2.14. Сфера для измерения ρ тонких образцов: ($d_1 \leq 0,1D$, $d_3 \leq 0,1D$, $\varepsilon \leq 10^\circ$); CO — отверстие для стандартного образца; $d_{CO} = d_1$

Рекомендуемым методом измерения облученности/освещенности предусмотрено использование радиометрической/фотометрической головки. Расположенная в отверстии 2, она предназначена для определения измеряемой величины (в данном случае интенсивности падающего излучения) в соответствии с законом косинуса. Поэтому при измерениях спектральных и световых величин отверстие для головки должно быть прикрыто пропускающим излучение рассеивателем, поверхность которого расположена впритык к внутренней стенке сферы. Более того, рассеиватель должен обладать в требуемом диапазоне длин волн высоким коэффициентом пропускания только диффузного излучения, без направленной компоненты. Спектральный коэффициент пропускания рассеивателя должен быть согласован с относительной спектральной характеристикой приемника излучения. Для защиты головки от прямого попадания исходящего от образца излучения используется небольшой экран с возможно большей селективностью (рис. 2.12).

Если вместо облученности/освещенности внутренней поверхности сферы измеряется ее энергетическая яркость/яркость, то этот участок в поле зрения радиометрической/фотометрической головки должен быть ограничен и защищен от прямого попадания исходящего от образца излучения. Лучшее всего, чтобы такой экранированный участок поверхности находился вблизи отверстия 1, тогда достаточно использовать небольшой экран белого цвета (рис. 2.13). Таким образом, во входную апертуру радиометра/фотометра должно попадать излучение только с этого ограниченного участка поверхности сферы.

Измерения с использованием сферы, имеющей отверстие для образца, соизмеримое с ее диаметром, выполняются только методом замещения. Однако в этом случае усредненное значение коэффициента отражения внутренней поверхности сферы может изменяться при замещении измеряемого образца стандартным в отверстии 1. Корректирующий коэффициент, компенсирующий различие ρ , может быть определен путем проведения двух отдельных измерений с использованием основной внешней лампы, располагаемой перед отверстием 3, или фиксируемой вспомогательной лампы внутри сферы (рис. 2.15). При использовании внешней лампы для этой цели вспомогательный экран \mathcal{E}_2 располагается вблизи центра сферы, а его центр находится на оси пучка, распространяющегося между отверстиями 1 и 3. Плоскость экрана \mathcal{E}_2 должна быть перпендикулярной падающему пучку во избежание прямого облучения отверстий 1 и 2. При использовании вспомогательной лампы L (рис. 2.15) ее и экран \mathcal{E}_2 следует располагать так, чтобы также избежать прямого облучения этих двух отверстий. Внешняя и вспомогательная лампы должны иметь одинаковые $\Phi_e(\lambda)$.

2.3.4.5. Российская система обеспечения единства измерений коэффициентов пропускания и отражения

В России за обеспечение единства измерений характеристик спектрального пропускания и отражения

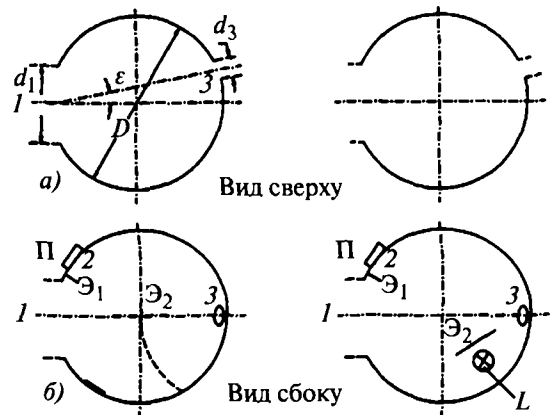


Рис. 2.15. Сфера с большим отверстием для образца в схеме измерений ρ толстых образцов из рассеивающих излученных материалов: слева — с вспомогательным экраном \mathcal{E}_1 ; а — экран внутри сферы; б — экран вне сферы; справа — с вспомогательной лампой L и экраном \mathcal{E}_2 . 1 и 2 — отверстия для образца и приемника, $d_1 \leq 0,5D$; 3 — отверстие для ввода излучения, $d_3 \leq 0,1D$, $\epsilon \leq 10^\circ$; П — приемник; \mathcal{E}_1 — экран между рассеивателем фотометрической головки и отверстием для образца

ответственность несет ВНИИОФИ. С целью развития системы обеспечения единства измерений оптических свойств веществ и материалов в возможно более широком диапазоне спектра во ВНИИОФИ с 1986 г. проводились исследования наиболее перспективных методов и средств измерений характеристик пропускания и рассеяния, охватывающих поддиапазоны воздушного УФ, видимого и ближнего ИК-излучения. Завершением 15-летнего цикла исследований и разработок явилось создание в 1990 г. Государственной поверочной схемы для средств измерений спектральных и интегральных коэффициентов направленного пропускания в диапазоне длин волн 0,2–20,0 мкм, диффузного и зеркального отражений в диапазоне длин волн 0,2–2,5 мкм, возглавляемой Государственным первичным эталоном единиц этих спектральных коэффициентов (ГОСТ 8.557-91).

В соответствии со стандартом регламентированы воспроизведение и передача размеров единиц τ_r , ρ_d и ρ_r . В российских официальных документах для этих спектральных коэффициентов приняты другие соответствующие обозначения: τ , ρ_d и ρ_r . Для интегральных коэффициентов приняты обозначения T , R_d и R_r .

Государственный первичный эталон состоит из комплекса следующих СИ:

- спектрофотометрической установки для воспроизведения единицы спектрального коэффициента направленного пропускания в диапазоне длин волн 0,2–2,5 мкм с приставками для воспроизведения единиц спектральных коэффициентов диффузного (методом Тэйлора) и зеркального отражений в диапазоне длин волн 0,2–2,5 мкм;

– спектрофотометрической установки для воспроизведения единицы спектрального коэффициента направленного пропускания в диапазоне длин волн 2,5–20,0 мкм;

– спектрофотометрической установки для воспроизведения единицы спектрального коэффициента диффузного отражения (методом Эрба) в диапазоне длин волн 0,38–0,8 мкм;

– наборов эталонных мер;

– системы регистрации и обработки информации.

Вторичными и разрядными эталонами в зависимости от воспроизводимых единиц и спектральных диапазонов служат комплекты мер, каждый из которых состоит из образцов прозрачного пейтраального стекла, образцов с полупрозрачным металлическим покрытием на прозрачной подложке, набора секторных дисков, диффузно и зеркально отражающих поверхностей, а также спектрофотометрические установки и фотометры. В качестве рабочих СИ спектральных коэффициентов направленного пропускания, диффузного и зеркального отражений применяют спектрофотометрические установки, наборы мер спектральных коэффициентов и спектрофотометры в следующих диапазонах измерений: $\tau = 0,001–0,950$ и $\rho_d = \rho_3 = 0,01–1,00$.

В качестве рабочих средств измерений интегральных коэффициентов направленного пропускания, диффузного и зеркального отражений применяют наборы мер интегральных коэффициентов, фотометры и зональные фотометры в следующих диапазонах измерений: $T = 0,01–0,95$ и $R_d = R_3 = 0,01–1,00$.

Подробное описание методов и средств рефлектометрии и системы обеспечения единства в этом виде измерений содержит монография [2.7].

2.3.5. Рефрактометрия

Широкому распространению рефрактометрии в качестве метода измерений одного из важнейших оптических свойств твердых, жидких и газообразных веществ, материалов и сред — показателя преломления n — способствует исключительно ценное совмещение ее высокой точности, технической простоты и доступности. Показатель преломления принадлежит к числу немногих физических констант, которые могут быть измерены с очень высокой точностью (минимальная погрешность в разряде рабочих средств измерений находится в пределах $10^{-5}–10^{-7}$) и с небольшой затратой времени.

2.3.5.1. Физические основы рефрактометрии

Физические основы рефрактометрии и формулы для показателя преломления приведены в п. 1.4.

Показатель преломления вещества определяется его природой, но зависит также от внешних условий (главным образом от температуры) и от длины волны света. Длину волны указывают подстрочным индексом, а температуру — надстрочным индексом справа. Например, символ n_{389}^{20} означает показатель преломления при 20°C для желтой линии натрия с длиной волны 589,3 нм. Вместо длины волны часто употребляемых спектральных линий обычно указывают их буквенные обозначения.

Так, например, n_D^{20} , n_C^{20} , n_F^{20} обозначают показатели преломления при 20°C для линии D натрия и линий C и F водорода. Длины волн и обозначения наиболее употребляемых в рефрактометрии спектральных линий приведены в табл. 2.9.

Таблица 2.9

Обозначения и длины волн спектральных линий, наиболее часто применяемых в рефрактометрии

Цвет линии	Элемент	Обозначения линий	Длина волны, нм
Красная	Калий	A'	766,5
Красная	Кислород	A	760,8
Красная	Гелий	B	706,5
Красная	Литий		670,8
Красная	Гелий	г	667,8
Красная	Водород	C, H α , a	656,3
Красная	Кадмий	C'	643,8
Красная	Неон		632,8
Желтая	Натрий	D	589,3
Желтая	Гелий	d, D $_3$, f	587,6
Желтая	Ртуть		579,1
Желтая	Ртуть	—	577,0
Зеленая	Ртуть	i	546,1
Зеленая	Таллий		535,0
Зеленая	Кадмий	—	508,6
Зеленая	Гелий	v	501,6
Сине-зеленая	Гелий	—	492,2
Голубая	Водород	G, H β , β	486,1
Голубая	Кадмий	F'	480,0
Синяя	Гелий	c	471,3
Синяя	Кадмий	—	467,8
Сине-фиолетовая	Гелий	i	447,1
Сине-фиолетовая	Ртуть	g	435,8
Фиолетовая	Водород	g', H γ , γ	434,0
Фиолетовая	Ртуть	h	404,7
Фиолетовая	Кальций	H	396,8

При измерении показателей преломления твердых и жидких сред обычно определяются относительные показатели преломления n_{21} по отношению к воздуху лабораторного помещения. Поскольку предельный угол на границе двух веществ $i_{\text{пр}}$ зависит только от их показателей преломления (см. п. 1.4), то при выполнении измерений требуется определение только одного угла, а исследуемому телу не надо придавать строго определенной геометрической формы, так как для наблюдения полного внутреннего отражения важно лишь наличие плоской границы раздела двух сред.

Существенной деталью большинства рефрактометров, основанных на измерении предельного угла, является измерительная призма из оптического стекла с точно известным показателем преломления N . Одна из граней измерительной призмы (так называемая входная грань) приводится в оптический контакт с измеряемым образцом, имеющим неизвестный показатель преломления n , и служит границей раздела, на которой происходит преломление и полное внутреннее отражение. Преломление или отражение света на этой грани наблюдается в зрительную трубу обычно через вторую (выходную) грань призмы (рис. 2.16).

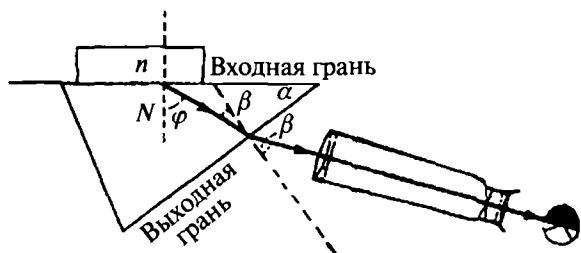


Рис. 2.16. Принципиальная схема рефрактометра, основанного на измерении предельного угла

При рассматривании вышедших из призмы лучей, близких к предельному, поле зрения трубы оказывается разделенным на освещенную и темную части, граница между которыми соответствует предельному лучу.

Формулу, связывающую угол β с показателем преломления исследуемого вещества n , нетрудно получить, рассматривая преломление предельного луча на гранях призмы:

$$n = \sin \alpha \sqrt{N^2 - \sin^2 \beta} \pm \cos \alpha \sin \beta.$$

Эта формула лежит в основе всех расчетов при измерениях методом предельного угла на призме.

2.3.5.2. Методы и средства рефрактометрии

Применительно к измерительным задачам, возникающим при количественном определении оптических характеристик СП и их элементов, приводится описание методов и средств измерений показателя преломления оптических материалов.

Методы измерений регламентированы ГОСТ 28869-90, введенным с 01.01.92, и распространяются на оптическое стекло и оптические кристаллы кубической симметрии формы. Стандартом установлены обяза-

тельные методы измерений показателя преломления в видимой и ИК-областях спектра. Эти методы делятся на две группы: гониометрические (наименьшего отклонения и автоколлимации) и рефрактометрические с использованием как рефрактометров различных типов (Пульфриха, V-рефрактометра, Аббе, компенсационного рефрактометра), так и интерференционного сравнительного метода измерений (метод Обримова).

В ГОСТ 28869-90 применительно к каждому из регламентированных методов описаны его сущность, требования к отбору образцов, средствам измерений, подготовке и проведению измерений, а также к обработке и оформлению результатов измерений. Расчет показателя преломления выполняют по формуле, соответствующей реализованному в выбранном методе принципу измерений. Расчет производят до десятичного знака, на порядок большего, чем предельная погрешность измерений. При контроле оптических стекол и кристаллов наибольшее распространение получили визуальные рефрактометры критического угла (рефрактометры Пульфриха) и рефрактометры Аббе, описание которых приведено в [2.7].

2.3.5.3. Обеспечение единства измерений показателя преломления

В качестве национального стандарта Российской Федерации в 2004 г. введен в действие межгосударственный (для стран СНГ) ГОСТ 8.583-2003 «Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений показателя преломления твердых, жидких и газообразных веществ» взамен МИ2129-91. Возглавляет поверочную схему Государственный первичный эталон единицы показателя преломления, предназначенный для воспроизведения и передачи размера при помощи рабочих эталонов рабочим средствам измерений, применяемым в экономике, с целью обеспечения единства измерений в стране. Эталон состоит из двух эталонных комплексов СИ и вспомогательных устройств.

Первый эталонный комплекс предназначен для воспроизведения, хранения и передачи размера единицы показателя преломления для твердых n_T и жидких $n_{ж}$ веществ. Второй эталонный комплекс предназначен для воспроизведения, хранения и передачи размера единицы показателя преломления n_L для газообразных веществ.

В состав первого эталонного комплекса входят: гониометр-спектрометр с кольцевым лазером для воспроизведения и хранения единицы показателя преломления твердых и жидких веществ и передачи ее размера; меры показателя преломления в виде трехгранных стеклянных призм из различных марок стекла в диапазоне от 1,41 до 3,00 и полый трехгранной призмы с набором рефрактометрических жидкостей в диапазоне от 1,33 до 2,0 для контроля стабильности эталона; климатическая камера с активной термостабилизацией и многоканальным цифровым термометром с выносными термодатчиками; барометр для измерений атмосферного давления в камере; гигрометр для измерений влажности воздуха в камере; система сбора и обработки

измерительной информации на базе персональной ЭВМ.

Государственный первичный эталон обеспечивает воспроизведение единицы n_T со средним квадратическим отклонением результата измерений, не превышающим $1 \cdot 10^{-6}$ при 50 независимых измерениях, и неисключенной систематической погрешностью, не превышающей $2 \cdot 10^{-6}$.

В качестве рабочих эталонов 1-го разряда применяют эталонную установку, состоящую из интерферометра Фабри-Перо, мер показателя преломления в виде плоскопараллельных пластин из различных марок стекла в диапазоне n_T от 1,47 до 1,94 для контроля стабильности эталона, активного термостата с термодатчиком для поддержания и измерений температуры в пространстве интерферометра, приемно-регистрающей системы сбора и обработки измерительной информации, и эталонные меры показателя преломления (набор трехрапных призм из различных марок стекла в диапазоне n_T от 1,41 до 3,00).

В качестве рабочих эталонов 2-го разряда применяют следующие меры показателя преломления: рефрактометрические пластины, входящие в наборы эталонных (образцовых) мер показателя преломления, в диапазоне n_T от 1,47 до 1,94; рефрактометрические призмы с эффективным значением показателя преломления $n_{эфф}$ от 1,25 до 1,45, входящие в наборы эталонных мер показателя преломления.

Рабочими средствами измерений служат рефрактометры Пульфриха, Аббе; гониометры-спектрометры для измерений показателя преломления; рефрактометры, работа которых основана на нарушении условий полного внутреннего отражения; дифференциальные и интерференционные рефрактометры.

2.3.6. Измерения излучательных характеристик светоизлучающих диодов

Светоизлучающие диоды (СД) служат источниками квазимонохроматического (ширина полосы спектра излучения несколько десятков нанометров) излучения и получают все большее распространение в СП различного назначения и в первую очередь — в технических средствах обеспечения безопасности движения практически на всех видах транспорта.

Объектами измерений излучательных характеристик служат как кристаллы, так и СД в целом, представляющие собой кристаллы на подложках в герметичных корпусах, которые сами по себе могут быть весьма сложными оптическими элементами, формирующими потоки излучения приборов.

Обычно сила света кристаллов составляет 10–30 мкд, сила излучения — 3–10 мВт·ср⁻¹. В современных СД сила света нередко превышает 10–80 кл.

Наряду с одиночными СД, в светотехнических устройствах широко применяются матрицы этих приборов, излучательные характеристики которых также изучаются в измерениях.

С целью упорядочения методологии измерений излучательных характеристик СД и метрологической терминологии специалистами МКО разработаны рекоменда-

ции и исходные данные для соответствующих стандартов ИСО [2.17, 2.18].

2.3.6.1. Параметры и характеристики СД. Термины, определения, обозначения. Условия измерений

Геометрические характеристики

Определение и нормирование геометрических характеристик продиктованы необходимостью точного совмещения в процессе сборки СД его оптической и механической оси.

Центр плоскости излучения СД: центральная точка внешней излучающей поверхности СД.

Оптическая ось: ось, проходящая через центр плоскости излучения в направлении центра распределения потока излучения.

Ось максимальной интенсивности: ось, проходящая через центр плоскости излучения в направлении максимальной интенсивности потока излучения.

Механическая ось: ось, проходящая через центр плоскости излучения по направлению, перпендикулярному плоскости излучения, или по оси симметрии тела излучателя.

Расстояние измерений d : расстояние между центром плоскости излучения и центром плоскости эффективной приемной поверхности измерительной головки (поверхность А, на которую попадает поток излучения).

Пространственный угол измерений СД, Ω : пространственный угол измерений СД равен эффективной поверхности измерительной головки А, деленной на квадрат расстояния измерений: $\Omega = A / d^2$.

Дальнее поле измерений силы излучения СД: дальним полем измерений силы излучения (силы света) является область расстояний измерения d , в которой закон обратных квадратов выполняется с погрешностью не более $\pm 1\%$.

Ближнее поле измерений: ближним полем измерений является область расстояний измерения, в которой закон обратных квадратов выполняется с погрешностью, большей $\pm 1\%$.

Излучающая площадь излучателя: излучающая площадь — это площадь изображения источника излучения, наблюдаемая вдоль механической оси прибора.

Оптические характеристики и их измерения

Все приведенные в первом разделе настоящего справочника основные понятия и величины, характеризующие оптическое излучение, справедливы применительно к оптическим характеристикам СД. Наличие корпуса и его элементов (крышек, линз, лупок, подложек и пр.) влияет на пространственное и спектральное распределения силы излучения (силы света), присутствующие непосредственно кристаллу, и обуславливает нормирование измеряемых оптических характеристик и стандартизацию геометрии измерений.

Измеряемый поток и освещенность (облученность): измеряемый поток — это поток излучения, создающий

освещенность (облученность) E эффективной поверхности измерительной головки A :

$$\Phi = EA.$$

Пространственное распределение и поток излучения (световой поток)

Сила света (сила излучения) является величиной, зависящей от направления распространения излучения, т.е. $I = f(\theta, \varphi)$. Эта функция носит название пространственного распределения силы излучения. Для определения этой функции должны выполняться условия дальнего поля измерений, т.е. условия «точности» приемника и источника излучения по сравнению с расстоянием измерений, а угол пространственного сканирования должен быть также небольшим в сравнении с расстоянием. Функция пространственного распределения $G(\theta, \varphi) = I(\theta, \varphi) / I_{00}$. Если $\theta = 0^\circ$ или $\theta = \pi$, то пространственное распределение не зависит от угла φ . Именно поэтому $I_{00} = I(\theta = 0^\circ)$. Простейшая форма функции пространственного распределения, когда $G(\theta, \varphi)$ является константой, представляет собой пространственное распределение силы света полностью изотропного точечного источника. Для ламбертовского источника эта функция имеет вид $G(\theta) = G_0 |\cos \theta|$, где область определения аргумента представляет собой полусферу с $0 \leq \theta \leq \pi/2$. Все практически получаемые функции пространственного распределения невозможно отобразить в терминах простых математических функций, но симметричное пространственное распределение характеризуется, как правило, спецификацией в углах, соответствующих 50% или 10% от максимального значения силы света. Теоретически СД проектируется так, чтобы максимальная интенсивность соответствовала направлению $\theta = 0^\circ$, но на практике это условие выполняется не всегда, и порой оптическая ось не совпадает с механической осью реального излучателя.

Измерения пространственного распределения интенсивности излучения с помощью двухкоординатного гониометра позволяют наиболее точно определить суммарный поток излучения СД и создать эталонные СД потока излучения и светового потока:

$$\Phi_V = \int \int_{\theta, \varphi} I(\theta, \varphi) d\theta d\varphi,$$

которые далее можно использовать совместно с интегрирующей сферой. Интегрирующая сфера с фотометром выполняет при этом роль компаратора световых потоков эталонного и измеряемого СД. Размер сферы должен быть оптимальным с позиций классической теории сферического интегратора и с учетом сравниваемых потоков. Современные полупроводниковые излучатели следует измерять в больших сферах [2.19], что существенно повышает точность измерений (рис. 2.17).

Сила излучения (сила света), характеризующая не только интенсивность, но и направленность лучка, признана обобщенной световой характеристикой СД любого типа, а стандартная геометрия ее измерений обеспечила возможность оценки качества продукции разных производителей. Поэтому МКО и ИСО приня-



Рис. 2.17. Интегрирующая сфера для измерений потока излучения (светового потока) СД

ли в качестве измеряемой величины усредненную силу излучения (силу света) СД, а также узаконили две стандартных геометрии измерения этой характеристики.

Усредненная сила излучения (сила света) СД определяется потоком излучения, деленным на пространственный угол измерений СД. Сила излучения, усредненная по телесному углу измерений:

$$I_{\text{СД}} = \Phi / \Omega = \Phi d^2 / A.$$

Усредненная сила излучения обозначается $I_{e\text{СД}}$ и измеряется в ваттах на стерадиан (Вт/ср), усредненная сила света обозначается $I_{v\text{СД}}$ и измеряется в канделах (кд).

МКО стандартная геометрия А для измерений $I_{e\text{СД}}$ и $I_{v\text{СД}}$: эффективная площадь приемной поверхности измерительной головки составляет 100 мм^2 , расстояние измерений $d = 316 \text{ мм}$. Эта геометрия измерений предназначена для телесного угла, равного $0,001 \text{ ср}$.

МКО стандартная геометрия В для измерений $I_{e\text{СД}}$ и $I_{v\text{СД}}$: эффективная площадь приемной поверхности измерительной головки составляет 100 мм^2 , расстояние измерений $d = 100 \text{ мм}$. Это геометрия для телесного угла, равного $0,01 \text{ ср}$.

Спектральное распределение и связанные с ним величины

Абсолютное спектральное распределение потока излучения (светового потока) СД является важнейшей характеристикой, позволяющей решить многие задачи спецификации кристаллов и СД, особенно для квази-монохроматических источников излучения в ближнем УФ- и ИК-диапазонах. Сила света рассчитывается по формуле:

$$I_{v\text{СД}} = 683 \int E(\lambda) V(\lambda) d\lambda,$$

где: $E(\lambda)$ — спектральная плотность энергетической освещенности [$\text{Вт} \cdot \text{ср}^{-1} \cdot \text{нм}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$], измеряемая спектрорадиометром. Для большого числа применений достаточно знать относительное спектральное распределение силы излучения или энергетической освещенности. Погрешность определения относительной спектральной характеристики всегда ниже, чем абсолютной. Нормируется характеристика при длине волны максимума излучения. Длина волны максимальной интенсивности излучения называется **пиковой длиной волны** — λ_p .

Спектральная полоса, соответствующая уровню половины интенсивности излучения по обе стороны от пиковой длины волны, рассчитывается по формуле:

$$\Delta\lambda_{0,5} = \lambda_{0,5}'' - \lambda_{0,5}'.$$

Центральная длина волны спектральной полосы на уровне половины интенсивности рассчитывается по формуле:

$$\lambda_{0,5} = (\lambda_{0,5}' + \lambda_{0,5}'') / 2.$$

Центроидная длина волны λ_c рассчитывается как «центр тяжести» кривой спектрального распределения излучения светодиода $S_x(\lambda)$ по формуле:

$$\lambda_c = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \lambda S_x(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S_x(\lambda) d\lambda}.$$

Колориметрические величины определяются расчетом из спектрального распределения излучения СД. К ним относятся: координаты цветности в соответствии с известными формулами [2.20], доминантная длина волны (точка пересечения линии монохроматических стимулов цветового локуса и прямой, проведенной через точку N для белого цвета E с координатами цветности X_E, Y_E , и точку, соответствующую координатам цветности данного излучателя), чистота стимула p_e — характеристика, определяемая из соотношения координат цветности излучателя, источника E и доминантной длины волны СД. Наиболее востребованными характеристиками продукции на основе СД являются координаты цветности, а кристаллы специфицируются производителями, в основном, по доминантной длине волны. Поскольку все перечисленные характеристики, в основе определения которых лежат спектрометрические эксперименты, имеют существенную пространственную зависимость, гониометры должны быть оснащены не только фотометрической головкой, но и мини-спектрометром [2.21].

Электрические характеристики и их измерения

Условия измерений при постоянном прямом токе: СД обычно работает при прямом постоянном токе I_n и постоянном прямом напряжении U_n , которое измеряется на контактах СД. Для повышения точности измерений рекомендуется использовать патрон с четырьмя контактами. Это особенно важно при пропускании через прибор больших токов. Электрическая мощность, потребляемая СД, составляет $\Phi_{эл} = U_n I_n$. При малых токах поток излучения (световой поток) растет быстрее,

чем электрическая мощность. При больших токах наступает насыщение, которое, в основном, обусловлено нагревом кристалла внутри СД. Нормальной для измерений характеристик СД считается область токов в зоне до наступления насыщения ватт-(люмен)-амперной характеристики.

Постоянная электрическая мощность. Для большинства источников излучения наблюдается довольно строгая корреляция между световым потоком и потребляемой электрической мощностью. Для СД такая корреляция не существует, так как при постоянном токе прямое напряжение уменьшается с ростом температуры окружающей среды. Стабилизация потребляемой мощности приводит к изменению температуры кристалла и к изменению напряжения на СД, что вызывает дестабилизацию его оптических характеристик. Световая (энергетическая) характеристика принимается постоянной, когда ее усредненное значение изменяется не более чем на 1,5% в минуту [2.18].

Прямое напряжение

Падение напряжения, соответствующее прямому току, зависит от материала кристалла. Если рассматривать точку 20 мА как наиболее удовлетворяющую условию отсутствия насыщения практически для всех известных в настоящее время кристаллов, то типичные значения прямого напряжения находятся в области от 1,2 В до 6,5 В. Прямое напряжение U_n является функцией прямого тока I_n и температуры перехода кристалла T_k .

В условиях стабилизированной температуры зависимость между прямым напряжением и током в зоне между началом излучения и до области насыщения для всех полупроводниковых диодов близка к аппроксимации

$$\frac{\partial U_n}{\partial I_n} = 10 \text{ В/А}.$$

Если СД работает в режиме, соответствующем току I_{n0} и прямому напряжению U_{n0} , и с определенным дифференциальным сопротивлением в цепи

$$R_{n0} = \Delta U_{n0} / \Delta I_{n0},$$

то вольт-амперная характеристика может быть аппроксимирована выражением:

$$U_n(I_n) = R_{n0} I_{n0} \log [(b I_n I_{n0}) - 1],$$

где: $b = \exp \left[\frac{U_{n0}}{R_{n0} I_{n0}} \right]$.

2.3.6.2. Факторы, влияющие на характеристики СД

Зависимость прямого напряжения от температуры

Для большинства СД, работающих в условиях нормальной температуры окружающей среды, температурный коэффициент прямого напряжения при постоянном токе обычно находится в пределах:

$$\frac{\partial U_n}{\partial T_k} = -1,5 \dots -2,5 \text{ [мВ/К]}.$$

Относительная
интенсивность

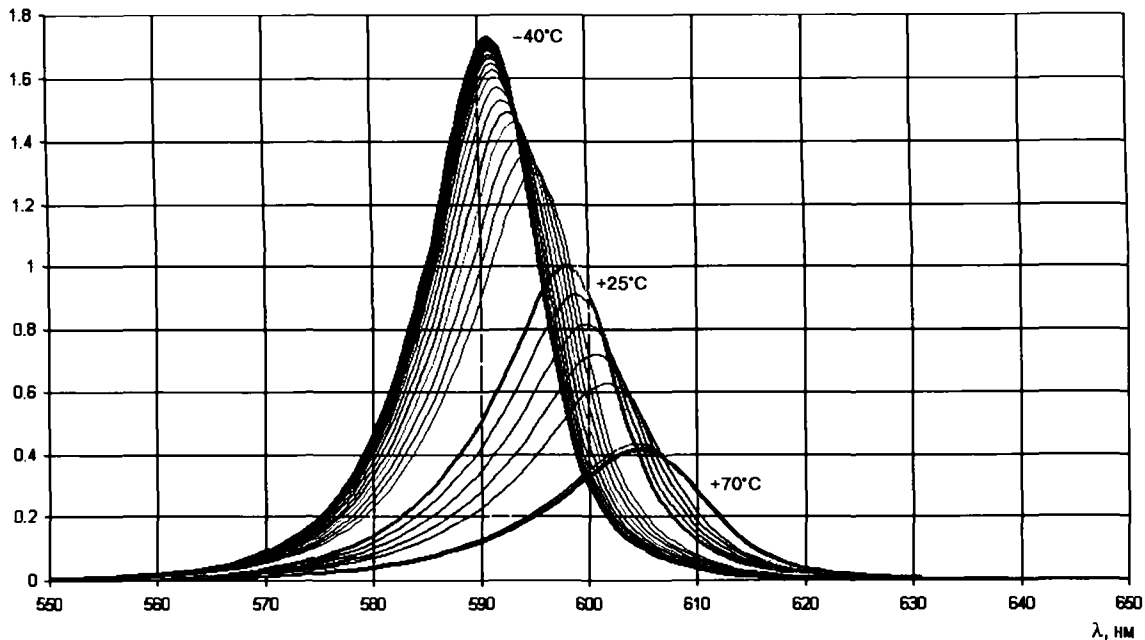


Рис. 2.18. Температурный сдвиг спектральных характеристик СД

При спецификации СД рекомендуется нормировать температуру окружающей среды 25°C. Температура кристалла при этом будет выше. Ее стабилизация будет зависеть от коэффициента теплопроводности материалов, использованных в компонентах СД, и от временного режима работы излучателя.

Влияние температуры на оптические характеристики

Постоянная мощность, потребляемая СД, не является условием стабильности его излучательных характеристик. Влияние температуры будет сказываться, в зависимости от типа кристалла, как на изменениях формы спектральной характеристики, так и на ее сдвигах в длинноволновую или коротковолновую часть спектра (рис. 2.18).

Для типовых светодиодов этот сдвиг составляет $\frac{d\lambda_m}{dT_k} = 0,1 \dots 0,3$ [нм/К]. Спектральное распределение зависит от потребляемой мощности и температуры, и стабилизация прямого тока и температуры определяет наилучший подход в вопросе стабилизации энергетической эффективности и световой отдачи, непосредственно связанных со стабильностью спектрального распределения излучения СД.

Фактор времени при измерениях излучательных характеристик СД

Во многих применениях СД используются в режимах импульсного, однократного, многократного или модулированного излучения. Излучательные характеристики СД зависят от этих временных параметров ра-

боты. Очень важно, приводя излучательный параметр, указывать временной режим его измерений.

При увеличении тока возрастают световая отдача и температура кристалла, которая, в свою очередь, влияет на световой (энергетический) параметр. В случае работы на модулированном токе температура кристалла будет также флуктуировать, и излучательный параметр будет другим в сравнении с условиями постоянного во времени питания СД. Таким образом, энергетический выход η_e , который является отношением потока излучения $\Phi_{эл}$ к потребляемой электрической мощности $\Phi_{эл}$, зависит от тока даже в условиях работы СД в области между начальными токами и токами насыщения. В процессах промышленного контроля измерения выполняются за доли секунды при однократном режиме и методом сравнения с эталоном. Температура кристалла при этом не успевает достичь состояния измерений в постоянных условиях, так как теплопроводности кристалла и корпуса слишком велики, чтобы достичь температуры постоянного состояния, которому соответствует измеряемый излучательный параметр. Временные режимы СД при измерениях должны быть учтены. Для эталонных СД излучательные характеристики должны быть определены с учетом всех временных режимов излучения, находящих применение на практике.

2.3.6.3. Технические и эталонные измерения излучательных характеристик СД

Ряд зарубежных фирм являются лидерами в производстве автоматизированных СИ, адаптированных к измерениям излучательных характеристик СД. При этом по применению СИ различаются на средства для

лабораторных исследований в процессе создания кристаллов и СД для применения в промышленном массовом контроле.

В табл. 2.10 приведены наименования фирм и предлагаемые ими средства измерений.

Таблица 2.10

Фирмы и средства измерений излучательных характеристик СД

Наименование фирмы	Прецизионные приборы
Gamma-Scientific	Spectrometer GS-1253-1.CD
Ocean Optic	Minispectrometer USB 2000
Thermo Oriel	MS260 Imaging Spectrograph
Analitikjena AG	Specord S100
Instruments Systems	SPECTRO 320 CAS 140 B LED-Tester
MINOLTA	Spectrophotometer CM-2600d

Измерения усредненной силы света выполняются в стандартизированной геометрии А или В (см. 2.3.6.1) на установке «эталонный СД-фотометр». В качестве эталонных используются специально отобранные, исследованные и стабилизированные СД. Они должны работать при постоянном токе и температуре кристалла, искусственно установленной выше температуры, соответствующей мощности, потребляемой при температуре окружающей среды 25°C. Если при использовании системы нагрева имеется возможность измерения температуры кристалла, то излучательные характеристики эталонного СД могут быть стабилизированы с использованием температурной зависимости прямого напряжения в качестве индикатора стабилизации требуемого выходного параметра [2.22]. Специально разработанные промышленные эталонные СД [Instruments System] имеют отдельный резистор или транзистор, установленный внутри корпуса для оптимизации термического контакта между нагревателем и кристаллом. Калибровка эталонных СД должна выполняться национальными метрологическими центрами или лабораториями, связанными с такими центрами.

2.4. КОЛОРИМЕТРИЯ

Содержание параграфов 2.4.1 и 2.4.4 заимствовано из [2.11] и [2.23]. Популярное изложение основ колориметрии приведено в [2.24].

2.4.1. Основные положения колориметрии

Законы смешения цветов. Цветовое пространство. В колориметрическом понимании понятие «цвет» дается следующее определение: «Цвет есть трехмерная векторная величина, характеризующая группу излучений, визуально неразличимых в колориметрических условиях наблюдения». В этом определении уже отражены принципы классификации и измерения цветов.

Цветовая метрика основывается на **законах смешения цветов**, установленных Грассманом.

Согласно первому основному закону Грассмана, любой цвет может быть составлен путем смешения в различных пропорциях трех цветов, каждый из которых нельзя получить смешением двух других. Иначе говоря, цвет определяется тремя независимыми переменными, составляющими равенство вида

$$C = R[R] + G[G] + B[B], \quad (2.5)$$

где $[R]$, $[G]$, $[B]$ — единичные количества основных цветов системы измерения; R , G , B — доли единичных основных цветов, обеспечивающие цветовое равенство, т.е. координаты данного цвета.

Значения координат цвета могут быть как положительными, так и отрицательными, поскольку в некоторых случаях для получения цветового равенства требуется прибавление к измеряемому цвету одного или двух основных цветов.

Второй закон смешения цветов говорит о непрерывности изменения цвета при непрерывном изменении спектрального распределения излучения.

Согласно третьему закону смешения, цвет смеси зависит только от цветов смешиваемых компонентов и не зависит от их спектральных составов, т.е. один и тот же цвет может иметь излучение различных спектральных составов (такое свойство излучений называется **метамеризмом**). Из этого закона следует, что координаты цвета смеси равны суммам координат смешиваемых цветов.

Таким образом, из законов Грассмана вытекает представление о **векторе цвета**, три составляющие которого (2.5) имеют общее начало и разные направления в пространстве. Цвет может быть представлен как диагональ параллелепипеда, построенного на этих составляющих. Совокупность трехмерных векторов цвета составляет цветовое пространство (рис. 2.19). Каждому цвету соответствует лишь один вектор в цветовом пространстве. Цвета, располагающиеся на одной прямой, исходящей из начала координат, т.е. различающиеся между собой лишь по интенсивности, характеризуются одной и той же цветностью. **Цветность**, таким образом, указывает направление вектора цвета в пространстве и определяется двумя координатами.

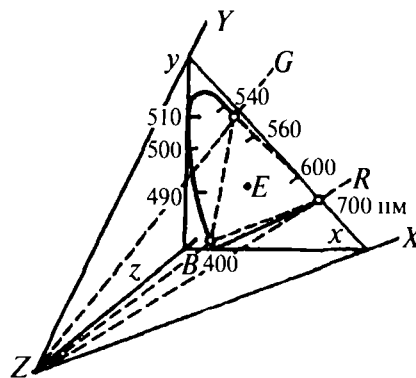


Рис. 2.19. Цветовые пространства RGB и XYZ

Для изображения координат цветности использует-ся **цветовой треугольник**, который представляет собой сечение трехкоординатного пространства плоскостью, проходящей через единичные цвета выбранной системы измерения. **Координаты цветности** — относительные величины, определяющие положение точки в треугольнике.

Колориметрические системы. Расчет цвета. Выбор трех основных цветов системы, помимо условия линейной независимости, может основываться на удобстве их использования для решения конкретных задач. Переход от одной системы к другой осуществляется в соответствии с третьим законом Грассмана путем линейного преобразования. Коэффициенты, входящие в матрицу преобразования системы цветовых координат, являются координатами новых основных цветов в старой системе:

$$\left. \begin{aligned} X &= X_r R + X_g G + X_b B, \\ Y &= Y_r R + Y_g G + Y_b B, \\ Z &= Z_r R + Z_g G + Z_b B. \end{aligned} \right\} \quad (2.6)$$

Из рис. 2.19 видно, что никакие реально существующие цвета R, G, B , принятые за основные, не могут обеспечивать положительных значений **координат цвета** для всех цветов. Это можно получить лишь при выборе основных цветов, лежащих за пределами реальной области цветов и не связанных с какими-либо излучениями, а имеющих лишь расчетный смысл. В качестве таких цветов МКО были выбраны цвета X, Y, Z . Система XYZ МКО, основанная на экспериментальных данных по определению координат цветности монохроматических излучений с использованием стандартизированной кривой относительной спектральной световой эффективности излучения, принята в 1931 г. как стандартная. Функции сложения цветов в этой системе (рис. 2.20) имеют лишь положительные значения в пределах всего видимого спектра. Ординаты кривых сложения $x(\lambda), y(\lambda), \bar{z}(\lambda)$ (табл. 2.11) представляют собой **координаты цвета** монохроматических излучений постоянной мощности в системе XYZ . Они соответствуют угловому размеру поля зрения 2° и определяют «стандартного колориметрического наблюдателя МКО 1931 г.». Функция $y(\lambda)$ совпадает с функцией относительной спектральной световой эффективности $V(\lambda)$ стандартного фотометрического наблюдателя МКО.

В 1964 г. МКО были рекомендованы в качестве дополнительных функции сложения для поля зрения 10° : $\bar{x}_{10}(\lambda), y_{10}(\lambda), \bar{z}_{10}(\lambda)$.

Таким образом, в системе XYZ ни один реальный цвет не имеет отрицательных координат цвета; все цветности располагаются внутри цветового треугольника. Количественная оценка излучений осуществляется на основе значений координаты Y ; единичный цвет Y имеет световой поток 683 лм; единичные цвета X и Z не имеют световых потоков. Для источника E с равноэнергетическим спектром все три координаты цвета равны; его цветность располагается в центре цветового треугольника. Для спектральных цветов в диапазоне 575–700 нм координата Z цвета равна нулю.

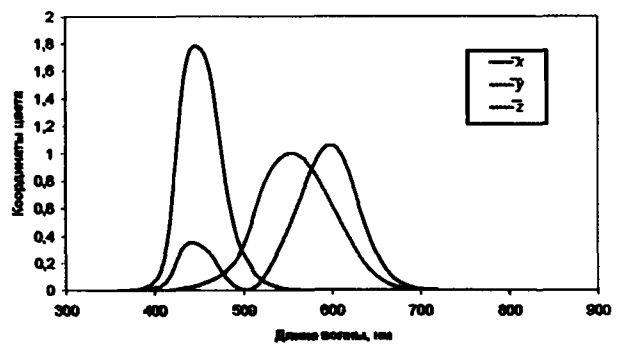


Рис. 2.20. Удельные координаты цвета монохроматических стимулов постоянной мощности

Таблица 2.11

Значения ординат кривых сложения цветов в системе МКО (1931 г.)

$\lambda, \text{ нм}$	$x(\lambda)$	$\bar{y}(\lambda)$	$\bar{z}(\lambda)$	$\lambda, \text{ нм}$	$x(\lambda)$	$y(\lambda)$	$\bar{z}(\lambda)$
380	0,0014	0,0000	0,0065	580	0,9163	0,8700	0,0017
385	0,0022	0,0001	0,0105	585	0,9786	0,8163	0,0014
390	0,0042	0,0001	0,0201	590	1,0263	0,7570	0,0011
395	0,0076	0,0002	0,0362	595	1,0567	0,6949	0,0010
400	0,0143	0,0004	0,0679	600	1,0622	0,6310	0,0008
405	0,0232	0,0006	0,1102	605	1,0456	0,5668	0,0007
410	0,0435	0,0012	0,2074	610	1,0026	0,5030	0,0006
415	0,0776	0,0022	0,3713	615	0,9384	0,4412	0,0003
420	0,1344	0,0040	0,6456	620	0,8544	0,3810	0,0002
425	0,2148	0,0073	1,0391	625	0,7514	0,3210	0,0002
430	0,2839	0,0116	1,3856	630	0,6424	0,2650	0,0001
435	0,3285	0,0168	1,6230	635	0,5419	0,2170	0,0000
440	0,3483	0,0230	1,7471	640	0,4479	0,1750	
445	0,3481	0,0298	1,7826	645	0,3608	0,1382	
450	0,3362	0,0380	1,7721	650	0,2835	0,1070	
455	0,3187	0,0480	1,7441	655	0,2187	0,0816	
460	0,2908	0,0600	1,6692	660	0,1649	0,0610	
465	0,2511	0,0739	1,5281	665	0,1212	0,0446	
470	0,1954	0,0910	1,2876	670	0,0874	0,0320	
475	0,1421	0,1126	1,0419	675	0,0636	0,0232	
480	0,0956	0,1390	0,8130	680	0,0468	0,0170	
485	0,0580	0,1693	0,6162	685	0,0329	0,0119	
490	0,0320	0,2080	0,4652	690	0,0227	0,0082	
495	0,0147	0,2586	0,3533	695	0,0158	0,0057	
500	0,0049	0,3230	0,2720	700	0,0114	0,0041	
505	0,0024	0,4073	0,2126	705	0,0081	0,0029	
510	0,0093	0,5030	0,1582	710	0,0058	0,0021	
515	0,0291	0,6082	0,1117	715	0,0041	0,0015	
520	0,0633	0,7100	0,0782	720	0,0029	0,0010	
525	0,1096	0,7932	0,0573	725	0,0020	0,0007	
530	0,1655	0,8620	0,0422	730	0,0014	0,0005	
535	0,2257	0,9149	0,0298	735	0,0010	0,0004	
540	0,2904	0,9540	0,0203	740	0,0007	0,0003	
545	0,3597	0,9803	0,0134	745	0,0005	0,0002	
550	0,4334	0,9950	0,0087	750	0,0003	0,0001	
555	0,5121	1,0002	0,0057	755	0,0002	0,0001	
560	0,5945	0,9950	0,0039	760	0,0002	0,0001	
565	0,6784	0,9786	0,0027	765	0,0001	0,0000	
570	0,7621	0,9520	0,0021	770	0,0001		
575	0,8425	0,9154	0,0018	775	0,0000		

Примечание: Яркостные коэффициенты $L_x:L_y:L_z = 0:1:0$.

Цветовой график системы XYZ (см. рис. 2.19) представляет собой «единичную» плоскость трехкоординатного цветового пространства XYZ (рис. 2.21). Цветности спектральных излучений располагаются на линии, начало и конец которой замыкаются линией пурпурных цветов. Участок $\lambda = 580 + 680$ нм практически прямолинейен. Все реальные цветности располагаются внутри замкнутой линии.

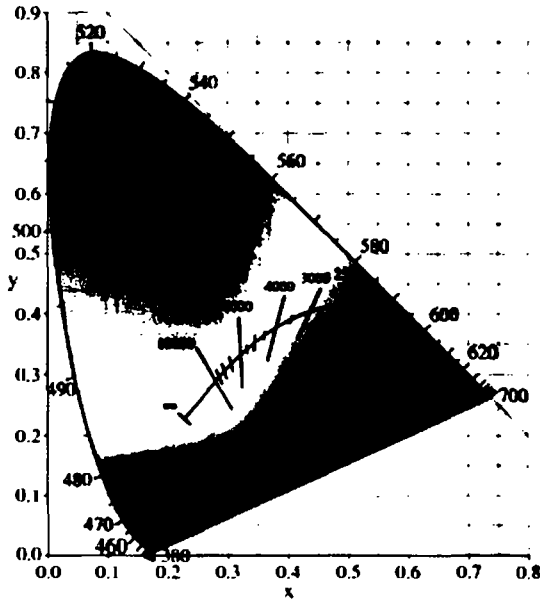


Рис. 2.21. Цветовой график координат цветности x, y с линией черного тела и стандартными ИС (A, B, C и D_{65})

Координаты цветности x, y, z связаны с координатами цвета X, Y, Z соотношениями

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}; \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z}; \quad z = \frac{Z}{X+Y+Z}. \quad (2.7)$$

Поскольку $x + y + z = 1$, обычно ограничиваются значениями координат x, y .

На основании вышеизложенного разрешаются задачи по сложению цветов. Цвет смеси выражается через сумму координат цвета смешиваемых цветов:

$$C = C_1 + C_2 = (X_1 + X_2)[X] + (Y_1 + Y_2)[Y] + (Z_1 + Z_2)[Z]. \quad (2.8)$$

Координаты цвета могут быть выражены через координаты цветности и **модуль цвета** m , численно равный сумме координат цвета:

$$X = mx; \quad Y = my; \quad Z = mz. \quad (2.9)$$

Из уравнений (2.8) и (2.9) получаем выражения для ординат цветности смеси:

$$x = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2}{m_1 + m_2}; \quad y = \frac{m_1 y_1 + m_2 y_2}{m_1 + m_2}. \quad (2.10)$$

Из уравнений (2.10) следует, что цветность смеси двух цветов изображается на цветовом графике x, y точ-

кой, лежащей на прямой, соединяющей цветности смешиваемых цветов. Расстояния от точки цветности смеси до точек цветностей смешиваемых цветов обратно пропорциональны модулям этих цветов. На основании (2.9) и (2.10) решают задачи на смешение цветов.

На использовании закона аддитивности координат базируется расчет цвета по спектральным данным. Основой для расчета цвета несамостоятельных объектов (отражающих материалов и светофильтров) являются значения спектральных коэффициентов отражения $\rho(\lambda)$ или пропускания $\tau(\lambda)$ и относительное спектральное распределение энергии ИС $\Phi_{e\lambda}(\lambda)$. Расчет координат цвета в системе МКО проводится по формулам:

$$\left. \begin{aligned} X &= \int \Phi_{e\lambda} \rho(\lambda) x(\lambda) d\lambda, \\ Y &= \int \Phi_{e\lambda} \rho(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda, \\ Z &= \int \Phi_{e\lambda} \rho(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda. \end{aligned} \right\} \quad (2.11)$$

Значения $\Phi_{e\lambda}(\lambda) x(\lambda)$, $\Phi_{e\lambda}(\lambda) y(\lambda)$, $\Phi_{e\lambda}(\lambda) \bar{z}(\lambda)$ в нормированном масштабе для стандартных источников света A и D_{65} приведены в табл. 2.12 и 2.13. Практически расчетные формулы для координат цвета приобретают вид:

$$\left. \begin{aligned} X &= \sum_{380}^{780} \Phi_{e\lambda}(\lambda) \rho(\lambda) \bar{x}(\lambda) \Delta\lambda; \\ Y &= \sum_{380}^{780} \Phi_{e\lambda}(\lambda) \rho(\lambda) \bar{y}(\lambda) \Delta\lambda; \\ Z &= \sum_{380}^{780} \Phi_{e\lambda}(\lambda) \rho(\lambda) \bar{z}(\lambda) \Delta\lambda, \end{aligned} \right\} \quad (2.12)$$

причем значение $\Delta\lambda$ составляет обычно 10 или 5 нм. Указания по расчету координат цвета ИС изложены в п. 2.4.2.

Иногда для получения более наглядной характеристики цвета, чем даст система XYZ МКО, используется «биполярная» система λ_d, p_c, L , основанная на представлении каждого цвета как смеси монохроматического излучения со стандартным ахроматическим. В этой системе λ_d — **доминирующая длина волны**, определяющая, какое монохроматическое излучение должно смешиваться с заданным ахроматическим для получения данного цвета; λ_d соответствует точке пересечения с линией спектральных цветов прямой линии, соединяющей данное излучение с монохроматическим на цветовом графике (рис. 2.19); p_c — **чистота цвета** (колориметрическая), характеризующая долю монохроматического излучения в смеси с ахроматическим; L — яркость смеси.

Чистота цвета может определяться с помощью графиков (рис. 2.22) или по формуле

$$p_c = \frac{y_d}{y} \frac{x - x_a}{x_d - x_a} - \frac{y_d}{y} \frac{y - y_a}{y_d - y_a}, \quad (2.13)$$

где x_a, y_a — координаты цветности ахроматического излучения; x_d, y_d — координаты цветности монохроматического излучения.

Значения ординат кривых сложения цветов в системе XYZ МКО (1931 г.) при источнике А

$\lambda, \text{нм}$	$\Phi_{e\lambda}(\lambda) \bar{x}(\lambda)$	$\Phi_{e\lambda}(\lambda) y(\lambda)$	$\Phi_{e\lambda}(\lambda) z(\lambda)$
380	0,0006	0,0000	0,0029
385	0,0011	0,0000	0,0053
390	0,0024	0,0000	0,0113
395	0,0047	0,0001	0,0224
400	0,0097	0,0003	0,0463
405	0,0175	0,0004	0,0825
410	0,0356	0,0010	0,1699
415	0,0694	0,0020	0,3319
420	0,1308	0,0039	0,6283
425	0,2269	0,0077	1,0974
430	0,3246	0,0133	1,5840
435	0,4055	0,0207	2,0036
440	0,4632	0,0306	2,3236
445	0,4976	0,0426	2,5484
450	0,5155	0,0583	2,7173
455	0,5230	0,0788	2,8621
460	0,5097	0,1052	2,9254
465	0,4690	0,1380	2,8539
470	0,3882	0,1808	2,5581
475	0,2998	0,2375	2,1979
480	0,2138	0,3108	1,8179
485	0,1372	0,4004	1,4575
490	0,0799	0,5196	1,1622
495	0,0387	0,6813	0,9308
500	0,0136	0,8960	0,7545
505	0,0070	1,1878	0,6191
510	0,0285	1,5398	0,4843
515	0,0934	1,9518	0,3585
520	0,2127	2,3855	0,2627
525	0,3849	2,7859	0,2012
530	0,6069	3,1609	0,1547
535	0,8631	3,4987	0,1140
540	1,1567	3,7999	0,0809
545	1,4904	4,0618	0,0555
550	1,8660	4,2841	0,0375
555	2,2887	4,4701	0,0255
560	2,7550	4,6110	0,0181
565	3,2564	4,6974	0,0130
570	3,7853	4,7285	0,0104
575	4,3259	4,7002	0,0092
580	4,8594	4,6139	0,0090
585	5,3549	4,4668	0,0077
590	5,7896	4,2704	0,0062
595	6,1403	4,0379	0,0058
600	6,3518	3,7733	0,0048
605	6,4299	3,4855	0,0037
610	6,3346	3,1780	0,0019
615	6,0877	2,2622	0,0013
620	5,6865	2,5358	0,0013
625	5,1267	2,1901	0,0007
630	4,4902	1,8523	0,0000
635	3,8779	1,5529	
640	3,2791	1,2812	
645	2,7004	1,0344	
650	2,1681	0,8183	
655	1,7078	0,6372	
660	1,3141	0,4861	
665	0,9850	0,3625	
670	0,7241	0,2651	
675	0,5368	0,1958	
680	0,4022	0,1461	
685	0,2877	0,1041	

$\lambda, \text{нм}$	$\Phi_{e\lambda}(\lambda) \bar{x}(\lambda)$	$\Phi_{e\lambda}(\lambda) y(\lambda)$	$\Phi_{e\lambda}(\lambda) \bar{z}(\lambda)$
690	0,2019	0,0729	
695	0,1429	0,0515	
700	0,1047	0,0377	
705	0,0756	0,0271	
710	0,0549	0,0199	
715	0,0394	0,0144	
720	0,0283	0,0097	
725	0,0198	0,0069	
730	0,0140	0,0050	
735	0,0101	0,0041	
740	0,0072	0,0031	
745	0,0052	0,0021	
750	0,0032	0,0010	
755	0,0021	0,0010	
760	0,0021	0,0010	
765	0,0011	0,0000	
770	0,0011		
775	0,0000		
Сумма	109,8472 $x_A = 0,4476$	100,0000 $y_A = 0,4075$	35,5824

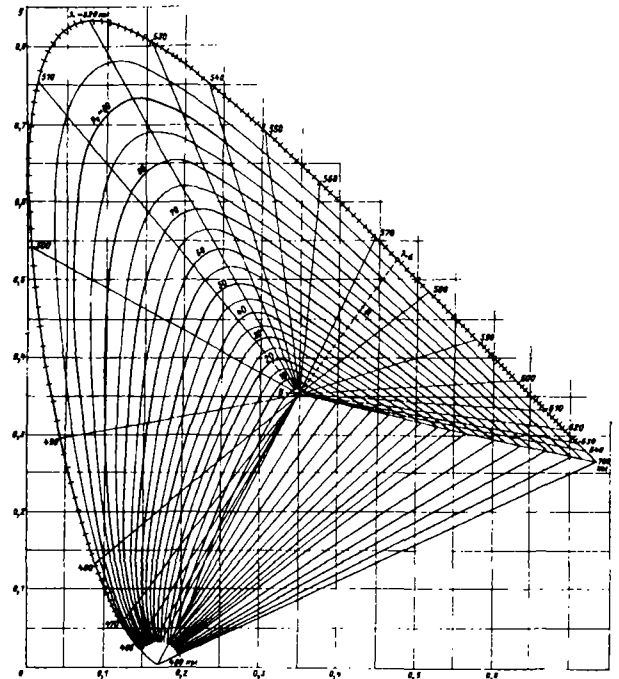


Рис. 2.22. Цветовой график x, y с сеткой значений p , по отношению к источнику В. В качестве примера показано определение λ_d для излучения, соответствующего точке Ф

Значения ординат кривых сложения цветов
в системе XYZ МКО (1931 г.) при источнике D_{65}

λ , нм	$\Phi_{D_{65}}(\lambda) \bar{x}(\lambda)$	$\Phi_{D_{65}}(\lambda) \bar{y}(\lambda)$	$\Phi_{D_{65}}(\lambda) z(\lambda)$
380	0,0032	0,0001	0,0153
385	0,0055	0,0002	0,0261
390	0,0110	0,0003	0,0518
395	0,0249	0,0007	0,1177
400	0,0561	0,0016	0,2658
405	0,0957	0,0026	0,4547
410	0,1884	0,0052	0,8980
415	0,3391	0,0095	1,6217
420	0,5920	0,0176	2,8442
425	0,9136	0,0311	4,4202
430	1,1647	0,0476	5,6846
435	1,4892	0,0763	7,3572
440	1,7288	0,1142	8,6721
445	1,8282	0,1565	9,3631
450	1,8613	0,2104	9,8111
455	1,7705	0,2667	9,6891
460	1,6210	0,3345	9,3046
465	1,3831	0,4070	8,4168
470	1,0622	0,4947	7,0009
475	0,7760	0,6149	5,6895
480	0,5245	0,7624	4,4526
485	0,3082	0,9005	3,2774
490	0,1648	1,0710	2,3949
495	0,0759	1,3350	1,8239
500	0,0254	1,6721	1,4081
505	0,0123	2,0931	1,0910
510	0,0474	2,5658	0,8070
515	0,1464	3,0593	0,5619
520	0,3138	3,5210	0,3880
525	0,5513	3,9899	0,2880
530	0,8434	4,3930	0,2148
535	1,1323	4,5888	0,1497
540	1,4346	4,7129	0,1003
545	1,7736	4,8336	0,0661
550	2,1331	4,8964	0,0431
555	2,4715	4,8266	0,0277
560	2,8132	4,7083	0,0185
565	3,1524	4,5474	0,0128
570	3,4728	4,3382	0,0096
575	3,8312	4,1627	0,0082
580	4,1538	3,9439	0,0075
585	4,2695	3,5614	0,0061
590	4,3076	3,1773	0,0046
595	4,4702	2,9397	0,0047
600	4,5237	2,6873	0,0034
605	4,4431	2,4085	0,0025
610	4,2509	2,1326	0,0014
615	3,9343	1,8497	0,0010
620	3,5459	1,5811	0,0008
625	3,0223	1,2911	0,0004
630	2,5322	1,0446	0,0002
635	2,1412	0,8574	0,0001
640	1,7740	0,6931	0,0001
645	1,3966	0,5349	0,0000
650	1,0732	0,4051	
655	0,8289	0,3093	
660	0,6258	0,2315	
665	0,4657	0,1713	
670	0,3404	0,1246	
675	0,2417	0,0882	
680	0,1733	0,0630	
685	0,1152	0,0417	

λ , нм	$\Phi_{D_{65}}(\lambda) \bar{x}(\lambda)$	$\Phi_{D_{65}}(\lambda) \bar{y}(\lambda)$	$\Phi_{D_{65}}(\lambda) z(\lambda)$
690	0,0749	0,0271	
695	0,0529	0,0191	
700	0,0385	0,0139	
705	0,0280	0,0101	
710	0,0204	0,0074	
715	0,0132	0,0048	
720	0,0085	0,0031	
725	0,0064	0,0023	
730	0,0048	0,0017	
735	0,0034	0,0012	
740	0,0025	0,0009	
745	0,0016	0,0006	
750	0,0010	0,0004	
755	0,0006	0,0002	
760	0,0004	0,0001	
765	0,0003	0,0001	
770	0,0003	0,0001	
775	0,0002	0,0001	
780	0,0001	0,0000	
Сумма	95,0295	100,0000	108,8817

Стандартные источники белого света. Излучения D МКО. Для проведения цветовых измерений стандартизованы четыре типа источников белого света. Источник A воспроизводит условия освещения ЛН и соответствует излучению полного излучателя при 2856 К. Источник B воспроизводит прямое солнечное излучение с коррелированной цветовой температурой $T_{ц.к} = 4870$ К. Источник C воспроизводит рассеянный дневной свет с $T_{ц.к} = 6770$ К. Источник D_{65} воспроизводит усредненный дневной свет с $T_{ц.к} = 6500$ К, включая УФ-часть спектра, и используется для измерения цвета люминесцирующих материалов. Данные относительного спектрального распределения энергии этих источников приведены в ГОСТ 7721.89. Координаты цветности даны в табл. 2.14.

В качестве источника A используется газополная ЛН с вольфрамовой нитью. В качестве источников B и C применяется источник A в сочетании со светофильтрами. Способ воспроизведения источника D_{65} пока не стандартизован.

Для многих целей не представляется возможным ограничиться перечисленными источниками белого света и требуется знать относительное спектральное распределение энергии различных фаз дневного света в широком диапазоне коррелированных цветových температур через достаточно малые интервалы. В результате математической обработки данных многочисленных измерений спектрального распределения энергии дневного света МКО принято уравнение кривой D (рис. 2.23), на которой лежат точки, соответствующие цветностям различных фаз дневного света x_D, y_D :

$$y_D = -3,000x_D^2 + 2,870x_D - 0,275. \quad (2.14)$$

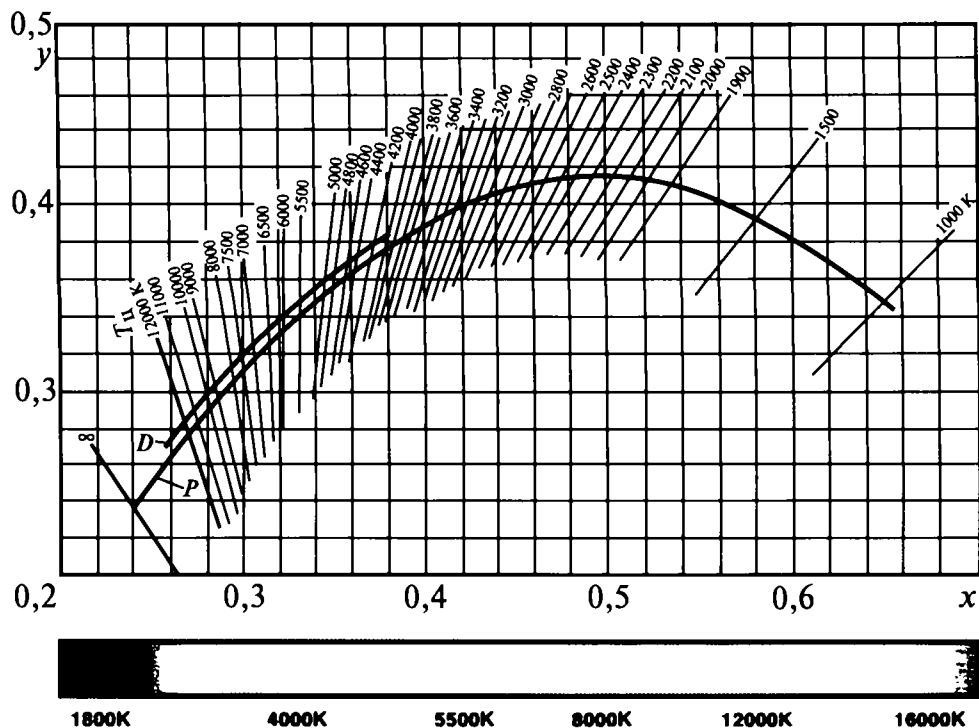


Рис. 2.23. Часть цветового графика x, y с линией черного тела (P), линией дневного света МКО (D) и линиями постоянной цветовой температуры

Таблица 2.14

Координаты цветности стандартных ИС

Источник	Координаты цветности	
	x	y
A	0,448	0,407
B	0,348	0,352
C	0,310	0,316
D_{65}	0,313	0,329

Относительное спектральное распределение энергии дневного света для заданной T_{II} рассчитывается по формуле:

$$\Phi_{\lambda}(\lambda) = \Phi_0(\lambda) + M_1 \Phi_1(\lambda) + M_2 \Phi_2(\lambda), \quad (2.15)$$

где $\Phi_0(\lambda)$, $\Phi_1(\lambda)$, $\Phi_2(\lambda)$ — функции длины волны; M_1 , M_2 — коэффициенты для данной T_{II} . Табличные значения их приведены в [2.25].

Равноконтрастное цветовое пространство

Система XYZ МКО не может использоваться для оценки различий между цветами. Для этой цели нужна **равноконтрастная система**.

В 1960 г. МКО был рекомендован в качестве стандартного **равноконтрастный цветовой график u, v** , разработанный Мак-Адамом (рис. 2.24) и связанный с системой XYZ соотношениями:

$$u = \frac{4x}{-2x + 12y + 3}; \quad v = \frac{6y}{2x + 12y + 3} \quad (2.16)$$

или

$$u = \frac{4X}{X + 15Y + 3Z}; \quad v = \frac{6Y}{X + 15Y + 3Z}. \quad (2.17)$$

На основе равноконтрастного цветового графика МКО в 1964 г. разработано **равноконтрастное цветовое пространство ($U^*V^*W^*$)**, координаты которого связаны с координатами цвета XYZ соотношениями:

$$U^* = 13W^*(u - u_0); \quad V^* = 13W^*(v - v_0); \\ W^* = 25Y^{1/3} - 17, \quad (2.18)$$

где u, v определяются по (2.17); u_0, v_0 — значения для номинального ахроматического цвета.

Цветовые различия определяются по формуле

$$\Delta E(U^*V^*W^*) = [(\Delta U^*)^2 + (\Delta V^*)^2 + (\Delta W^*)^2]^{1/2}. \quad (2.19)$$

В 1976 г. МКО рекомендованы для использования два равноконтрастных цветовых пространства ($L^*u^*v^*$) и ($L^*a^*b^*$).

Цветовое пространство ($L^*u^*v^*$) представляет собой модифицированное цветовое пространство МКО 1964 г. ($U^*V^*W^*$). Модификация осуществлена за счет изменения в 1,5 раза масштаба по оси V равноконтрастного цветового графика (u, v), а также небольшого изменения выражения светлотного фактора W^* . Новые координаты u', v' определяются соотношениями:

$$u' = \frac{4X}{X + 15Y + 3Z}; \quad v' = \frac{9Y}{X + 15Y + 3Z}. \quad (2.20)$$

Координаты L^* , u^* , v^* выражаются уравнениями:

$$\left. \begin{aligned} L^* &= 25(100Y/Y_0)^{1/3} - 16; \\ u^* &= 13L^*(u' - u'_0); \\ v^* &= 13L^*(v' - v'_0). \end{aligned} \right\} \quad (2.21)$$

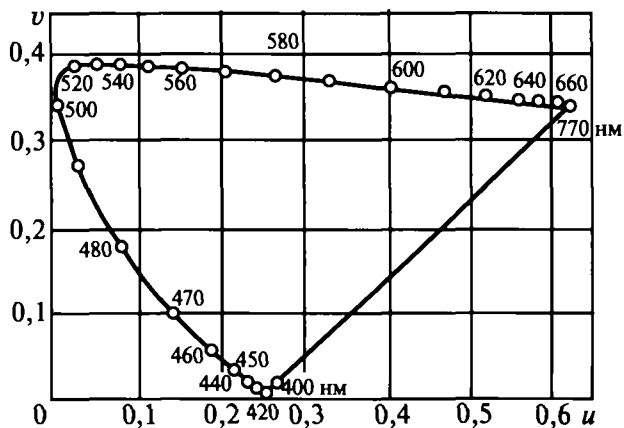


Рис. 2.24. Равноконтрастный цветовой график МКО 1960 г.

Равноконтрастное цветовое пространство ($L^*a^*b^*$) представляет собой упрощенный вариант пространства Адамса—Никкерсон. Координаты выражаются уравнениями:

$$\left. \begin{aligned} L^* &= 25(100Y/Y_0)^{1/3} - 16; \quad 1 \leq Y \leq 100; \\ a^* &= 500[(X/X_0)^{1/3} - (Y/Y_0)^{1/3}]; \\ b^* &= 200[(Y/Y_0)^{1/3} - (Z/Z_0)^{1/3}], \end{aligned} \right\} \quad (2.22)$$

где X_0 , Y_0 , Z_0 — координаты цвета стандартного ахроматического источника.

2.4.2. Методы и средства технических измерений цвета.

Атласы цветов

Определение цвета принципиально может осуществляться тремя методами: расчетом по данным измерений относительного распределения энергии ИС и спектральных коэффициентов отражения или пропускания освещаемого объекта; колориметрическим визуальным методом путем визуального сопоставления измеряемого цвета с цветом, получаемым суммированием основных цветов колориметра; колориметрическим объективным методом с помощью физических приемников излучения, кривые спектральной чувствительности которых приведены к кривым сложения колориметрической системы МКО или являются их линейной трансформацией.

Расчетный (спектрофотометрический) метод, опирающийся непосредственно на стандартные кривые уловных координат, является наиболее точным и признан в международной практике в качестве основного.

Ранее этот метод вследствие его большой трудоемкости использовался в основном для аттестации средств измерений. В настоящее время за счет возможности автоматизации процессов измерений и расчетов практическое значение этого метода резко возросло.

Для характеристики современных РЛ, отличающихся сложностью и большим разнообразием спектров излучения, оказались необходимыми новые параметры по сравнению с использовавшимися для ЛН, излучение которых по спектральному распределению в видимой области близко к спектральному распределению излучения черного тела. Колориметрические параметры ИС характеризуют в сжатом численном виде их цвет, а также особенности спектрального распределения энергии. Эти параметры, как правило, зафиксированы в соответствующей нормативно-технической документации на ИС, и ими руководствуются при проектировании ОУ. Основой для определения колориметрических параметров ИС является спектральное распределение энергии $\Phi_\lambda(\lambda)$. Применяются также упрощенные методы определения колориметрических параметров.

В качестве основного метода определения координат цветности ИС принимается расчет по данным спектральных измерений. Координаты цвета X , Y , Z рассчитываются по уравнениям:

$$\left. \begin{aligned} X &= \sum_{380}^{780} \Phi_{e\lambda}(\lambda) x(\lambda) \Delta\lambda; \\ Y &= \sum_{380}^{780} \Phi_{e\lambda}(\lambda) \bar{y}(\lambda) \Delta\lambda; \\ Z &= \sum_{380}^{780} \Phi_{e\lambda}(\lambda) \bar{z}(\lambda) \Delta\lambda. \end{aligned} \right\} \quad (2.23)$$

Координаты цветности рассчитываются по (2.7).

Именно этот спектральный метод измерения координат цвета и координат цветности различных объектов, являющийся наиболее точным и признанным в международной практике цветовых измерений в качестве основного, используется в современных СИ-спектроколориметрах.

Атласы цветов

Одним из способов визуальной оценки и определения цвета объекта является использование атласов цветов. Атласы представляют собой набор цветных образцов с известными цветовыми характеристиками, расположенных в определенном порядке. Более 30 лет назад во ВНИИМ им. Д.И. Менделеева Е.Н. Юстовой и др. был разработан атлас из 1000 стандартных образцов цвета. Этот атлас охватывал многие атласы отраслевого назначения, созданные ранее, и предназначался для обеспечения единства цветовых измерений отражающих материалов [2.11].

Приборы для цветовых измерений

Отечественная промышленность в настоящее время практически не выпускает колориметров, хотя ранее серийно изготавливались компараторы цвета типа

ЭКЦ-1, КЦ-2 и КЦ-3, фотоэлектрические колориметры КНО-3, спектроколориметры «Спектротоп» и «Пульсар». Некоторые из этих средств измерений, выпущенные десять и более лет назад, еще продолжают использоваться в заводских лабораториях лакокрасочной, целлюлозно-бумажной, текстильной, химической промышленности.

За рубежом имеется целый ряд крупных фирм, имеющих многолетний опыт производства спектроколориметров различного назначения. Среди таких фирм можно выделить наиболее крупные. Прежде всего, это фирмы Gretag Macbeth, Hanterlab и X-Rite (США), LMT и Datacolor International (Германия), Minolta (Япония) [2.26] и др. Каждая из этих фирм специализируется на производстве спектроколориметров той или иной модификации и сферы использования.

Так, например, крупнейшая фирма LMT (Германия) специализируется на производстве прецизионных фотометров, фотометрических головок и другого оборудования для измерения самосветящихся объектов [2.25]. Фирма X-Rite (США) выпускает в основном портативные переносные спектроколориметры, используемые для оперативного контроля качества производимой продукции непосредственно на рабочих местах в текстильной, бумажной, лакокрасочной, химической промышленности. Ниже рассмотрены некоторые типы спектроколориметров, выпускаемых различными фирмами.

В табл. 2.15 в качестве примеров современных приборов для цветовых измерений приведены основные технические характеристики трех спектроколориметров Color Eye американской фирмы Gretag Macbeth типов ХТН, 2180 UV и 7000А, внесенных в Государственный реестр средств измерений. Эти спектроколориметры предназначены для цветовых измерений и светового анализа отражающих материалов как в лабораторных, так и в производственных условиях. Спектроколориметр типа 7000А используется еще и для цветовых измерений прозрачных материалов. В сочетании с компьютерным оборудованием и программным обеспечением по контролю и расчету цветовых характеристик эти спектроколориметры являются цветоизмерительными системами, широко используемыми в лакокрасочной, пищевой, текстильной, бумажной, химической и других отраслях промышленности. Данные приведены по результатам испытаний спектроколориметров для целей утверждения типа.

Принцип работы каждого из спектроколориметров основан на двухлучевой оптической схеме с интегрирующей сферой в сочетании с ксеноновой лампой-вспышкой. Ксеноновый импульсный ИС соответствует источнику типа D_{65} , поддерживая постоянство его спектральных характеристик в течение всего долгого срока службы, не требуя времени на разогрев. Линейка из кремниевых фотодиодов после голографической решетки перекрывает спектральный диапазон длин волн от 360 до 750 нм с шагом $\Delta\lambda = 10$ нм. Спектроколори-

Таблица 2.15

Основные технические характеристики спектроколориметров Color Eye американской фирмы Gretag Macbeth типов ХТН, 2180 UV и 7000А

Характеристика	ХТН	2180 UV	7000А
Диапазон измерений координат цвета	$X = 2,5 - 109,0, Y = 1,4 - 98,0, Z = 1,7 - 118,1$		
Диапазон измерений координат цветности	$x = 0,004 - 0,734, y = 0,005 - 0,834$		
Предел допускаемого значения абсолютной погрешности измерения координат цвета	$\Delta X = \Delta Y = \Delta Z = 0,4 - 1,0$ (отражение)		$\Delta X = \Delta Y = \Delta Z = 0,3 - 1,0$ (отражение) $\Delta X = \Delta Y = \Delta Z = 0,2 - 0,5$ (пропускание)
Предел допускаемого значения абсолютной погрешности измерения координат цветности	$\Delta x = \Delta y = 0,003 - 0,01$		$\Delta x = \Delta y = 0,002 - 0,01$
Время измерения, с	1		
Время непрерывной работы, ч, не менее	8		
Габаритные размеры, мм ³ , не более	75 × 85 × 200	360 × 175 × 235	715 × 280 × 390
Масса, кг, не более	0,850	7	25
Питание от сети переменного тока: – напряжение, В – частота, Гц	220 ± 22 50 ± 1		
Автономное питание от аккумулятора, В	12	—	—
Потребляемая мощность, В·А, не более	18	30	36
Рабочие условия измерений: – температура, °С – относительная влажность воздуха, %	10–35 20–80	15–32 20–80	15–33 25–80

Технические и метрологические характеристики колориметров C1210 и C2210 [2.25]

метры отличает высокая автоматизация измерений. Приборы выполняют до ста «автокалибровок» с заданным интервалом времени, исключающих ошибки оператора. Поверка приборов осуществляется в соответствии с методикой поверки, утвержденной ВНИИОФИ. Для поверки используют набор мер рабочего эталона единиц координат цвета и цветности ВЭТ 81-1-91 (в соответствии с поверочной схемой ГОСТ 8.205-90).

Фирма Hunter Lab (США) имеет более чем 40-летний опыт работы в 68 странах мира. Спектроколориметр типа Mini Scan XE Plus представляет собой многоцелевой портативный переносной спектроколориметр, который может использоваться в текстильной, пищевой, бумажной, лакокрасочной и других отраслях промышленности для измерения прозрачных и отражающих образцов продукции: гладких, сыпучих или жидких.

Немецкая фирма Datacolor International также серийно выпускает спектроколориметры. Прибор типа MicroFlash 200d имеет выносной портативный измерительный блок, позволяющий проводить измерение координат цвета отражающих образцов различных типов и размеров. Остальные два спектроколориметра — стационарные приборы. Elgerho 3300 является примером специализированного спектроколориметра, помимо координат цвета измеряющего еще и белизну, а также блеск различных образцов в целлюлозно-бумажной и текстильной промышленности.

Обладающая мировой известностью японская фирма Minolta Co., Ltd в середине 90-х годов выпускала пять типов колориметров, предназначенных для измерений цвета ИС, светоотражающих предметов и светопропускающих жидкостей [2.26]. Все приборы для измерений цвета светоотражающих предметов, состоящих из измерительных головок и процессора, портативны, выходные сигналы измерительных головок вводятся в унифицированный малогабаритный батарейный процессор типа DP-301 с дисплеем и принтером.

Общепризнанно, что в настоящее время наилучшими метрологическими характеристиками обладают трехзональные колориметры фирмы LMT (Германия). Именно этими приборами оснащены ведущие национальные метрологические лаборатории разных стран. В табл. 2.16 представлены основные сведения о колориметрах C1210 и C2210 этой фирмы [2.25]. Измерительным преобразователем в обоих приборах служит колориметрическая головка типа SN60, содержащая три независимых канала, в каждом из которых расположены светофильтр и кремниевый фотоэлемент. Выходные сигналы фотоэлементов усиливаются высокоточными операционными усилителями, обеспечивающими строгую пропорциональность фототока освещенности приемной площадки фотоэлемента. Фототоки преобразуются в соответствующие напряжения, поступающие на входы АЦП, за которыми следует микропроцессор. Колориметрическая головка высококачественно калибрована и термостатирована. Диаметр ее активной приемной поверхности равен 60 мм, калибровка осуществляется при температуре 25°C.

Характеристика	C1210, C2210
Назначение	Определение координат цвета X, Y, Z , координат цветности x, y , коррелированной цветовой температуры
Диапазон освещенностей	мин. 0,01 лк, макс. $6 \cdot 10^5$ лк
Число диапазонов измерений	6
$\bar{x}(\lambda)$ — коррекция погрешности корригирования f_{1x}	<1,5%
$y(\lambda)$ — коррекция погрешности корригирования f_{1y}	<1,0%
$z(\lambda)$ — коррекция погрешности корригирования f_{1z}	<2,0%
Чувствительность к УФ, u	<1,0%
Чувствительность к ИК, r	<1,0%
Погрешность за счет нелинейности f_3	<0,1% ± 1 цифра
Погрешность отсчета f_4	<0,15%
Температурный коэффициент α_0	<0,01%/К
Погрешность за счет утомляемости f_5	<0,15%
Погрешность за счет модуляции света f_7	<0,1%
Погрешность за счет переключения диапазонов f_{11}	<0,1% (для Y-канала)
Суммарная погрешность f_{ges}	<3% (для Y-канала)
Предельные частоты	нижняя <25 Гц; верхняя >100 кГц
Калибровка	по источнику типа А при 25°C; неопределенность ± 0,4% и ± 6 К; межкалибровочный интервал <2 лет
Размеры	365 × 450 × 135 мм ³
Масса: дисплей + измерительный блок колориметрическая головка	-8 кг -1,5 кг

2.4.3. Эталонные измерения цвета

В целях создания системы обеспечения единства измерений в колориметрии во ВНИИОФИ были разработаны и внедрены на территории Российской Федерации Государственный специальный эталон единиц координат цвета (X, Y, Z) и координат цветности (x, y) и Государственная поверочная схема для средств измерений этих величин. Передача размеров единиц координат цвета и цветности регламентирована ГОСТ 8.205-90 как для несамосветящихся, так и для самосветящихся объектов [2.7].

Государственный специальный эталон единиц координат цвета и координат цветности

Государственный специальный эталон состоит из комплекса следующих СИ:

– спектрофотометрической установки для воспроизведения единиц координат цвета несамосветящихся объектов;

– эталонного спектрорадиометра для воспроизведения единиц координат цветности несамосветящихся объектов и непрерывного оптического излучения;

– эталонных наборов мер (переменных по своему составу) несамосветящихся объектов и излучателей непрерывного оптического излучения;

– системы регистрации и обработки информации.

В качестве вторичных эталонов единиц координат цвета несамосветящихся объектов применяют комплексы, состоящие из спектроколориметрических установок с наборами мер (отражающих и прозрачных образцов) в диапазонах измерений: $X = 2,5 \div 109,0$; $Y = 1,4 \div 98,0$ и $Z = 1,7 \div 107,0$ и системы регистрации и обработки информации.

В качестве вторичных эталонов единиц координат цветности несамосветящихся объектов применяют комплексы, состоящие из колориметра с наборами отражающих и прозрачных образцов в диапазонах измерений: $x = 0,0039 \div 0,7347$ и $y = 0,0048 \div 0,8338$ и системы регистрации и обработки информации.

В качестве вторичных эталонов единиц координат цветности самосветящихся объектов применяют комплексы, состоящие из спектрорадиометра с наборами мер (излучателей) в диапазонах измерений: $x = 0,0039 \div 0,7347$ и $y = 0,0048 \div 0,8338$ при яркости от 10 до 1000 кд/м² и системы регистрации и обработки информации.

Средние квадратические отклонения результатов сличений S_{Σ} вторичных эталонов единиц координат цвета несамосветящихся объектов с государственным составляют:

– для прозрачных образцов — $S_{X_{\Sigma}} = S_{Y_{\Sigma}} = S_{Z_{\Sigma}} = 0,1$;

– для отражающих образцов — $S_{X_{\Sigma}} = S_{Y_{\Sigma}} = 0,2 S_{Z_{\Sigma}} = 0,25$.

Средние квадратические отклонения результатов сличений S_{Σ} вторичных эталонов единиц координат цветности несамосветящихся объектов с государственным не должны превышать:

0,007 — для координат цветности $x < 0,1$ или $y < 0,1$;

0,0007 — для координат цветности $x > 0,1$ или $y > 0,1$.

Средние квадратические отклонения результатов сличений вторичных эталонов единиц координат цветности самосветящихся объектов с государственным составляют $S_{X_{\Sigma}} = S_{Y_{\Sigma}} = 0,0008 + 0,0020$.

Вторичные эталоны единиц координат цвета и координат цветности самосветящихся объектов применяют для передачи размеров единиц разрядным (рабочим) эталонам методом прямых измерений и сличением при помощи компараторов (набора мер координат цвета и набора образцов координат цветности) и рабочим средствам измерений сличением при помощи компаратора (набора мер координат цвета и набора образцов координат цветности).

Вторичные эталоны единиц координат цветности самосветящихся объектов применяют для передачи размеров единиц разрядным (рабочим) эталонам методом прямых измерений и сличением при помощи компаратора (набора мер) и рабочим средствам измерений сличением при помощи компаратора (набора мер).

В качестве разрядных (рабочих) эталонов единиц координат цвета и координат цветности несамосветящихся объектов применяют: наборы мер координат цвета в диапазонах измерений $X = 2,5 \div 107,0$; $Y = 2 \div 98$ и $Z = 1,7 \div 107,0$; колориметры в диапазонах измерений: координат цвета $X = 2,5 \div 109,0$; $Y = 1,4 \div 98,0$ и $Z = 1,7 \div 107,0$ и координат цветности — $x = 0,004 \div 0,734$ и $y = 0,005 \div 0,834$; наборы образцов координат цветности в диапазонах измерений: $x = 0,2 \div 0,5$ и $y = 0,25 \div 0,44$.

В качестве разрядных (рабочих) эталонов единиц координат цветности самосветящихся объектов применяют источники A, B, C со значениями: $x_A = 0,448$; $u_A = 0,407$; $x_B = 0,348$; $u_B = 0,352$; $x_C = 0,310$ и $u_C = 0,316$; излучатели в диапазонах измерений: $x = 0,1 \div 0,7$ и $y = 0,05 \div 0,70$ и колориметры в диапазонах измерений: $x = 0,004 \div 0,734$ и $y = 0,005 \div 0,834$ при яркости от 10 до 1000 кд/м².

Пределы допускаемых абсолютных погрешностей Δ разрядных (рабочих) эталонов единиц координат цвета несамосветящихся объектов составляют:

– для прозрачных образцов — $\Delta_x = \Delta_y = \Delta_z = 0,15 \div 0,20$;

– для отражающих образцов — $\Delta_x = \Delta_y = \Delta_z = 0,3 \div 0,35$.

Пределы допускаемых абсолютных погрешностей Δ разрядных (рабочих) эталонов единиц координат цветности самосветящихся объектов составляют: $\Delta_x = \Delta_y = 0,002 \div 0,020$.

Пределы допускаемых абсолютных погрешностей Δ разрядных (рабочих) эталонов единиц координат цветности самосветящихся объектов составляют: $\Delta_x = \Delta_y = 0,002 \div 0,005$.

Разрядные (рабочие) эталоны применяют для поверки рабочих СИ координат цвета и координат цветности несамосветящихся объектов методом прямых измерений и сличением при помощи компаратора (набора мер координат цвета и набора образцов координат цветности).

Разрядные (рабочие) эталоны применяют для проверки рабочих средств измерений координат цветности самосветящихся объектов методом прямых измерений и сличением при помощи компаратора (набора мер).

В качестве рабочих СИ координат цвета несамосветящихся объектов применяют: колориметры в диапазонах измерений: $X = 2,5 \div 109,0$; $Y = 1,4 \div 98,0$ и $Z = 1,7 \div 107,0$; визуальные колориметры в диапазонах измерений: $X = 3 \div 90$; $Y = 2 \div 98$ и $Z = 2 \div 105$.

В качестве рабочих СИ координат цветности самосветящихся объектов применяют: колориметры в диапазонах измерений: $x = 0,004 \div 0,734$ и $y = 0,005 \div 0,834$.

В качестве рабочих СИ координат цветности самосветящихся объектов применяют: колориметры в диапазонах измерений: $x = 0,004 \div 0,734$ и $y = 0,005 \div 0,834$ и телевизионные колориметры в диапазонах измерений: $x = 0,1 \div 0,7$ и $y = 0,05 \div 0,70$ при яркости от 10 до 1000 кд/м².

Пределы допускаемых абсолютных погрешностей Δ рабочих средств измерений координат цвета несамосветящихся объектов составляют:

– для прозрачных образцов — $\Delta_x = \Delta_y = \Delta_z = 0,20 \div 1,00$;

– для отражающих образцов — $\Delta_x = \Delta_y = \Delta_z = 0,4 \div 1,5$.

Пределы допускаемых абсолютных погрешностей Δ рабочих СИ координат цветности несамосветящихся объектов составляют: $\Delta_x = \Delta_y = 0,002 \div 0,50$.

Пределы допускаемых абсолютных погрешностей рабочих средств измерений координат цветности самосветящихся объектов составляют: $\Delta_x = \Delta_y = 0,004 \div 0,020$.

2.4.4. Цветопередача.

Относительное содержание красного излучения

Сложность и большое разнообразие спектров современных РЛ обусловили необходимость введения и контроля специальной характеристики качества цветопередачи источников наряду со световой отдачей. **Цветопередача** характеризует влияние спектрального состава излучения источника на зрительное восприятие цветных объектов по сравнению с восприятием их при освещении опорным источником.

Основным методом оценки качества цветопередачи ИС общего назначения является метод «контрольных цветов». Оценка цветопередачи выполняется расчетом на основе относительного спектрального распределения энергии ламп. Показателями качества цветопередачи служат индексы цветопередачи, определяемые на основе цветовых сдвигов, получаемых на стандартных отражающих образцах при переходе от испытуемого ИС к опорному.

Цветопередача оценивается общим индексом цветопередачи R_a , который может быть дополнен специальными индексами цветопередачи R_i . **Общий индекс цветопередачи R_a** дает усредненную характеристику для восьми образцов средней насыщенности; специальные индексы цветопередачи R_i характеризуют цветопередачу. соответственно, на цветах большой насыщенно-

сти — красном, желтом, зеленом и синем, а также на образцах, воспроизводящих цвет человеческой кожи и зеленой листвы. Контрольные образцы (их общее количество 14) имеют фиксированные значения спектральных коэффициентов яркости.

Оценка цветопередачи производится по отношению к опорным источникам, цветность которых такая же, как цветность испытуемого источника, или близка к ней. Для ИС с $T_{ц} \leq 5000$ К в качестве опорного используется полный излучатель, для источников с $T_{ц} > 5000$ К — дневной свет, спектральное распределение которого рассчитывается как функция $T_{ц}$.

Для учета цветовой адаптации при переходе от испытуемого источника к опорному используется трансформация по фон Крису с основными цветами Джалда [2.23]. Цветовые сдвиги оцениваются по равноконтрастной цветовой системе МКО $U^*V^*W^*$. Специальные индексы цветопередачи рассчитываются по формуле:

$$R_i = 100 - 4,6 \Delta E_i, \quad (2.24)$$

где ΔE_i — цветовой сдвиг на i -м образце, определяемый из (2.19).

Общий индекс цветопередачи определяется как среднеарифметическое из значений R_i для первых восьми образцов:

$$R_a = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^{i=8} R_i. \quad (2.25)$$

Все данные, необходимые для расчета индексов цветопередачи МКО, приведены в ГОСТ 23198-78. Программа расчетов на ЭВМ разработана ВНИСИ.

Шкала индекса цветопередачи построена таким образом, что индекс 100 имеет источник с такой же цветопередачей, как у опорного источника, а индекс 50 — стандартная ЛЛ с $T_{ц.к} = 3000$ К. По качеству цветопередачи ИС разделяются примерно на три класса: высокого ($R_a \geq 85$), среднего ($85 > R_a \geq 70$) и низкого ($R_a < 70$).

Модификацией индекса цветопередачи МКО является **индекс цветового предпочтения**, определяемый не по отношению к опорному источнику, а по отношению к цветности, предпочитаемой массовым потребителем.

В качестве критерия качества цветопередачи ИС иногда используется площадь цветового охвата, создаваемая восемью контрольными образцами МКО (табл. 2.17) на равноконтрастном цветовом графике. Соответствующий показатель под названием **индекс цветового различения** применяется в основном к ЛЛ с узкополосными спектрами излучения.

Несмотря на то, что метод контрольных цветов является в настоящее время главным методом оценки качества цветопередачи, не потерял еще своего практического значения и спектрально-анализный метод, применяемый для оценки цветопередачи ЛЛ.

Оценка цветопередачи спектрально-анализным методом осуществляется путем сопоставления относительного распределения светового потока испытуемого и опорного источников по спектральным зонам. Для этой

Спектральные коэффициенты яркости контрольных образцов МКО для оценки цветопередачи [2.27]

λ [нм]	Номер образца													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
380	0,219	0,070	0,065	0,074	0,295	0,151	0,378	0,104	0,066	0,050	0,111	0,120	0,104	0,036
390	0,252	0,089	0,070	0,093	0,310	0,265	0,524	0,170	0,058	0,059	0,127	0,090	0,161	0,037
400	0,256	0,111	0,073	0,116	0,313	0,410	0,551	0,319	0,052	0,066	0,127	0,076	0,264	0,039
410	0,252	0,118	0,074	0,124	0,319	0,492	0,559	0,462	0,051	0,068	0,116	0,064	0,341	0,040
420	0,244	0,121	0,074	0,128	0,326	0,517	0,561	0,490	0,050	0,069	0,108	0,075	0,359	0,042
430	0,237	0,122	0,073	0,135	0,334	0,531	0,556	0,482	0,048	0,072	0,104	0,123	0,364	0,043
440	0,230	0,123	0,073	0,144	0,346	0,544	0,554	0,462	0,046	0,076	0,105	0,207	0,367	0,044
450	0,225	0,127	0,074	0,161	0,360	0,556	0,522	0,439	0,042	0,083	0,110	0,300	0,372	0,045
460	0,220	0,131	0,077	0,186	0,381	0,554	0,488	0,413	0,038	0,095	0,123	0,346	0,376	0,047
470	0,216	0,138	0,085	0,229	0,403	0,541	0,448	0,382	0,033	0,113	0,148	0,341	0,384	0,050
480	0,214	0,150	0,109	0,281	0,415	0,519	0,408	0,352	0,030	0,142	0,192	0,307	0,397	0,055
490	0,216	0,174	0,148	0,332	0,419	0,488	0,363	0,325	0,028	0,189	0,252	0,257	0,416	0,062
500	0,223	0,207	0,198	0,370	0,413	0,450	0,324	0,299	0,028	0,262	0,325	0,204	0,443	0,075
510	0,226	0,242	0,241	0,390	0,403	0,414	0,301	0,283	0,030	0,365	0,356	0,154	0,461	0,092
520	0,225	0,260	0,278	0,395	0,389	0,377	0,283	0,270	0,031	0,465	0,346	0,109	0,469	0,108
530	0,227	0,267	0,339	0,385	0,372	0,341	0,265	0,256	0,032	0,546	0,314	0,075	0,474	0,133
540	0,235	0,272	0,392	0,367	0,353	0,309	0,257	0,250	0,033	0,610	0,271	0,051	0,483	0,150
550	0,253	0,282	0,400	0,341	0,331	0,279	0,259	0,254	0,035	0,653	0,227	0,035	0,506	0,155
560	0,272	0,299	0,380	0,310	0,308	0,253	0,260	0,264	0,041	0,678	0,188	0,025	0,553	0,147
570	0,298	0,322	0,349	0,280	0,284	0,234	0,256	0,272	0,048	0,693	0,153	0,019	0,618	0,133
580	0,341	0,335	0,315	0,247	0,260	0,225	0,254	0,278	0,060	0,701	0,125	0,017	0,680	0,118
590	0,390	0,341	0,285	0,214	0,232	0,221	0,270	0,295	0,102	0,705	0,106	0,016	0,717	0,106
600	0,424	0,342	0,264	0,185	0,210	0,220	0,302	0,348	0,190	0,706	0,096	0,016	0,736	0,098
610	0,442	0,342	0,252	0,169	0,194	0,220	0,344	0,434	0,336	0,707	0,090	0,016	0,745	0,093
620	0,450	0,341	0,241	0,160	0,185	0,223	0,377	0,528	0,505	0,708	0,085	0,016	0,748	0,089
630	0,451	0,339	0,229	0,154	0,180	0,233	0,400	0,604	0,641	0,710	0,080	0,018	0,748	0,086
640	0,451	0,338	0,220	0,151	0,176	0,244	0,420	0,648	0,717	0,712	0,078	0,018	0,748	0,084
650	0,450	0,336	0,216	0,148	0,175	0,258	0,438	0,676	0,758	0,716	0,078	0,019	0,748	0,084
660	0,451	0,334	0,219	0,148	0,175	0,268	0,452	0,693	0,781	0,720	0,081	0,023	0,747	0,085
670	0,453	0,332	0,230	0,151	0,180	0,278	0,462	0,705	0,797	0,725	0,088	0,026	0,747	0,092
680	0,455	0,331	0,251	0,158	0,186	0,283	0,468	0,712	0,809	0,731	0,102	0,035	0,747	0,102
690	0,458	0,329	0,288	0,165	0,192	0,291	0,473	0,717	0,819	0,739	0,125	0,056	0,747	0,123
700	0,462	0,328	0,340	0,170	0,199	0,302	0,483	0,721	0,828	0,746	0,161	0,097	0,746	0,152
710	0,464	0,326	0,390	0,170	0,199	0,325	0,496	0,719	0,831	0,749	0,203	0,166	0,745	0,188
720	0,466	0,324	0,431	0,166	0,196	0,351	0,511	0,725	0,835	0,753	0,242	0,257	0,743	0,226
730	0,466	0,324	0,460	0,164	0,195	0,376	0,525	0,729	0,836	0,755	0,270	0,354	0,745	0,260
740	0,467	0,322	0,481	0,168	0,197	0,401	0,539	0,730	0,838	0,755	0,292	0,446	0,750	0,294
750	0,467	0,320	0,493	0,177	0,203	0,425	0,553	0,730	0,839	0,756	0,310	0,520	0,749	0,325
760	0,467	0,316	0,500	0,185	0,208	0,447	0,565	0,730	0,839	0,758	0,317	0,577	0,748	0,353
770	0,467	0,315	0,505	0,192	0,215	0,469	0,575	0,730	0,839	0,759	0,330	0,618	0,747	0,379
780	0,467	0,314	0,516	0,197	0,219	0,485	0,581	0,730	0,839	0,759	0,338	0,645	0,747	0,399
405	0,254	0,116	0,073	0,121	0,315	0,464	0,555	0,416	0,052	0,067	0,121	0,068	0,313	0,039
436	0,232	0,122	0,073	0,140	0,341	0,539	0,550	0,471	0,047	0,074	0,104	0,169	0,366	0,044
546	0,247	0,277	0,400	0,352	0,340	0,290	0,297	0,251	0,034	0,638	0,244	0,040	0,493	0,155
578	0,332	0,333	0,321	0,254	0,264	0,226	0,254	0,276	0,056	0,700	0,130	0,017	0,668	0,122
589	0,385	0,340	0,287	0,217	0,234	0,221	0,267	0,292	0,096	0,704	0,107	0,016	0,714	0,107

цели используется восьмизонная система: I зона — 380–420 нм; II — 420–440 нм; III — 440–460 нм; IV — 460–510 нм; V — 510–560 нм; VI — 560–610 нм; VII — 610–660 нм; VIII — 660–760 нм.

Для ламп типа ДРЛ нормируется относительное содержание красного излучения («красное отношение») Φ_K , %:

$$\Phi_{vi} = \sum_{\lambda_{i1}}^{\lambda_{i2}} \Phi_{\lambda}(\lambda) V(\lambda) \Delta\lambda.$$

$$\Phi_K = \frac{\int_{600}^{780} \Phi_{\lambda}(\lambda) V(\lambda) d\lambda}{\int_{600}^{780} \Phi_{\lambda}(\lambda) V(\lambda) d\lambda}.$$

Значение Φ_k может быть определено расчетом по спектральным данным или измерено с помощью корригированного приемника излучения и красного светофильтра.

2.5. РАДИОМЕТРИЯ И СПЕКТРОРАДИОМЕТРИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

2.5.1. Термины и определения

Исторически первыми формировались основы измерений фотометрических величин, опиравшиеся в качестве основной физической величины на силу света I_v и ее единицу канделу. Световые величины и единицы, их определения, соотношения между ними, обозначения и геометрическая трактовка наглядно представлены в табл. 2.1.

Соответствующие энергетические аналоги световых величин:

- энергетическая сила света; сила излучения (источника в некотором направлении) I_e [Вт·ср⁻¹];
- энергетическая яркость L_e [Вт·ср⁻¹·м⁻²];
- поток излучения; мощность излучения (Φ_e, P) [Вт];
- энергия излучения Q_e [Дж];
- энергетическая освещенность; облученность (в точке поверхности) E_e [Вт·м⁻²].

Измерения этих величин осуществляются теми же методами, что и их световых (фотометрических) аналогов (п. 2.3), но средствами измерений служат не фотометры, а **радиометры**, являющиеся приборами, предназначенными для измерения излучения в энергетических единицах (п. 2.2). Структурная схема радиометра отличается от таковой у фотометра наличием не фотометрической, а радиометрической головки. В ее состав также может входить оптический фильтр, но в данном случае не корригирующий спектральную чувствительность прибора под функцию $V(\lambda)$, а «вырезающий» из потока падающего излучения определенный участок спектра. Часто измерения приведенных выше величин именуют **интегральными измерениями** в отличие от **спектральных измерений**, когда интерес представляет зависимость данной энергетической (радиометрической) величины от длины волны λ или ее спектральное распределение.

Основным типом средства измерений, получившим распространение в спектрорадиометрии широко- и узкополосных источников излучения, является **спектро-радиометр** — прибор, предназначенный в основном для измерения спектральной плотности энергетической величины, характеризующей излучение (п. 2.2). Главным отличием спектрорадиометра от радиометра служит наличие в его составе **монохроматора** — спектрального прибора, включающего входную щель, коллиматорный и фокусирующий объективы, диспергирующее устройство и выходную щель.

В **спектрорадиометрии** источников монохроматического излучения (лазеров) наряду со спектрорадиометрами широкое применение получили **двухлучевые** и **многолучевые интерферометры**.

2.5.2. Измерительные преобразователи и приборы для технических интегральных и спектральных измерений

Радиометрические головки и радиометры

Оптический радиометр предназначен, как правило, для технических интегральных измерений энергетических величин, причем не столько в видимом, сколько в УФ- и ИК-диапазонах длин волн. Поэтому измерительные преобразователи этого СИ обладают иными оптическими свойствами и характеристиками, обеспечивающими достоверность получаемой количественной информации об объекте. В частности, для изготовления оптических преобразователей используются, кроме традиционных для видимого диапазона стекол, сапфир, германий, кварц, селенид цинка и многие другие материалы, прозрачные в требуемом диапазоне длин волн.

В радиометрических головках широко применяются приемники излучения тепловой группы, а также неохлаждаемые и охлаждаемые вплоть до криогенных температур полупроводниковые структуры на основе Ge и тройных соединений.

Все сказанное относится к радиометрам, измеряющим энергетические величины, характеризующие как некогерентное (широкополосное), так и когерентное (лазерное) излучение, поскольку лазерные ваттметры и джоульметры (соответственно, измерители мощности и энергии лазерного излучения) также принадлежат к этой категории СИ.

В лазерных ваттметрах и джоульметрах, также применяемых обычно в технических измерениях, в качестве измерительных преобразователей оптических величин в электрические сигналы используются преимущественно калиброванные по мощности или энергии когерентного излучения приемники тепловой и фотоэмиссионной групп, но чаще всего термобатарейные (калориметрические), болометрические, пироэлектрические и квантовые приемники [2.7].

Термобатарейные приемники используются для измерений мощности излучения непрерывных лазеров, а также мощности и энергии импульсных лазеров, генерирующих одиночные импульсы или импульсные последовательности с частотой повторения импульсов более 10 Гц. Приемный элемент обычно представляет собой тонкий металлический диск в виде мембраны с точкойсложным чернящим поглощающим излучение покрытием. Термобатарейные приемники могут работать в широком спектральном диапазоне (0,19–20,0) мкм с достаточно низким порогом чувствительности, т.е. их пределы преобразований простираются от 1 мВт до 5 кВт по мощности и по импульсной энергии от 0,01 до 300 Дж.

В качестве фотонных приборов преимущественно распространены кремниевые и германиевые фотодиоды. Эффективный квантовый выход этих материалов сильно зависит от длины волны излучения, поэтому кремниевые фотодиоды используются в качестве измерительных преобразователей в диапазоне длин волн (0,2–1,0) мкм, а германиевые — от 1,0 до 2,0 мкм. Пределы измерений мощности излучения непрерывных лазеров ограничены значениями от 1 нВт до 50 мВт, а

пределы измерения энергии импульсных лазеров — от 1 нДж до 1 мДж. Следовательно, фотонные приемники предпочтительны в рабочих СИ мощности и энергии слабоинтенсивного лазерного излучения, а также при измерениях в волоконно-оптических системах. При постоянных времени этих приемников порядка сотен микросекунд и менее они могут быть использованы также в СИ формы импульса с последующим интегрированием, дающим значение импульсной энергии.

Пироэлектрические преобразователи отличаются от вышеописанных тем, что они реагируют на изменение температуры и не могут быть использованы в пучках излучения непрерывных лазеров без их модуляции. Спектральный рабочий диапазон этих приемников простирается от 0,1 до 100 мкм, временной диапазон длительностей импульсов — от наносекунд до десятков секунд. В результате на основе этих измерительных преобразователей созданы и серийно выпускаются джоульметры с пределами измерений энергии импульсного лазерного излучения от 10 нДж до 20 Дж и ваттметры с пределами измерений мощности излучения непрерывных лазеров (с модуляцией пучка обычно механическим прерывателем) от 2 мкВт до 100 Вт. При этом пироэлектрический приемник должен быть тщательно защищен от вибраций, порождающих паразитную модуляцию сигнала, являющуюся источником значительной дополнительной погрешности.

Некоторые производители поставляют на рынок портативные приборы, позволяющие оперативно оценивать интенсивность рассеянного излучения, например, при работе лазерных установок. По существу, такие рабочие СИ являются лазерными дозиметрами.

В 90-х годах во ВНИИОФИ был разработан и выпускается мелкими сериями джоульметр ИЭЛ300 так называемого «проходного» типа, предназначенный для измерений энергии короткоимпульсного лазерного излучения без прерывания пучка, проходящего сквозь прозрачную приемную площадку измерительного преобразователя. Прибор включен в Госреестр средств измерений. (Под короткими подразумеваются импульсы лазерного излучения длительностью $\tau_n = (10^{-12} - 5 \cdot 10^{-4})$ с, где τ_n — максимальный интервал времени между двумя точками, в которых значения мощности достигают половины ликовой мощности). Его основу составляет фотоакустический преобразователь, принцип действия которого базируется на возникновении микрофонного эффекта в охватывающем прозрачную для лазерного излучения пластину тонкопленочном пироэлектрическом приемнике. Незначительные (не более 5%) потери энергии при прохождении излучения сквозь оптический элемент вызваны следующими причинами: отражением от границ раздела стекла с воздухом; поглощением излучения в стекле; диффузией, вызываемой неоднородностями материала оптического элемента.

Существенным достоинством такого преобразователя является возможность передачи основной части пучка импульсного лазерного излучения пользователю при одновременном преобразовании незначительной части энергии в измерительный сигнал.

Джоульметр ИЭЛ300 при массе $\leq 0,5$ кг имеет диапазон измерений от 10^{-3} до 10 Дж при частоте повторения импульсов до 100 Гц и основной погрешности $\leq 3\%$. Пироэлектрический преобразователь с входным оптическим элементом обладает лучевой стойкостью при плотностях пиковой мощности до $5 \cdot 10^8$ Вт/см². Диапазон длин волн, в котором можно выполнять измерения этим джоульметром (0,2 + 15) мкм, перекрывается радиометрической головкой в двух вариантах, отличающихся спектральными характеристиками входного оптического элемента (из кварца или селенида цинка). Прибор имеет встроенный энергонезависимый микропроцессор для управления и может хранить результаты измерений после выключения питания. При диаметре радиометрической головки 90 мм и толщине 50 мм джоульметр позволяет выполнять измерения энергии пучков диаметром от 2 до 16 мм. Коэффициент пропускания мощности лазерного излучения пироэлектрической пленкой — не менее 92%. Джоульметр позволяет производить:

- измерение энергии в каждом импульсе в серии до 5000 импульсов;
- измерение средней энергии в режиме реального времени и ее вычисление в заданной оператором серии импульсов;
- просмотр измеренных значений энергии для каждого импульса;
- определение минимума и максимума энергии импульса в серии.

Спектральные приборы

Спектрорадиометр с входящим в его состав монохроматором решает практически все измерительные задачи количественного определения спектрального состава широкополосного излучения. В отличие от **спектрографа**, в котором осуществляется фотографическая регистрация спектров, для получения информации о спектральном распределении энергии в широкой области длин волн с помощью фотоэлектрического или теплового приемника необходимо последовательно выделять различные участки спектра. Это можно осуществить перемещением выходной щели вдоль фокальной поверхности при неподвижном диспергирующем устройстве, что мало удобно, так как влечет за собой перемещение приемника или усложнение оптической системы, расположенной за щелью. Поэтому чаще всего в монохроматоре обе щели неподвижны, а изменение длины волны излучения, направляемого на выходную щель (**сканирование спектра**), осуществляется изменением положения диспергирующего устройства относительно падающего пучка лучей. Монохроматоры применяют во всех областях оптического диапазона длин волн — от мягких рентгеновских лучей до миллиметровых радиоволн, но главным образом — в ИК-области, где неприменим фотографический метод регистрации.

Если вдоль фокальной поверхности фокусирующего объектива разместить ряд выходных щелей, то одновременно выделяется несколько узких интервалов длин волн. Такой прибор называют **полихроматором**. Если к

тому же за каждой выходной щелью полихроматора установить отдельные приемники. одновременно регистрирующие потоки соответствующих спектральных интервалов, то получится **многоканальный спектрометр**. Прибор со многими выходными щелями, предназначенный для количественного спектрального анализа (как правило, по измерениям интенсивности отдельных линий излучения), получил название **квантометра**. Положение щелей на фокальной поверхности полихроматора может быть как фиксированным, так и регулируемым.

Свойства оптической системы спектрального прибора зависят также от применяемого диспергирующего элемента. В современных приборах спектральное разложение излучения осуществляется: а) призмами; б) плоскими отражательными дифракционными решетками; в) вогнутыми дифракционными решетками. Область применения призм ограничивается прозрачностью и дисперсией используемых материалов. Плоские решетки используются во всех областях спектра, вогнутые — преимущественно в ультрафиолетовой.

Кроме призмных и дифракционных приборов, существует обширный класс спектрометров, действие которых основано на интерференции света. К ним относятся хорошо известные интерферометр Фабри-Перо, пластинки Льюмера, эшелон Майкельсона, а также недавно созданные спектрометр с интерференционной амплитудной селективной модуляцией (сисам) и фурье-спектрометр.

Сисам — это двухлучевой интерферометр, в котором плоские зеркала заменены дифракционными решетками. При линейном изменении разности хода лучей двух интерферирующих пучков периодически изменяется освещенность в интерференционной картине в плоскости выходного отверстия и тем самым осуществляется амплитудная модуляция излучения в узкой спектральной области. Это модулированное излучение регистрируется приемником излучения. Изменение регистрируемой длины волны осуществляется, как и в обычных щелевых спектрометрах, медленным вращением решетки.

Фурье-спектрометр представляет собой интерферометр Майкельсона с обычными зеркалами, на выходе которого при линейном изменении разности хода двух пучков каждое монохроматическое излучение модулируется с частотой, пропорциональной частоте излучения. Типичная оптическая схема интерферометра, применяемого в фурье-спектрометре, изображена на рис. 2.25. Регистрируемый приемником сложный сигнал является результатом преобразования Фурье исследуемого спектра. Спектральный состав излучения определяется путем обратного преобразования Фурье с помощью ЭВМ. Здесь, в отличие от сисама и обычных спектрометров, информация обо всем спектре получается, как и в спектрографе, одновременно.

Сравнительно недавно появился новый тип спектрометра, основанный на **растровой модуляции** света. От обычного спектрометра он отличается тем, что в его монохроматоре входная и выходная щели заменены растрами — оптическими деталями, состоящими из

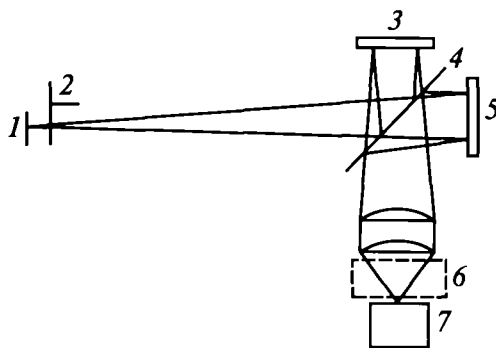


Рис. 2.25. Оптическая схема интерферометра: 1 — источник излучения; 2 — модулятор; 3 — подвижное зеркало; 4 — светоделитель; 5 — неподвижное зеркало; 6 — отделение для образцов; 7 — приемник

множества прозрачных и непрозрачных участков. Выходной растр является монохроматическим изображением входного раstra. При каждом положении диспергирующего элемента через выходной растр проходит излучение протяженного спектрального интервала, но вследствие селективности модуляции приемник регистрирует излучение, принадлежащее тем более узкому интервалу длин волн, чем меньше элементы растров. Модуляция осуществляется, например, периодическим смещением изображения входного раstra относительно выходного.

В отличие от «классических» щелевых спектральных приборов с призмами и дифракционными решетками, где диспергирующее устройство осуществляет **пространственное** разделение монохроматических составляющих исследуемого излучения, в сисаме, фурье-спектрометре и растровых приборах на приемник может попадать излучение, принадлежащее широкому спектральному интервалу, и анализ его спектрального состава производится благодаря использованию того или иного способа модуляции потока излучения.

Приборы с интерференционной и растровой модуляцией излучения позволяют при такой же разрешающей способности получать большие лучистые потоки, чем «классические» щелевые спектрометры. Это особенно важно для работы в ИК-области спектра, где малая яркость источников и недостаточная чувствительность приемников излучения часто ограничивают применение классических схем. Именно в этой области развитие новых направлений в спектральном приборостроении, особенно фурье-спектрометрии, оказалось наиболее перспективным, однако и спектрометры с традиционными диспергирующими элементами по-прежнему служат универсальными средствами количественного спектрального анализа излучений и образцов [2.7].

Радиометры и спектральные приборы при принятии специальных мер и использовании методик выполнения измерений, повышающих точность этих СИ, применяются также в эталонных измерениях.

2.5.3. Российская система обеспечения единства измерений в радиометрии и спектрометриии оптического излучения

2.5.3.1. Воспроизведение единиц и эталонных шкал энергетических (радиометрических) величин широкополосного и узкополосного излучений и передача их размеров

Создание отечественной эталонной базы в области радиометрии и спектрометриии широкополосного излучения потребовало разработки ряда высокоточных (эталонных) измерительных преобразователей на основе специализированных приемников и источников излучения, способных воспроизводить, хранить и передавать размеры единиц энергетических величин. Основными видами таких эталонных преобразователей явились абсолютные радиометры (АР), модели черных тел (МЧТ) на фазовых переходах и переменной температуры [2.7], а также ламповые МЧТ [2.7, 2.13]. Абсолютные радиометры явились также основой эталонов единиц мощности и энергии лазерного излучения.

Абсолютные радиометры

Одной из наиболее распространенных измеряемых величин в радиометрии некогерентного оптического излучения традиционно считалась **энергетическая освещенность**, именуемая в радиометрии когерентного оптического излучения **плотностью мощности**. Возрастающие требования практики к точности измерений как на уровне эталонов, так и в технических измерениях породили сравнительно новые подходы к разработке СИ радиометрических величин, выразившиеся в стремлении к созданию и использованию в различных измерительных задачах самокалибруемых приборов, не нуждающихся в получении размеров радиометрических единиц от эталонов. Более того, возникло желание с помощью этих СИ воспроизводить единицы физических величин в радиометрии не только с помощью эталонных излучателей, но и на основе принципов самокалибровки эталонных приемников. Так, в развитии широко распространенных в свое время конструкций **радиометров** появились и заняли в прецизионной оптической радиометрии господствующее положение **абсолютные радиометры (АР)**. Разница между радиометром и абсолютным радиометром заключается в том, что первый из них для измерений потока или оптической мощности в абсолютных единицах требует калибровки с помощью эталонных источников или приемника излучения. **Абсолютный радиометр является самокалибруемым прибором.**

Абсолютная радиометрия обычно реализуется с помощью тепловых приемников с электрическим замещением, т.е. преобразователь снабжается специальной обмоткой, в которой выделяется достаточно точно измеряемая мощность (или энергия) постоянного (или переменного) тока, поставляемого в эту так называемую обмотку замещения сторонним источником питания. С метрологической точки зрения это означает, что в АР реализуется хорошо зарекомендовавший себя в технике точных измерений способ исключения или минимизации систематических погрешностей, именуе-

мый методом замещения, под которым понимается метод сравнения, основанный на замещении измеряемой величины известной величиной, воспроизводимой мерой (см. п. 2.1.1.).

Абсолютные радиометры используются для измерения потока (мощности) излучения в абсолютных единицах — ваттах. Если точно известна площадь облучаемой поверхности, то можно, зная измеренный поток, вычислить энергетическую освещенность (облученность). Падающий лучистый поток поглощается, как правило, приемной площадкой теплового преобразователя.

В результате поглощения потока повышается температура приемной площадки и всего **чувствительного элемента преобразователя**, что порождает выходной электрический сигнал, воспроизводимый затем с помощью обмотки замещения. С учетом ряда влияющих на результат измерения факторов, являющихся источниками погрешностей, определяется значение потока (мощности) падающего излучения.

При падении оптической мощности на приемную площадку имеют место процессы поглощения, отражения, распространения, люминесценции, фотоэлектрические эффекты, структурные изменения материала и т.д.

За некоторыми исключениями (фотоэлектронная эмиссия на длинах волн вакуумного ультрафиолета, структурные изменения материала под воздействием высокоинтенсивных пучков) влияниями этих процессов и эффектов на измерительный преобразователь можно пренебречь.

В АР получили распространение четыре типа различающихся конструктивно поглотителей излучения: полостные, дисковые, дисковые с отражателями, конические.

Черная полость **полостного поглотителя** с малым входным отверстием может иметь коэффициент поглощения 0,999 и более, причем его отклонения от 1 рассчитываются достаточно точно. Следовательно, преобразователь с таким поглотителем практически неселективен в широком диапазоне длин волн, что является его главным достоинством. К числу недостатков следует отнести большую теплоемкость, неравномерность распределения чувствительности по приемной площадке, трудность обеспечения идентичности распределения тепловой мощности, преобразованной из оптической и электрической мощностей. С другой стороны, тепловое сопротивление поглощающего слоя оказывает слабое влияние, так как тепловые потери на теплопроводность и конвекцию малы. Кроме того, существенным достоинством преобразователя с поглотителем такого типа является возможность работы при криогенных температурах.

В **дисковых поглотителях** плоская в форме диска приемная поверхность покрывается поглощающим оптическое излучение материалом. Они могут иметь малую теплоемкость, но теплопроводности поглотителя и подложки должны быть предельно большими. Коэффициент поглощения зависит, главным образом, от слоя поглощающего материала.

Для существенного увеличения эффективного коэффициента поглощения дискового поглотителя его помещают в центре отражающей полусферы.

В конических поглотителях предпочтительно использовать конус с зеркальной, а не с диффузной отражающей поверхностью поглощения оптической мощности. Критическим параметром является радиус кривизны вершины конуса. Большую роль в повышении коэффициента поглощения приемной площадки у всех четырех типов поглотителей имеют материалы для ее чернения. В АР значительный интерес представляют источники погрешностей, которые часто делят на две группы: от влияния окружающей среды и присущие самому прибору, именуемые инструментальными факторами [2.7]. Для минимизации погрешностей результата измерений в первом случае следует компенсировать влияние среды, окружающей систему излучатель — оптическая трасса — радиометр; во втором случае коррекция сводится к устранению последствий, вызываемых различием путей, по которым распространяются оптическая и электрическая мощности.

Наряду с АР, эксплуатируемыми при температурах окружающей среды, в эталонной оптической радиометрии находят применение криогенные абсолютные радиометры. Порог чувствительности (минимально обнаруживаемая облученность) АР зависит от конструкции и условий эксплуатации и находится в диапазоне от нескольких микроватт на квадратный сантиметр до ~100 нВт/см².

Снабженные оптическими фильтрами с разными ширинами полос пропускания в оптическом диапазоне длин волн, эти приборы получили название **фильтровых** (зональных) радиометров.

Модели черных тел

Для калибровок ИК измерительной аппаратуры во ВНИИОФИ были разработаны эталонные модели черных тел (МЧТ) на фазовых переходах галлия и индия (см. табл. 2.18), а также МЧТ переменной температуры, характеристики которых приведены в табл. 2.19.

Таблица 2.18

Характеристики МЧТ

Наименование	Черное тело при температуре фазового перехода галлия	Черное тело при температуре фазового перехода индия
Температура, °С	29,765	156,60
Невоспроизводимость температуры, мК	0,2	50
Диаметр полости, мм	30	30
Длина полости, мм	180	180
Чистота металла	0,9999999	0,9999999
Диаметр выходной апертуры, мм	20	20
Эффективная излучательная способность при длине волны 1 мкм	0,9999	0,9999
Размеры, мм ³	∅ 170 × 365	∅ 170 × 365
Вес, кг	15	15

Таблица 2.19

Характеристики некоторых чернотельных излучателей переменной температуры, разработанных во ВНИИОФИ

Тип	Материал излучающей полости	Размеры полости, мм ³	Выходное отверстие, мм	Температурный диапазон, К	Потребляемая мощность (предельная), кВт	Год разработки
ВВ3200рг	Пиролитический графит	200 × 37	22	2500-3300	14	1995
ВВ3200с	Пиролитический графит	145 × 32	18	2500-3300	12	1995
ВВ3000рг	Карбид ниобия	350 × 19	12	2500-3300	25	1985
ВВ22р	Графит	130 × 22	14	1800-2900	7	1992
ВВ39р	Графит	250 × 39	30	1800-2900	10	1992
ВВ2700	Карбонпласт	280 × 19	12	2000-2700	15	1975
ВВ2500	Углеродистое стекло	450 × 19	12	2000-2500	15	1975
ВВ14	Графит	110 × 14	8	600-2500	3	1990
ВВ2000	Графит	190 × 90	60	800-2000	8	1995
ВВ1200	Натриевая тепловая труба	100 × 10	8	800-1200	0,5	1985
ВВ300	Мель	500 × 140	30	80-300	0,1	1992
ВВ290	Мель	250 × 40	30	293-473	0,4	1995

Ламповые МЧТ

Паряду с широким использованием описанных ранее МЧТ появилась настоятельная необходимость создания новых типов тепловых источников излучения, которые имели бы параметры, близкие к черному или «серому» телу, но одновременно обладали преимуществами температурных ламп с ленточными телами накала [2.14]. Были разработаны ламповые МЧТ, в которых излучает внутренняя полость длинной цилиндрической трубки малого диаметра. Такая конструкция позволяет реализовать МЧТ благодаря тому, что излучение от внутренней стенки трубки испытывает многократные отражения, каждое из которых сопровождается частичным поглощением. Чем выше коэффициент поглощения внутренней стенки и чем меньше площадь выходного отверстия трубки по сравнению с общей площадью внутренней поверхности, тем ближе излучение полости приближается к излучению ЧТ.

Ламповые МЧТ обладают следующими преимуществами по сравнению с ленточными лампами: влияние структурных изменений излучающей поверхности существенно меньше; истинная, яркостная и цветовая температуры близки между собой; энергетическая яркость излучающей полости практически одинакова в требуемой области температур.

На рис. 2.26 показана одна из ламповых МЧТ, а в табл. 2.20 приведены параметры таких моделей.

Государственный первичный радиометрический эталон

В 1989 г. во ВНИИОФИ был разработан Государственный первичный радиометрический эталон (ГПЭ-Р) для воспроизведения и передачи размеров единиц следящих величин:

- спектральной плотности энергетической яркости (СПЭЯ), $I_{e\lambda}(\lambda)$;
- спектральной плотности силы излучения (СПСИ), $I_{e\lambda}(\lambda)$;
- спектральной плотности энергетической освещенности (СПЭО), $E_{e\lambda}(\lambda)$, в диапазоне длин волн (0,25–25) мкм;

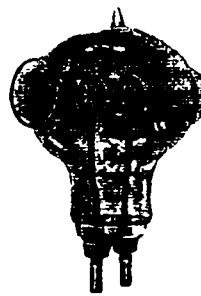


Рис. 2.26. Ламповая МЧТ

- силы излучения I_e ;
- энергетической освещенности (ЭО), E_e , в диапазоне длин волн (0,2–25) мкм.

При создании единого радиометрического эталона было решено с его помощью воспроизводить единицы радиометрических величин, характеризующих как источники, так и приемники излучения. Важной проблемой являлось использование в эталонах эталонных измерительных преобразователей, базирующихся на фундаментальных физических законах. В созданном во ВНИИОФИ едином радиометрическом эталоне используется комплекс, состоящий из МЧТ и АР. Специальные измерительные установки позволяют передавать размеры единиц вторичным источникам излучения — МЧТ, ленточным и галогенным ЛН, а также не селективным приемникам излучения [2.7].

Все единицы относятся к некогерентному (широкополосному) излучению в диапазоне длин волн (0,25–25) мкм для СПЭЯ, СПСИ и СПЭО, и в диапазоне длин волн (0,2–25) мкм для силы излучения (СИ) и ЭО. Единицы воспроизводятся в следующих диапазонах:

$$\text{СПЭЯ} — \text{от } 1 \cdot 10^7 \text{ до } 1 \cdot 10^{12} \text{ Вт} \cdot \text{ср}^{-1} \cdot \text{м}^{-3};$$

$$\text{СПСИ} — \text{от } 1 \cdot 10^2 \text{ до } 1 \cdot 10^8 \text{ Вт} \cdot \text{ср}^{-1} \cdot \text{м}^{-1};$$

$$\text{СПЭО} — \text{от } 1 \cdot 10^2 \text{ до } 1 \cdot 10^8 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-3};$$

СИ — от $3,5 \cdot 10^1$ до $1 \cdot 10^2$ Вт · ср⁻¹ (здесь СИ — сила излучения);

$$\text{ЭО} — \text{от } 1 \cdot 10^1 \text{ до } 2 \cdot 10^3 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}.$$

Таблица 2.20

Параметры ламповых МЧТ [2.14]

Обозначение лампы по техническим условиям	Номинальное напряжение, В	Номинальная сила тока, А	Максимальная яркостная температура тела накала, К	Размеры тела накала, мм			Характеристики смотрового окна		Тип цоколя
				наружный диаметр трубки	длина трубки	толщина ленты	материал	диаметр, мм	
ТРИ 1073-2073	10	40	2073	3	50	0,02	Стекло	60	«Бипост G-38»
ТРИ 673-2273	10	60	2273	4	50	0,02	Стекло	60	
ТРИ 1873	9	70	1873	6	100	0,02	Стекло	60	
ТРИ 1873-1*	9	70	1873	6	100	0,02	Стекло	60	
ТРИ 1573	6	60	1573	8	100	0,02	Стекло	60	
ТРИ 1573-1*	6	60	1573	8	100	0,02	Стекло	60	

* Лампы с сапфировым окном.

Примечание: в маркировке ламп приняты обозначения: Т — температурная, Р — рабочая, И — ближняя инфракрасная область спектра; цифры — пределы воспроизведения яркостной температуры.

Воспроизведение единиц спектральных величин в эталоне базируется на высокотемпературной МЧТ, излучение которой описывается законом Планка:

$$L_{e,\lambda}(\lambda, T) = \frac{\epsilon_{\lambda}(\lambda) c_1}{\pi n^2 \lambda^5 (\exp(c_2/n\lambda T) - 1)},$$

где $\epsilon_{\lambda}(\lambda)$ — излучательная способность МЧТ; λ — длина волны; c_1, c_2 — постоянные излучения; n — коэффициент преломления воздуха; T — термодинамическая температура полости МЧТ.

Для обеспечения достаточной интенсивности излучения в УФ и видимой областях спектра температура МЧТ должна лежать в пределах (2000–3000) К. Поэтому для воспроизведения единиц величин в диапазоне (0,25–3,0) мкм используются высокотемпературные МЧТ типов МЧТ-3000 и МЧТ-2500. МЧТ-3000 выполнена из карбида ниобия и имеет рабочую температуру (1800–3000) К. МЧТ-2500 выполнена из графита, и ее рабочая температура составляет (1500–2500) К.

Использование высокотемпературных МЧТ в ИК-диапазоне длин волн нецелесообразно, так как повышение температуры не даст существенного увеличения интенсивности излучения в ИК-области, однако резко увеличивает интенсивность излучения в более коротковолновой области, устранение которой становится серьезной проблемой.

Снижение рабочей температуры МЧТ даст существенные преимущества: позволяет работать на воздухе, т.е. отказаться от выходного окна, что особенно важно в ИК-области, и проводить измерения температуры МЧТ контактным методом. Поэтому для воспроизведения единиц спектральных величин в области (3,0–25) мкм используется МЧТ-1200, работающая в диапазоне температур (800–1200) К. Излучающая полость МЧТ-1200 выполнена в виде тепловой трубы с натриевым теплоносителем.

Воспроизведение единиц интегральных величин базируется на полостном АР. Возможность размещения в едином вакуумном объеме МЧТ-3000 и АР позволяет сличать их между собой. На МЧТ-3000, МЧТ-2500, МЧТ-1200 и АР базируются радиометрическая и спектроралиметрическая шкалы во всех указанных выше спектральном и динамическом диапазонах.

2.5.3.2. Воспроизведение единиц мощности и энергии монохроматического (лазерного) излучения и передача их размеров

Государственную поверочную схему возглавляет разработанный, хранимый и эксплуатируемый во ВНИИОФИ Государственный первичный эталон единицы мощности непрерывного лазерного излучения, воспроизводящий ее с помощью двух основных элементов: эталонного калориметрического преобразователя и аргонового лазера с длиной волны выходного излучения ~0,5 мкм. Оптическая схема эталона содержит еще два главных элемента: дифракционный делитель пучка на основе голографической решетки и метрологический затвор, «вырезающий» при необхо-

димости из непрерывного потока излучения импульс длительностью 1 с с крутыми фронтами.

Эталонный преобразователь, по существу, является абсолютным радиометром с рабочим и термокомпенсационным идентичными полостными приемниками излучения, обладающим большой постоянной времени (до 60 с). Излучение лазера мощностью от 0,08 до 1,0 Вт (любое значение в этом интервале) подается на дифракционный делитель. Дифрагировавшие в +1-й и -1-й порядки одинаковые (с точностью до измеренного коэффициента деления 1:1) пучки излучения разведены в пространстве и одновременно направляются соответственно в эталонные приемники первичного и вторичного эталонов. Последнему передается размер единицы. Конструктивно оба эталонных преобразователя идентичны, их приемники излучения снабжены обмотками нагревающим постоянным электрическим током, реализующими измерения методом замещения. Это означает, что измерительная обмотка приемника излучения попеременно реагирует на тепловые потоки, вызванные, с одной стороны, воздействием измеряемой оптической мощности и, с другой стороны, порожденные преобразованием в тепло электрической мощности, подаваемой в обмотку нагревателя, обычно именуемую обмоткой (или катушкой) замещения. Мощность электрического тока измеряется с высокой точностью с помощью эталонной катушки сопротивления, потенциометров и серийных высокоточных цифровых мультиметров. Поскольку преобразователь сконструирован таким образом, что пути распространения по нему тепловых потоков, явившихся результатами преобразования оптической и электрической мощностей, практически одинаковы, и соответствующие коэффициенты преобразования обеих мощностей в измерительные электрические сигналы весьма мало отличаются друг от друга, по измеренной электрической мощности с минимальной погрешностью (не превышающей 0,1%) определяется значение измеряемой оптической мощности.

В соответствии с российской государственной поверочной схемой ГОСТ 8.275-91 размеры единиц мощности (ватта) и энергии (джоуля) передаются эталону — копии Государственного первичного эталона, разработанному для Сибирского государственного НИИ Метрологии (СНИИМ, г. Новосибирск), а также нескольким экземплярам вторичных эталонов этих единиц, разработанным и переданным в российские территориальные метрологические органы. Дальнейшая передача размеров единиц мощности и энергии рабочим СИ от вторичных эталонов, структурные схемы которых идентичны первичному, осуществляется либо непосредственно, либо посредством рабочего эталона соответствующего точностного разряда. Паряду с государственной поверочной схемой отдельные ведомства для специализированных СИ в этом виде измерений имеют локальные поверочные схемы, согласованные с государственной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

2.1. *PMГ 29-99*. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения.

2.2. *International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology*. Second edition, 1993, ISO.

2.3. *Закон Российской Федерации об обеспечении единства измерений*. Москва. № 4872-1, 27.04. 1993.

2.4. *Крылова Г.Д.* Основы стандартизации, сертификации, метрологии: Учебник для вузов. Аудит. ЮНИТИ. 1998.

2.5. *Руководство по выражению неопределенности измерения*. Перевод и публикация ГП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева». 1999.

2.6. *Международный светотехнический словарь*, 3-е изд. Под ред. Д.Н. Лазарева. М.: Рус. яз. 1979.

2.7. *Основы оптической радиометрии*. Под ред. проф. А.Ф. Котюка. М.: ФИЗМАТЛИТ. 2003.

2.8. *Ишанин Г.Г., Панков Э.Д., Челибанов В.П.* Приемники излучения. С.-Пб.: «Папирус». 2003.

2.9. *Metal Package Photomultiplier Tubes R5600 Series and Photosensor Modules Hamamatsu*. Technical Information. Apr. 1997.

2.10. *Хофманн Д.* Техника измерений и обеспечение качества. Справочная книга. Пер. с нем. под ред. Л.М. Зарка, С.С. Кивилиса. М.: Энергоатомиздат. 1983.

2.11. *Справочная книга по светотехнике*. Под ред. Ю.Б. Айзенберга. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат. 1995.

2.12. *Вольф С., Стефанов Е., Римап М.* Измерение яркости с помощью камеры на приборе с зарядовой связью. Светотехника. № 8. 1995.

- 2.13. *Moore J.R.* at all. Stable secondary standard sources. Technical report, CIE, Draft, ISB № 3900734XXX.
- 2.14. *Вугман С.М., Вдовин Н.С.* Тепловые источники излучения для метрологии. М: Энергоатомиздат. 1988.
- 2.15. *Гуревич М.М.* Фотометрия (Теория, методы и приборы). 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Энергоатомиздат. 1983.
- 2.16. *Practical methods for the measurement of reflectance and transmittance.* Technical Report, CIE Publication 130. 1998.
- 2.17. CIE publication № 127 «Measurement of LEDs».
- 2.18. *Shanda J.* at all. «Light Emitting Diode Standards» 2nd Expert Symposium on LED Measurement, Abstracts Gaithersburg, Maryland, USA, p. 11–12 May 2001.
- 2.19. *Cameron C. Miller and Yoshi Ohno.* «Luminous flux calibration of LEDs at Nist» 2nd Expert Symposium on LED Measurement. P. 17–18, 2001, USA.
- 2.20. CIE publication. Colorimetry 15, 2000.
- 2.21. *Кхан Т.К., Озвер-Крохман З., Хилтавский С.* Система для измерения радиометрических и фотометрических характеристик СД. Светотехника. № 5. 2004.
- 2.22. *Лежи Д., Зонг Ю., Миллер С.С., Оно Й., Хеймер Т.* Эталонный излучатель НИСТ для фотометрии светодиодов. Светотехника. № 6. 2003.
- 2.23. *Джадд Д., Вышецки Г.* Цвет в науке и технике. Пер. с англ. М.: Мир. 1978.
- 2.24. *Чупраков В.Ф.* Цвет и его измерение. Информационно-аналитический сборник «РОСТЕСТ-ИНФО». № 4. 2000. №№ 1, 2. 2001.
- 2.25. Каталог фирмы LMT. 1998.
- 2.26. *Chroma Meters.* Каталог фирмы Minolta Co., Ltd., 1994.
- 2.27. CIE publication 13.3-1995: Method of measuring and specifying colour rendering of light sources.

ИСТОЧНИКИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

3.1. ВВЕДЕНИЕ

Определения и принцип действия [3.1, 3.2]. Искусственным ИС или, более строго, источником ОИ называют устройство, предназначенное для превращения какого-либо вида энергии в ОИ (электромагнитное излучение с длинами волн от 1 до 10^6 нм) (см. разд. 1).

В течение тысячелетий менялись и совершенствовались искусственные ИС. Но их физическая суть оставалась неизменной: свет возникал в результате горения тех или иных горючих материалов. В 1802 году профессор В.В. Петров публикует данные об открытии им электрической дуги между горизонтально расположенными электродами, излучающей яркий свет и обладающей чрезвычайно высокой температурой. В том же году Г. Дэви обнаружил нагревание платиновой проволоки проходящим через нее током. Эти два открытия положили начало принципиально новой эпохи в развитии ИОИ — созданию разрядных ламп и ламп накаливания.

Оптическое излучение отдельных атомов, ионов, молекул, а также жидких и твердых тел возникает в результате перехода их валентных (внешних) электронов из возбужденных состояний, в которые они попадают в результате поглощения энергии извне, в состояния с меньшей энергией. Частота испускаемых при этом электромагнитных волн ν , как известно, равна $\nu = (W_2 - W_1)/h$, где W_2 и W_1 — соответственно энергии начального (до излучения) и конечного состояний; h — постоянная Планка (см. п. 3.2.1). Спектры излучения атомов и ионов в газе состоят из отдельных спектральных линий, характерных для каждого элемента, спектры молекул — из густо расположенных линий, переходящих в полосы, а спектры жидкостей и твердых тел носят обычно непрерывный характер.

По физической природе различают три основных вида ОИ: тепловое, люминесценцию и лазеры.

Тепловым называют ОИ, возникающее при нагревании тел. У твердых тел оно имеет непрерывный спектр, зависящий от температуры тела и его оптических свойств (см. § 3.2). Тепловыми излучателями являются все источники, свечение которых обусловлено нагреванием: электрические ЛН, простые угольные дуги, все пламенные ИС.

Люминесценцией называют *спонтанное* излучение, избыточное над тепловым, если его длительность значительно превышает период колебаний электромагнитной волны соответствующего излучения. Люминесценция наблюдается в газообразных, жидких и твердых телах. Твердые или жидкие вещества, способ-

ные излучать свет под действием различного рода возбуждений, называют люминофорами. Спектр люминесценции может состоять из отдельных линий (излучение отдельных атомов и ионов), полос (излучение молекул) и непрерывных участков (излучение твердых тел и жидкостей). При люминесценции возможно более эффективное преобразование подводимой энергии в ОИ, чем при тепловом возбуждении, поскольку люминесценция в принципе не требует нагрева тел. В ИС используются следующие виды люминесценции.

Электролюминесценция — ОИ атомов, ионов, молекул, жидких и твердых тел под действием ударов электронов (ионов), движущихся со скоростями, достаточными для возбуждения. Излучение разрядных ИС (РЛ) представляет собой электролюминесценцию газов и паров (см. п. 3.3.1). Свечение люминофоров под действием пучка электронов достаточной скорости называют катодолуминесценцией (ионов — ионолюминесценцией). Она используется в электроно-лучевых трубках, кинескопах и других приборах. Различные виды электролюминесценции твердых тел используются в электролюминесцентных панелях (см. § 3.6.) и светоизлучающих диодах (см. § 3.5.).

Оптическое излучение в светоизлучающих диодах (СД) возникает в полупроводниковых переходах при рекомбинации электрона (n) с дыркой (p) под действием небольшого электрического поля, заставляющего их двигаться навстречу. Теоретически КПД этого метода получения ОИ исключительно высок. Однако до 1993–1994 годов практические результаты были незначительны. С середины 90-х годов прошлого столетия положение коренным образом изменилось: за истекшие 10 лет достигнуты впечатляющие революционные успехи в отношении повышения КПД, мощности и варьирования спектра СД. В ближайшие годы ожидаются дальнейшие фундаментальные успехи (см. § 3.5.).

Фотолюминесценция — ОИ, возникающее в результате поглощения телами ОИ. В парах и газах наблюдается множество видов фотолюминесценции, определяемых энергией поглощаемых фотонов и строением поглощающих атомов, ионов или молекул, например, резонансная флюоресценция паров и газов (см. п. 3.3.1) и многие другие виды, играющие большую роль в излучении РЛ. Фотолюминесценция люминофоров широко применяется в люминесцентных (см. п. 3.3.2) и некоторых других РЛ (см. п. 3.3.3).

Радиолуминесценция — ОИ некоторых веществ (люминофоров) под действием продуктов радиоактивного распада (см. § 3.6.).

Особо надо выделить методы получения ОИ при помощи лазеров. В упомянутых выше методах ОИ получается за счет использования *спонтанного* излучения. В лазерах используется *вынужденное* излучение (когерентнос), благодаря чему лазерный луч обладает совершенно уникальными свойствами (см. § 3.7), а области его применения невообразимо широки и разнообразны. Этот принцип генерации излучения справедлив для всего спектра электромагнитного излучения. Фактически возник новый раздел физики (и техники) называемый квантовой электроникой.

Параметры ИС (ламп) [3.1 ÷ 3.3]. Излучение ламп характеризуется потоком (световым) Φ_e (Φ_v), силой излучения I_e (силой света I_v), энергетической (световой) яркостью I_e (I_v), ее распределением по поверхности светящегося тела и по направлениям, спектральной плотностью вышеперечисленных величин (спектром излучения). Цвет излучения ламп дополнительно характеризуется цветовыми параметрами: координатами цветности x и y , цветовой температурой T_c и индексами цветопередачи — общим R_a и специальными R_i ; цвет излучения ламп типа ДРЛ оценивается так называемым «красным отношением» (см. п. 3.3.3).

Электрический режим характеризуется мощностью лампы $P_{\text{л}}$, рабочим напряжением на лампе $U_{\text{л}}$, напряжением питания U , током I и родом тока (постоянный, переменный с частотой f и т.д.). При рассмотрении электрического режима РЛ вводят следующие понятия: потери мощности в ПРА, коэффициенты мощности лампы $K_{\text{л}}$ и лампы с ПРА $\cos \phi$, целый ряд напряжений, связанных с зажиганием и погасанием разряда, токи пускового режима и др. (см. разд. 4 и п. 3.3.1).

К основным геометрическим параметрам ламп относятся габаритные и присоединительные размеры, положение светового центра, размеры излучающего тела, к конструктивным — форма колбы, ее оптические свойства (прозрачная, матированная, зеркализованная и т.д.), форма и расположение тела накала, конструкция ножки или вводов, тип цоколя, форма и размеры разрядной колбы, конструкция и размеры электродов, расстояние между ними и др.

Тепловой режим характеризуется температурой тела накала, колбы, цоколя, вводов, электродов и других узлов, но особое значение имеют максимальная и минимальная температуры конструктивных узлов лампы. Необходимые температуры обеспечиваются правильным выбором размеров в соответствии с типом и мощностью лампы, а также соблюдением определенных условий эксплуатации (рабочее положение лампы, вентиляция СП, рекомендуемая температура окружающей среды).

При оценке эффективности лампы наиболее важны: энергетический КПД лампы в заданной области спектра от λ_1 до λ_2 .

$$\eta_{\text{эл.л}} = \left[\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi_{\text{эл}}(\lambda) d\lambda \right] / P_{\text{л}}, \quad (3.1)$$

эффективный КПД лампы для соответствующего приемника излучения

$$\eta_{\text{эф.л}} = \left[\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi_{\text{эл}}(\lambda) S(\lambda) d\lambda \right] / P_{\text{л}}, \quad (3.2)$$

где $S(\lambda)$ — относительная спектральная чувствительность приемника излучения;

эффективная отдача лампы

$$\Phi_{\text{эф.л}} / P_{\text{л}} = S_{\text{max}}(\lambda) \eta_{\text{эф.л}}, \quad (3.3)$$

где $\Phi_{\text{эф.л}}$ — эффективный поток излучения, оцениваемый по уровню реакции приемника, — размерная величина, измеряемая в специальных единицах, выбранных для оценки реакции данного приемника; $S_{\text{max}}(\lambda)$ — значение максимальной спектральной чувствительности приемника (размерная величина).

Если приемник — человеческий глаз, то $\Phi_{\text{эф}}$ — световой поток Φ_v в люменах; $S(\lambda) = V(\lambda)$ — относительная спектральная световая эффективность излучения; $S_{\text{max}} = 683$ лм/Вт при $\lambda = 555$ нм (см. разд. 2).

Световая отдача лампы, лм/Вт

$$\eta_{\text{л}} = \Phi_{\text{л}} / P_{\text{л}} = 683 \left[\int_{380}^{780} \Phi_{\text{эл}}(\lambda) V(\lambda) d\lambda \right] / P_{\text{л}}, \quad (3.4)$$

Световой КПД лампы соответственно

$$\eta_{\text{св.л}} = \left[\int_{380}^{780} \Phi_{\text{эл}}(\lambda) V(\lambda) d\lambda \right] / P_{\text{л}}, \quad (3.5)$$

Под полным сроком службы понимают продолжительность горения лампы от начала эксплуатации или испытания до момента полной или частичной утраты ими работоспособности, например, в ЛН — из-за перегорания нити, в РЛ — из-за потери способности зажигаться и т.п. Полезным сроком службы называют продолжительность горения лампы от начала эксплуатации или испытания до момента ухода за установленные пределы одного из параметров, определяющих целесообразность использования лампы данного типа, например, из-за снижения потока или яркости ниже определенного предела для осветительных и облучательных ламп, изменения $T_{\text{ц}}$ или невозможности эксплуатации специальных РЛ высокой яркости в светопропускных приборах из-за нестабильности положения дуги и т.п. Важным показателем надежности является также вероятность безотказной работы лампы в течение заданного времени, которая часто заменяется минимальной продолжительностью горения.

Параметры ламп, особенно показатели долговечности и безотказности, устанавливаются и контролируются, как правило, на основании статистической обработки результатов испытательных выборок из партии ламп данного типа. Полученные результаты распространяются затем на всю партию или совокупность ламп данного типа, поэтому они являются величинами вероят-

ностными. Параметры отдельных образцов группируются вблизи установленного таким путем значения с определенным разбросом (дисперсией). Чем лучше конструкция лампы, совершеннее технология и оборудование, лучше и строже технический контроль и технологическая дисциплина, тем выше параметры и однороднее продукция (меньше разброс). В нормативных документах регламентируются допустимый разброс или предельные значения параметров.

Изготовителем проводятся, как правило, стендовые испытания ламп, предусмотренные нормативно-технической документацией (НТД) в строго устанавливаемых и контролируемых условиях. Эксплуатационные испытания проводятся с целью выявления влияния отдельных факторов и условий эксплуатации, т.е. механических и климатических воздействий, напряжения сети, частоты включений, условий охлаждения, положения горения и т.д.

Нормативно-техническая документация устанавливает типы ламп, на которые распространяется документ, назначение и особенности применения, условия включения, технические требования (основные параметры и характеристики), требования безопасности, правила приемки, методы испытаний, требования к маркировке, упаковке, транспортировке и хранению, указания по эксплуатации и гарантии изготовителя.

Основные типы ИС, области применения и тенденции развития. Подавляющее большинство современных ИС относится к категории электрических. По принципу действия их можно разделить на две большие группы, которые вместе вырабатывают около 98–99% всего светового потока. Это ЛН, включая ГЛН (см. § 3.2) и РЛ (см. § 3.3). Наиболее массовыми ИС являются осветительные лампы, применяемые для общего освещения, на которое у нас в стране расходуется около 13% вырабатываемой электроэнергии. Отсюда ясно, какое важное народнохозяйственное значение имеют повышение световой отдачи и срока службы, уменьшение спада светового потока в процессе горения и снижение стоимости осветительных ламп.

По массовости ЛН занимают первое место среди всех ИС. Их выпуск в России в 2003 г. составил 1 млрд. шт. Это объясняется универсальностью применений, исключительной простотой и удобством их эксплуатации, относительно низкой ценой и наличием высокомеханизированного массового производства, представляющего собой сложившуюся отрасль промышленности.

Главным недостатком ЛН является низкая световая отдача, составляющая 10–20 лм/Вт при сроке службы 1000 ч; световая отдача ГЛН несколько выше — до 26 лм/Вт при сроке службы до 4000 ч. Низкая световая отдача ЛН объясняется тем, что 70–76% мощности излучения вольфрамового тела накала (ТН) при его рабочих температурах лежит в ИК-области спектра, в то время как на видимую часть приходится только от 7 до 13%, т.е. ЛН являются по существу источниками ИК излучения.

Теоретически возможно весьма значительно повысить световую отдачу ЛН несколькими путями:

– используя для ТН материалы, допускающие работу при более высоких температурах, чем вольфрам, и имеющие при этом скорость испарения не выше, чем у вольфрама, например, карбида;

– используя в качестве ТН тонкую пластинку из специального полупрозрачного материала, прозрачного при высокой температуре в ИК области и удовлетворяющего при этом целому ряду других требований.

Работы в этих направлениях пока не дали заметных практических результатов.

В начале 90-х годов фирма GE выпустила две рефлекторные ГЛН, в которых, благодаря нанесению на внешнюю поверхность кварцевой колбы многослойной селективной высокотемпературной пленки, отражающей ИК излучение компактного вольфрамового тела накала обратно на ТН, удалось повысить световую отдачу на 35–50% при сохранении всех остальных параметров. Создание новых термостойких селективных пленок явилось крупным шагом в развитии ИС. Работы в этих направлениях продолжаются.

У современных осветительных РЛ световая отдача в 5–10, а срок службы в 10–20 раз превышает световую отдачу и срок службы ЛН (см. § 3.3.). Наиболее массовыми из РЛ являются ЛЛ. Они практически полностью вытеснили ЛН из освещения промышленных и общественных зданий. Появившиеся в 80-х годах КЛЛ, выпуск которых растет быстрыми темпами, открыли дорогу люминесцентному освещению в быт, на автотранспорт и др. области, где прямые ЛЛ не могли применяться.

В 1993–1994 г. передовые зарубежные фирмы начали выпуск прямых ЛЛ, в которых за счет нанесения прозрачной защитной пленки на внутреннюю поверхность стекла перед нанесением слоя люминофора удалось достичь исключительно высокой стабильности светового потока и резко снизить содержание ртути при сохранении всех остальных параметров. В 1995–1996 г. начался выпуск нового поколения прямых ЛЛ в более тонких трубках \varnothing 16 мм (Т5) и сверхтонких ламп \varnothing 7 мм (см. п. 3.3.2.1). Выпускаются две серии ламп \varnothing 16 мм (Т5): в одной достигнута самая высокая световая отдача (до 104 лм/Вт), в другой самый высокий световой поток на единицу длины ЛЛ. Лампы могут работать только со специальным ЭПРА. Средний срок службы этих ламп не менее 16 тыс. ч при спаде светового потока 5%. В перспективе развития и широкого применения этих ламп нет сомнений.

Вторая половина XX века ознаменовалась также созданием большой группы РЛ высокой интенсивности (РЛВИ), работающих при ВД и СВД, обладающих высокими световыми отдачами и сроками службы при различном качестве цветопередачи и других характеристиках.

В начале 50-х впервые удалось синтезировать *термостойкий* «красный» люминофор, что позволило начать выпуск ртутных ламп ВД с исправленной цветностью. РЛ этого типа в дальнейшем были значительно усовершенствованы и получили весьма широкое распространение (см. п. 3.3.3). Примерно в это же время

начался выпуск РЛВИ с ксеноновым наполнением в кварцевых колбах — трубчатой формы и короткоугольных высокой яркости (шаровидной или эллипсоидной формы) (см. п. 3.3.6).

Революционным прорывом явились два открытия в конце 50-х и начале 60-х годов: высокая световая отдача (свыше 100 лм/Вт) ртутно-кварцевых РЛВД при добавлении в них Na и новые технологии введения в РЛВИ небольших добавок различных элементов в виде их галоидных (главным образом йодистых) соединений. На основе этих открытий были разработаны и получили весьма широкое распространение два новых класса РЛВИ: натриевые лампы ВД в керамических колбах — НЛВД (см. п. 3.3.5) и металлогалогенные лампы — МГЛ (см. п. 3.3.4).

Широкое и весьма разнообразное применение находят многочисленные типы специальных РЛ. Сюда относятся: импульсные (см. § 3.4), спектральные (см. § 3.6), тлеющего разряда (см. § 3.6) и др.

Особо следует отметить *появление* в конце 90-х гг. XX-го века нескольких принципиально новых типов *безэлектродных* ВЧ и СВЧ РЛ, имеющих сроки службы до 60 тыс. ч и уникальные характеристики. Это новое важное направление в развитии ИОИ выделено в специальный раздел (см. п. 3.3.7).

Вообще происходит все более заметное расширение областей применения более экономичных и эффективных РЛ и вытеснение ЛН даже из традиционных областей их применения.

Непрерывно расширяется применение РЛ не только для освещения, но и во всевозможных облучательных, светосигнальных и других установках. При этом широко используются различные свойства не только видимого, но также УФ и ИК излучения. Особенно расширились эти области специального применения в связи с разработкой РЛ, позволяющих создавать источники с самым различным сочетанием параметров (см. п. 3.3.1). Число этих применений весьма велико. Для них промышленность выпускает более тысячи типоразмеров специальных ламп.

Основные области применения каждого типа ламп указаны далее при их рассмотрении. Здесь же отмечены некоторые основные тенденции.

Отчетливо выявилась тенденция создания ламп, представляющих единое целое с системой нераспределения светового потока в пространстве и по спектру. Сюда относятся лампы-фары, зеркальные лампы с различными видами КСС, лампы в колбах с диффузно отражающими и пропускающими покрытиями, лампы в колбах из селективно пропускающих материалов и в колбах с селективно пропускающими и отражающими слоями. Перспективы применения ламп этого класса очень велики. Многочисленные и важные применения в различных светооптических приборах и установках находят ИС высокой яркости. Намечается более широкое внедрение люминесцентного освещения в быт в связи с производством КЛЛ (см. п. 3.3.2.2). Благодаря созданию высокоинтенсивных и эффективных РЛ с различными спектрами излучения в УФ-, видимой и ИК-областях (см. § 3.3) в светотехнике оформилось на-

правление, рассматривающее различные технологические применения ОИ (см. разд. 16).

Источники ОИ находят многочисленные и весьма важные применения в качестве различных индикаторов. Для этой цели используются специальные ЛН (см. § 3.2), различные типы РЛ, такие как лампы тлеющего свечения (см. § 3.6), а также многие специальные ИС (см. § 3.6). В последние годы бурно развивается применение специальных ИС в системах передачи информации (цифровые измерительные приборы, ЭВМ, опτικο-электронные приборы).

В связи с революционным прорывом в области повышения параметров СД и огромными перспективами дальнейшего развития, их рассмотрение выделено в самостоятельный раздел (см. § 3.5) и значительно расширено.

Бурное развитие лазеров и их применений явилось подлинной революцией в физике и одним из выдающихся открытий XX-го века. Поскольку это направление далеко выходит за рамки традиционной светотехники, раздел 3.7 носит ознакомительный характер.

За последние 10 лет на отечественный рынок получили широкий доступ ИС всех передовых зарубежных фирм, выпускающих лампы высокого качества. Наряду с этим появилось много фирм, выпускающих более дешевую продукцию, но худшего качества. При этом следует отметить постоянное увеличение числа модификаций и новинок в номенклатурах ИС всех фирм и отсутствие единой системы обозначений ламп.

В связи с этим разработана единая международная классификация и маркировка всех типов ламп ILCOS [3.17], значительно упрощена система оценки цветových характеристик ламп. Однако эти упрощения внедряются медленно, особенно переход на классификацию ILCOS.

В настоящем издании предпринята попытка дальнейшего улучшения системы сопоставления идентичных ламп ведущих зарубежных и отечественных фирм с ILCOS. Сводные таблицы для каждого класса ламп снабжены наглядными схематическими рисунками ламп. Основные параметры разных ИС сведены в таблицы применительно к трем группам по качеству цветопередачи: стандартное ($R_a < 70$), хорошее ($R_a = 70-90$) и отличное ($R_a \geq 90$).

Общий индекс цветопередачи R_a показывает характеристики цветопередачи той или иной лампы, выраженные в количественном показателе. Теоретически максимальное значение этого показателя равно 100. Чем ниже R_a лампы, тем хуже она передает оттенки цвета. На практике R_a подразделяются на несколько уровней, например, немецкий стандарт DIN 5035 различает шесть уровней (см. табл. 3.1).

В дополнение к DIN 5035 предлагается называть: оценку качества уровня 1В «очень хорошая», 2В — «вполне удовлетворительная», 4 — «плохая»; T_{11} — ограничить для ТБ 2700 К, а для ДС — 8000 К.

В списке литературы к разделу 3 приведены в основном обзорные и справочные издания.

Цвет излучения		Цветовая температура T_c, K	
тепло-белый (ТБ) нейтрально-белый (НБ) дневной свет (ДС)		(2700) < 3300 3300 ÷ 5000 5000 ÷ (8000)	
Уровни	R_a	Оценка качества	Примеры ламп
1A	90–100	отличная	ЛН, ГЛН, ЛЛ особо улуч. цветн. КЛЛ, МГЛ с керам. горелкой
1B	80–89		МГЛ, КЛЛ, ЛЛ с улуч. цветн.
2A	70–79	хорошая	ЛЛ, МГЛ — стандартные
2B	60–69		ЛЛ, МГЛ — стандартные ДРЛ, НЛВД — с улуч. цветн.
3	40–59	удовлетворительная	ДРЛ, ЛЛ — стандартные
4	20–39		НЛВД, НЛНД — стандартные

3.2. ТЕПЛОВЫЕ ИЗЛУЧАТЕЛИ

3.2.1. Законы теплового излучения

Основные законы теплового излучения установлены для идеализированного тела, называемого черным телом, полным излучателем или излучателем Планка. В качестве него принято тело, которое поглощает все падающие на него излучения (коэффициент поглощения $\alpha = 1$) независимо от длины волны, направления падения и состояния поляризации.

Закон Кирхгофа (1859 г.). В любой точке поверхности теплового излучателя при любых температуре и длине волны отношение спектральной плотности энергетической яркости в заданном направлении к спектральному коэффициенту поглощения неполяризованного излучения в противоположном направлении не зависит от рода излучателя и равняется спектральной плотности энергетической яркости черного тела при той же температуре и длине волны. После интегрирования по всем направлениям полусферы получаем

$$m_e(\lambda, T) / \alpha(\lambda, T) = m_{es}(\lambda, T), \quad (3.6)$$

где $m_e(\lambda, T)$ — спектральная плотность энергетической светимости тела ($Вт/м^2$); $m_{es}(\lambda, T)$ — то же, но для черного тела; $\alpha(\lambda, T)$ — спектральный коэффициент поглощения тела при температуре T .

Закон Стефана–Больцмана (1879 г., 1884 г.) определяет соотношение между энергетической светимостью черного тела M_{es} ($Вт/м^2$) и его температурой:

$$M_{es} = \sigma T^4, \quad (3.7)$$

где $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ — постоянная Стефана–Больцмана.

Закон Вина (1893 г.) устанавливает, что произведение длины волны, соответствующей максимуму спектральной плотности энергетической светимости тела, и

его абсолютной температуры есть величина постоянная:

$$\lambda_{\max} T = b, \quad (3.8)$$

где $b = 2898 \cdot 10^3 \text{ нм} \cdot \text{К}$ — постоянная Вина.

Из (3.8) следует, что при повышении температуры черного тела максимум спектральной плотности энергетической светимости смещается в сторону более коротких волн.

Закон Планка (1900 г.) устанавливает распределение спектральной плотности энергетической светимости черного тела в зависимости от температуры

$$m_{es}(\lambda, T) = c_1 \lambda^{-5} [e^{c_2/(\lambda T)} - 1]^{-1}, \quad (3.9)$$

где $c_1 = 2\pi^5 h c_0^2 / 15 = 3,742 \cdot 10^{-16} \text{ Вт} \cdot \text{м}^2$; $c_2 = hc_0 / k = 1,439 \times 10^{-2} \text{ м} \cdot \text{К}$; $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ — постоянная Планка; $c_0 = 299792,5 \cdot 10^3 \text{ м/с}$ — скорость света в вакууме; $k = 1,380662 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$ — постоянная Больцмана.

Коэффициент полезного действия излучения черного тела определяется спектральным распределением излучения при температуре T (рис. 3.1, кривая 1). Площадь A , ограниченная этой

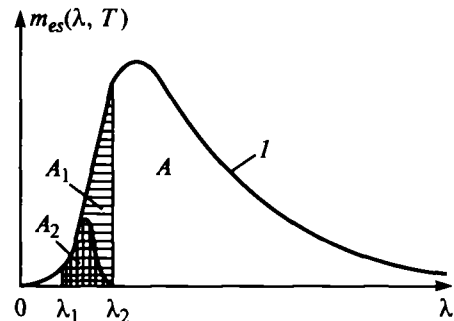


Рис. 3.1. К определению различных КПД излучения черного тела [3.3]: $\lambda_1 = 380 \text{ нм}$; $\lambda_2 = 780 \text{ нм}$

кривой и осью абсцисс, соответствует потоку излучения, а заштрихованная горизонтальными штрихами площадь A_1 — потоку излучения, приходящемуся на видимую область спектра. Небольшая площадь A_2 соответствует воспринимаемому человеческим глазом потоку излучения, который называется световым потоком Φ_v . (Далее везде световой поток обозначается Φ без индекса v).

Эффективность излучения черного тела можно оценить следующими показателями: энергетическим КПД — отношением площади A_1 к A ; световым КПД — отношением A_2 к A ; КПД видимого излучения — отношением площадей A_2 к A_1 ; световой отдачи — отношением светового потока Φ к электрической мощности P_e , затраченной на нагрев тела.

Световая отдача черного тела имеет максимальное значение $\eta_{\text{vis max}} = 89,5$ лм/Вт при $T = 6600$ К ($\eta_{\text{vis max}} = 683\eta_{\text{свс}}$, где $\eta_{\text{свс}}$ — световой КПД излучения черного тела [3.3]).

Все реальные тела являются либо серыми (спектральный коэффициент излучения у них меньше 1 и не зависит от длины волны), либо селективными (избирательными), у которых спектральный коэффициент теплового излучения зависит от длины волны.

Тепловое излучение реальных тел, в том числе металлов, описывается законами излучения черного тела с внесением в них экспериментально установленных коэффициентов. Так, для оценки интегрального значения тепловой энергетической светимости металлов $M_e(T)$ применяется выражение, аналогичное закону Стефана–Больцмана

$$M_e(T) = \epsilon(T) M_{\text{св}}(T) = \epsilon(T) \sigma T^4, \quad (3.10)$$

где $\epsilon(T)$ — интегральный коэффициент теплового излучения металла.

Спектральная плотность энергетической светимости металлов записывается в виде, аналогичном закону Планка:

$$m_e(\lambda, T) = \epsilon(\lambda, T) m_{\text{св}}(\lambda, T) = \epsilon(\lambda, T) c_1 \lambda^{-5} [e^{c_2/(\lambda \cdot T)} - 1]^{-1}, \quad (3.11)$$

где $m_e(\lambda, T)$ — спектральная плотность энергетической светимости реального тела; $\epsilon(\lambda, T)$ — спектральный коэффициент теплового излучения металлов.

Классификация тепловых излучателей. Они могут быть как естественными (светящиеся небесные тела, небо и облака, земная и водная поверхности и др.), так и искусственными (свеча, керосиновая лампа, электрические ЛН, ИК излучатели и др.).

В табл. 3.2 приведена классификация искусственных тепловых излучателей. Деление на классы проведено по физическим принципам генерирования излучения, на подклассы — по конструктивно-технологическим признакам, на группы — в основном по функциональным признакам (назначение, область применения), а также по некоторым конструктивным особенностям.

Тепловые излучатели, используемые для освещения, называют ИС (лампами). Источники, богатые ИК-излучением, а также те, световые качества которых пред-

ставляют второстепенный интерес, называют источниками ИК-излучения (излучатели, ИК-излучатели).

Принято также деление на «темные» и «светлые» источники.

У первых доля видимого излучения не превышает доли процента, а температура тела накала обычно не выше 1000°C (это в основном ИК излучатели). У вторых тот и другой показатели значительно выше (это преимущественно ИС).

3.2.2. Электрические вольфрамовые ЛН

Основные этапы развития ЛН. Опыты по получению света путем накаливания проводников током начались вскоре после открытия в 1802 г. теплового действия электрического тока. Многочисленные работы в этой области многие годы не давали удовлетворительных результатов. Лишь в 1873 г. успех сопутствовал русскому изобретателю А.Н. Лодыгину (1847–1923 гг.), который предложил ИС, в принципе схожий с современной ЛН. Он поместил угольный стержень в стеклянный баллон, из которого кислород удалялся за счет сгорания части угля при прохождении через него тока, благодаря чему оставшаяся часть угля работала относительно долго, излучая свет. В 1879 г. американский изобретатель Т.А. Эдисон (1847–1931 гг.) на основе принципиальных идей, заложенных в лампе Лодыгина, создал лампу серийного производства, применив для тела накала угольную нить, полученную обугливанием длинных и тонких бамбуковых волокон. Кроме того, он ввел откачку воздуха из баллона.

В 1890 г. А.Н. Лодыгин демонстрировал лампу с телом накала в виде нити из тугоплавкого металла — молибдена. В 1903 г. появились первые образцы вольфрамовых ЛН, а в 1906–1909 гг., после освоения серийного производства вольфрамовой проволоки, начался промышленный выпуск вакуумных ЛН с прямой вольфрамовой тянутой нитью.

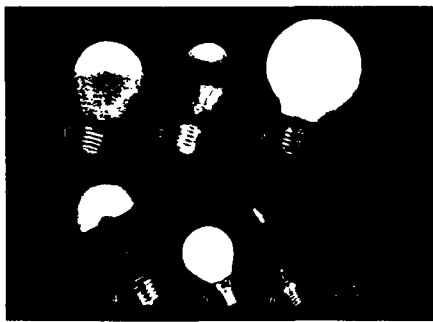
В 1913 г. американский физик И. Ленгмюр предложил наполнять ЛН нейтральным газом и применять спирализованное тело накала вместо нитевидного. Эти меры позволили уменьшить высокотемпературное распыление вольфрамовой проволоки и за счет этого увеличить срок службы лампы. В 1935 г. началось массовое производство биспиральных ламп. В 1936 г. стали применять криптон и ксенон в качестве газов-наполнителей. Крупным событием, открывшим новую страницу в развитии тепловых ИС, явилось создание в 1959 г. ГЛН в кварцевой колбе, получивших в настоящее время широкое распространение.

Значение ЛН остается важным несмотря на быстрое развитие РЛ. Доля светового потока ЛН в общем световом потоке, вырабатываемом годовым выпуском ИС общего назначения, хотя и понижается, но остается высокой: в 1985 г. — 76%, в 1990 г. — 70%. Во многих областях применения ЛН не имеют равноценной замены. Основные виды ЛН общего применения показаны на рис. 3.2.

«Долголетие» и массовость применения ЛН обусловлены относительно низкой стоимостью, удобством в обращении, простотой в обслуживании, малыми пер-

Классификация искусственных тепловых излучателей

Класс	Подкласс	Группа	Характерные представители
1. Электрические тепловые излучатели	1.1. Электрические ЛП с вольфрамовыми телами накала, работающими в вакууме или инертном газе [3.1, 3.3]	1.1.1. Лампы общего назначения	Вакуумные, газополные и галогенные лампы общего освещения
		1.1.2. Лампы местного назначения	Лампы для освещения рабочих мест
		1.1.3. Транспортные лампы	Автомобильные, железнодорожные, судовые, самолетные лампы
		1.1.4. Лампы для сигнализации и индикации	Миниатюрные, сверхминиатюрные, коммутаторные, светофорные, маячные, специальные сигнальные лампы
		1.1.5. Лампы для оптических систем и приборов	Кинопроекторные, малогабаритные, прожекторные, лампы-фары, зеркальные лампы
		1.1.6. Метрологические лампы	Светоизмерительные лампы силы света и светового потока, нирометрические лампы, лампы с окнами-фильтрами, лампы «черное тело»
		1.1.7. Лампы для технологических целей	Инфракрасные зеркальные лампы, галогенные лампы ИК излучения, лампы для фотографии и др.
		1.1.8. Лампы для специальных светотехнических систем и установок	Лампы рудничные, для подводного освещения, для эксплуатации при высоких температурах, давлениях и разрежениях
	1.2. Источники с открытыми металлическими и неметаллическими телами накала, работающими на воздухе [3.4]	1.2.1. Эталонные и образцовые излучатели	Технические модели черного тела, штифт Нернста, силовый излучатель (глобар)
		1.2.2. Излучатели для технологических целей	Стекланные и кварцевые излучатели с нихромовой спиралью, керамические излучатели, трубчатые электронагреватели (ТЭН), излучатели с открытыми металлическими телами накала
		1.2.3. Дуговые лампы с угольными электродами [3.5]	Простые угольные дуги
2. Тепловые излучатели, основанные на сжигании [3.4]	2.1. Калильные источники	2.1.1. Источники на жидком горючем	Керосино- и спиртокалильные лампы
		2.1.2. Источники на газообразном горючем	Газокалильные горелки
	2.2. Пламенные источники	2.2.1. Пламя твердых веществ	Горящие твердые вещества
		2.2.2. Пламя горючих жидкостей	Масляные и керосиновые лампы
		2.2.3. Пламя горючих газов	Горелки Бунзена, Меккера, Тесла с открытым пламенем, горелки с закрытым или частично экранированным пламенем
	2.3. Газовые беспламенные излучатели	2.3.1. Излучатели с внутренним сжиганием	Излучатели с перфорированными, фракционными и пористыми диафрагмами
		2.3.2. Излучатели с наружным сжи-	Излучатели чашеобразные, макроканальные



а)



б)

Рис. 3.2. Лампы накаливания: а: 1 — матовая (цоколь Е27); 2 — прозрачная (Е27); 3 — опаловая в шаровой колбе (Е27); 4 — с зеркальным куполом (Е27); 5 — молочная в форме капли (Е14); б — прозрачная в форме свечи (Е14); 7 — матовая в форме пламени (Е14); б — спектр излучения ЛН

воначальными затратами при оборудовании ОУ, разнообразием конструкций, напряжений и мощностей, высоким уровнем механизации производства.

Главными недостатками ЛН являются сравнительно низкая световая отдача (8–20 лм/Вт для ЛН общего назначения), обычно невысокая продолжительность горения (не более 2000 ч), не всегда приемлемая цветопередача и недостаточная механическая прочность ряда типов специальных ламп. Уровень качества ЛН непрерывно повышается (рис. 3.3), и имеются еще не использованные резервы для дальнейшего роста.

Устройство ЛН показано на рис. 3.4. Главной частью ЛН является тело накала 1. Оно может представлять собой нить, спираль, биспираль, триспираль, иметь разнообразные размеры и форму (рис. 3.5).

Тело накала изготавливается из вольфрамовой проволоки [3.6, 3.7] по ГОСТ 19671-81. Вольфрам имеет высокую температуру плавления (3650 ± 50 К) и малую скорость испарения [$9,9 \cdot 10^{-3}$ г/(м²·с) при 3000 К], формоустойчив при высокой рабочей температуре, ус-



Рис. 3.3. Динамика роста световой отдачи ЛН, приведенной к лампе мощностью 100 Вт со сроком службы 1000 ч: I — угольная нить в вакууме; II — тянутая вольфрамовая нить в вакууме; III — вольфрамовая моноспираль в вакууме; IV — вольфрамовая биспираль в аргоне и криптоне (прогресс в технологии и оборудовании); V — применение галогенного цикла и кварцевых оболочек; VI — применение теплоотражающих покрытий на колбах и иных новых физических процессов и технических решений

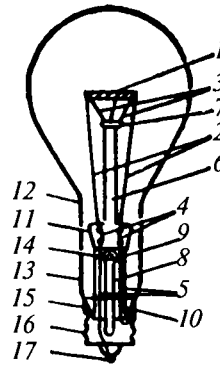


Рис. 3.4. Схематическое (принципиальное) изображение электрической ЛН

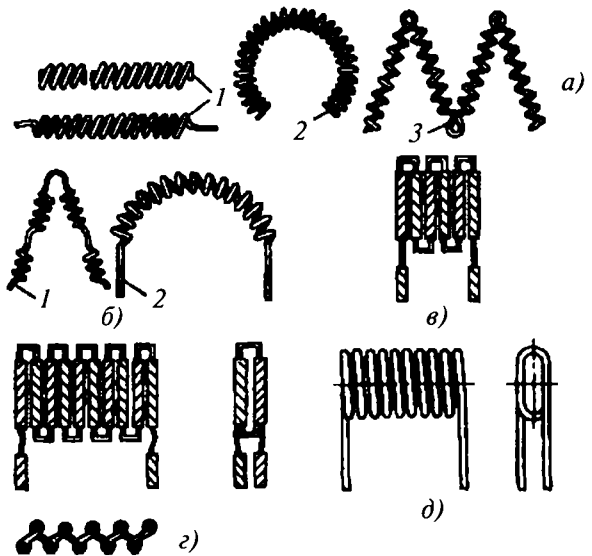


Рис. 3.5. Наиболее распространенные формы тел накала (моно- и биспиралей): а — сплошные (1 — прямолинейная; 2 — дуговая; 3 — в виде зигзага); б — секционные (1 — под углом; 2 — дужкой); в — многосекционные, формованные в одной плоскости («моноплан»); г — многосекционные, формованные в двух плоскостях («биплан»); д — плоские, изготавливаемые на керне в виде пластины

тойчив к механическим нагрузкам, обладает высокой пластичностью и горячем состоянии, что позволяет получать из него нити весьма малых диаметров путем протяжки проволоки через калиброванные отверстия, тонкие проволоки хорошо спирализуются.

Вольфрам является селективным излучателем, максимум излучения его сдвинут по сравнению с черным телом в сторону более коротких волн при одинаковой температуре излучателей. Из рис. 3.6 видно, что спектральный коэффициент теплового излучения вольфрама увеличивается с уменьшением длины волны.

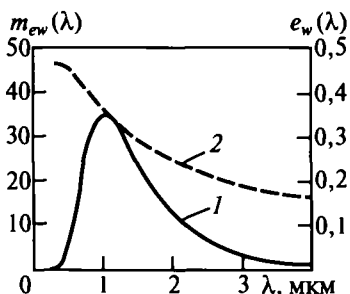


Рис. 3.6. Спектральная плотность энергетической светимости вольфрама (1) при $T = 2600$ К и спектральный коэффициент теплового излучения вольфрама (2) при той же температуре [3.1]

Поэтому световой КПД излучения и световая отдача вольфрама больше, чем у черного тела при той же температуре (рис. 3.7). Наибольшая световая отдача, которая может быть получена при температуре плавления вольфрама, равна примерно 50 лм/Вт.

Для расчета размеров спирального и биспирального тел накала (диаметр и длина проволоки, диаметр зерна и шаг спирали, коэффициенты зерна и шага, диаметр и длина спирали и биспирали и т.п.), а также для определения их формы разработаны особые методы. Они излагаются в специальной литературе [3.1, 3.3].

Тело накала фиксируют в пространстве с помощью внутренних звеньев токовых вводов (электродов) 2 и держателей 3 (см. рис. 3.4). В зависимости от типа ламп вводы могут быть одно-, двух- и трехзвенными. Трех-

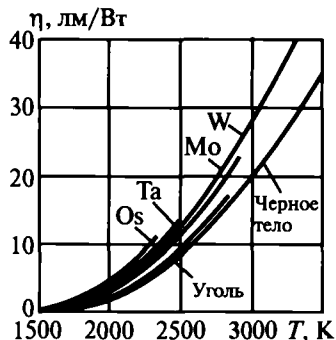


Рис. 3.7. Световая отдача некоторых металлов, угля и «черного тела» в зависимости от температуры [3.3]

звенные вводы состоят из внутреннего звена, изготовленного из никеля, ферроникеля, меди или платинита (в зависимости от вида ламп), среднего звена, впаиваемого в стекло (большая часть из платинита), 4 и внешнего звена (вывода) 5, обычно медного или платинитового.

Вводы и держатели являются частью так называемой ножки. Это стеклянный конструктивный узел лампы, который кроме вводов и держателей включает в себя стеклянный цельный или пустотелый штабик 6 с линзой 7, стеклянный пустотелый штенгель 8 и стеклянную трубку-тарелку 9, развернутую в нижней части (развертка 10), соединенные в единую конструкцию расплавлением и заштамповкой стеклянных элементов в зоне лонетки 11. Ножка служит опорой для тела накала лампы и вместе с колбой 12 обеспечивает герметизацию лампы.

Для обеспечения нормальной работы раскаленного вольфрамового тела накала необходимо изолировать его от кислорода воздуха. Для этого тело накала нужно поместить либо в безвоздушной среде (такие лампы называются вакуумными), либо в среде так называемых инертных газов или их смесей, не реагирующих с материалом тела накала (газополные лампы). Конструктивно эта задача решается следующим образом: ножку с телом накала помещают в стеклянную колбу 12, горло колбы 13 герметично спаивают с разверткой тарелки, через штенгель и откачное отверстие 14 из пространства внутри колбы откачивают воздух (в случае газополной лампы затем вводят инертный газ), запаивают штенгель, обеспечивая полную герметичную изоляцию внутреннего пространства лампы от окружающей среды. На рис. 3.8 показаны основные виды колб ЛН.

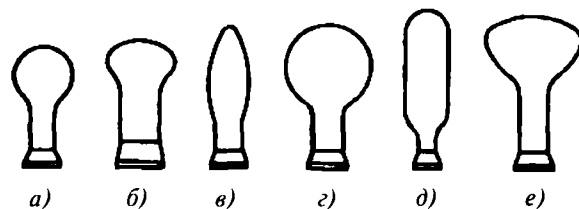


Рис. 3.8. Основные виды колб ЛН: а — каплеобразная (шар-конус); б — грибовидная; в — свечеобразная; г — шаровая; д — цилиндрическая; е — параболическая

Для удобства эксплуатации на горле лампы 15 с помощью цоколевочной мастики укрепляют цоколь, к корпусу 16 и контактной пластине 17 которого припаивают или приваривают выводы электродов. В зависимости от назначения ламп применяют разные типы цоколей. Примеры конструктивного исполнения цоколей даны на рис. 3.9.

Отдельные узлы и детали, приведенные на рис. 3.4, в некоторых типах ЛН упрощены или отсутствуют. Например, у миниатюрных ЛН ножка представляет собой стеклянную бусинку с впаянными в нее двумя платиновыми электродами, у сверхминиатюрных ножка отсутствует, а штенгелем служит сама колба, суженная в зоне отпайки. Однако главные функции отдельных

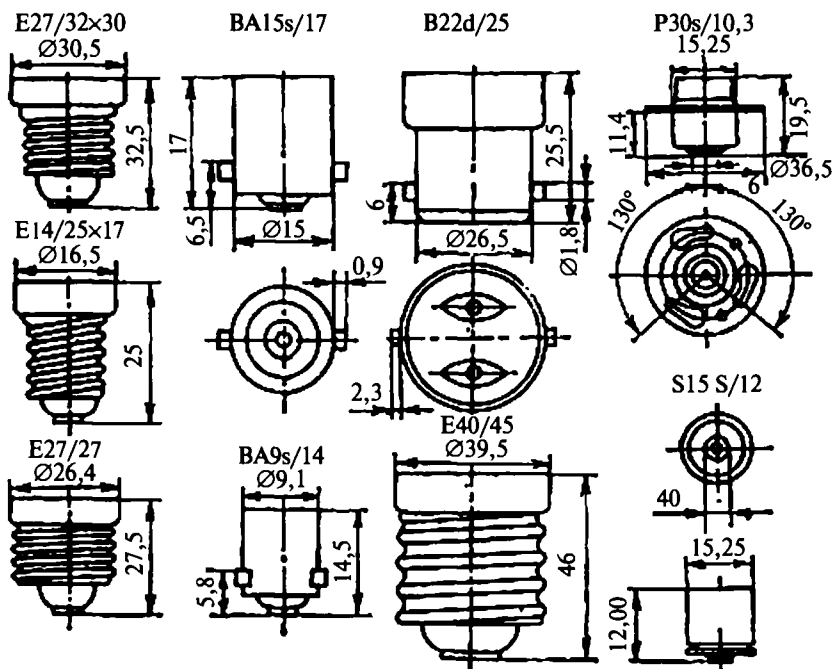


Рис. 3.9. Основные типы цоколей для ЛН: Е — резьбовой; В — штифтовый; ВА — штифтовый для автомобилей; Р — фокусирующий; S — цилиндрический

узлов и деталей для всех электрических ЛН остаются неизменными.

Конструирование ЛН разных типов состоит из решения одних и тех же задач: рассчитать и сконструировать тело накала, закрепить его в пространстве, выбрать оптимальный состав среды, окружающей тело накала, изолировать герметично тело накала и окружающую его среду от внешнего пространства, обеспечить удобное и безопасное присоединение лампы (тела накала) к электрической сети.

Классификация ЛН чаще всего производится по двум признакам: по назначению (областям применения) и конструкции (технологии изготовления). Классификация ламп по назначению приведена в табл. 3.2. Все ЛН разделяют обычно на лампы общего назначения (группы 1.1.1 и 1.1.2) и лампы специального назначения (группы 1.1.3—1.1.8). В основе классификации по конструкции лежит объединение ламп в группы, которые можно изготавливать на однотипном технологическом оборудовании. Это прежде всего определяется размером и формой колб, от которых зависят размер и конструкция ножек, тела накала, вводов; тип цоколя, а значит, и характер соответствующего технологического оборудования.

Лампы накаливания могут классифицироваться и по другим признакам, например, по напряжению, мощности, по характеру среды, окружающей тело накала (вакуумные, газополные, т.е. аргоновые, криптоновые, ксенонные с разным содержанием азота, галогенные с добавкой к наполняющему газу определенной доли галогенов), по характеру светораспределения, спектру излучения, по режиму работы (непрерывный, циклический, с модуляцией светового потока) и др.

Из приведенной классификации ЛН легко понять, как формируются основные требования к ним. Прежде всего определяется, к какому классу по назначению относится новая лампа, и полностью учитываются требования соответствующего потребителя. Затем стремятся так конструктивно выполнить лампу, чтобы она вошла в один из конструктивно-технологических классов. Первое позволяет создать лампу, полностью удовлетворяющую специфическим требованиям потребителя, второе — использовать имеющееся технологическое оборудование для изготовления новых ламп, сократить затраты на организацию производства.

Приведенная классификация носит относительный (условный) характер, так как четкие грани между отдельными классами ЛН провести невозможно.

Маркировка отечественных ЛН содержит следующие элементы:

первый элемент — характеризует лампу по важнейшим физическим и конструктивным особенностям (В — вакуумная моноспиральная, Г — газополная аргоновая моноспиральная, Б — аргоновая биспиральная, БК — биспиральная криптоновая); ряд ламп, особенно специальных, первого элемента в обозначении не имеют;

второй элемент — буквенное выражение из одной-четырёх букв — определяет назначение ламп (А — автомобильная, Ж — железнодорожная, КМ — коммутаторная, ПЖ — прожекторная, СМ — самолетная и т.д.);

третий элемент — цифровое выражение — определяет номинальное напряжение в вольтах и через дефис (в зависимости от принятой маркировки данного вида ламп) — номинальную мощность в ваттах либо силу света в канделах, ток в амперах или световой поток в

люменах; для двухспиральных ламп после номинального напряжения указываются параметры (например, мощность, сила света) первой и второй спиралей, соединенные знаком «+»;

четвертый элемент — отделенная дефисом от третьего элемента цифра — указывает порядковый номер доработки: для ламп, разработанных впервые, четвертый элемент отсутствует.

Некоторые специфические особенности маркировки указаны в соответствующих стандартах и технических условиях.

Примеры маркировки ламп: БК 215-225-100-2 — ЛН биспиральная криптоновая (БК), напряжение 215–225 В, мощность 100 Вт, вторая доработка; А12-21+6 — ЛН автомобильная, напряжение 12 В, двухспиральная, сила света 21 и 6 кл.

Параметры ЛН имеют широкий диапазон номинальных значений. Например, ряд напряжений простирается от единиц до 380 В, ряд мощностей — от долей ватта до 20 кВт, световой поток — от долей люмена до сотен тысяч люменов, сила света — от долей канделы до десятков тысяч кандел, диаметр колбы — от 1 до 200 мм и более.

У ламп с зеркализированными колбами и встроенными экранами нормируются КСС (рис. 3.10), сила света в направлении оптической оси лампы, световой поток, излучаемый в нижнюю полусферу или какую-нибудь

другую зону. У большинства зеркальных ламп КПД равен 0,75–0,80, а коэффициент усиления (см. разд. 6) лежит в пределах от 3 (широкое светораспределение) до 20 (концентрированное светораспределение).

Яркость свечения ЛН существенно различна. Лампы для кинопроекторов, прожекторов, светосигнальных приборов имеют высокую яркость. Для этого используют прозрачную колбу и компактное тело накала, которому придают максимальную температуру. Для освещения жилых помещений часто применяют лампы в матированных или молочных колбах, снижающих яркость. У спиральной вакуумной лампы мощностью 40 Вт габаритная яркость при прозрачной колбе около $2000 \cdot 10^3$ кл/м², а при матированной — $20 \cdot 10^3$ кл/м².

Спектральные и цветные параметры. Лампы накаливания имеют сплошной (непрерывный) спектр излучения (см. рис. 3.2, б). Цветность излучения характеризуется координатами цветности x и y на цветовом графике (см. разд. 2). Температура T_{II} для ЛН в прозрачной колбе на 50–100 К выше истинной температуры вольфрамового тела накала. Цветопередача характеризуется индексом цветопередачи R_a (см. разд. 2). Указанные параметры зависят от материала тела накала, его рабочей температуры, спектров поглощения и пропускания стенок колбы и наносимых на колбу декоративных и других покрытий, а также в некоторой мере от формы тела накала. Из-за относительно невысоких рабочих температур тела накала (2400–2600 К, при этом $T_{II} = 2500 \div 2700$ К) в видимом излучении ЛН преобладают оранжево-красные лучи. Поэтому при освещении такими лампами усиливаются «теплые» цветовые тона (красные, оранжевые, коричневые) и ослабляются «холодные» (зеленые, голубые, фиолетовые), что не позволяет обеспечить высокое качество цветопередачи. Путем применения светофильтров и цветных колб, частично поглощающих оранжево-красное излучение, в принципе можно повысить цветовую температуру ЛН до 3500–4000 К, но световой поток при этом снизится на 30–35%.

Геометрические и конструктивные параметры (рис. 3.11) — это габаритные размеры (полная длина лампы l , диаметр колбы d_k), присоединительные размеры, определяемые выбранными цоколем и патроном, высота светового центра h , форма и распо-

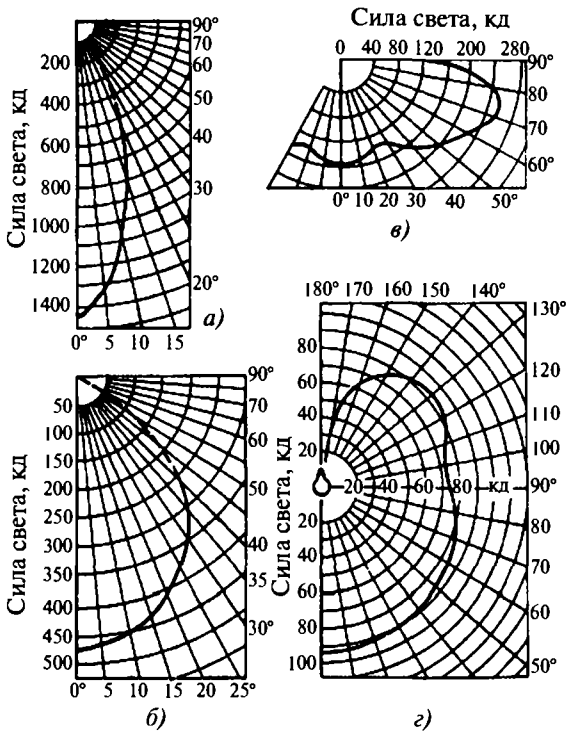


Рис. 3.10. Типовые продольные КСС зеркальных ЛН с условным световым потоком 1000 лм концентрированного (а), среднего (б), широкого (в) светораспределения и ЛН в прозрачной колбе (г)

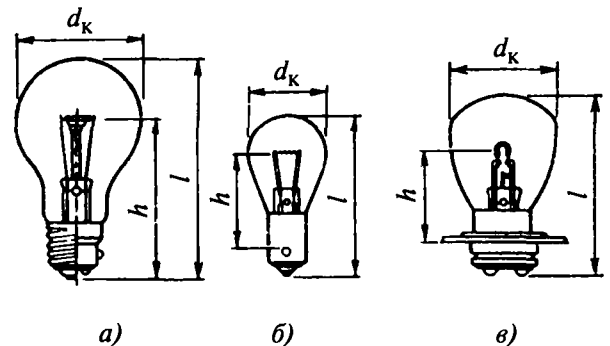


Рис. 3.11. Обозначение основных размеров ЛН общего назначения (а), автомобильных (б), автомобильных с фокусирующим цоколем (в)

ложение тела накала, конструкция ножки, форма колбы, тип покоя. В некоторых специальных лампах нормируется расстояние от тела накала до купола колбы, габариты тела накала, в зеркальных лампах — расстояние от купола колбы до плоскости, проходящей через край зеркального покрытия, и т.д.

Механические и климатические параметры: вибропрочность и вибростойкость, ударопрочность, прочность крепления цоколя к колбе, стойкость к внешнему давлению и разрежению, устойчивость к температуре окружающей среды, стойкость против воздействия влаги и химически агрессивных сред. Численные значения этих параметров указываются в стандартных и технических условиях на лампы.

Большинство ЛН эксплуатируется в нормальных климатических условиях: наружная температура $+25 \pm 10^\circ\text{C}$, атмосферное давление 950–1030 гПа (720–788 мм рт. ст.), относительная влажность воздуха $65 \pm 15\%$ при 25°C . Однако к ряду ламп (для тропического климата, для самолетов и судов, для глубоководного погружения, герметизированных арматур, животноводческих помещений и др.) предъявляются особые климатические требования, которые фиксируются в технических условиях.

Параметры долговечности ЛН. Срок службы лампы — суммарное время ее горения в часах от момента первого включения до прекращения функционирования.

Обычно нормируется средний срок службы — среднearифметическое значение срока службы всех ламп, входящих в партию. На рис. 3.12 показана типичная кривая выхода ЛН из строя. За средний срок службы принимается время, в течение которого вышло из строя 50% ламп из партии. Закон распределения ЛН по сроку службы — нормальный.

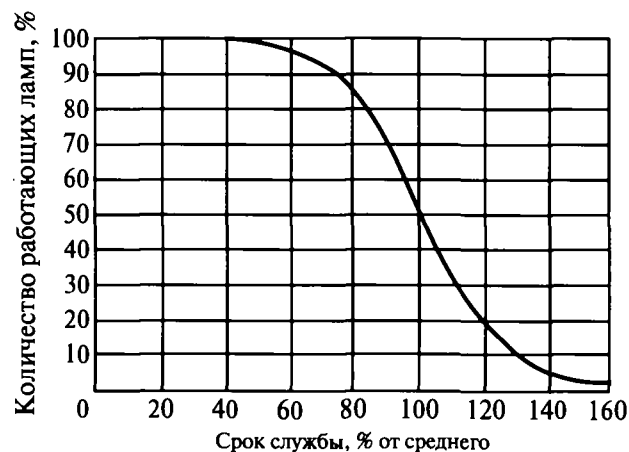


Рис. 3.12. Распределение ламп по сроку службы

Коэффициент стабильности светового потока v — это отношение среднего за срок службы светового потока лампы к его номинальному значению ($v = \Phi_{\text{ср}} / \Phi$). Этот показатель у ЛН довольно высок: для вакуумных ламп общего назначения он равен 0,87–0,90, а для газополных — 0,91–0,95.

Экономичность ЛН характеризуется световой отдачей η , т.е. отношением светового потока, излучаемого лампой, к ее электрической мощности:

$$\eta = \Phi / P. \quad (3.12)$$

Относительно невысокая световая отдача ЛН объясняется их физической природой: световой КПД вакуумных ламп равен 1,5, а газополных 2–4%.

Взаимосвязь параметров ЛН определяется зависимостью каждого из них от температуры тела накала T . При изменении температуры на $\pm 10\%$ эта зависимость удовлетворительно описывается уравнениями [3.1, 3.3]

$$P / P_0 = (T / T_0)^{4,8}; \quad \Phi / \Phi_0 = (T / T_0)^{10,8}; \\ \eta / \eta_0 = (T / T_0)^6; \quad \tau / \tau_0 = (T / T_0)^{-40}, \quad (3.13)$$

где T_0 , P_0 , Φ_0 , η_0 и τ_0 — исходные температура тела накала, мощность, световой поток, световая отдача и срок службы лампы; T , P , Φ , η и τ — иное значение температуры и соответствующие иные значения параметров.

Параметры ЛН изменяются при отклонении напряжения питания от номинального. Если эти отклонения не превышают $\pm 10\%$, то справедливы следующие соотношения [3.1]:

$$T / T_0 = (U / U_0)^{0,33}; \quad P / P_0 = (U / U_0)^{1,6}; \\ \Phi / \Phi_0 = (U / U_0)^{3,6}; \quad \eta / \eta_0 = (U / U_0)^2; \quad (3.14) \\ \tau / \tau_0 = (U / U_0)^{-(11,2+14,8)},$$

где U_0 — номинальное напряжение; U — напряжение, отличное от номинального.

При расчете ЛН широко используется связь между сроком службы и световой отдачей

$$\tau = \tau_0 (\eta / \eta_0)^{-z}, \quad (3.15)$$

где z обычно принимается равным 7.

Как видно из (3.13)–(3.15), зависимости между многими параметрами ЛН могут быть представлены уравнением вида

$$N / N_0 = (B / B_0)^{n_{NB}}, \quad (3.16)$$

где N_0 и B_0 — исходные значения каких-нибудь двух параметров; N и B — иные значения тех же параметров (один из которых является независимым, а другой — зависимым от первого), n_{NB} — показатель степени, зависящий от выбранной пары параметров.

На параметры ламп влияют не только работа тела накала, что учитывается (3.16), но и многочисленные конструктивные и технологические факторы (состав и давление наполняющих газов, качество применяемых материалов и полуфабрикатов, соблюдение вакуумной гигиены, технический уровень монтажных и сборочных операций и т.н.). Влиянию многих из этих факторов также даны количественные и качественные оценки [3.3, 3.6, 3.7].

Типы, области применения и характеристики основных групп ЛН приведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Типы, области применения и характеристики основных групп отечественных ЛН (рис. 3.13)

Наименование ламп	Обозначение типа лампы	Напряжение, В	Мощность, Вт (ток, А)	Световой поток, лм (сила света, кд)	Средняя продолжительность горения, ч	Размеры, мм		Тип цоколя
						D	L	
Общего назначения	В, Б, БК, Г	125–245	15–1000	120–20000	1000	61–151	98–309	Е 27/27, Е 27/30, Е 40/45
Местного освещения	МО	12, 24, 36, 40	25–100	280–1740	1000	61–66	108–129	Е 27/27
Транспортные:								
автомобильные	А, АМН, АС, АКГ	6, 12, 24	0,45–85	1–1900	115–1800	5–41	14,5–82	В, ВА, Р, W, ВАУ, ВАZ
железнодорожные	ЖГ	24–120	4–100	8–1080	600–1500	20–66	44–111	В 22, В 15, S 19, Е 27/27
судовые	С	13–220	25–200	165–2340	100–1000	36–81	57–159	Е 27, В 22, В 15, Р
самолетные	СМ, СМК, СМЧ, СМЗ	2,5–28	0,6–70	0,9–1000	15–4500	4,3–39	11,5–72	Штифтовые, фокусирующие, специальные, гибкие вводы
Индикаторные и сигнальные:								
миниатюрные	МН, МНМ	1,25–36	0,0025–1,3	0,8–21	20–2100	5,5–16	17–30	Е 10/13, В 9s/14
сверхминиатюрные	СМНЖ, СМНК, СМНС	1,2–9	0,012–0,15	0,035–4	20–10000	0,85–4,0	9–93	Гибкие вводы
коммутаторные	КМ	6–48	0,035 0,09	0,9–10,7	2000–3500	6,6	46	Пластмассовый наконечник с двумя латунными пластинами, тип Т 6.8
светофорные	ЖС	10, 12	5–25	38–230	300–2000	21–56	57–93	Штифтовые специальные и фокусирующие
маячные	ММ, КГММ	6–110	3–1000	22–20000	110–2500	16–112	29–212	Е 27/27, Е 40/45, В15s /18, В9s/14
сигнально-специальные	СГ, СГА, СГВ	1,2–220	0,16–200	1,3–5000	30–1400	5,5–66	17–151	Резьбовые, штифтовые, фокусирующие, специальные
в цилиндрических баллонах	Ц	60–240	4–25	10–190	1000–1100	20–31	62, 86	Е 27/27, Е 14/25x17, В 15
Для оптических систем и приборов:								
киноаппаратурные	К	4–225	3–750	26–22500	15–600	22–61	51–196	Резьбовые, штифтовые, фокусирующие, специальные
различного назначения	РН, СЦ	2,4–240	4,8–350	7,5–70000	40–1500	16–92	37–150	Резьбовые, штифтовые, специальные

Наименование лампы	Обозначение типа лампы	Напряжение, В	Мощность, Вт (ток, А)	Световой поток, лм (сила света, кд)	Средняя продолжительность горения, ч	Размеры, мм		Тип цоколя
						D	L	
для оптических приборов	ОП	3–33	0,75–100	3,2–2500	25–1500	4,6 56	24–90	Резьбовые, штифтовые, фокусирующие, специальные
прожекторные	ПЖ	24, 50, 110, 220	100 5000	850–11000	100–560	37- 177	103–383	Резьбовые, штифтовые, фокусирующие, специальные
Лампы-фары: самолетные	ЛФСМ, ЛФКГ	4, 9, 27	20–1000	15 750	5–100	95 -205	56–115	—
Зеркальные лампы с КСС:								
концентрированной	ЗК	220	40 500	(320–7000)	1000 2000	91–160	138–262	Е 27/27, Е 27/30, Е 40/45
глубокой	ЗД	220	40–100	(200 410)	1000	73, 81	122, 116	Е 27/27
широкой	ЗШ	220	300–1000	(1100 4500)	1250	134, 162	255–300	Е 27/27, Е 40/45
Метрологические светоизмерительные:								
силы света, светового потока	СИП, СИС	3,5–107	2,1 915	(1- 10000)	15–400	40 152	100–235	Е 27/32x30, Е 40/45 с косым рантом
температурные	ТРУ, ТРИ, ТРВ, ТРШ	0,5 10	0,168–40	800–3000	20 500	15–155	24-- 500	Е 27/32x30, Резьбовые, специальные
Для технологических целей: инфракрасные	ИКЗ	220	250, 500	—	6000	130, 134	195, 250	Е 40/45, Е 27/27
Специальные лампы:								
рудничные	Р	3,5–127	0,5–25	18 540	50 1000	16–61	37–116	Штифтовые, В 15d/18
подводные	ПВ	12, 110, 220	200 1500	3000 30000	500–750	97–132	192 235	Е 40/45
декоративные	ДА, ДВ, ДР, ДС, ДШ	127, 240	15–100	90 1360	1000	26–130	77–200	Е 14, Е 27
алюминиевые	ИЛ	225, 235	25–75	—	1000	61	105	Е 27/27
для слюнных гирлянд	МН, Е, ЕД	12–26	(0,06–15)	3–12	120–600	6,4 14	24 46	Специальные

Лампы общего назначения на 230–240 и 235–245 В предназначены для использования там, где в сетях наблюдается повышенное напряжение. При расчетном напряжении средняя продолжительность горения ЛН должна быть не менее 1000 ч, а продолжительность го-

рения каждой лампы — не менее 700 ч. У ЛН в матированных колбах световой поток на 3, в опаловых на 10 и в молочных на 20% ниже, чем у ламп в прозрачной колбе.

На рис. 3.13 показан внешний вид наиболее распространенных ЛН.

Номенклатура ЛН общего назначения достаточно стабильна и за последние 10–15 лет не претерпела существенных изменений. В табл. 3.4 приведены усредненные параметры ЛН, достигнутые к настоящему времени.

Таблица 3.4

Основные параметры ЛН общего назначения

Стандартные ЛН с грушевидной прозрачной колбой			
Мощность, Вт	Диаметр колбы, мм	Полная длина, мм	Световой поток, лм
15	60	105	90–120
25	60	105	215–230
40	60	105	415 430
60	60	105	700–750
75	60	105	940 960
100	60	105	1340 1380
150	65	123	2040–2220
200	80	156	2880–3150
300	111	240	4780–4850
500	111	240	8250–8400
750	151	309	13100
1000	151	309	18610–20000
Криптоновые ЛН с грибовидной прозрачной колбой			
25	60 (50)	105 (88)	240
40	60 (50)	105 (88)	450 475
60	60 (50)	105 (88)	755 800
75	60	105	1030–1050
100	60	105	1470–1500

При эксплуатации ЛН должно соблюдаться следующее:

- использование ламп в соответствии с назначением, т.е. в тех СП, для которых они предназначены, поэтому на каждом светильнике или в паспорте на него указываются максимальная допустимая мощность лампы, ее тип и другие данные;
- обеспечение соответствия напряжения, указанного на лампе, напряжению сети;
- соответствие климатических факторов, предусмотренных техническими условиями на лампы. Например, ЛН нормального исполнения рассчитаны для работы при относительной влажности не более 98% в интервале температур от –60 до +50°C и при внешнем давлении 680–1010 гПа (550–760 мм рт. ст.). Для многих специальных ламп эти интервалы значительно шире;

- обращение с лампами как с хрупкими, электро- и пожароопасными изделиями;
- соблюдение рекомендованного рабочего положения лампы в пространстве.

При эксплуатации следует учитывать, что лампа имеет высокую температуру на цоколе и в некоторых зонах поверхности колбы (рис. 3.14), температурное поле колбы заметно зависит от рода и давления наполняющего лампы газа (рис. 3.15), формы колбы (рис. 3.16) и времени горения лампы.

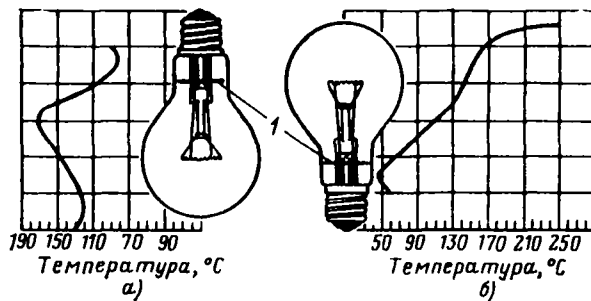


Рис. 3.14. Распределение температуры по колбе ЛН мощностью 1000 Вт при положении лампы цоколем вверх (а) и вниз (б) (1 — слюдяной тепловой экран)

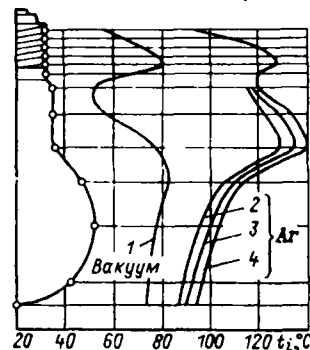


Рис. 3.15. Температуры колбы и цоколя вакуумного и газополного вариантов ламп 100 Вт, 220 В (при одинаковой температуре тела накала): 1 — вакуум; 2, 3 и 4 — технический аргон при 500, 600 и 800 гПа (380, 480 и 600 мм рт. ст.) соответственно

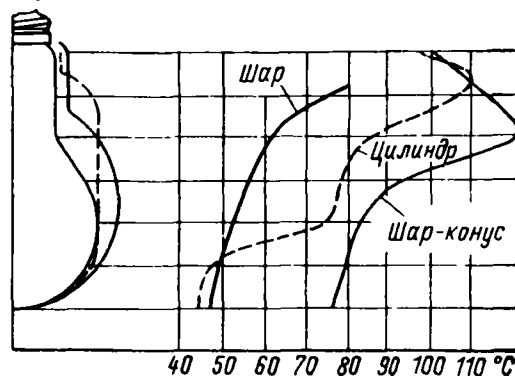


Рис. 3.16. Влияние формы колбы ЛН на распределение температуры по ее поверхности (при одинаковой температуре тела накала)



1



2



3

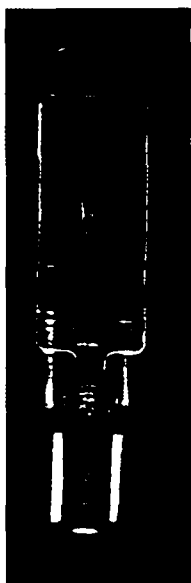


4

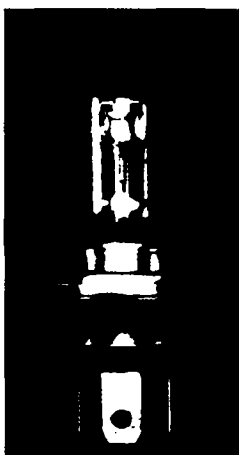
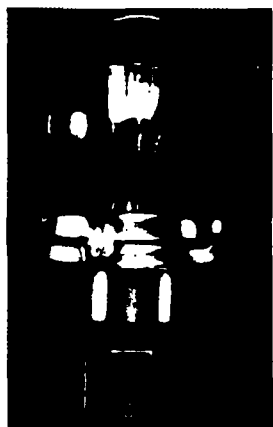
Рис. 3.13. Внешний вид наиболее распространенных ЛН: 1 — общего назначения; 2 — зеркальные;



5



6



7

ные; 4 — лампы-фары; 5 — миниатюрные; 6 — прожекторные; 7 — транспортные

Резервы совершенствования ЛН далеко не исчерпаны [3.8, 3.9], о чем свидетельствует, прежде всего, значительный разрыв между теоретически возможной световой отдачей вольфрама и фактической световой отдачей ЛН. Недостаточная эффективность преобразования электрической энергии в свет в ЛН видна из табл. 3.5 [3.1], показывающей баланс энергии ЛН разной конструкции с различными наполнениями.

Таблица 3.5

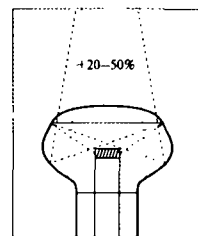
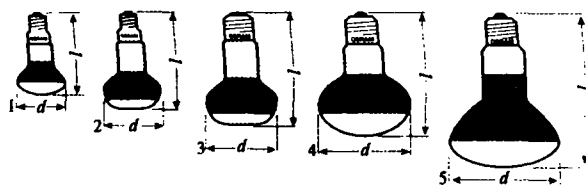
Баланс энергии ЛН

Составляющие баланса, %	Вакуумная ЛН	Моноспиральная аргоновая ЛН	Биспиральная аргоновая ЛН	Криптоновая и ксеноновая ЛН
Видимое излучение	7	10	12	13
Невидимое излучение	91	68	74	76
Потери на нагрев держателей и электродов	2	3	2	2
Потери в газе	0	19	12	9
Общая рассеянная энергия	100	100	100	100

Для повышения качества ЛН необходимо увеличение критических потерь массы тела накала (в современных ЛН они весьма малы: у аргоновых моноспиральных 8–12, у биспиральных 4–8%), уменьшение дисперсии ЛН по сроку службы, сокращение разрыва между технически возможным и имеющимся уровнями электролампового производства, повышение качества электрической энергии в осветительных сетях (стабильность напряжения). Для реализации указанных резервов необходимо сосредоточить внимание на следующих конкретных направлениях работ: улучшение условий функционирования вольфрамового тела накала в ЛН; создание новых, оптимальных для ЛН марок и режимов производства вольфрама; разработка и совершенствование методов и приборов контроля проволок; повышение технического и организационного уровня производства ЛН; повышение вибрационной и ударной прочности ЛН; поиск новых материалов для тела накала, обеспечивающих существенное повышение световой отдачи за счет селективности излучения или более высокой рабочей температуры; разработка ЛН с улучшенным распределением излучения по спектру, в том числе за счет интерференционных пленок на колбе; повышение световой отдачи за счет возврата ИК излучения обратно на тело накала.

Заслуживает внимания расширение номенклатуры зеркальных ламп. В зависимости от типа колбы они делятся на два семейства: стандартные зеркальные лампы с колбой из выдувного стекла и зеркальные лампы типа

PAR с колбой из прессованного стекла. Зеркальные лампы, излучающие направленный свет и доступные по цене, являются самым простым средством перераспределения светового потока тела накала и создания световых акцентов. Лампы типа PAR предназначены и для создания специальных эффектов. Зеркальные лампы типа Spot (рис. 3.17) грибовидной формы имеют новую оптическую систему, спроектированную на компьютере, благодаря которой интенсивность в середине светового пучка по меньшей мере на 50% выше (рис. 3.17, б), чем у обычной зеркальной лампы. Благодаря усилению концентрации излучения рассеивается значительно меньше света и практически устраняется неприятный эффект ослепления. Такого типа лампы R39, R50, R63, R80, R95 выпускаются с углами излучения 20, 25, 30, 35, 40 и 80°.



--- Двойное отражение
 ... Единичное отражение

а)

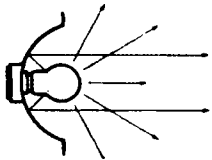
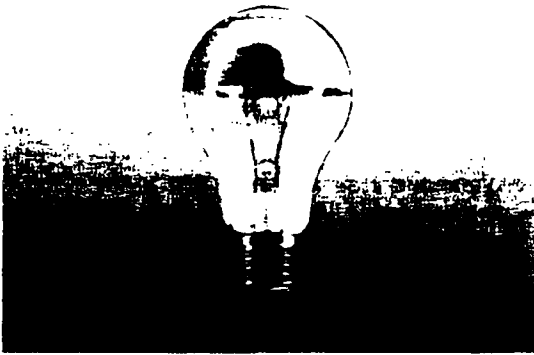
б)

Рис. 3.17. Зеркальные лампы типа SPOT: а — общий вид лампы; б — система отражения

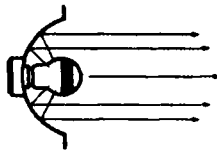
Интересны лампы накаливания с зеркальным куполом, которые очень удобны для декоративного, профессионального и бытового освещения. На рис. 3.18 показана лампа и ход лучей при стандартной лампе накаливания и лампе с зеркальным куполом.

Зеркальные лампы-фары (например, PAR 38 Espot) за счет усовершенствования конструкции и оптимизации формы отражающей поверхности колбы имеют потребляемую мощность 60, 80 и 120 Вт вместо 75, 100 и 150 Вт (с углами излучения 12° и 30°) (рис. 3.19).

Имеются также лампы PAR мощностью 300 Вт со световым пучком, имеющим форму веера с поперечным сечением в виде эллипса, и углами действия 9°/15°, 11°/25°, 16°/40° (цоколь Gx16d). Средняя продолжительность горения перечисленных ламп-фар составляет 2000 ч.



Лампа накаливания стандартная



Зеркальная кольцевая лампа накаливания

Рис. 3.18. Лампа накаливания с зеркальным куполом

Перспективы ЛН. В ближайшие 10–15 лет удельный вес ЛН в общем объеме источников света может значительно уменьшиться в связи с фронтальным вытеснением их значительно более эффективными КЛЛ (см. п. 3.3.2.2) и СД (§ 3.5).

Вместе с тем ЛН останутся еще многие годы практически незаменимыми в тех осветительных установках, где общая годовая паработка составляет всего несколько сотен часов и где более крупные капиталовложения на использование значительно более дорогих световых приборов с энергоэффективными лампами не окупятся даже за счет экономии дорожающей электроэнергии.

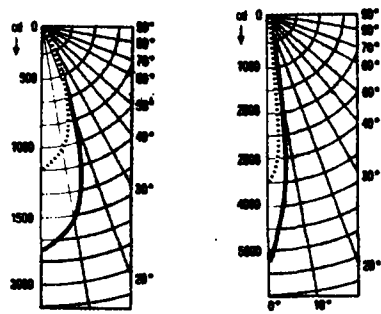
3.2.3. Галогенные лампы накаливания

Галогенные лампы накаливания (ГЛН) представляют собой самостоятельный класс ИС, по своим характеристикам занимающий промежуточное положение между ЛН общего назначения и РЛВД (НД).

ГЛН получают в последние годы широкое распространение в ОУ музеев, магазинов, ресторанов и других общественных зданий, а также в некоторых жилых и промышленных помещениях.

Принцип действия ГЛН заключается в образовании на стенке колбы летучих соединений — галогенидов вольфрама, которые испаряются со стенки, разлагаются на теле накала и возвращают ему, таким образом, испарившиеся атомы вольфрама.

Галогенные ЛН по сравнению с обычными лампами имеют более стабильный по времени световой поток и, следовательно, повышенный полезный срок службы, а также значительно меньшие размеры, более высокие термостойкость и механическую прочность благодаря



PAR 38 Flood, 30°, 60 и 80 Вт

PAR 38 Spot, 12°, 60 и 80 Вт



Рис. 3.19. Зеркальная лампа-фара

применению кварцевой колбы. Малые размеры и прочная оболочка позволяют наполнять лампы ксеноном до высоких давлений и получать на этой основе более высокую яркость и повышенную световую отдачу (либо увеличенный физический срок службы).

Галогенная добавка в ЛН с вольфрамовым телом накала вызывает замкнутый химический цикл. Пример такого цикла показан схематично на рис. 3.20 для йода. При 300–1200°C пары йода соединяются на стенке колбы с частицами вольфрама, образуя йодистый вольфрам WI_2 , который испаряется при температуре выше 250–300°C. Вблизи тела накала при 1400–1600°C молекулы WI_2 распадаются, и атомы вольфрама оседают

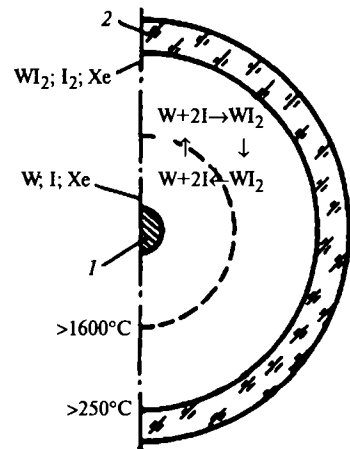


Рис. 3.20. Упрощенная схема действия йодно-вольфрамового возвратного цикла [3.3]: 1 — тело накала; 2 — стенка колбы

ют на теле накала и других деталях, имеющих температуру выше 1600°C . Освободившиеся атомы йода диффундируют в объеме лампы и соединяются на стенках колбы с вольфрамом, вновь образуя WI_2 [3.3]. Для йодно-вольфрамового цикла требуются следующие условия: 1) температура внутренней стенки колбы повсюду должна быть ниже 250 и не выше 1200°C ; наиболее предпочтительна температура $500\text{--}600^{\circ}\text{C}$, поэтому колбу изготавливают из кварца и придают ей необходимую форму для обеспечения лучшей равномерности температуры; 2) минимальная температура тела накала должна быть выше 1600°C ; 3) йод не должен образовывать на стенке лампы какие-либо другие химические соединения, кроме WI_2 , поэтому в ГЛН недопустимо применение никеля и молибдена, алюминиевого, циркониевого и фосфорного газопоглотителей, с которыми йод активно взаимодействует; 4) количество йода дозировано, излишек йода для компенсации потерь не допускается, так как пары йода заметно поглощают видимое излучение, особенно в области $500\text{--}520$ нм.

Йодно-вольфрамовый цикл препятствует осаждению вольфрама на колбе, но не обеспечивает возвращения его частиц в дефектные участки тела накала. Поэтому механизм перегорания тела накала в йодных лампах остается таким же, как и в обычных ЛН.

Применение йода в ГЛН выявило некоторые его недостатки: агрессивность по отношению к металлическим деталям, трудность дозировки, некоторое поглощение излучения в желто-зеленой области. Другие галогены (бром, хлор, фтор), будучи более агрессивными, в чистом виде не могли его заменить. В настоящее время в подавляющем большинстве ГЛН применяют химические соединения галогенов CH_3Vr (бромистый метил) и $\text{C}_2\text{H}_5\text{Vr}_2$ (бромистый метилен). Чистый бром выделяется в зонах с температурой выше 1500°C . Для ГЛН с большим сроком службы применяют $\text{C}_2\text{H}_5\text{Vr}$, полагая, что таким путем вводится некоторый избыток водорода, компенсирующий его утечку через горячую кварцевую колбу. Продолжается работа по подбору новых летучих химических соединений галогенов.

Исследования показывают, что механизм возвратного цикла значительно сложнее, чем представлялось на ранней стадии создания ГЛН. Установлено, что йодно-вольфрамовый цикл не происходит в лампе, абсолютно свободной от кислорода. Однако введение в ГЛН кислорода, как и в обычных лампах, способствует появлению известного, весьма вредного для ламп «водяного цикла». Длинные линейные ГЛН имеют недостатки: их невозможно долго эксплуатировать в наклонном или вертикальном положении, так как при этом галогенные добавки и инертный газ в основном из-за разности их молекулярных масс отделяются друг от друга и регенеративный цикл прекращается.

Устройство ГЛН показано на рис. 3.21. Колба лампы — длинная узкая кварцевая трубка 5; тело накала — прямолинейная вольфрамовая спираль 4, закрепленная на вольфрамовых держателях 7 по оси колбы. Расположенные по обоим концам трубки вольфрамовые вводы 3 соединены с выводами 1 впаянной в кварц молибденовой фольгой 2. Место отпая штенгеля 6 расположено на боковой стенке колбы. Диаметр трубки-колбы

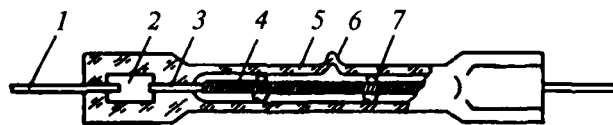


Рис. 3.21. Трубчатая ЛН с галогенно-вольфрамовым циклом

и расположение тела накала в ней выбирают так, чтобы при горении ГЛН температура стенки была равна $500\text{--}600^{\circ}\text{C}$ (не менее 250 и не более 1200°C).

Тело накала ГЛН изготавливается из специальных марок вольфрамовой проволоки, преимущественно в виде спирали, которой в лампе с помощью электродов и держателей придается необходимая форма.

Основные типы ГЛН. Лампы применяются для светильников общего освещения и прожекторов, ИК облучения, кинофотосъемочного и телевизионного освещения, автомобильных фар, аэродромных огней, оптических приборов и др. По конструктивным признакам ГЛН делятся на две группы: с длинным спиральным телом накала при соотношении длины ГЛН к диаметру более 10 — линейные или трубчатые лампы; с компактным телом накала при отношении длины ГЛН к диаметру менее 8 — эти ГЛН подразделяются в свою очередь на мощные и малогабаритные, в которых электроды размещены обычно с одной стороны.

Типы, области применения и характеристики основных групп отечественных ГЛН представлены в табл. 3.6 и на рис. 3.22.

Приняты следующие обозначения ГЛН: первая буква — материал колбы (К — кварцевая), вторая буква — вид добавки (Г — галоген), третья буква — область применения или конструктивная особенность.

Первая группа цифр — напряжение питания, вторая группа цифр — мощность (Вт), последняя цифра — порядковый номер разработки.

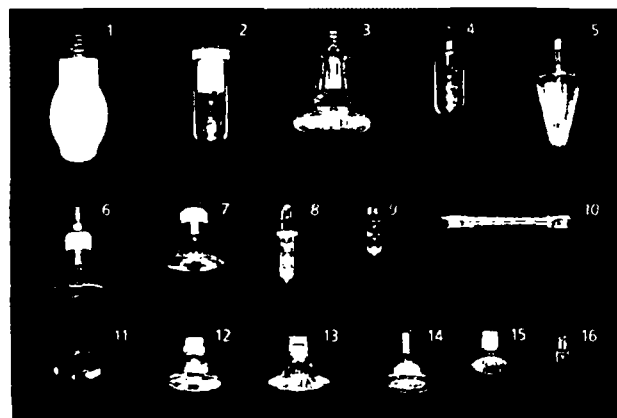


Рис. 3.22. Галогенные лампы накаливания:

— на напряжение 220 В: 1–3 — цоколь E27, 4–6 — цоколь E14, 7 — с отражателем и цоколем GU10, 8 — с цоколем B15 d, 9 — без внешней колбы, 10 — двухцокольная;
— на низкое напряжение: 11–13 — с отражателем, 14–15 — лампа «холодного света», 16 — без отражателя

Типы, области применения и характеристики основных групп отечественных ГЛН

Наименование ламп	Обозначение типа лампы	Напряжение, В	Мощность, Вт	Световой поток, лм (сила света, кд)	Средняя продолжительность горения, ч	Размеры, мм		Тип цоколя
						Диаметр колбы	Длина колбы	
Для прожекторов	КГ, КГК, КГМ	110, 220–240	500–10000	2600–260000	100–3000	12–57	126–1233	R7s; K27; K7s; P40; G22
Для теле- и кинопрожекторов	КГ, КГК, КГМ, СГ, СТК	110, 220	150–10000	2600–265000	50–2000	11–85	13–1130	R7s; K27; E27; специальн.
Для аэродромного освещения	КГМ	6; 6,6; 9	15–200	210–3800	500–1000	11–16,5	60–185	Специальн.
Термоизлучатели	КГ, КГК, КГМ, КГП, КГТ, КГТД, КГТО	110, 120, 220–240, 380	400–7500	2800–33000	50–5000	8–70	78–881	Специальн.
Для копировальных и электрографических аппаратов	КГ, КГД, КГТД	110, 220	360–1000	6600–16250	150–10000	8–16	132–750	R7s; K7s
Проекционные	КГМ, КГМН	9–225	14–1800	55–55000	18–1000	8,25–38	40–150	G6; G9; специальн.
Самолетные	КГМН, КГСМ	6, 27	5–200	50–3300	50–450	4,15–12,5	30–96	Специальн.
Различного назначения	КГ, КГМ, КГМП, КГП	12–220	20–1500	400–3300	50–2000	4,6–26,5	24–560	Специальн.
Для медицинских оптических приборов	КГМ, КГМН	6–24	20–100	250–1800	50–1000	9,25–12,5	30–55	Специальн. ввод токовый
С интерференционным отражателем	КГИ	12, 24	20–150	45–2500 (250–4500)	50, 2000	50, 56	45, 50	Ввод токовый G6,35
Бытового и промышленного назначения	КГ, КГВ, КГК, КГВМТ, КГМ, КГМН	3–225	0,9–10000	11–220000	33–3000	4,15–57	25–680	G6,35; E27; специальн.
Малогобаритные	МГ	6–27	10–100	120–1500	1000–3000	8,25–18	51–80	W15d; специальн.
Миниатюрные	МНГ	2,5–6	1–10	10–29	15–100	3,8–11	20–30,5	Специальн.

Номенклатура ГЛН содержит лампы сетевого и низкого напряжения (НН). Лампы НН используются с трансформатором (см. раздел 4).

Лампы сетевого напряжения выпускаются двухцокольные и одноцокольные. Лампы НН имеют два основных исполнения: с жестко закрепленным на колбе внешним отражателем и без отражателя.

Внешние зеркальные металлические отражатели одинаково отражают видимые и ИК-лучи. Зеркальные стеклянные отражатели имеют многослойное интерференционное покрытие, отражающее только видимые лучи и пропускающее инфракрасные лучи в окружающее пространство за отражателем. Содержание ИК-лучей

в световом пучке этих ГЛН снижено примерно на 65% (так называемые лампы «холодного света»).

Современные ГЛН часто изготавливаются с колбами, поглощающими вредное УФ-излучение. Кроме безопасности для людей, это способствует уменьшению выцветания освещаемых объектов.

Усредненные технические характеристики устойчивейшей за последние годы номенклатуры ГЛН приведены в табл. 3.7–3.11. Угол излучения ГЛН с внешним отражателем приведен для значения силы света, равной $0,5I_{\max}$.

Цоколи, применяемые для ГЛН, представлены на рис. 3.23.

Таблица 3.7

**Двухцокольные трубчатые ГЛН
на сетевое напряжение 220 В с цоколем R 7s**

Мощность, Вт	Полная длина, мм	Световой поток, лм
60	74,9	810–840
100	74,9	1600–1650
150	74,9	2250–2600
200	114,2	3200–3520
300	114,2	5000–5600
500	114,2	9500–9900
750	185,7	16500–16900
1000	185,7	22000–24200
1500	250,7	33000–36300
2000	327,4	44000–48400

Диаметр трубки 11–12 мм

Средняя продолжительность горения 2000 ч

Положение горения: 100–500 Вт — любое

750–2000 Вт — горизонтальное +15°

Таблица 3.9

ГЛН низкого напряжения (12 В) без отражателя

Мощность, Вт	Световой поток, лм	Диаметр колбы, мм	Полная длина, мм	Цоколь
С аксиальным расположением спирали				
10	140	9,5	33	G 4
20	320	9,5	33	G 4
35	600	12	44	GY 6,35
50	930	12	44	GY 6,35
С поперечным расположением спирали				
5	60	9,5	33	G 4
10	130	9,5	33	G 4
20	320	9,5	33	G 4
50	950	12	44	GY 6,35
75	1450	12	44	GY 6,35
90	1800	12	44	GY 6,35

Средняя продолжительность горения — 2000 4000 ч

Положение горения — любое

Таблица 3.10

ГЛН на напряжение 12 В с внешним интерференционным отражателем диаметром 35,3 мм и цоколем GU 4 (с защитным стеклом)

Мощность лампы, Вт	Угол излучения	Сила света, кл
10	30°–38°	300
20	10°	3200 4800
20	30°–38°	500 800
35	10°	5400 7200
35	30°–38°	900 1500

Положение горения — любое

Длина 37 40 мм

Средняя продолжительность горения 2000–4000 ч

Таблица 3.8

Одноцокольные ГЛН сетевого напряжения 220 В

Мощность, Вт	С внешней оболочкой и цоколем E 27		С световым потоком, лм		Без внешней оболочки, цоколь B15d			
	Размеры, мм		Матриров. внешняя оболочка	Матриров. внешняя оболочка	Размеры, мм		Световой поток, лм	
	Диаметр	Полная длина			Диаметр	Полная длина		Прозрач. кварцевая колба
25	—	—	—	—	18	67	260	230
40	48	117	480–490	460	18	67	490	460
60	32 48	105 117	820–840	780	18	67 86	820	780
75	32	105	1050 1110	1050	18	86	1100	1050
100	32 48	105 117	1500 1600	1430–1450	18	86	1500	1430
150	32 48	105 117	2500–2550	2100–2400	18	86 98	2500	2400
250	32	105	4200	4000	18	98	4200	4000

ГЛН на напряжение 12 В с внешним интерференционным отражателем диаметром 51 мм и цоколем GU 5,3

С открытым отражателем				С отражателем, перекрытым защитным стеклом		
Мощность лампы, Вт	Угол излучения	Средняя продолжительность горения, ч	Сила света, кд	Угол излучения	Ср. продол. горения, ч	Сила света, кд
20	10°	2000	3150	10°	2000- 4000	3000–6000
20	38°	2000	510	36°–38°	2000 4000	480–1000
20	38°	3000	700	60°	4000	350–450
35	10°	2000	6300	10°	2000 4000	6000–12500
35	38°	2000	1050	24°	4000	3100 4400
35	38°	3000	1100	36°–38°	2000–4000	1000–2200
50	10°	2000	8200	60°	4000	700–1100
50	38°	2000	1500	10°	2000 4000	7800–15000
50	38°	3000	1800	24°	4000	4400–5700
50	—	—	—	36° 37°	2000–4000	1450- 2850
50	—	—	—	60°	4000	1100 1430

Положение горения – любое
Длина 45- 46 мм

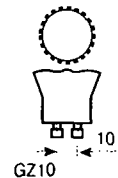
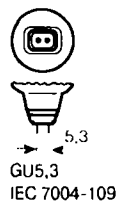
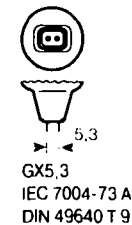
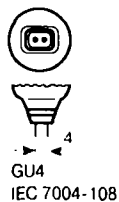
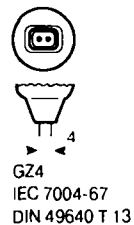
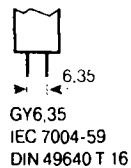
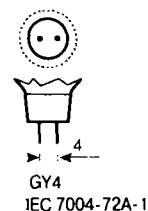
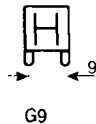
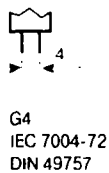
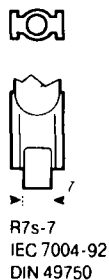
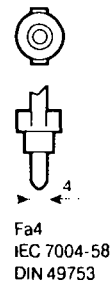
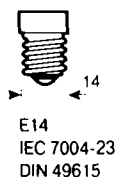
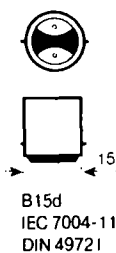
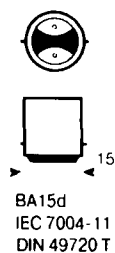


Рис. 3.23. Цоколи, применяемые для ГЛН

Важным достижением фирмы Osram является освоение производства галогенных ламп с ИК-отражающей пленкой, потребляющих на 30% меньше электроэнергии при том же световом потоке. Такая ГЛН представляет собой малогабаритную колбу из кварцевого стекла, в центре которой расположена компактная вольфрамовая спираль. На внешнюю поверхность кварцевой колбы наносится многослойная пленка, отражающая значительную часть ИК-излучения обратно на вольфрамовую спираль (рис. 3.24). Увеличенный, по сравнению с обычными ГЛН, КПД такой лампы обеспечивается благодаря применению энергосберегающей технологии IRC (Infra-Red-Coating). Срок службы таких ламп не менее 4000 ч.

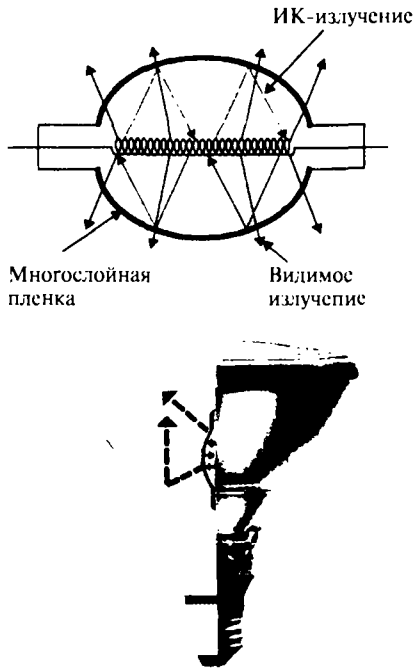


Рис. 3.24. ГЛН с ИК отражающей пленкой

Лампы-фары. Современные галогенные зеркальные лампы-фары (альтернатива обычным зеркальным лампам) для сетевого напряжения эксплуатируются без трансформатора: электронный трансформатор смонтирован внутри оболочки (рис. 3.25). В табл. 3.12 приведены обобщенные технические характеристики выпускаемых зарубежных галогенных ламп-фар сетевого напряжения. На рис. 3.26 показано распределение температуры по колбе ламп-фар некоторых типов.

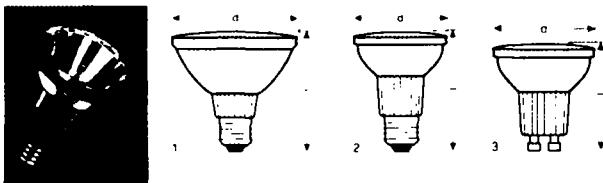
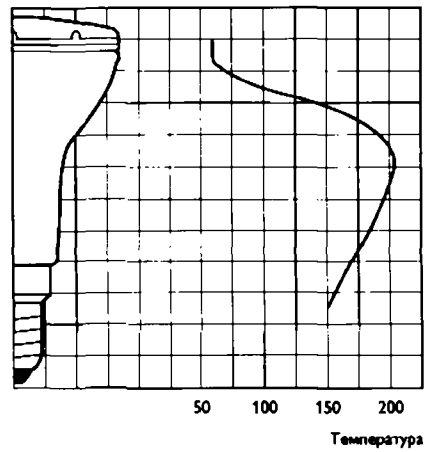
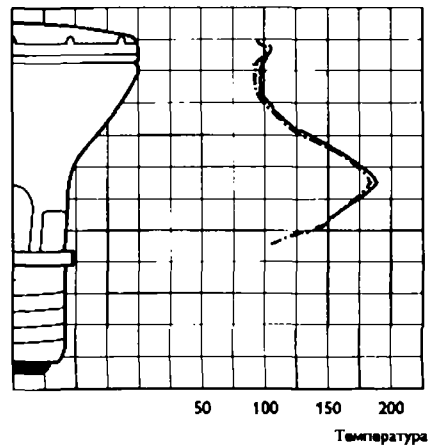


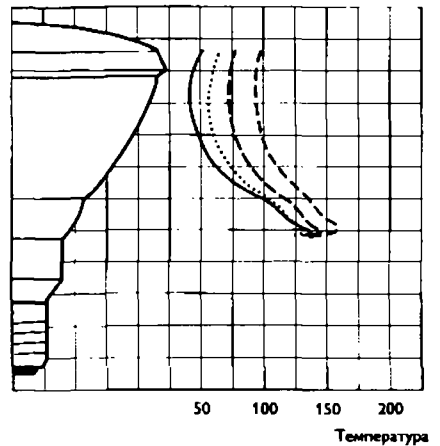
Рис. 3.25. Галогенные зеркальные лампы в колбах из пресованного стекла (PAR) со встроенным трансформатором



— PAR 16



--- PAR 20 10°
— PAR 20 30°



..... PAR 38 10° 75 W
— PAR 38 30° 75 W
--- PAR 38 10° 100 W
- · - · - PAR 38 30° 100 W

Рис. 3.26. Распределение температуры по колбе ламп-фар

Галогенные зеркальные лампы-фары сетевого напряжения

Мощность, Вт	Размеры, мм		Сила света, кл, при угле излучения			Цоколь
	Диаметр	Длина	10°	24°–30°	40°–50°	
20	64	86	7000	1200		E27
25	50	79		500		E14
35	51	55		800		GU10
40	51	79		950		E14
50	51–81	55–108	3000 6900	1000–2200	500–800	E27, GU10, GZ10
75	64–124	62–136	5500 9500	1300 3000	1000	E27, GU10, GZ10
100	97–124	70–136	9000–15000	3000–5000		E27, GZ10

Средняя продолжительность горения 2000–3000 часов

3.3. РАЗРЯДНЫЕ ЛАМПЫ

3.3.1. Общие свойства РЛ

Разрядной лампой называют лампу, в которой ОИ возникает в результате электрического разряда в газах, парах или их смесях [3.2, 3.10].

Области применения РЛ определяются тем, что они имеют самую высокую световую отдачу и во много раз (от 10 до 50) больший срок службы по сравнению с ЛН, а также могут иметь разнообразные спектры излучения, широкий диапазон значений мощности, яркости и других параметров. Поэтому современные РЛ все шире применяются для освещения, постепенно оттесняя ЛН. Уже сегодня в передовых странах мира РЛ создают 75–80% светового потока, и в будущем эта доля возрастет.

Давно было известно, что ртутные ЛВД и натриевые ЛНД обладают высокой световой отдачей. Однако попытки применения их для освещения не имели успеха из-за сильного искажения цветопередачи, особенно цвета человеческой кожи. Впервые этот недостаток удалось преодолеть в *ртутных ЛЛ низкого давления*. Их появление в 1938 г. ознаменовало собой новый, подлинно революционный этап в развитии разрядных ИС. Впервые были созданы РЛ, дающие излучение с непрерывным спектром практически любого состава и обладающие при этом световой отдачей и сроком службы, в несколько раз превышающими световую отдачу и срок службы ЛН. Световая отдача современных ЛЛ достигает 85–104 лм/Вт, срок службы — до 60 тыс. ч. В настоящее время ЛЛ — наиболее массовые разрядные ИС, применяемые для освещения.

В начале 50-х годов появились ртутные ЛВД с исправленной цветностью типа ДРЛ (см. п. 3.3.3). Эти лампы, обладающие высокой световой отдачей (45–60 лм/Вт) и большим сроком службы (10–20 тыс. ч), получили широкое применение для наружного и промышленного освещения.

В 60-х годах были открыты новые, исключительно плодотворные направления в создании РЛ высокой интенсивности (РЛВИ) с самым различным спектром из-

лучения и более высоким КПД, чем у существовавших до этого. Впервые для РЛВИ удалось получить световую отдачу свыше 100 лм/Вт. Сегодня разработано и выпускается много новых типов РЛ, которые по ряду параметров значительно превосходят РЛ типа ДРЛ и занимают видное место в семье разрядных ИС. Это НЛВД в колбах из поли- или монокристаллической окиси алюминия, широко применяемые для НО, и различные типы МГЛ.

Разрядные лампы находят многочисленные и весьма важные применения во многих отраслях народного хозяйства, в медицине, новейшей технике и т.д., что объясняется особенностями электрического разряда, которые позволяют создавать источники излучения с весьма разнообразным сочетанием параметров.

Подбирая соответствующие наполнение и условия разряда, удается создавать высокоэффективные источники излучения практически в любой части не только видимого, но также УФ и ИК спектров. При этом можно получать спектры излучения, состоящие из одиночных линий, многолинейчатые и непрерывные. Это достоинство РЛ открыло им исключительно широкие возможности применения не только для освещения, но также для многочисленных специальных целей.

Разряды высокого и особенно сверхвысокого давления имеют высокую яркость, в десятки и сотни раз превосходящую яркость ЛН. Поэтому РЛ с успехом применяются в светооптических приборах и установках. Малая инерционность излучения РЛ позволяет применять их там, где требуется модуляция излучения, например, при передаче изображений, звукозаписи, оптической телефонии и в других случаях. Широкое и весьма разнообразное применение находят импульсные лампы (ИЛ), дающие вспышки излучения исключительно высокой яркости и очень малой длительности. Они применяются в многочисленных приборах и установках для наблюдения и изучения быстропротекающих процессов (стробоскопы), фотографирования и изучения быстропротекающих процессов, аэрофотосъемки, оптической дальнометрии и т.д. В по-

следнее время ИЛ широко применяются для оптической накачки лазеров.

Недостатком РЛ является некоторая сложность их включения в сеть, связанная с особенностями разряда. Для его зажигания требуется более высокое напряжение, чем для устойчивого горения. Для обеспечения устойчивого горения в цепь каждой лампы необходимо включать балласт, ограничивающий ток разряда требуемыми пределами. Другой недостаток РЛ с парами веществ, наполняющих разрядную колбу, обусловлен зависимостью их характеристик от теплового режима, поскольку температура определяет давление паров рабочего вещества лампы. Номинальный режим устанавливается в них только спустя некоторое время после включения. Повторное зажигание ламп с разрядом в парах металла при высоком и сверхвысоком давлении без специальных приемов возможно только по истечении некоторого времени после выключения.

Принцип действия РЛ основан на излучении электрического разряда между двумя электродами, запаянными в прозрачную для ОИ колбу той или иной формы. Иногда для облегчения зажигания впаивают дополнительные электроды. Внутреннее пространство колбы после удаления воздуха и тщательного обезгаживания лампы (удаления сорбированных в материале колбы и электродах паров воды и других газов при помощи нагрева под откачкой) наполняется определенным газом (чаще всего инертным) до заданного давления или инертным газом и небольшим количеством металла с высокой упругостью паров, например, ртути, натрия и др. Начиная с середины 60-х годов широкое распространение получили РЛ, в которые, кроме инертного газа и ртути, вводят галогениды различных металлов.

Существует категория РЛ с электродами, работающими в открытой атмосфере, с разрядом в воздухе и парах вещества электродов. Это — угольные дуги. Честь их открытия принадлежит русскому академику В.В. Петрову (см. § 3.1). Собственно, с этого открытия начинается история РЛ. Среди ряда этапов, которые прошли открытые дуговые лампы, надо отметить принципиально важное изобретение русским инженером В.Н. Чиколевым (1874 год) дифференциального регулятора, автоматически поддерживающего постоянное расстояние между сгорающими электродами, и гениальное решение той же проблемы в изобретении русского электротехника П.Н. Яблочкова (1876 год) — его знаменитая «свеча Яблочкова», которая в период с 1876 по 1882 годы триумфально шествовала по столицам и городам Европы и других стран мира под названием «русский свет». Существенное открытие было сделано в 1910 году Г. Беком, обнаружившим образование кратера с очень высокой яркостью в фитиле анодного угля. Дуги, использующие этот эффект, названные *дугами высокой интенсивности (ДВИ)*, получили важное применение в прожекторах дальнего действия, широко применявшихся во время Великой отечественной войны. Кроме этого, они до 60-х годов XX века были практически единственными ИС для киносемак и кинопроекции на большой экран. Фитиль анодного угля обычно содержал до 60% фтористого перия и давал яркий свет, близкий к солнечному с $T_{11} \sim 6000$ К и большим содержанием УФ. Яркость кратера, в зависимости от диаметра анодного угля (6–30 мм) и силы тока (18–250 А), менялась от 400 до 900 Мкд/м².

Важную роль в развитии теории и практики прожекторостроения и разработке высокоэффективных углей для дуг высокой интенсивности в СССР сыграла группа ученых в главе с проф. Н.А. Карякиным, а также работники КБ и заводов, за что они были удостоены Государственной премии.

В лампах специальных типов используется разряд в прочном газе. Существуют также разные дуги особого вида.

Из многих видов разряда в РЛ стационарного действия используются преимущественно дуговой и тлеющий разряды, в источниках импульсного действия (ИЛ) — импульсный разряд.

Вид разряда определяется параметрами элементов внешней цепи (питающим напряжением и балластным сопротивлением), типом катода и давлением газа или пара, наполняющего лампу.

Тлеющий разряд характеризуется малой плотностью тока на катоде (от 10^{-5} до 10^{-2} А/см²) и низким давлением газа или пара, не превышающим несколько тысяч Па (десятки мм рт. ст.). Его отличительной особенностью является большое падение напряжения у катода, составляющее 50–400 В. Свечение тлеющего разряда в цилиндрической трубке на постоянном токе распадается на ряд областей, схематически представленных на рис. 3.27. Области свечения 1–5, примыкающие к катоду, называются катодными частями разряда. Остальную часть пространства почти до самого анода заполняет свечение столба 6.

Дуговой разряд отличается от тлеющего высокой плотностью тока на катоде (10^2 – 10^4 А/см²) и малым катодным падением потенциала (5–15 В). Давление рабочего вещества — от 10^1 до 10^8 Па; токи — от десяти-

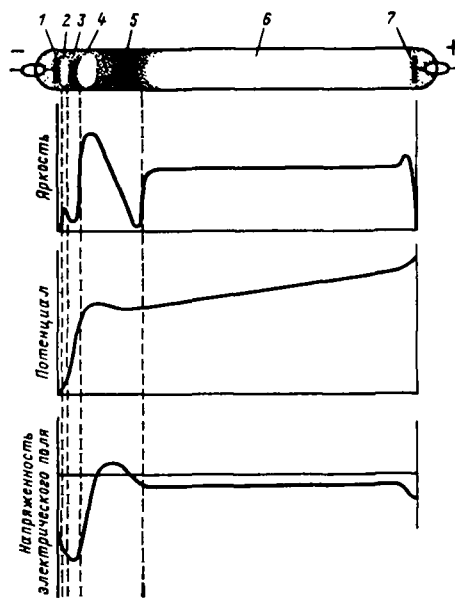


Рис. 3.27. Схематическое распределение яркости свечения, потенциала и напряженности электрического поля в тлеющем разряде на постоянном токе: 1 — астоново темное пространство; 2 — катодное свечение; 3 — катодное темное пространство; 4 — отрицательное тлеющее свечение; 5 — фаралесово темное пространство; 6 — столб разряда

тых долей до сотен А. В разряде выделяются приэлектродные области и столб, отличающиеся друг от друга физическими процессами. Столб дугового разряда низкого давления подобен столбу тлеющего разряда при одинаковых значениях давления, диаметра трубки и тока. Столб дуги высокого и сверхвысокого давления имеет ряд характерных особенностей, кратко рассмотренных ниже и в п. 3.3.3.

В РЛ стационарного действия наиболее широко используется дуговой разряд, обеспечивающий возможность создания ламп с весьма разнообразными характеристиками и высокой эффективностью при сравнительно низких рабочих напряжениях. В подавляющем большинстве РЛ используется излучение столба, обладающее значительно более высоким КПД по сравнению с излучением приэлектродных частей, при этом размеры и характеристики светящейся области могут изменяться в широких пределах. Излучение приэлектродных областей, например, тлеющее свечение, используется только в специальных типах ламп (см. п. 3.3.2, § 3.6).

В последние 10–15 лет появилось несколько принципиально новых типов безэлектродных РЛ, в которых газ возбуждается ВЧ и СВЧ электромагнитными полями, и которые получают все большее распространение: QL мощностью 55, 85 и 165 Вт (Philips, 1991 г.), Gepura (GE, 1994 г.), Endura 70, 100 и 150 Вт (Osram, 1997 г.), «серная» лампа ВЛ, дающая квазисолнечный спектр и др. Безэлектродные РЛ отличаются очень высокими сроками службы, достигающими 60 тыс. ч, и другими уникальными характеристиками. Ввиду новизны и важности этого направления рассмотрение безэлектродных РЛ выделено в специальный раздел (п. 3.3.7).

Классификация РЛ возможна по физическим и конструктивным признакам, эксплуатационным свойствам и областям применения. Здесь предлагается классификация по физическим признакам, которые определяют важнейшие свойства РЛ, такие как спектр и цветность излучения, яркость, градиент потенциала, энергетический КПД. Для них определяющими факторами являются состав газовой среды (рабочее вещество), парциальные давления компонентов газовой смеси и ток. Вместе с видом разряда, используемой областью свечения и размерами разрядного промежутка они определяют мощность и напряжение, габариты и конструкции РЛ и ее узлов, их тепловой режим, выбор материалов и связанные с этим особенности эксплуатации и области применения.

По составу газов или паров, в которых происходит разряд, РЛ делятся на лампы с разрядом: 1) в газах; 2) в парах металлов и 3) в парах металлов и их соединений. По рабочему давлению РЛ делятся на: 1) лампы низкого давления — примерно от 0,1 до 10^4 Па; 2) высокого давления — от 3×10^4 до 10^6 Па и 3) сверхвысокого давления — больше 10^6 Па; по виду разряда — на лампы: 1) дугового, 2) тлеющего и 3) импульсного разряда; по области свечения — на лампы: 1) со столбом в подавляющем большинстве случаев дугового разряда и 2) тлеющего свечения.

В зависимости от того, что является основным источником излучения, РЛ делят на: 1) газо- или паросветные, в которых излучение вызвано возбуждением атомов, молекул или рекомбинацией ионов; 2) фотолюминесцентные (называемые для краткости просто люминесцентные), в которых излучение создают люминофоры, возбуждаемые излучением разряда, и 3) электродосветные, в которых излучение создается электродами, раскаленными в разряде до высокой температуры (в настоящее время практически не применяются). У большинства РЛ 2-го и 3-го типов к основному виду излучения примешивается излучение разряда, таким образом, они являются по существу источниками смешанного излучения.

По форме колбы РЛ со столбом подразделяются на: 1) *трубчатые* или линейные РЛ в цилиндрических колбах, у которых расстояние между электродами в 2 и более раз превышает внутренний диаметр трубки; 2) *капиллярные* — в трубках с внутренним диаметром меньше 4 мм; 3) *шаровые* РЛ с расстоянием между электродами, меньшим внутреннего диаметра колбы или равным ему (колбы этих РЛ обычно имеют форму шара или эллипсоида вращения или близкую к ним, откуда они и получили свое название); такие лампы называют также РЛ с короткой или средней длиной дуги или компактными.

По способу охлаждения РЛ подразделяют на РЛ с естественным и с принудительным (воздушным или водяным) охлаждением.

В РЛ многих типов разрядную колбу, часто называемую горелкой или излучателем, помещают во внешнюю колбу, которая выполняет ряд функций: 1) защищает горелку от повреждения, 2) уменьшает влияние окружающей среды на тепловой режим горелки, 3) предохраняет нагретые выводы и монтаж от окисления, 4) служит поверхностью для нанесения различного рода покрытий, изменяющих спектр излучения, КСС и т.д. (подробнее в соответствующих разделах).

Зажигание разряда возможно лишь при напряжении выше определенного значения, когда становится возможным лавинное образование зарядов в газовом межэлектродном промежутке. Это приводит к резкому, практически внезапному возрастанию тока (10^{-5} – 10^{-7} с) и появлению свечения. Этот процесс называется зажиганием самостоятельного разряда, а соответствующее ему напряжение — *напряжением зажигания* [3.2]. При меньшем напряжении межэлектродный промежуток является диэлектриком.

Напряжение зажигания самостоятельного разряда U_z определяет нижнюю границу напряжения, которое необходимо приложить к РЛ для возникновения самостоятельного разряда. Напряжение, необходимое для стабилизации разряда после его возникновения, как правило, ниже U_z .

Напряжением зажигания зависит от рода газа, наполняющего колбу, его давления p , расстояния между электродами $l_{эЛ}$, материала и свойств катода, а также от ряда других причин. Значительное влияние на U_z оказывают небольшие, а иногда ничтожные примеси к основному газу. При этом некоторые примеси вызыва-

ют резкое снижение U_3 (эффект Пеннинга), а другие (обычно молекулярные) — существенное повышение. Обычно U_3 имеет минимум при определенном значении $(p \times l_{3,1})_{\min}$, различном для разных газов (рис. 3.28). При высоких давлениях и больших расстояниях между электродами U_3 может достигать многих кВ.

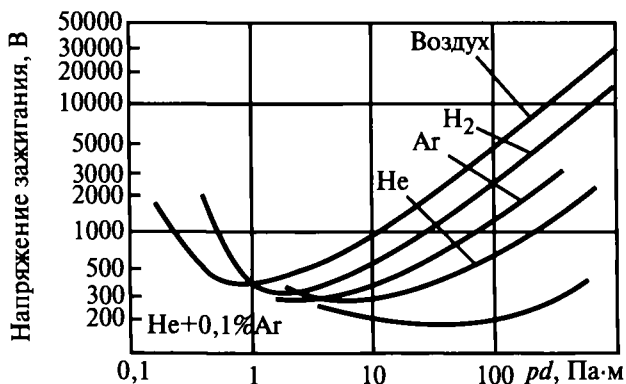


Рис. 3.28. Зависимость напряжения зажигания U_3 от $p \times l_{3,1}$ для некоторых газов (плоские электроды)

Методы, применяемые для зажигания РЛ, предусматривают снижение напряжения зажигания за счет конструкции лампы или создание различных схем, обеспечивающих подачу на РЛ повышенного напряжения, достаточного для зажигания разряда. Снижение напряжения зажигания достигается: 1) введением в РЛ вспомогательного зажигающего электрода и подбором рода и давления наполняющего газа; 2) активировкой катодов, снижающей выходу электронов; 3) предварительным накалом катодов, обеспечивающим термоэлектронную эмиссию электронов; 4) созданием начальной ионизации в объеме газа, например, при помощи высокочастотной искры от индуктора или при помощи миниатюрных разрядников; 5) применением проводящих полос на поверхности лампы, изменяющих распределение электрического поля, и т.п.

Схемы зажигания различных РЛ рассмотрены в соответствующих параграфах разд. 4.

Стабилизация разряда необходима потому, что подавляющее большинство РЛ работает на падающих (или горизонтальных) участках ВАХ, па которых с ростом тока напряжения на РЛ падает. Поэтому устойчивая работа РЛ возможна только при наличии в схеме устройств, ограничивающих силу тока в заданных пределах (см. разд. 4).

Столб РЛ внешне представляет собой область разряда, заполненную однородным по длине свечением. Столб характеризуется постоянным значением продольного градиента потенциала E . Длину столба $l_{ст}$ можно менять в широких пределах, изменяя расстояние между электродами и необходимое для подержания разряда напряжение на лампе.

При низком давлении газа (или пара) (до нескольких сотен Па) и малой плотности тока (до 1 А/см^2) све-

чение заполняет все сечение трубки, слегка спадая к стенкам. Яркость свечения невелика. Градиент потенциала составляет от долей до нескольких В/см. При увеличении давления выше нескольких кПа растет градиент потенциала, яркость свечения увеличивается, и разряд постепенно стягивается к оси. Одновременно с ростом давления и плотности тока происходит перераспределение излучения по спектру.

По физической природе столб разряда представляет собой низкотемпературную плазму, т.е. частично ионизированный газ или пар, в котором концентрации положительных и отрицательных зарядов равны, благодаря чему плазма квазинейтральна. Исключение составляют пограничные слои у стенок колбы и электродов, где эта нейтральность нарушается. Концентрация электронов (и ионов) в столбе стационарного разряда составляет обычно 10^{-4} – 10^{-2} концентрации нейтральных атомов.

Внешнее электрическое поле, приложенное к столбу, вызывает ускоренное движение электронов. В результате различного рода соударений с атомами электроны передают им энергию. При упругих соударениях вследствие большой разницы в массах электроны передают атомам очень малую часть энергии, равную приблизительно $2m_e / m_a$ (например, для ртути $2m_e / m_{\text{Hg}} \approx 2 / (1840 \times 200) \approx 5,4 \cdot 10^{-6}$), но резко меняют направление движения. Поэтому движение электронов в столбе носит хаотический характер. При низком давлении газа и малой плотности тока из-за относительно малой передачи энергии атомам электронный газ нагревается до температур в десятки тысяч К (*электронная температура*), в то время как температура газа нейтральных атомов, на которые электрическое поле не действует, лишь немногим превышает окружающую. В стационарном состоянии нагрев электронного газа уравнивается его охлаждением за счет передачи энергии атомам газа. В столбе разряда низкого давления основными процессами передачи являются возбуждение и ионизация атомов. Возбужденные атомы, возвращаясь в состояние с меньшей энергией, испускают при этом избыток энергии в виде фотонов, которые, покидая разряд, уносят энергию с собой. Образующаяся в результате ионизации пара электрон — ион идет на пополнение потерь заряженных частиц. В разряде низкого давления потеря заряженных частиц происходит в основном в результате их рекомбинации на стенках колбы, куда они попадают за счет диффузии. При этом они отдают свою энергию стенкам, вызывая их нагревание.

В разряде низкого давления и при малой плотности тока наибольший поток излучения сосредоточен в так называемых *резонансных линиях*, соответствующих переходам возбужденных атомов из «нижнего» возбужденного состояния в основное невозбужденное. При особо благоприятных условиях в резонансное излучение может преобразовываться до 80–85% подводимой к столбу энергии.

По мере повышения давления и плотности тока растет число различных соударений между электронами и атомами газа и вместе с тем обмен энергией между ними. В результате температура электронов падает, а

температура газа возрастает. При давлении порядка 10^5 Па и токе в несколько А температуры электронов и газа становятся практически равными друг другу и достигают 4000–5000 К и более (*термическая плазма*). Возникающий в этих условиях большой перепад температур от осевых частей разряда к периферии приводит к стягиванию разряда в яркий священный шнур, окруженный темной оболочкой. Это связано с тем, что в такой термической плазме объемная мощность излучения и концентрация электронов, а следовательно, плотность тока связаны с температурой экспоненциально. Поэтому даже незначительное снижение температуры в направлении от оси разряда к периферии вызывает резкое уменьшение мощности излучения и плотности тока (рис. 3.29).

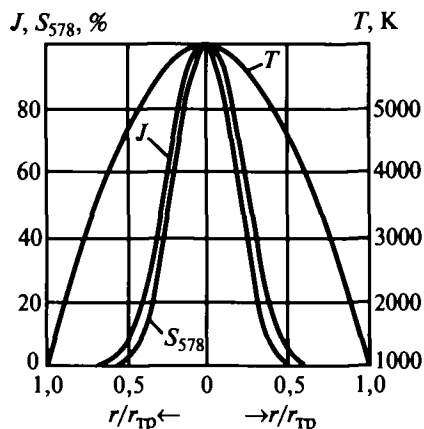


Рис. 3.29. Изменение температуры T , объемной плотности излучения желтой линии ртути S_{578} и плотности тока J в зависимости от относительного расстояния от оси трубки $r/r_{тр}$ для ртутного разряда высокого давления

В термической плазме и при высоком давлении излучающего газа или пара преобладает излучение переронапсных спектральных линий (линий), возникающих при переходах электронов в атомах из одного возбужденного состояния в другое — возбужденное с меньшей энергией, но не в основное — невозбужденное).

Ток в столбе переносится в основном электронами, так как они имеют значительно большую подвижность, чем ионы ($u_e / u_i \approx \sqrt{m_i / m_e}$).

Излучение газов и паров в РЛ вызвано возбуждением атомов (или молекул) в разряде за счет неупругих соударений с электронами. Возбужденные атомы (кроме метастабильных) за время 10^{-7} – 10^{-8} с возвращаются в состояние с меньшей энергией и при этом испускают избыток энергии в виде фотонов — электромагнитного излучения с частотой $\nu = (W_2 - W_1) / h$ (см. § 3.1). Атомы каждого химического элемента имеют совершенно определенные, присущие только этому элементу энергии возбужденных состояний и поэтому могут испускать фотоны только определенных частот или длин волн. При рассматривании такого излучения через спектральный прибор виден спектр, состоящий из отдельных линий, расположение которых характерно для каждого рода газа или пара. Интенсивность отдельных

спектральных линий зависит от условий разряда (давления, тока, диаметра трубки и т.д.), но при этом всегда имеется определенная совокупность линий, присутствующих только данному элементу. Характер спектра зависит от структуры внешней электронной оболочки атома. У элементов с одним электроном на внешней оболочке (первая группа таблицы Менделеева), например, лития, натрия, калия, спектры состоят из относительно небольшого числа линий. У элементов с двумя электронами на внешней оболочке (вторая группа таблицы Менделеева) число линий в спектре больше. Вообще густота заполнения спектра линиями растет с увеличением числа электронов на внешней оболочке, т.е. по мере перехода от первой к другим группам таблицы Менделеева. Спектры редкоземельных металлов настолько густо насыщены линиями, что производят впечатление сплошных. Спектры молекул состоят обычно из полос [3.2].

В разряде с большой концентрацией ионизованных атомов (большая плотность тока и высокое давление) значительную интенсивность имеет непрерывный спектр, возникающий при торможении свободных электронов под воздействием ионов, электронов, атомов, и множества других оптических процессов взаимодействия возбужденных атомов с электронами и ионами.

Таким образом, подбирая род газа или пара и условия разряда, можно получать разные спектры излучения с различным распределением интенсивностей.

Преобразование излучения разряда при помощи люминофоров открыло широкие возможности создания РЛ с самыми различными спектрами излучения. Обычно для возбуждения люминофора используется УФ-излучение разряда, которое люминофор преобразует с определенными потерями в более длинноволновое излучение, лежащее в УФ или видимой областях спектра (закон Стокса) (см. п. 3.3.2, 3.3.3).

Электрические характеристики. Для РЛ стационарного действия мощность и напряжение па лампе нормируются, так как конструкция РЛ предусматривает их работу при определенных мощности и токе. При работе ламп на падающих или почти горизонтальных участках ВАХ для надежной стабилизации и работы без пауз тока необходимо, чтобы напряжение на лампе не превышало $0,65 U_c$, т.е. было не более 80 В для сети 127 В и 140 В для сети 220 В (см. разд. 4). Падение напряжения на РЛ U_{λ} складывается из падений напряжения у катода U_k , в столбе $U_{ст}$ и у анода U_a . На переменном токе анодное и катодное падения напряжения обычно учитывают совместно как $U_{ак}$. Поскольку $U_{ст} = El_{ст}$,

$$U_{\lambda} = El_{ст} + U_{ак}. \quad (3.17)$$

В РЛ дугового разряда $U_{ак}$ меняется в зависимости от типа лампы в пределах от 5 до 18 В и сравнительно слабо зависит от условий разряда. Поэтому в РЛ с развитым столбом главная часть падения напряжения приходится на столб. Градиент потенциала зависит от состава наполнения, возрастает с ростом давления и уменьшается с ростом диаметра трубки $d_{тр}$ и тока I . От-

метим, что при низких давлениях наблюдается более сложная зависимость градиента от давления [3.2].

Для ламп высокого давления

$$E = c p^b d_{\text{тр}}^{-g} I^n, \quad (3.18)$$

где c — численный коэффициент; $b \cong 0,5-0,8$; $g \cong 0,2 \div \pm 0,3$; $n \cong -0,2 \div +0,2$.

В лампах низкого давления E лежит в пределах от долей до нескольких вольт на сантиметр. В РЛВД и СВД E достигает десятков и даже сотен вольт на сантиметр.

Рабочее напряжение на РЛ определяется расстоянием между электродами и условиями разряда, а ток, необходимый для получения заданной мощности, обеспечивается подбором сопротивления балласта, с которым РЛ включается в сеть.

С самого начала появления закрытых РЛ велись их исследования и делались попытки расчета характеристик, в первую очередь однородного столба. В настоящее время имеется множество программ для расчета на современных ЭВМ характеристик столба разрядов, как НД, так ВД и СВД, все более точно учитывающих различные процессы. Только наличие современных ЭВМ позволило говорить о решении этих уравнений.

Зависимость характеристик РЛ с парами и газами от температуры колбы обусловлена зависимостью давления паров металлов или веществ от температуры. В нерабочем состоянии металлы или (и) вещества присутствуют в жидком или твердом состоянии и давление (упругость) их паров определяется как давление паров, насыщающих пространство. Оно зависит от рода металла или вещества и температуры. При комнатной температуре оно обычно очень мало, но очень резко возрастает с ростом температуры металла или вещества:

$$p = c_M e^{b/T}, \quad (3.19)$$

где c_M — численный коэффициент.

Так, давление насыщающих паров ртути при 20°C равно 0,16 Па, при 50°C (что близко к рабочей температуре колб ЛЛ) — около 1,7 Па, при 398°C — около $2 \cdot 10^5$ Па, т.е. 1 атм, и т.д. Поэтому после включения РЛ по мере нагревания колбы и металла (вещества) очень

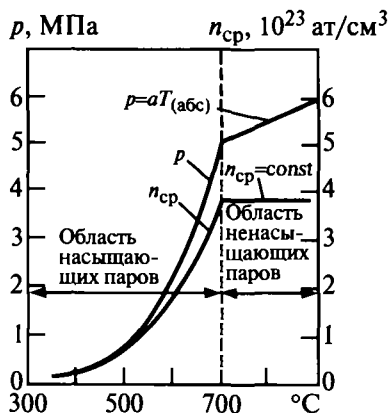


Рис. 3.30. Давление p и средняя плотность $n_{\text{ср}}$ паров ртути в лампе сверхвысокого давления с дозированным количеством ртути в зависимости от температуры колбы

резко возрастают давление и плотность паров в объеме (рис. 3.30, левый участок). Вместе с тем, резко изменяются все характеристики разряда. Так продолжается до тех пор, пока не установится тепловой режим колбы. Этим объясняется наличие периода разгорания у всех РЛ с разрядом в парах металлов. Его длительность определяется временем, необходимым для разогревания колбы и установления теплового режима. Чем выше рабочая температура колбы, тем больше разница между давлением паров металла в работающей и холодной РЛ и между начальными и рабочими характеристиками (световыми, U_3 и др.). В РЛВД и СВД рабочее давление паров в сотни тысяч и миллионы раз превышает их давление в холодной лампе. Вследствие этого повторное зажигание ламп с разрядом в парах металла (или веществ) при высоком или сверхвысоком давлении без специальных приемов возможно только по истечении некоторого времени после выключения, в течение которого РЛ остынет и давление паров в ней снизится настолько, чтобы она зажигалась в стандартной схеме. Для повторного зажигания горячей РЛ необходимо приложить весьма высокое напряжение.

Чтобы уменьшить зависимость характеристик разряда в парах металлов от теплового режима колбы, принимают специальные меры. Так, РЛВД и СВД наполняют строго дозированным количеством ртути с таким расчетом, чтобы в нормальных условиях работы лампы ртуть полностью испарялась и разряд происходил в ненасыщенных парах. В этом режиме давление изменяется с температурой значительно медленнее ($p \sim nkT$) (см. рис. 3.30, правый участок), вследствие чего и все характеристики разряда существенно меньше зависят от температуры колбы, т.е. режима работы РЛ. При избытке металлов (и веществ) колбу конструируют таким образом, чтобы температура наиболее холодной зоны, определяющей давление паров, имела требуемое значение и по возможности мало зависела от рабочего режима РЛ.

В РЛ с газовым наполнением общее количество газа в объеме остается неизменным как в холодной, так и в работающей лампе. Во время работы за счет нагрева происходит некоторое повышение давления газа и перераспределение его плотности по объему. Однако даже в РЛСВД с предельно высокой температурой колбы и разряда давление газа в работающей РЛ повышается не более чем в 4–7 раз, а обычно повышение еще меньше. Вследствие этого в РЛ с газовым наполнением: 1) практически отсутствует период разгорания, т.е. их электрические и световые параметры сразу после зажигания разряда принимают значения, близкие к рабочим; 2) температура колбы слабо влияет на характеристики разряда; 3) напряжение зажигания РЛВД и РЛСВД весьма велико и 4) давление в РЛСВД в неработающем состоянии велико (см. п. 3.3.6 о мерах предосторожности).

Электроды являются одним из основных конструктивных узлов РЛ, оказывающих подчас решающее влияние на КПД лампы, ее зажигание и долговечность. Имеются два основных электрода — катод и анод. Катод обеспечивает поступление электронов, необходимое для поддержания разряда; анод является приемни-

ком электронов из разрядного промежутка. При работе на постоянном токе катод и анод имеют, как правило, различную конструкцию, чтобы обеспечить оптимальную работу каждого из них. У РЛ, использующих излучение столба и работающих на переменном токе, оба электрода, как правило, имеют одинаковые конструкции и размеры, поскольку каждые полпериода они меняются ролями.

В зависимости от типа разряда применяют холодные или накаливаемые катоды.

Холодные катоды применяют в РЛ тлеющего разряда. Их рабочая температура обычно не превосходит 100–200°C. Эмиссия электронов обеспечивается в основном за счет ударов положительных ионов о катод. Этот механизм малоэффективен и требует больших околокатодных падений напряжения. Холодные катоды изготавливают из материалов с малым катодным распылением — железа, никеля, алюминия. Часто для снижения напряжения зажигания и околокатодного падения напряжения поверхность катода покрывают тонким слоем активирующего вещества (соединения щелочноземельных металлов). В высоковольтных газосветных трубках применяют электроды в виде цилиндров с донышком (рис. 3.31, а). В РЛ тлеющего свечения электроды в зависимости от назначения имеют самые разнообразные формы (см. § 3.6).

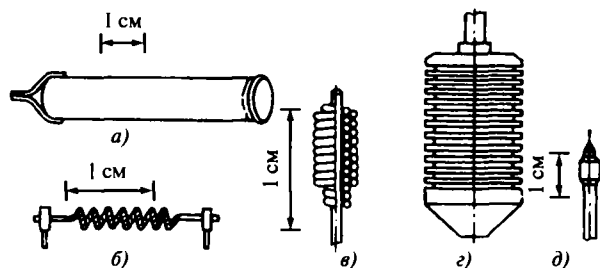


Рис. 3.31. Схематический вид электродов РЛ: а — трубок тлеющего разряда со столбом; б — ЛЛ; в — ртутных, МГЛ и НЛВД на переменном токе; г — анод мощной (4 кВт) ксеноновой короткодуговой лампы сверхвысокого давления с естественным охлаждением; д — катод той же лампы

Накаливаемые катоды применяют в РЛ дугового разряда. Это почти исключительно самокаливающиеся катоды, т.е. накаливающиеся за счет энергии самого разряда. Катоды с независимым накалом используют только иногда для облегчения зажигания и поддержания разряда (например, в ЛЛ). Эмиссия электронов из катода является в основном термоэлектронной.

В дуговых РЛНД, например ЛЛ, натриевых, неоновых и др., применяют так называемые *оксидные катоды*. Они представляют собой биспиралы (или триспиралы) из вольфрамовой проволоки, покрытые слоем активатора на основе окислов щелочноземельных металлов с некоторыми добавками (рис. 3.31, б). Электроды конструируются так, чтобы они обеспечивали надежное зажигание разряда, а при нормальном режиме работы имели оптимальную температуру (достаточная

термоэлектронная эмиссия при большом сроке службы). Для оксидного катода она составляет 950–1000°C.

Для РЛВД и СВД применяют так называемые *плечные катоды* различной конструкции. Они, как правило, состоят из двух частей — зажигающей и рабочей. Зажигающая часть связана с активатором и служит для облегчения зажигания. После разгорания разряд переходит на рабочую часть, более стойкую в отношении термического распыления. Материалом для электродов служит вольфрам. Конструктивно электрод представляет собой стержень (рабочая часть), на который навита одно- или двухслойная спираль; между витками спирали находится активатор (зажигающая часть) (рис. 3.31, в). При работе лампы активатор поступает на рабочую часть за счет диффузии и образует на ней мономолекулярную пленку, снижающую работу выхода электронов.

Сложность разработки электродов состоит в том, что надо выбрать оптимальные режимы работы катода и анода не только для стационарного режима, но и для режимов зажигания разряда, перехода из тлеющего в дуговой и разгорания, а каждый из них предъявляет свои, зачастую противоречащие друг другу, требования.

В мощных РЛВД и СВД применяют электроды специальных конструкций и технологий (рис. 3.31, г, д) («спеченные» электроды).

Спеченные (синтерированные) электроды для разрядной лампы представляют собой спеченный при высокой температуре (но ниже $T_{пл}$) в восстановительной (или защищающей) атмосфере порошок тугоплавкого металла с необходимыми активаторами и другими добавками.

В современной практике применяется обычно порошок вольфрама (чистый или с присадками), хотя в принципе могут использоваться и порошки других тугоплавких металлов. В качестве активаторных добавок обычно применяют различные соединения щелочноземельных металлов, некоторые металлы из группы редкоземельных (иттрий и др.).

К достоинствам спеченных электродов относятся:

- возможность изготовления электродов практически любой формы и размеров, что в случае массивных электродов практически невозможно сделать из вольфрамовых прутков и проволоки;

- возможность механической обработки;

- возможность в исключительно широких пределах менять состав активаторов и других добавок.

Ведущие зарубежные фирмы с конца 30-х гг. прошлого века успешно применяют спеченные электроды разных форм и размеров в мощных (>1 кВт) короткодуговых ртутно-кварцевых шаровых лампах СВД, а также в лампах аналогичного типа с ксеноновым наполнением.

Проблема разработки спеченных электродов для РЛ массового применения требует решения сложных конструктивных и технологических задач.

В настоящее время работы ведутся и зарубежными, и отечественными фирмами: например, фирма IWASAKI (Япония) использует спеченные электроды в маломощных НЛВД, ОАО «Лисма» совместно с ОАО

«НИИ МЭТ» (г. Калуга) закончила разработку спеченных электродов для ламп ДРЛ 400, 700 и 1000 Вт. На ОАО «Лисма» изготовлены также образцы спеченных «холодных» электродов ЛЛ 20 и 40 Вт для работы с ЭПРА.

Таким образом, можно говорить о кардинальном за последние 15–20 лет изменении конструкции и технологии производства значительного числа разрядных ламп с весьма четкой перспективой стабилизации зажигания и некоторого увеличения продолжительности горения при заметном снижении себестоимости.

3.3.2. Люминесцентные лампы

3.3.2.1. Прямые трубчатые и фигурные ЛЛ

Люминесцентные лампы представляют собой разрядные ИС низкого давления, в которых УФ излучение ртутного разряда преобразуется люминофором в более длинноволновое излучение. Первые образцы отечественных ЛЛ были созданы в 1936–1940 гг. группой московских ученых и инженеров под руководством С.И. Вавилова [3.11, 3.12]. Сразу после изобретения ЛЛ их производство и применение расширялось необычайно быстрыми темпами (рис. 3.32).

В промышленно развитых странах па долю осветительных установок (ОУ) с линейными ЛЛ приходится более 80% вырабатываемой световой энергии. В настоящее время ЛЛ являются наиболее массовыми ИС в ОУ промышленных и общественных зданий. Есть все основания полагать, что эта тенденция продолжится и в будущем.

Это объясняется, во-первых, рядом достоинств ЛЛ: 1) высокой световой отдачей и большим сроком служ-

бы; 2) малой себестоимостью изготовления в связи с высокой степенью механизации, простотой конструкции и доступностью сырья и материалов; 3) благоприятным спектром излучения, обеспечивающим высокое качество цветопередачи; 4) низкими яркостью и температурой поверхности лампы.

ЛЛ широко используются уже более пятидесяти лет. Сначала эти лампы выпускались в колбе диаметром 38 мм (Т12) с галофосфатными люминофорами мощностью от 4 Вт до 150 Вт. Световая отдача наиболее распространенных ЛЛ мощностью 40 Вт составляла 70–75 лм/Вт, средняя продолжительность горения — 5000–8000 ч.

В 80-х годах было освоено производство энергоэкономичных ЛЛ диаметром 26 мм (Т8). Появление в это же время новых трехкомпонентных люминофоров позволило повысить световую отдачу до 92–95 лм/Вт при одновременном улучшении качества цветопередачи ($R_a > 80$) и снижении спада светового потока в конце срока службы до 15% от начального.

Световая отдача новых ЛЛ диаметром 16 мм (Т5) достигает 104 лм/Вт, средняя продолжительность горения более 16 тыс. ч.

Классификация ЛЛ по характеру разряда в них позволяет выделить ЛЛ дугового разряда с горячими катодами, лампы тлеющего разряда с холодными катодами и лампы безэлектродные. Лампы дугового разряда, зажигаемые от стандартного сетевого напряжения с предварительным подогревом катодов, наиболее экономичны, просты в эксплуатации и получили самое широкое применение в осветительной технике. Лампы тлеющего разряда зажигаются мгновенно и применяются для сигнализации и световой рекламы. Основным достоинством безэлектродных индукционных ламп является их большой срок службы (45–60 тыс. ч) (см. п. 3.3.7).

В большинстве типов ЛЛ используется излучение однородного положительного столба разряда с цилиндрической симметрией. Колба ЛЛ имеет вид прямой или изогнутой трубки, длина осевой линии которой значительно превышает диаметр (рис. 3.33). В некоторых типах малогабаритных ЛЛ, применяемых для сигнализации или подсветки шкал приборов, используется излучение приэлектродных областей тлеющего или дугового разрядов: по форме колбы они подобны ЛН. Лампы вихревого разряда также выполняются в форме ЛН.

Люминесцентные лампы дугового разряда можно подразделить на осветительные ЛЛ общего и специального назначения. Лампы общего назначения — это ЛЛ, предназначенные для освещения в различных областях применения. К ним относятся прямые трубчатые ЛЛ, компактные ЛЛ и фигурные ЛЛ (рис. 3.33). Лампы специального назначения имеют особые эксплуатационные свойства, обусловленные конструкцией, спектром излучения и т.д.

В безэлектродных лампах используется излучение высокочастотного вихревого разряда, создаваемого в смеси паров ртути и инертного газа в шаровом или цилиндрическом баллоне с помощью индуктора, соединенного с высокочастотным генератором. Стенка бал-

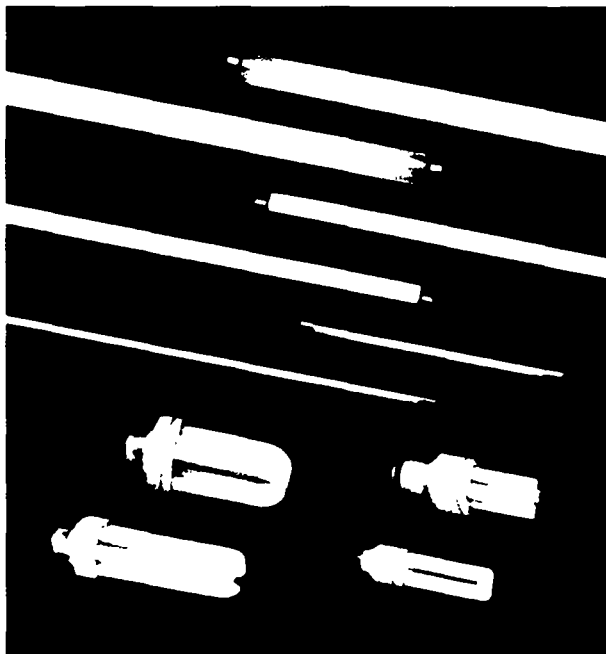


Рис. 3.32. Общий вид люминесцентных ламп: линейные и компактные

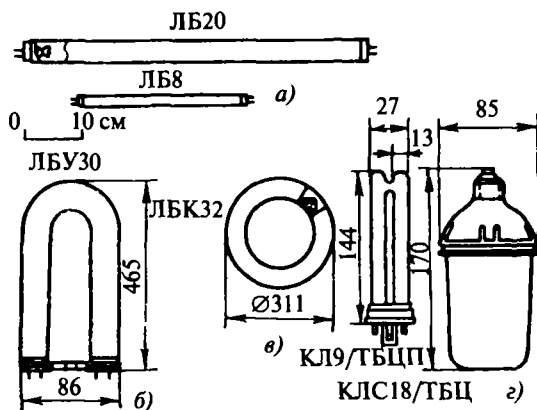


Рис. 3.33. Виды ЛЛ: а — прямые трубчатые; б — U-образная; в — кольцевая; г — компактные (рисунки выполнены не в масштабе)

лона может быть покрыта люминофором. Генератор может встраиваться в цоколь лампы.

Принцип действия ЛЛ основан на использовании фотолюминесценции люминофоров под воздействием резонансного УФ-излучения разряда в парах ртути при низком давлении (5–10 Па), которое соответствует температуре жидкой фазы ртути (35–40°C). Давление паров ртути является фактором, определяющим выход излучения резонансных линий ртути 253,7 и 184,9 нм. Добавка инертного газа к парам ртути (аргон, аргоно-неоновая или аргоно-криптоновая смесь при давлении 200–400 Па) облегчает зажигание дугового разряда, уменьшает распыление катодов, увеличивает градиент электрического потенциала в столбе разряда и существенно повышает выход излучения резонансных линий ртути [3.13] (рис. 3.34). На долю резонансного излучения приходится более 60% мощности лампы (в том числе на линию 253,7 нм — 55%), тогда как на долю излучения нерезонансных линий — всего 1,5–2% (рис. 3.35).

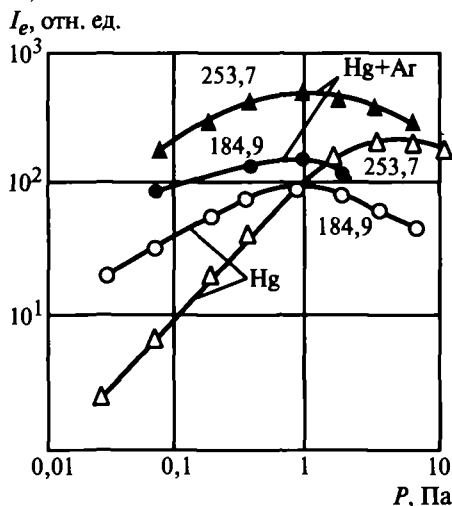


Рис. 3.34. Зависимость силы излучения резонансных линий ртути с $\lambda = 184,9$ и $253,7$ нм от давления паров ртути (ток 0,3 А, диаметр трубки 32 мм)

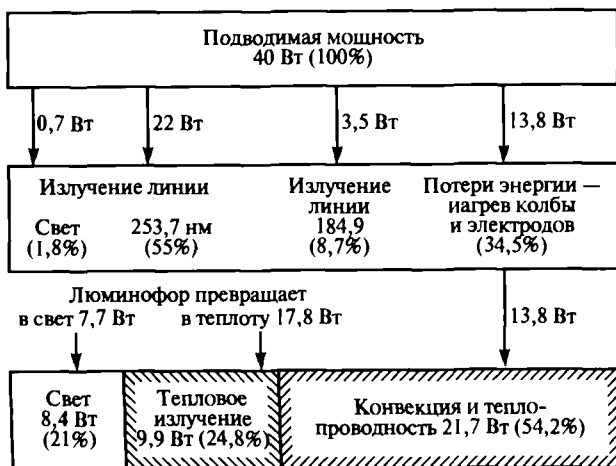


Рис. 3.35. Баланс энергии ЛЛ мощностью 40 Вт белого света

Существуют ЛЛ с разрядом в инертных газах — безртутные ЛЛ, которые имеют три важных преимущества: они нетоксичны, работоспособны при низких температурах и пригодны для люминофоров, возбуждающихся коротковолновым УФ-излучением с квантовым выходом больше единицы [3.14]. Тем не менее, у них значительно ниже световая отдача и мал срок службы. Наиболее удовлетворительны эти параметры у неоновых красных ламп.

Оксидный катод в ЛЛ обеспечивает зажигание и поддержание разряда при различных токах (от 0,1 до 2 А) в течение десятков тысяч часов. Катод ЛЛ может работать в режиме самоподогрева с катодным пятном, обладающим высокой температурой и плотностью тока на участке радиусом менее 1 мм (стартерные ЛЛ), и в режиме внешнего подогрева, при котором достаточно велика термоэлектронная эмиссия всей поверхности катода и катодное пятно отсутствует (бесстартерные ЛЛ). Второй режим характеризуется меньшей температурой катода и обеспечивает его большую долговечность.

Работа без катодного пятна и с большей долговечностью возможна также при определенных диаметре и шаге спирали за счет перехода к режиму полого катода. Вопросы технологии изготовления ЛЛ изложены в [3.15].

Люминофоры, применяемые в ЛЛ, хорошо возбуждаются резонансным излучением атома ртути с длинами волн 184,9 и 253,7 нм. Квантовый выход люминесценции лучших люминофоров достигает 90% [3.16]. Таким люминофором является галофосфат кальция, активированный сурьмой и марганцем. Различные марки этого люминофора синтезируют с разной концентрацией марганца — от 0,3 до 1,2%, в результате чего в спектре люминесценции получается различное соотношение энергии в «сурьмяной» спектральной полосе с максимумом при 485 нм и в «марганцевой» спектральной полосе с максимумом при 585 нм. Это дает возможность изготавливать ЛЛ типов ТБ, имеющие $T_{\text{ц}} = 2950$ К, Б — 3450 К, ХБ — 4200 К и Д —

6400 К, используя галофосфатный люминофор различных марок. Квантовое отношение люминесценции для этого люминофора приближается к 0,44 при возбуждении излучением с $\lambda = 254$ нм и к 0,32 при излучении с $\lambda = 185$ нм.

Важнейшим событием в развитии ЛЛ за последние 15–20 лет явилась разработка и широкое внедрение в ламповое производство новых высокоэффективных редкоземельных люминофоров (РЗЛ), повсеместно заменяющих галофосфатные. Новые люминофоры позволили на 17–20% повысить световую отдачу ЛЛ, существенно улучшив их цветопередачу (с $R_a = 60$ до $R_a = 85$), уменьшить диаметр трубчатых колб с 38 до 16 мм и благодаря этому сократить расход материалов (в т.ч. и дорогих редкоземельных люминофоров), повысить мощность ЛЛ и расход электроэнергии на освещение на 8–10%. Для зрительных работ, связанных с тонким различием цветных оттенков, были разработаны ЛЛ с особенно хорошей цветопередачей ($R_a > 90$) благодаря применению многокомпонентных смесей редкоземельных и других люминофоров.

Сравнительные параметры ЛЛ с галофосфатными и редкоземельными люминофорами приведены в табл. 3.13.

Таблица 3.13

Тип люминофора	Цветовая температура, $T_{ц}$, К	Индекс цветопередачи, R_a	Световая отдача, η , лм/Вт
Лампы с максимальной световой отдачей			
ГЛФ	3000	51	80
РЗЛ	3000	85	96
ГЛФ	5000	72	62
РЗЛ	5000	85	95
Лампы с максимальным R_a			
ГЛФ	3000	95	45
РЗЛ	3000	95	65
ГЛФ	5000	93	50
РЗЛ	5000	98	65

При изготовлении современных ЛЛ используются трехкомпонентные люминофоры, которые позволяют обеспечить широкую гамму цветовых оттенков излучения с цветовой температурой от 2700 К («домашний» тепло-белый свет, максимально близкий к ЛН) до 6500 К («холодный» дневной свет).

Номинальное значение светового потока измеряется после 100 ч отжига. Сила света ЛЛ в направлении, перпендикулярном продольной оси, для прямых трубчатых ЛЛ

$$I = 0,108\Phi, \quad (3.20)$$

где I — сила света, кд; Φ — световой поток, лм.

Средняя по диаметру яркость свечения ЛЛ в центре, кд/м²,

$$L = 0,108k\Phi / (dl), \quad (3.21)$$

где k — коэффициент, учитывающий спад яркости к концам ЛЛ; d и l — диаметр и длина светящей части лампы, м.

У стандартных ЛЛ с нормальной электрической нагрузкой яркость свечения составляет от $4 \cdot 10^3$ до $15 \cdot 10^3$ кд/м². Пример распределения яркости свечения по длине и по диаметру ЛЛ приведен на рис. 3.36.

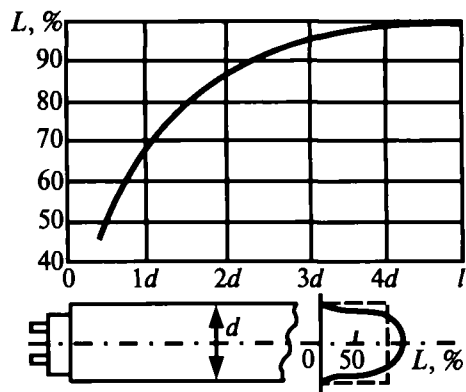


Рис. 3.36. Распределение яркости свечения ЛЛ по длине и диаметру

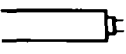
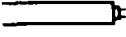
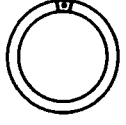

Стабильность светового потока. Снижение Φ после средней продолжительности горения составляет 25–30%.

За последние годы спад светового потока лучших зарубежных ламп при работе с электронным ПРА к концу срока службы снижен с 15–30% до 5%.

Маркировка отечественных ЛЛ основана на буквенном обозначении конструктивных признаков. Первая буква Л — люминесцентная, следующие буквы обозначают цвет излучения: Б — белый, ТБ — тепло-белый, ХБ — холодно-белый, Д — дневной, Е — естественно белый, УФ — ультрафиолетовый, К, С, З, Г — красный, синий, зеленый, голубой. Одна или две буквы Ц после обозначения цвета означают хорошее или отличное качество цветопередачи. Далее следуют буквы, обозначающие особенности конструкции лампы: Р — рефлекторная, У — U-образная, К — кольцевая, Б — быстрого пуска, А — амальгамная. Цифры, стоящие после букв, обозначают мощность в ваттах. Сигнальные ЛЛ тлеющего разряда имеют маркировку, начинающуюся с букв ТЛ; трубки, применяющиеся в световой рекламе, — маркировку ГР-20.

В мировой практике нет единообразия в маркировке ЛЛ. В США, например, в маркировке указываются длина и диаметр колбы ЛЛ в дюймах, буквенное обозначение цвета (подобно отечественному) и мощности (НО — интенсивные, ВНО — высокоинтенсивные). Некоторые европейские фирмы обозначают класс ЛЛ буквами: L — фирма «Osram», TL — «Philips», FL — «Mazda», после чего указывается мощность ЛЛ с буквой W (ватты) и цифровое обозначение цвета излучения, различное у разных фирм. В конце маркировки указываются буквенные обозначения осо-

Таблица соответствия основных типов ЛЛ

Обозначения лампы по ILCOS, вид лампы	Мощность, Вт	Цоколь	Условные обозначения фирм-изготовителей			
			Philips	Osram	General Electric	Лисма
<i>трубчатые ЛЛ диаметром 26 мм (Т 8)</i>						
 FD	18 36 58	G 13	TL-D 18w/ TL-D 36w/ TL-D 58w/	L 18w/ L 36w/ L 58w/	F 18w/ F 36w/ F 58w/	ЛБ 18 ЛБ 36 ЛБ 65 (38 мм)
<i>трубчатые ЛЛ диаметром 16 мм (Т 5)</i>						
 FD	14 21 (макс. 28 световая 35 отдачи) 24 39 (макс. 49 световой 54 поток) 80	G 5	TL 5 HE 14w/ TL 5 HO 24w/	FH 14w/ FQ 24w/	F 14w/Т 5 F 24w/Т 5	— —
<i>Кольцевые ЛЛ</i>						
 FC	22 32 40 55 60	G 10q, 2Gx13	TL-F 22w/ TL 5 22w/ TL-E 32w/ TL-E 40w/ TL 5 40w/ TL 5 55w/ TL 5 60w/	L 22w/C, FC L 32w/C, FC L 40w/C, FC —	FC8T9/ FC12T9/ FC16T9/ — FC1660/	ЛБК 22 ЛБК 32 — — —
<i>U-образные ЛЛ</i>						
 FU	18 30 36 40 58	G 13	TL-DU 18w/ — TL-DU 36w/ — TL-DU 58w/	L 18/U — L 36/U — L 58/U	F 40 UT8/ —	— ЛБУ 30 — — —

бенностей конструкции ЛЛ (форма колбы, наличие амальгамы и т.п.). В Японии маркировка ЛЛ подобна отечественной, но буквы, обозначающие цвет, ставят после цифр, указывающих мощность. При этом маркировка ЛЛ, производимых на экспорт, не совпадает с маркировкой ламп, предназначенных для внутреннего рынка.

В последние годы на светотехническом рынке наряду с отечественными широко используются лампы зарубежных фирм.

В табл. 3.14 приведены обозначения ламп по международной системе обозначений ILCOS [3.17] и по каталогам фирм-изготовителей [3.18].

Диапазон световых параметров наиболее распространенных прямых трубчатых ЛЛ белого света диаметром 26 мм и миниатюрных диаметром 16 мм и цоколем G5 приведен в табл. 3.15 и 3.16.

В табл. 3.17 приведены номенклатура и параметры ЛЛ диаметром 38 мм, еще выпускаемых российскими и зарубежными фирмами для общего и специального применения.

Таблица 3.15

Параметры основной номенклатуры ЛЛ белого света с колбой диаметром 26 мм (Т8) и цоколем G13 (см. также табл. 3.18)

Качество цветопередачи		Стандартное	Хорошее*	Отличное
Мощность лампы, Вт	Номинальная длина, мм	Световой поток, лм		
		15	450	720 800
18	600	950-1150	1300-1350	850 1100
30	900	1800-2250	2250-2450	1500 1600
36	1200	1900-2850	3050-3350	2000-2300
58	1500	3750 4600	5000-5200	3700 3750
70	1800	5450-5550	6100-6300	

* По материалам зарубежных фирм.

Таблица 3.16

Миниатюрные ЛЛ белого света с колбой диаметром 16 мм и цоколем G5 (см. также табл. 3.18)

Качество цветопередачи		Стандартное	Хорошее*	Отличное
Мощность лампы, Вт	Номинальная длина, мм	Световой поток, лм		
4	140 150	120–150		—
6	220–225	240–260	—	..
8	300	330–400	450 460	300
13	520–525	700–850	950 1000	600

* По материалам зарубежных фирм.

В табл. 3.18 приведены характеристики цветопередачи ЛЛ разных фирм и их обозначения в общеевропейском стандарте EN и в каталогах фирм-изготовителей.

Таблица 3.17

Номенклатура и параметры ЛЛ с колбой диаметром 38 мм

Мощность лампы, Вт	Номинальная длина, мм	Световой поток, лм	
		Стандартные	С улучшенной цветопередачей
20	600	950–1150	1300–1450
40	1200	2450 3000	3300–3350
65	1500	3750–4750	5300–5400
75	1800	5700 6200	6550–7000
80	1500	5200	
85	2400	7100–7250	7400–7900
100	2400	8100 8500	9100–9300
125	2400	7700 9600	10000–10550

Таблица 3.18

Обозначения и характеристики цветопередачи люминесцентных ламп

Качество цветопередачи	Стандартное					Хорошее					Отличное			
	Общесвропейское обозначение по EN 12464-1:2002	530	535	640	740	765	827	830	840	865 (860)	930	940	954	965
Обозначения разных фирм	Osram	30	23	20	25	10	41	31	21	11	930	940		
	Philips	29		33	25	54	827	830	840	860				965
	Sylvania	129		133	125		827	830	840	860				
	General Electric	29		33	25		827	830	840	860	930	940	950	
Аналоги в отечественной номенклатуре ЛЛ	ЛТБ	ЛБ	ЛХБ		ЛД	ЛТБЦ		ЛЕЦ		ЛТБЦЦ			ЛДЦ	
Цветовая температура, К	3000	3500	4000	4000	6500	2700	3000	4000	6500	3000	3800	5400	6500	
Общий индекс цветопередачи, R_a	50 59	50–59	60–69	70–79	70–79	80 89	80–89	80–89	80 89	90–100	90 100	90–100	90–100	

Источником света нового поколения можно считать ЛЛ диаметром 16 мм (типа T5) [3.19] мощностью 14–80 Вт, которые работают только с электронным ПРА, продолжительность горения их — 16–20 тыс. ч. Спад светового потока этих ламп через 10 тыс. ч наработки не более 5%. Это обусловлено наличием прозрачной защитной пленки между стеклом колбы и люминофором, предотвращающей преждевременную деградацию эмиссионных свойств люминофора, вызываемую негативным воздействием на него и стекло колбы паров ртути. Пульсация светового потока практически отсутствует. Количество ртути в лампах T5 резко снижено по сравнению с ЛЛ в колбах диаметром 26 мм (с 30 до 3–5 мг).

В табл. 3.19 приведены номенклатура и параметры ЛЛ типа T5.

Максимальное значение световой отдачи ЛЛ T5 имеет место при температуре окружающего воздуха не 22–25°, как для обычных ЛЛ, а при 35°C (рис. 3.37),

Таблица 3.19

Номенклатура и параметры ЛЛ типа T5

Качество цветопередачи		Хорошее	Отличное
Мощность, Вт	Номинальная длина, мм	Световой поток, лм	
14	549	1100–1350	
21	849	1750 2100	
28	1149	2400–2900	
35	1449	3050–3650	
24	549	1600 2000	1300–1400
39	849	2850–3330	
49	1449	4100 4900	3450 3500
54	1149	4250–5000	3450 3500
80	1449	5700 7000	

Таблица 3.21

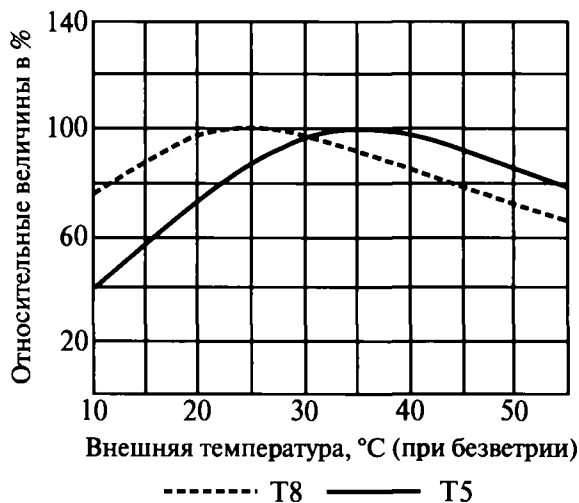


Рис. 3.37. График изменения световой отдачи в зависимости от температуры

что соответствует реальной температуре ламп во многих светильниках.

Лампы в колбах диаметром 16 мм выпускаются двух видов: с максимальной световой отдачей (14, 21, 28, 35 Вт) и с повышенным световым потоком (24, 39, 54, 80 Вт). Экономия электроэнергии при использовании таких ламп достигает 25%.

Тонкие ЛЛ диаметром 7 мм (Т2) предназначены для встраивания в мебель, шкафы, прилавки, витрины. Характеристики таких ламп приведены в табл. 3.20.

Таблица 3.20

Тонкие ЛЛ с колбой диаметром 7 мм и цоколем W 4,3x8,5

Качество цветопередачи		Хорошее (Lumilux)			
Мощность ЛЛ, Вт	Номинальная длина, мм	Световой поток, лм			
6	218,5	—	330	330	310
8	320	—	540	540	500
11	421,6	—	750	750	680
13	523	—	930	930	860
Цветовая температура, К		~2700	~3000	~4000	>5000

Кольцевые и U-образные ЛЛ широко используются для создания компактных и малогабаритных осветительных приборов. Параметры кольцевых ЛЛ приведены в табл. 3.21, U-образных — в табл. 3.22.

Обозначения перечисленных ламп по ILCOS и каталогам фирм даны в табл. 3.14.

Цветность излучения ламп (см. § 2.3) определяется координатами цветности x и y (рис. 3.38). Случайное смешивание в СП ЛЛ разных цветностей является нежелательным.

Параметры кольцевых люминесцентных ламп (см. также табл. 3.18)

Качество цветопередачи		Диаметр трубки 29–34 мм			Диаметр трубки 16 мм
		Стандартное	Хорошее	Отличное	Хорошее*
Мощность, Вт	Паружный диаметр лампы, мм	Световой поток, лм			
22	157–216	875–1300	1350	750	1710–1800
32	246 311	1400–2050	2050–2300	1300	
40	348–412	2000–2800	2900–3200	1800	3000 3300
55 (60)	412	3700		2200	4200–5000

* по данным фирмы Osram.

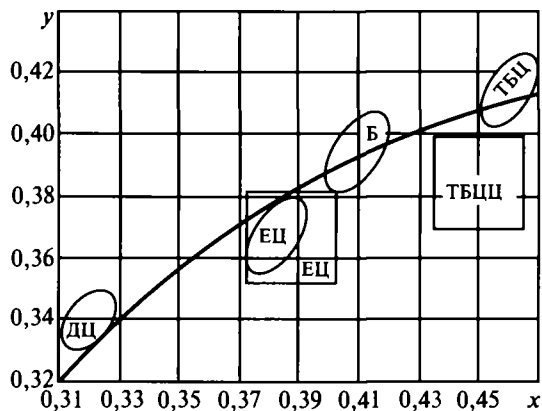
Таблица 3.22

Параметры U-образных люминесцентных ламп (диаметром 26 мм) (см. также табл. 3.18)

Качество цветопередачи		Стандартное	Хорошее
Мощность, Вт	Длина, мм	Световой поток, лм	
18	304–310	950–1050	
30	465	1980	
36	601 607	2400–2700	
58	759–765	3650–4500	
укороченные*			
36	566	2300	2800
58	566	3400	4300
40**	525	2875	3250

* по данным фирмы Osram

** по данным GE Lighting (Ø 38 мм).

Рис. 3.38. Диаграмма цветности x , y и поля допусков, характеризующие цветность излучения ЛЛ

Распределение светового потока ЛЛ по спектру

Тип лампы	Относительный световой поток, % общего, в спектральной зоне, нм							
	380–420	420–440	440–460	460–510	510–560	560–610	610–660	660–760
ЛДЦ, ЛДЦУФ	>0,017	>0,4	>0,53	>8,8	<45,8	<38	>8,5	>0,35
ЛЕЦ	>0,01	<0,5	>0,22	>4,8	<42	<45	>11	>0,52
ЛТБЦЦ	<0,01	<0,37	>0,065	>2,1	<41,6	<45	>15	>0,65

Лампы с улучшенной цветопередачей имеют спектр излучения, более близкий к спектру теплового излучателя, и значения $R_a = 85$ для ЛЛ, относящихся к категории, называемой за рубежом «делюкс», и $R_a = 92$ для ЛЛ, относящихся к категории «суперделюкс» или «экстраделюкс». В маркировке отечественных ЛЛ этим категориям соответствуют буквы Ц или ЦЦ.

Правильность цветопередачи определяется распределением светового потока ЛЛ по спектральным зонам (табл. 3.23), которое задано в нормативной документации на ЛЛ типов ЛДЦ, ЛЕЦ, ЛТБЦЦ, ЛДЦУФ как предельно допустимое. Для ЛЛ типа ЛХЕЦ в технических условиях это распределение нормируется с двусторонними допусками, так как назначение этих ламп — освещение мелицистических диагностических кабинетов — требует более точного воспроизведения цвета и более строгого нормирования спектра излучения лампы.

Спектральные распределения энергии излучения ЛЛ с различными характеристиками цветопередачи приведены на рис. 3.39.

Спектр излучения ЛЛ с редкоземельными люминофорами содержит три узкие полосы люминесценции. Положение в спектре и форма этих полос, а также значения светового потока в них оптимизированы так, чтобы лампа имела максимальное значение светового потока и $R_a \geq 80$. Как видно, спектр излучения ЛЛ этого вида плохо заполнен, вследствие чего неизбежно получаются низкими некоторые частные индексы цветопередачи R_i . Поэтому ЛЛ с редкоземельными люминофорами рекомендуется применять для освещения общественных помещений, зрелищных и торговых предприятий и рекламного освещения. Но так как они «приукрашивают» некоторые объекты, их нельзя использовать для освещения производственных помещений с видами работ, требующими правильного различения цвета. Созданы также ЛЛ с многокомпонентной смесью редкоземельных люминофоров, имеющие $R_a = 92$ и достаточно высокое значение R_i благодаря лучшему заполнению спектра.

Особенности эксплуатации ЛЛ — включение в сеть только с ПРА и возможность работы только в ограниченном диапазоне температуры окружающей среды. Напряжение на ЛЛ при горении должно быть примерно в 2 раза ниже напряжения сети. В этом случае возможно использование простейшей схемы включения ЛЛ со стартером и индуктивным или емкостным балластом (см. разд. 4). Следовательно, ЛЛ с напряжением горения, близким к 100 В, рассчитаны на сеть 220 В, с

напряжением 50–60 В — на сеть 127 В. Отклонения напряжения сети от номинального значения приводят к соответствующим отклонениям светового потока, мощности и тока ЛЛ (рис. 3.40), снижению продолжительности горения. При этом снижение напряжения сети так же опасно, как и его повышение, поскольку катод рассчитан на работу при номинальном токе. Снижение напряжения сети более чем на 10% приводит к отказу зажигания ЛЛ.

Основной парк ЛЛ использует электромагнитные ПРА. Наиболее экономичными и перспективными являются электронные ПРА (см. раздел 4), которые позволяют: повысить световую отдачу и увеличить срок службы ЛЛ, исключить пульсацию светового потока и акустические шумы от светильников, обеспечить возможность регулирования светового потока.

Температура окружающей среды влияет на температуру стенки ЛЛ и давление паров ртути в ней, имеющее оптимум при определенной температуре. Отклонение от этого оптимума ведет к снижению светового потока ЛЛ, а при значительных отклонениях, особенно в меньшую сторону, — к ухудшению зажигания ЛЛ. При отрицательной температуре ЛЛ или не зажигаются, или горят тускло. Для большинства ЛЛ рабочий диапазон температуры составляет $+5 \div +50^\circ\text{C}$. Зависимость световой отдачи η_v от температуры окружающей среды (рис. 3.41) показывает, что для открытой лампы (вне светильника) оптимальная температура воздуха 20–25°C.

Температура стенки лампы при работе определяется условиями охлаждения, т.е. конструкцией ОП и удельной мощностью лампы.

Влажность окружающей среды влияет на напряжение зажигания ЛЛ. Влага растворяет соли на поверхности стекла, снижая его поверхностное сопротивление в десятки раз. Напряжение зажигания в зависимости от поверхностного сопротивления стекла колбы ЛЛ имеет максимум при 100 МОм, что соответствует влажности 90–100% (рис. 3.42). При повышенной влажности более надежно работают ЛЛ, имеющие проводящее прозрачное покрытие на колбе или проводящую полосу, которая должна быть соединена через защитное сопротивление с одним из электродов, иногда полосу заземляют.

Положение горения у ЛЛ, как правило, горизонтальное. Однако нет оснований опасаться и иных размещений стандартных ЛЛ.

Вибро- и ударопрочность ЛЛ массового применения удовлетворяют группе условий эксплуатации М1 по

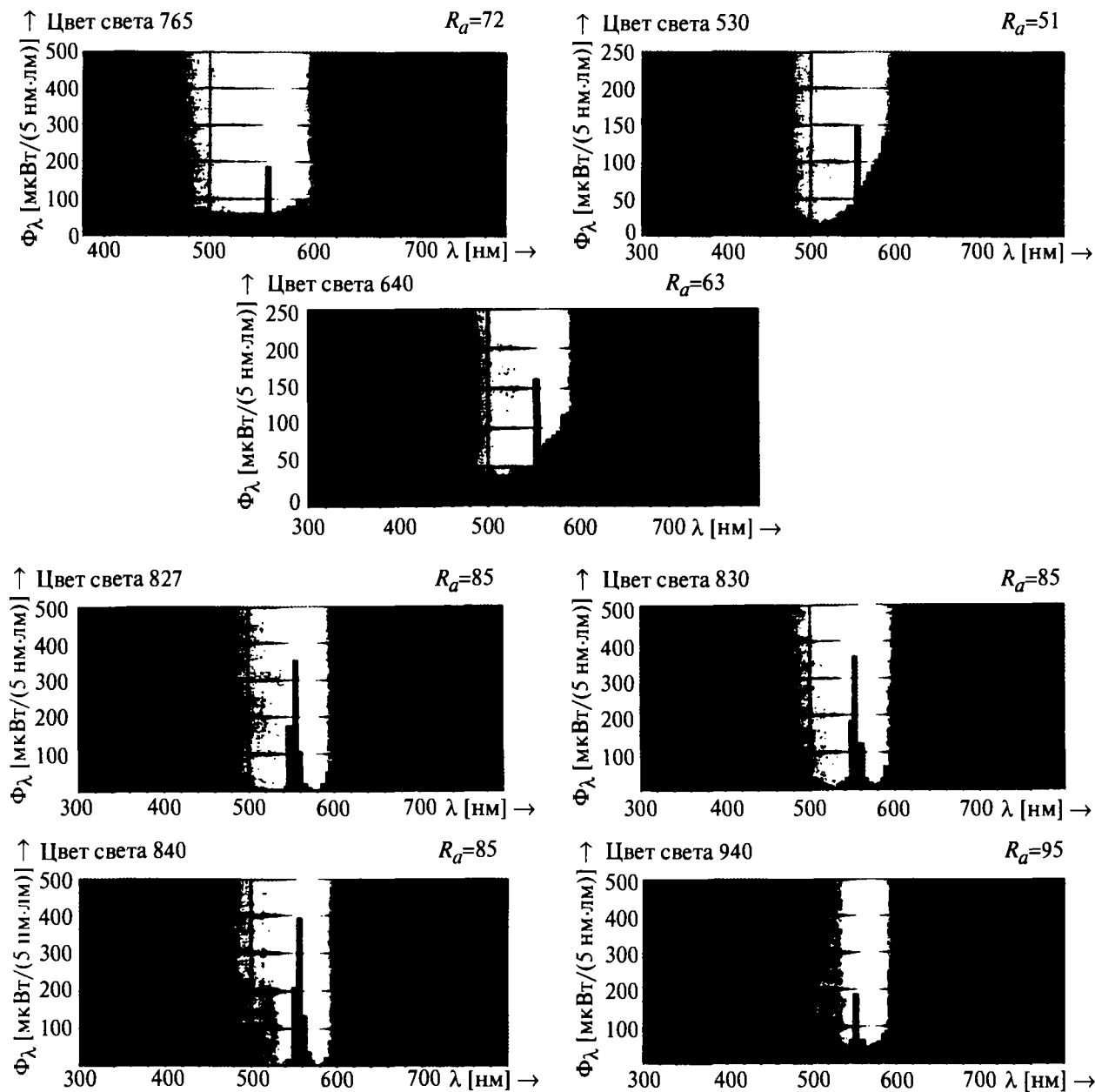
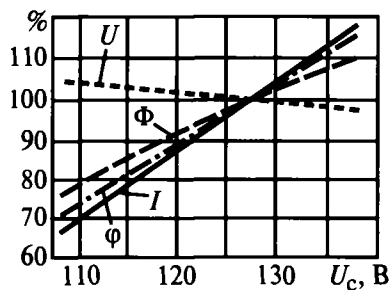


Рис. 3.39. Спектры излучения ЛЛ

Рис. 3.40. Зависимость напряжения на лампе, светового потока, мощности и тока ЛЛ от напряжения сети



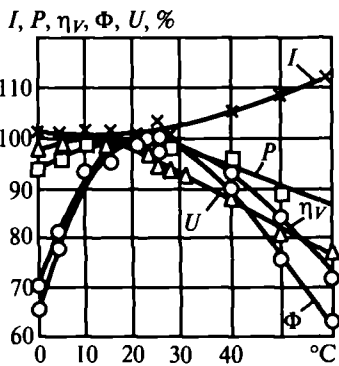


Рис. 3.41. Зависимость параметров ЛЛ от температуры окружающей среды

ГОСТ 17516-72 даже с некоторым запасом. Дополнительное улучшение прочности достигается за счет применения вольфрамово-рениевой проволоки при изготовлении электродов.

Пульсация светового потока при питании ЛЛ переменным током вызвана пульсацией УФ-излучения столба разряда и несколько сглаживается послесвечением люминофора. Например, коэффициент пульсации (см. разд. 7) для ЛЛ типа ЛБ — 22–23%, для ЛЕЦ — 73–75%, для ЛТБЦ — 68–70% при включении в сеть частотой 50 Гц с образцовым измерительным дросселем. Это соответствует частоте пульсации светового потока 100 Гц. Для сглаживания пульсации освещенности несколько ЛЛ включают так, чтобы их токи были сдвинуты по фазе относительно друг друга (см. разд. 4), за счет чего коэффициент пульсации доводится до нормы. Наиболее заметна пульсация яркости свечения концевых участков ЛЛ, так как здесь частота пульсации вдвое ниже, чем в середине лампы, а коэффициент пульсации соответственно выше. Поэтому рекомендуется экранировать концы ЛЛ. Радикальным средством снижения пульсации является переход на высокочастотное питание (см. разд. 4).

Постоянный ток для питания ЛЛ может быть использован при ее включении с активным балластом или с реактивным балластом на входе выпрямителя. При периодическом переключении полярности питающего напряжения наблюдается повышение световой отдачи лампы на 5–7% по сравнению со световой отдачей при питании от сети частотой 50 Гц. Без переключе-

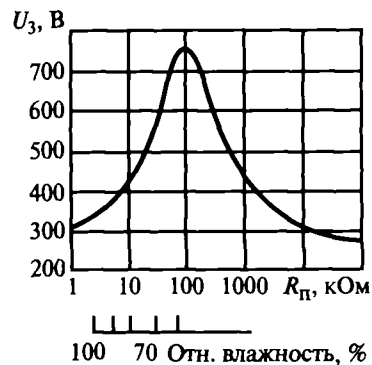


Рис. 3.42. Зависимость напряжения зажигания ЛЛ от поверхностного сопротивления стекла колбы и влажности окружающей среды

чений световая отдача через несколько часов работы снижается более чем в 2 раза вследствие перераспределения ртути в лампе (электрофорез) [3.2]. Ртуть скапливается около катода, и из-за недостатка ртути в положительном столбе снижается световой поток. При повторном включении такой лампы в ней быстро проявляются катодфорез.

Радиопомехи генерируются ЛЛ всех типов и мощностей в диапазоне от 0,15 до 1,5 МГц, т.е. в диапазоне длинных и средних волн. В момент зажигания ЛЛ радиопомехи на порядок интенсивнее, чем при работе. Данные о радиопомехах различных ЛЛ приведены в табл. 3.24.

Таблица 3.24

Уровни радиопомех, создаваемых некоторыми типами ЛЛ

Мощность ламп, Вт	Уровень радиопомех, дБ, при частоте, МГц				
	0,15	0,25	0,5	1,0	1,5
20	67	67	73	70	65
40	78	76	66	48	40
65	76	80	77	67	59

Для снижения радиопомех служат фильтры, являющиеся элементами электрической схемы ОП. При эксплуатации ЛЛ с фильтром уровни радиопомех не превышают допустимых значений.

Цоколи ЛЛ показаны на рис. 3.43.

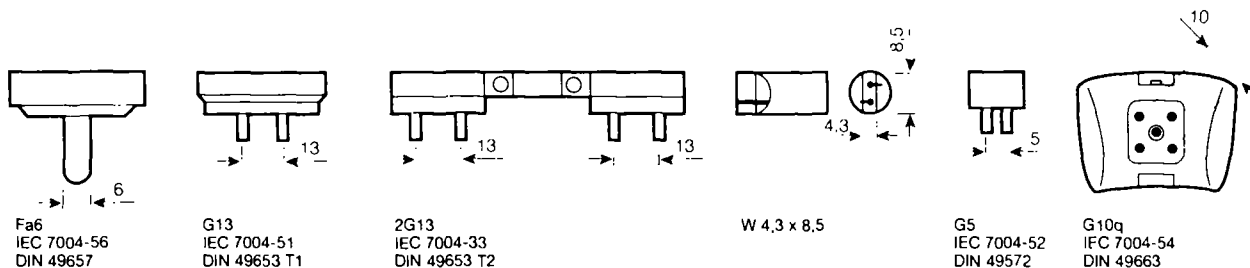


Рис. 3.43. Цоколи ЛЛ

Утилизацию отработавших ЛЛ нужно проводить с учетом токсичности ртути, содержащейся в наполнении лампы (до 30 мг).

Область применения ЛЛ — помещения общественных, жилых зданий, промышленных предприятий.

Влияние окружающей среды на надежность работы ЛЛ должно обязательно учитываться. Особенно это касается промышленных помещений, где могут быть значительные отклонения климатических и механических факторов от нормальных.

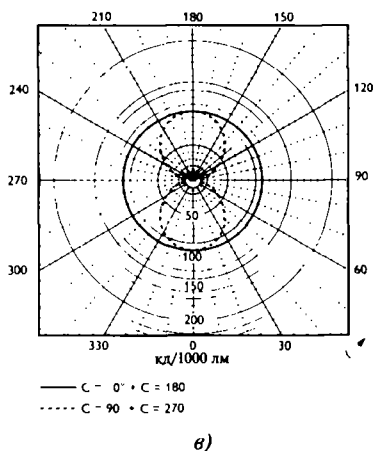
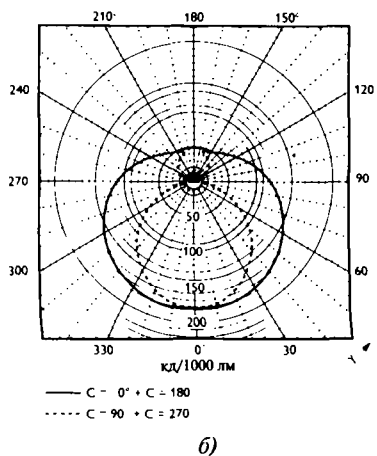
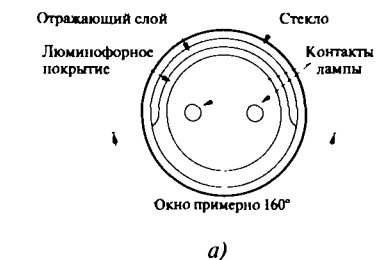


Рис. 3.44. Рефлекторная лампа: а — разрез; б, в — кривые светораспределения рефлекторной и стандартной ЛЛ соответственно

Люминесцентные лампы специального назначения включают в себя лампы с направленным светораспределением (лампы-светильники) — рефлекторные, предназначенные для освещения промышленных помещений, а также для карнизного освещения, освещения витрин.

На рис. 3.44 показан разрез рефлекторной лампы и распределение ее светового излучения. Для сравнения приведено распределение силы света обычной ЛЛ.

Для работы в более тяжелых условиях окружающей среды (температура 30–60°C) выпускаются ЛЛ, в которых ртуть заменена амальгамой, — амальгамные ЛЛ. Зависимость их светового потока от температуры показана на рис. 3.45.

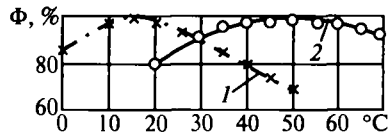


Рис. 3.45. Зависимость светового потока лампы от температуры окружающей среды: 1 — ртутная лампа; 2 — амальгамная лампа

Цветные ЛЛ предназначены для декоративного освещения и световой рекламы, главным образом внутри помещений.

Сигнальные малогабаритные ЛЛ тлеющего разряда с рабочим током около 3 мА предназначены для систем автоматики и радиоэлектроники, выпускаются с различными люминофорами, определяющими цвет свечения лампы — оранжевый, зеленый, голубой, желтый. Цвет обозначается последней буквой в маркировке лампы. Яркость свечения лампы голубого цвета 2,5 кд/м², зеленого и желтого — 20, оранжевого — 50. Лампы включаются в сеть напряжением 127, 220 и 380 В с балластным резистором, средняя продолжительность горения лампы 2–5 тыс. ч.

Газосветные лампы (трубки), применяемые в световой рекламе, представляют собой лампы тлеющего разряда, в которых используется излучение положительного столба разряда и свечение люминофора, нанесенного на трубку и возбуждаемого излучением разряда. В последнем случае в трубку вводится доза ртути. Газосветные лампы имеют одно обозначение типа — ГР-20. Яркость свечения трубок находится в пределах от 500 до 3500 кд/м², продолжительность горения 6–8 тыс. ч.

Осветительно-облучательные ЛЛ, называемые также полифункциональными, предназначены для освещения и одновременного оздоровительного УФ облучения. Тем самым компенсируется УФ недостаточность на Крайнем Севере, в бесфонарных и подземных помещениях, в больших городах с загрязненной атмосферой. При этом облучение получается более равномерным и точнее дозированным, чем при использовании в ОУ некоторого количества эритемных ЛЛ. Лампы типа ЛБУФ36, кроме белого света, дают излучение в зонах УФ-А (320–400 нм) и УФ-В (280–320 нм) и рассчитаны на применение в ОУ с освещенностью 300–500 лк. При большей освещенности УФ облученность превысит допустимую норму, при меньшей будет недостаточной.

ЛЛ для взрывозащищенных и взрывобезопасных светильников. ЛЛ диаметром 38 мм с классом защиты «повышенная безопасность» выпускаются с двумя одноштырьковыми цоколями Fa 6 холодного белого цвета мощностью 15, 20, 40 и 65 Вт и световыми потоками соответственно 750, 1000, 2350 и 4600 лм.

ЛЛ с увеличенным сроком службы [3.21, 3.22]. Срок службы массовых ЛЛ передовых фирм увеличился с 10–12 тыс. ч до 15–16 тыс. ч, а при работе в схемах с ЭПРА до 18–20 тыс. ч.

Шведская фирма Augalight и фирма Philips освоили производство нескольких серий специальных ЛЛ с резко увеличенным сроком службы (27–48 тыс. ч).

Серия Long-Life. На рис. 3.46 приведены зависимости светового потока от времени наработки, иллюстрирующие очень высокий полезный срок службы этих ЛЛ.

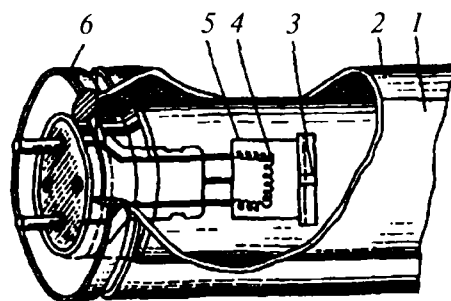


Рис. 3.47. Конструкция ЛЛ серии Thermo-LL: 1 — колба диаметром 26 мм; 2 — теплоизолирующий стеклянный цилиндр диаметром 38 мм; 3 — диафрагма электродного экрана; 4 — спираль электрода; 5 — электродный экран; 6 — узел уплотнения и крепления цилиндра на цоколе лампы

Лампы серии Long-Life, основные характеристики которых приведены в табл. 3.25, выпускаются трех номиналов по мощности с пятью оттенками цвета излучения и с двумя различными R_a .

Серия «холодостойких» ЛЛ Thermo-I.L. Лампы этой серии в колбах диаметром 26 мм и мощностью 18–58 Вт разработаны для эксплуатации в условиях пониженных температур окружающего воздуха.

Основные параметры ламп Thermo-LL представлены в табл. 3.26, а особенности конструкции показаны на рис. 3.47. Теплоизолирующий воздушный слой вокруг колбы диаметром 26 мм, способствующий «самоподогреву» лампы, образован за счет наличия внешней коаксиальной стеклянной трубки с наружным диаметром 38 мм.

Лампы с защитной оболочкой. В помещениях фармацевтической, косметической, пищевой и ряде других отраслей промышленности предъявляются очень строгие гигиенические требования к чистоте воздушной среды и оборудования. Источники света, применяемые в таких ОУ, должны быть как можно более долговечны, чтобы исключить их частые замены и опасность случайного разрушения (последнее особенно важно при использовании ртутьсодержащих ЛЛ). Кроме того, лампы должны обеспечивать высокое качество цветопередачи и ограниченную составляющую УФ в области «В» и «С».

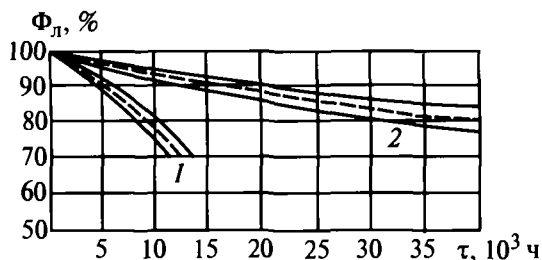


Рис. 3.46. Зависимость светового потока ЛЛ диаметром 26 мм от времени наработки: 1 — лампы стандартных исполнений на трехполосных люминофорах 36, 58 Вт; 2 — лампы серии Long-life той же мощности

Внешне ЛЛ серии Long-Life ничем не отличаются от стандартных ЛЛ диаметром 26 мм, значительное же различие между ними — в конструкции электродов и наличии защитной пленки между стеклом и слоем люминофора.

Электродный экран, примененный во всех сериях этих ЛЛ, показан на рис. 3.47. Он обеспечивает следующие преимущества:

- сокращает скорость испарения эмиттерного вещества (окислы бария, стронция, кальция);
- уменьшает интенсивность бомбардировки катода ионами ртути;
- снижает потемнение приэлектродных зон колбы.

Таблица 3.25

Характеристики ЛЛ серии Long-Life

Мощность, Вт	$T_{ц}, K$	$\Phi_{л}^*$		$\eta, \text{лм/Вт}$		Срок службы, ч	
		при $R_a > 70$	при $R_a > 85$	при $R_a > 70$	при $R_a > 85$	при ЭМПРА	при ЭПРА
18	2700	1150	1350	64	75	27000	36000
	3000						
36	3500	3000	3350	83	93	27000	36000
	4000						
	6500						
58		4800	5350	83	92	23000	36000

* — световой поток после первых 100 ч горения.

Характеристики ЛЛ серии Thermo-LL.

Мощность, Вт	$T_{ц}$, К	$\Phi_{л}^*$		η , лм/Вт		Срок службы, ч	
		при $R_a > 70$	при $R_a > 85$	при $R_a > 70$	при $R_a > 85$	при ЭмПРА	при ЭПРА
18	3000	1100	1250	61	69	27000	36000
36	4000	2800	3200	78	89	27000	36000
58		4500	5000	78	86	25000	36000

* — световой поток после первых 100 ч горения.

Оптимально выполняют все перечисленные требования специально разработанные для пищевой и других отраслей промышленности ЛЛ с нанесенной на колбу защитной пленкой (рис. 3.48).



Рис. 3.48. Люминесцентные лампы с защитной полимерной оболочкой

В качестве защитной пленки, наносимой на ЛЛ по запатентованной технологии электростатическим напылением, используется полиэтилентерефталат (PET), обладающий повышенной ударной вязкостью, эластичностью, высоким интегральным коэффициентом светопропускания, устойчивостью к воздействию УФ-излучения (низким коэффициентом пожелтения). В качестве бесцветного полимера может быть использован и политетрафторэтилен, оптические характеристики которого при нанесении на ЛЛ остаются неизменными в течение 10 тыс. ч (оболочки из поливинилхлорида или полиэтилена теряют прозрачность уже через 3 тыс. ч парабатки ЛЛ).

Так как пленка в процессе покрытия ЛЛ адгезируется как к стеклу колбы, так и к покролям, то при разрушении лампы осколки стекла, частицы люминофора и ртуть остаются заключенными в герметичном и механически прочном чехле (см. рис. 3.48), не представляя опасности для людей, среды помещения и продукции, производимой в нем.

Лампы выпускаются мощностью 18, 36, 58 Вт и имеют среднюю продолжительность горения 25 тыс. ч.

Лампы серии *Reflector-LL* аналогичны по конструкции «холодостойким» ЛЛ серии *Thermo-LL*, но дополнительно имеют диффузно отражающий слой, нанесенный на внутреннюю поверхность внешнего стеклянного цилиндра.

Отражающий слой обеспечивает коэффициент усиления силы света ЛЛ примерно 1,7 в направлении, перпендикулярном оси лампы (по сравнению с обычными ЛЛ с круглосимметричным излучением).

Лампы серии *Reflector-LL*, имеющие полезный срок службы 36 тыс. ч и высокое качество цветопередачи ($R_a=80$), благодаря направленности их излучения могут применяться в светильниках без отражателей.

Лампы серии *Super EX-LL* мощностью 18, 36, 58 Вт (1300, 3300, 5100 лм) имеют световую отдачу соответственно 78, 97 и 95 лм/Вт, снабжены I-штырьковыми покролями типа Fa 6 и предназначены для включения только с электронными ПРА специально во взрывобезопасных светильниках. При $T_{ц}=4000$ К лампы имеют хорошую цветопередачу ($R_a=85$). Полезный срок службы ламп 40 тыс. ч достигается при 20-часовом цикле включений. Лампы *Super EX-LL* разработаны для применения на нефтедобывающих морских платформах, на предприятиях химической промышленности, нефтеперерабатывающих заводах.

Перспективы развития ЛЛ заключаются в повышении КПД разряда за счет питания высокочастотным током, в оптимизации изотопного состава ртути в целях снижения эффекта «пленения» резонансного излучения в разряде, а также в применении более эффективных редкоземельных люминофоров, особенно в ЛЛ с трубкой-колбой малого диаметра (до 8–10 мм), где требуется высокая стабильность люминофора. Лампы на редкоземельных люминофорах получили наименование ламп «нового поколения», поскольку они имеют и высокие световые потоки, и повышенное качество цветопередачи. Эти ЛЛ характеризуются также высокой стабильностью светового потока.

3.3.2.2. Компактные люминесцентные лампы [3.23–3.25]

Перед разработчиками ЛЛ всегда стояла задача уменьшения их размеров. Однако до начала 80-х годов эта задача не могла быть решена прежде всего потому, что при серьезном уменьшении размеров ЛЛ, в частности диаметра их разрядной трубки, резко сокращалась средняя продолжительность горения вследствие неадекватной устойчивости галофосфатных люминофоров к воздействию плазмы электрического разряда в парах ртути.

Возможность резкого сокращения размеров и создания компактных ЛЛ (КЛЛ) появилась в начале 90-х годов в связи с разработкой редкоземельных люминофоров, хорошо противостоящих разрушительному воздействию плазмы в разрядных трубках малого диаметра.

В зависимости от мощности, напряжения питающей сети и других факторов, длина разрядной трубки КЛЛ может быть достаточно большой.

Чтобы приблизиться к размерам нормальных осветительных ЛН, прямую разрядную трубку (канал) многократно изгибают или свивают в спираль. По внешнему виду получается лампа с двумя, четырьмя, шестью и т.д. линейными участками. Для простоты изложения такие КЛЛ называются в тексте двухканальными, четырехканальными, шестиканальными и т.д.

Концы трубок с вваренными в них катодными узлами закрепляются в пластмассовом цоколе той или иной конструкции.

Разнообразие цоколей объясняется конструктивными особенностями ламп и возможностью использования того или иного типа КЛЛ с электромагнитным или электронным ПРА.

Процесс миниатюризации ЛЛ показан на рис. 3.49, а соответствие мощностей и сроков службы КЛЛ и ЛН — на рис. 3.50. На рис. 3.51 показана КЛЛ со встроенным ПРА и резьбовым цоколем в разобранном виде.

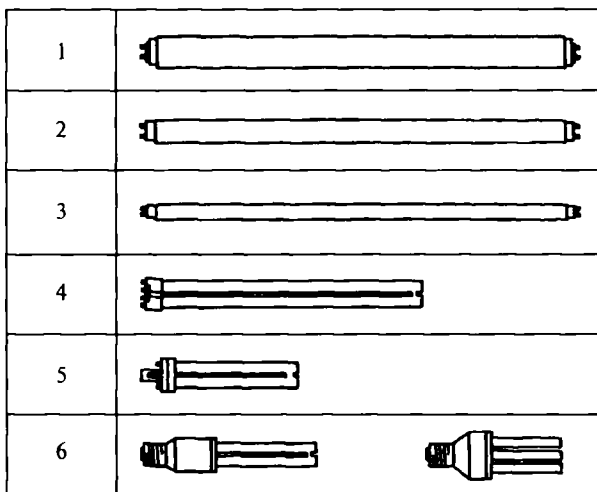


Рис. 3.49. Миниатюризация ЛЛ за период с 70-х до середины 90-х годов прошлого века: 1 — линейные ЛЛ диаметром 38 мм; 2 — линейные ЛЛ диаметром 26 мм; 3 — линейные ЛЛ диаметром 16 мм; 4 — КЛЛ двухканальные с вынесенным стартером и автономным ПРА; 5 — КЛЛ со встроенным стартером и автономным ПРА; 6 — КЛЛ со встроенным ЭПРА и резьбовым цоколем

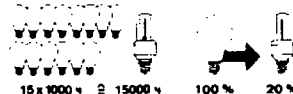
Компактные ЛЛ выпускаются с хорошей и отличной цветопередачей. Параметры ламп приведены в табл. 3.18. Кроме белых КЛЛ с различной $T_{ц}$, выпускаются цветные и УФ лампы. Одни из них предназначены для медицинских целей, другие для фотополимеризации пластмасс, клеев и т.п.

Можно считать, что в настоящий момент номенклатура КЛЛ в основном стабилизировалась, хотя и продолжает расширяться:

— КЛЛ с выносным ПРА и специальными цоколями (группа А) предназначены для использования в разработанных для них светильниках (табл. 3.27);

Лампа накаливания **КЛЛ**

15 Вт	→	3 Вт
25 Вт	→	5 Вт
40 Вт	→	7 Вт
60 Вт	→	11 Вт
75 Вт	→	15 Вт
100 Вт	→	20 Вт
120 Вт	→	23 Вт



Срок службы **Расход электроэнергии**

Рис. 3.50. Соотношение мощностей КЛЛ и ЛН




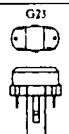


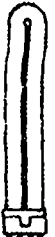

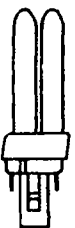
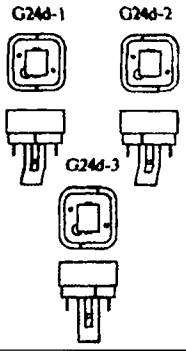
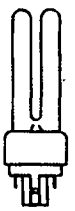
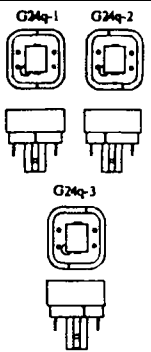
Рис. 3.51. Структура КЛЛ

— КЛЛ со встроенным ПРА и резьбовыми (байонетными) цоколями (группа Б) предназначены для прямой замены ЛН (табл. 3.28).


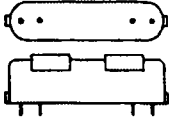

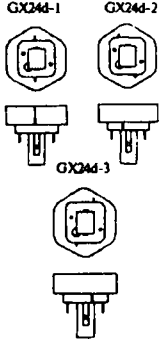

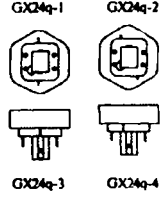
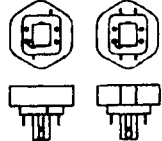
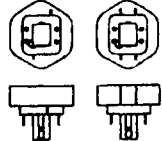

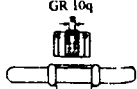

Лампы группы А отличаются не только числом и позицией контактных штырей, но и взаимным расположением внешних фиксирующих ребер, являющихся механическим «кодом» для данного типа КЛЛ, не позволяющим установить ее в патрон светильника, оснащенного ПРА для ламп другого типа.

Номенклатура компактных люминесцентных ламп с выносными ПРА и специальными цоколями

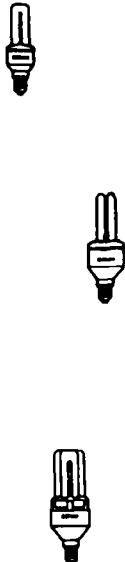
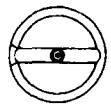
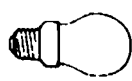

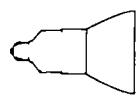
А. КЛЛ со штифтовыми цоколями для схем включения с выносными ПРА

Схематическое изображение лампы и обозначение по ILCOS	Тип, изготовитель	Р, Вт	Ф, лм	Длина, мм	Цоколь
	A1. Двухканальные КЛЛ с двухштифтовым цоколем, встроенным в него стартером и выносным ПРА				
	Dulux-S (Osram)	5	250	105-108	
	PL-S/2p (Philips)	7	400	135-137	
	Biax-S (GE-Lighting)	9	600	165-167	
	Lynx-S (Sylvania)	11	900	233-238	
КЛ (Лисма)					
FSD					
	A2. Двухканальные КЛЛ с четырехштифтовым цоколем и выносным ЭПРА				
	Dulux-S/E (Osram)	5	250	85-90	
	PL-S/4p (Philips)	7	400	113-120	
	Biax-S/E (GE-Lighting)	9	600	145-152	
	Lynx-S/E (Sylvania)	11	900	213-220	
КЛ (Лисма)					
FSH					
	A3. Двухканальные КЛЛ с четырехштифтовым цоколем и выносным ПРА				
	Dulux-L (Osram)	18	1200	225-227	
		24	1800	320-322	
	PL-L/4p (Philips)	36	2900	415-417	
	Biax-L/E (GE-Lighting)	40	3500	535-542	
	Lynx-L/E (Sylvania)	55	4800	535-542	
	КЛ (Лисма)	80	6000	565-472	
Dulux-L SP (Osram)	18	1200	209		
для наружного освещения	24	1800	309		
FSD					
	A4. Четырехканальные КЛЛ с двухштифтовым цоколем, встроенным в него стартером и выносным ПРА				
	Dulux-D (Osram)	10	600	109-118	
	PL-C/2p (Philips)	13	900	134-140	
	Biax-D (GE-Lighting)	18	1200	152-154	
	Lynx-D (Sylvania)	26	1800	172-182	
FSQ					
	A5. Четырехканальные КЛЛ с четырехштифтовым цоколем и выносным ЭПРА				
	Dulux-D/E (Osram)	10	600	101-110	
	PL-C/4p (Philips)	13	900	126-132	
	Biax-D/E (GE-Lighting)	18	1200	144-146	
	Lynx-DE (Sylvania)	26	1800	165-174	
FSH					

А. КЛЛ со штифтовыми цоколями для схем включения с выносными ПРА

Схематическое изображение лампы и обозначение по ILCOS	Тип, изготовитель	P, Вт	Ф, лм	Длина, мм	Цоколь
 FSQ	А6. Четырехканальные КЛЛ панельного типа с четырехштифтовым цоколем и выносным ПРА				
	Dulux-F (Osram) Lynx-F (Sylvania)	18 24 36	1100 1700 2800	122 × 90 165 × 90 217 × 90	
 FSM	А7. Шестиканальные КЛЛ с двухштифтовым цоколем, встроенным в него стартером и выносным ПРА				
	Dulux-T (Osram) PL-T/2p (Philips) Biax-T/2p (GE-Lighting) Lynx-T (Sylvania)	13 18 26	900 1200 1800	113-116 120-126 134-139	
 FSH	А8. Шестиканальные КЛЛ с четырехштифтовым цоколем и выносным ЭПРА				
	Dulux-T/E (Osram) PL-T/4p (Philips) Biax-T/E/4p (GE-Lighting) Lynx-T/E (Sylvania)	13 18 26 42	900 1200 1800 3200	106-116 114-126 127-139 142-153 154-168	
	Biax Q/E (GE-Lighting) Dulux T/E (Osram)	57 70	4300 5200	179-181 209-219	
	PL-H/4p (Philips) (цоколь 2G8) Dulux (Osram) (цоколь 2G8)	60 85 120 120	4000 6000 9000 9000	182 223 300 230	
	А9. Плоская квадратная КЛЛ с четырехштифтовым цоколем и выносным ПРА				
	Biax 2D/E (GE-Lighting) CFL SQUARE-4Pin (Osram) PL-Q Pro (Philips)	10 16 21 28 38	650 1050 1350 2050 2800	92 × 92 140 × 140 140 × 140 205 × 205 205 × 205	 GRY 10q-3 GRY 10q-3
	Со встроенным ПРА				
	Biax 2D Lamp (GE-Lighting)	18 30	1150 2050	142 × 142 207 × 207	GRZ 10d GRZ 10t
	А10. Плоская квадратная КЛЛ с двухштифтовым цоколем и выносным ПРА				
Biax-2D (GE-Lighting) CFL SQUARE-2Pin (Osram) PL-Q Pro (Philips)	16 28	1050 2050-2250	140 × 140 205 × 205		

КЛЛ со встроенным ЭПРА и резьбовым цоколем

Схематическое изображение ламп, обозначение по ILCOS	Особенности конструкции	P _л , Вт	Ф, лм (сила света, кд)	Длина, мм	Цоколь	Обозначение ламп в каталогах фирм	Примечание
	без внешней оболочки, двух-, четырех-, шестикапальцевые	3	100	115	E 14	Dulux EI. I.I. (Osram) PLE-C (Philips) Electronic Biax (GE-Lighting) Mini-Lynx (Sylvania) КЛЭ (Лисма)	* — длина лампы фирмы Лисма
		5	200 240	121-129			
		7	400	129-136			
		9	480	115-136			
		11	600 630	126-137			
		5	200-240	121 124	E 27		
		7	400	131-138			
		9	480	115 136			
		11	600 630	117-138 (143*)			
		15	900	128-167 (180*)			
	в том числе: с возможностью регулирования светового потока с фотозлементом и потенциометром	20	1200	153	E 27	Dulux EI. VARIO (Osram) Dulux EI. Sensor Plus (Osram) Mini-Lynx Autom (Sylvania)	Уменьшение светового потока более чем на 50% с помощью выключения и повторного включения в течение 3 с Автоматическое включение в темноте и выключение при дневном свете
		23	1500	173			
		11	600	138	E 27		
		15	900	140 167			
		FB					
	кольцевая	24	1700	225*	E 27	CIRCOLUX FL (Osram)	* — наружный диаметр лампы
	с внешней оболочкой по форме ЛН	3	60	112	E 14	Dulux EI. CI. B (Osram) Mini-Lynx Ambience (Sylvania) Electronic Biax-GI.S. Candle (GE-Lighting)	
		5	125-140	112 131			
		7	200 280	125-131			
		9	380	126-138			
		5	150	111			
	7	320 350	111-140				
	10-11	500	123-140				
	15	750 800	142-145				
	20	980-1160	152 158				
		со сферической внешней оболочкой	9	380	126		
11			700-800	126			
15			1000-110	145-169			
20			0	165-190			
23			1200-135 0	180			
	с зеркальным отражателем	11 15 20	280 750 (335) (450)	123 133-143 161-163	E 27, B 22	Dulux EI. REFI. (Osram) PI.*E/C, T (Philips) Electronic Biax-R63, R95 (GE-Lighting)	
FB							

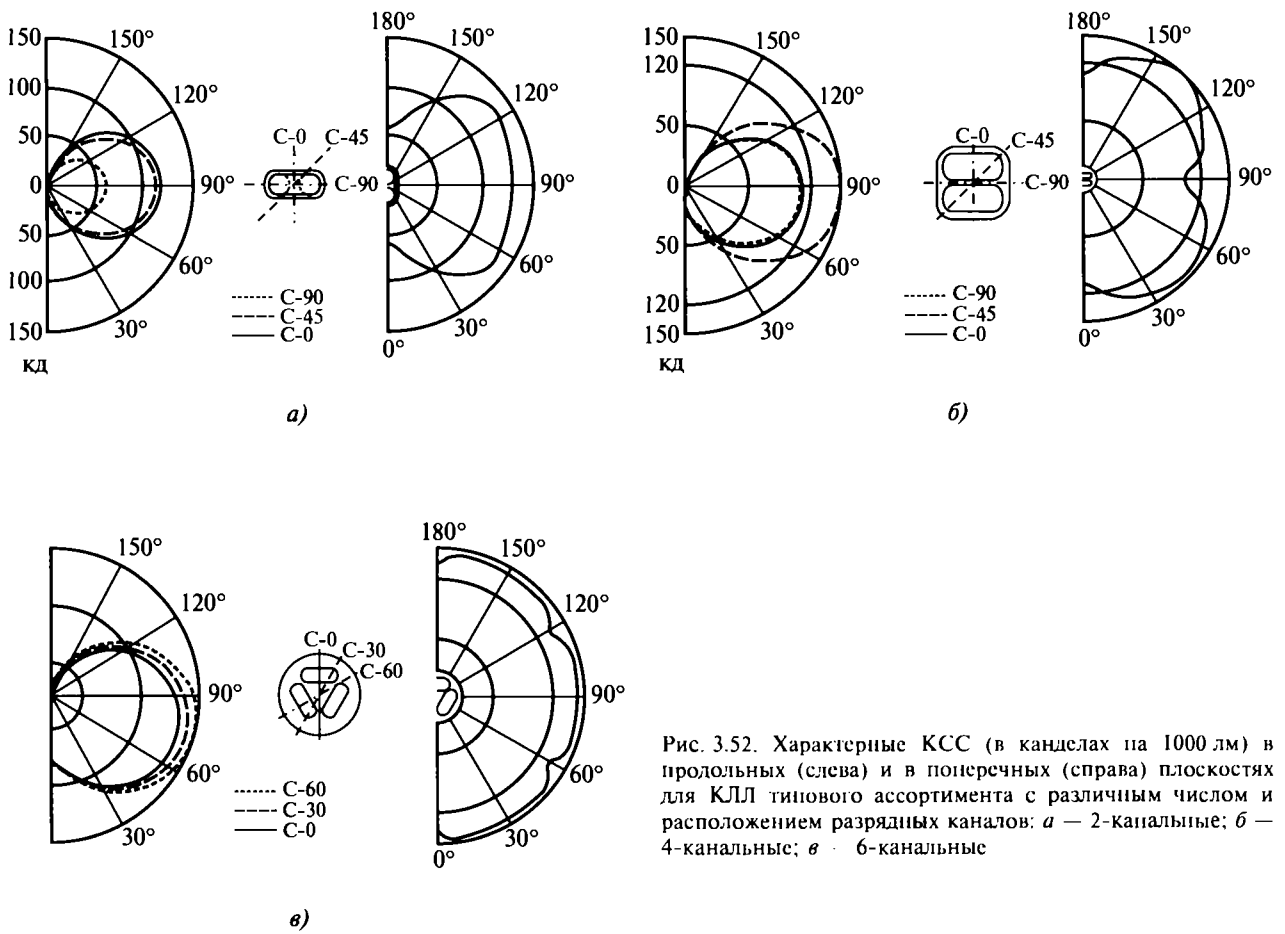


Рис. 3.52. Характерные КСС (в канделях на 1000 лм) в продольных (слева) и в поперечных (справа) плоскостях для КЛЛ типового ассортимента с различным числом и расположением разрядных каналов: а — 2-канальные; б — 4-канальные; в — 6-канальные

По последним данным, фирма Megatap (Германия) освоила производство «сверхмощных» КЛЛ мощностью 120, 200 и 320 Вт со встроенным ЭПРА, световой отдачей 72 лм/Вт и длиной соответственно 245, 298 и 298 мм.

Срок службы КЛЛ колеблется от 8000 до 15000 тыс. ч (лампы серии Long-Life).

На рис. 3.52 показаны характерные кривые силы света КЛЛ с разным числом каналов. Продольные кривые представлены в трех наиболее важных для расчетов плоскостях: С — 0°, С — 45° и С — 90°. Из рассмотрения КСС в поперечной плоскости видно, как повышается их равномерность с увеличением количества разрядных каналов.

На рис. 3.53 показаны внешний вид и КСС восьмиканальной ЛЛ.

Число параллельных каналов разрядной трубки КЛЛ, очевидно, имеет предел, ограниченный конструктивными и технологическими возможностями: повышение количества каналов более 8 при диаметре трубок 12–17 мм вызывает недопустимое увеличение поперечного размера лампы в прицокольной зоне. При этом уже имеются образцы 16-канальных КЛЛ с диаметром трубки 9 мм.

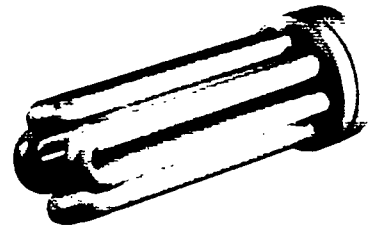


Рис. 3.53. Восьмиканальная амальгамная КЛЛ: а — общий вид; б — КСС в поперечной плоскости

Одним из направлений миниатюризации КЛЛ, предназначенных для прямой замены ЛН, является разработка так называемых спиральных ламп (рис. 3.54). По форме КСС в двух основных плоскостях эти лампы максимально приближаются к ЛН. Из-за уменьшенной длины такие КЛЛ вписываются в габариты существующих бытовых светильников различного назначения.



Рис. 3.54. Спиральные КЛЛ

Прямая замена ЛН на КЛЛ позволяет получить экономию электроэнергии до 80% (см. раздел 19).

Фирма Sylvania выпускает лампы типа Micro-Lynx F мощностью 7 Вт в форме диска (рис. 3.55) диаметром 75,2 мм. Световой поток 220 лм, средний срок службы 6000 ч.



Распределение силы света

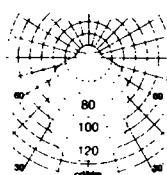


Рис. 3.55. Плоская круглая КЛЛ

Эти лампы являются альтернативой галогенным и обычным ЛН благодаря компактности, низкой температуре поверхности и высокой экономичности. Они могут быть широко использованы для подсветки мебели, витрин, тротуаров, лестниц и т.п.

Амальгамные КЛЛ излучают более 90% максимального светового потока в очень широком диапазоне окружающей температуры, что обеспечивает высокую эффективность при применении их в закрытых светильниках и меньшую зависимость световой отдачи от положения горения лампы.

Особенности эксплуатации КЛЛ. Компактные ЛЛ значительно более критичны к температуре окружающего воздуха ($t_{окр}$), чем обычные линейные ЛЛ. Максимум $\Phi_{д}$ у КЛЛ обычно соответствует $t_{окр} = +(15 - 25)^{\circ}\text{C}$ (в зависимости от типа и положения горения) и устанавливается за 1,5–2 мин. с момента включения; у амальгамных КЛЛ процесс разгорания несколько замедлен.

Значения $t_{окр}$ для открытой КЛЛ (вне светильника) равно температуре воздуха в помещении; при эксплуа-

тации лампы в светильнике $t_{окр}$ может отличаться от t в помещении на $15-20^{\circ}\text{C}$ в большую сторону. Работа КЛЛ принципиально возможна в любом положении горения (вертикальном, горизонтальном, наклонном), но при этом нужно всегда учитывать температурную зависимость $\Phi_{д}$ в конкретной позиции эксплуатации. Такая чувствительность $\Phi_{д}$ к указанным параметрам обусловлена у КЛЛ изменением положения и температуры «холодной» точки ($t_{хт}$), определяющей давление паров ртути и, соответственно, выход $\Phi_{д}$ (см. рис. 3.56, 3.57).

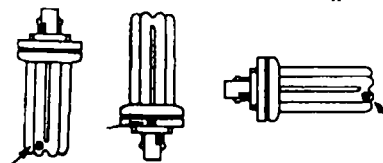


Рис. 3.56. Изменение положения «холодной» точки КЛЛ при различных положениях

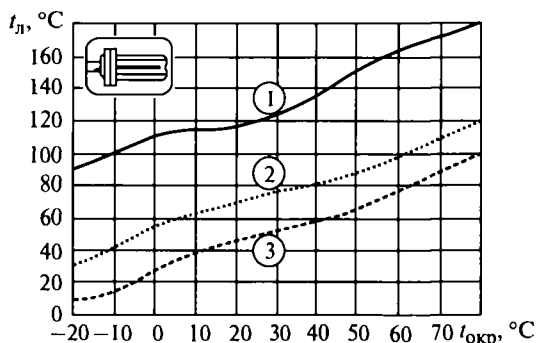
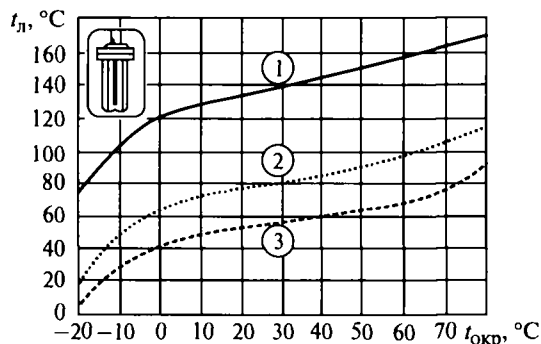
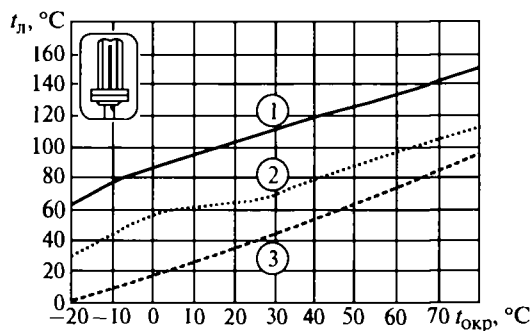


Рис. 3.57. Зависимость температуры в контрольных точках 6-канальных ламп от окружающей температуры при различных положениях эксплуатации: 1 -- зона электродов; 2 — середина колбы; 3 — цоколь

3.3.3. Ртутные лампы высокого и сверхвысокого давления

Ртутные лампы высокого и сверхвысокого давления являются самой распространенной и многочисленной группой ИС среди РЛ этого типа [3.2, 3.26, 3.27]. Это связано с тем, что при помощи ртутного разряда удастся создавать весьма эффективные источники в УФ, видимой и близкой ИК областях спектра, различной мощности, достаточно компактные, со сроком службы в десятки тысяч часов, обладающие при необходимости весьма высокими яркостями.

Классификация РЛВД и РЛСВД, приводимая ниже, основана на конструктивных признаках: 1) РЛВД, 2) РЛВД с исправленной цветностью (ДРЛ), 3) трубчатые РЛСВД с естественным охлаждением, 4) капиллярные РЛСВД с принудительным (воздушным или водяным) охлаждением и 5) шаровые или короткодуговые РЛСВД с естественным охлаждением.

Ртутные лампы высокого давления представляют собой трубку, большей частью из кварцевого стекла, по концам которой впаены активированные самокалящиеся вольфрамовые электроды (см. рис. 3.31). Внутри трубки после тщательного обезгаживания вводится строго дозированное количество ртути и спектрально чистый аргон при давлении 1,5–3 кПа. Аргон служит для облегчения зажигания разряда и защиты электродов от распыления в начальной стадии разгорания лампы, так как при комнатной температуре давление паров ртути очень низкое (около 1 Па). В отдельных типах ламп кварцевая разрядная трубка помещается во внешнюю колбу. Лампы включают в сеть с соответствующими ПРА по схемам, приведенным для каждого типа РЛВД в разд. 4.

После зажигания дугового разряда происходит нагревание разрядной трубки и испарение ртути. Давление ее паров повышается, вместе с тем изменяются все характеристики разряда: растут напряжение на лампе и мощность, разряд стягивается в яркий светящийся шнур по оси трубки, растут поток излучения и КПД. Этот процесс продолжается в течение 5–7 мин., пока не испарится вся ртуть, после чего все характеристики стабилизируются. Изменение характеристик в процессе разгорания показано на рис. 3.58.

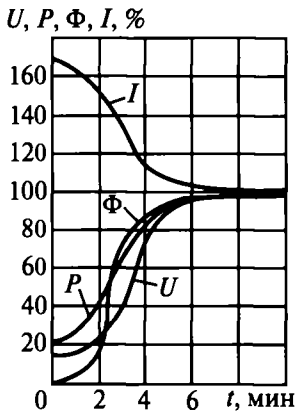


Рис. 3.58. Типичные кривые разгорания РЛВД

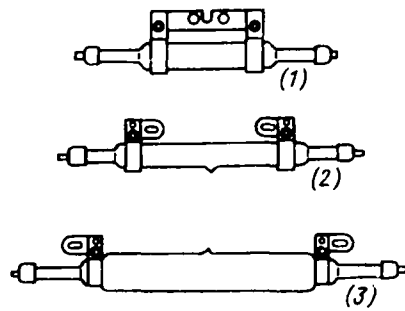


Рис. 3.59. Общий вид РЛВД:
1 — ДРТ230;
2 — ДРТ400;
3 — ДРТ1000

Общий вид ламп показан на рис. 3.59. **Обозначение наиболее распространенного типа РЛВД** — ДРТ (дугоразрядная, ртутная, трубчатая). Световая отдача РЛВД 45–55 лм/Вт. В табл. 3.29 приведено спектральное распределение потока излучения ламп типа ДРТ, на рис. 3.60 — относительное распределение яркости разряда. Баланс энергии РЛВД мощностью 400 Вт приведен ниже.

Таблица 3.29

Относительное распределение потока излучения в спектре РЛВД типов ДРТ230, ДРТ400, ДРТ1000 и СВД120а

Длина волны спектральной линии, нм	Поток излучения линии, %, для	
	ДРТ230, ДРТ400, ДРТ1000	СВД120а
248,2	10,5	13,7
253,7	26,1	11,0
265,2	23,4	24,2
270,0	4,1	9,7
275,3	3,2	
280,0	10,3	9,5
289,4	5,0	6,8
296,7	14,3	16,8
302,2/2,6	31,2	30,5
312,6/3,2	68,0	63,2
334,1	6,6	10,0
365,0/6,3	100,0	100,0
404,7/7,8	35,9	44,7
435,8	62,4	71,0
546,1	71,8	91,6
577,9	70,4	67,4

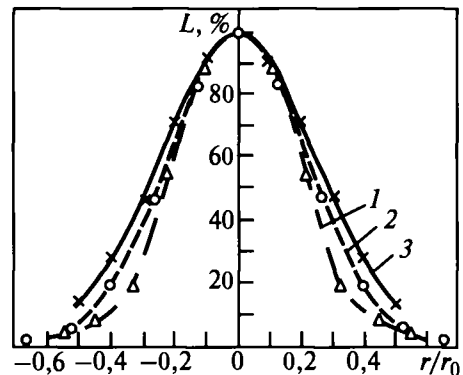


Рис. 3.60. Относительное распределение яркости разряда в поперечном направлении для ртутных трубчатых ламп высокого давления: 1 — лампа 250 Вт; 2 — УФ нормаль, линия 546 нм; 3 — лампа 400 Вт

Температура окружающей среды и условия охлаждения оказывают существенное влияние на характеристики РЛВД, работающих без внешней колбы. Понижение температуры может привести к конденсации ртути и значительному снижению напряжения на РЛВД, ее мощности и потока излучения. При повышении температуры сокращается срок службы за счет потемнения и соляризации кварцевого стекла.

Лампы ДРТ — эффективные источники УФ излучения — применяются в медицине, сельском хозяйстве, измерительной технике (для люминесцентного анализа) и в других областях. Лампы специальных типов применяются в светокопировальных аппаратах. Лампы не применяются для освещения из-за плохой цветопередачи.

Ртуть-кварцевые лампы ВД с улучшенной цветопередачей. Лампы типа ДРЛ [3.2, 3.26, 3.27]. Условное обозначение ламп: Д — дуговая, Р — ртутная, Л — люминесцентная. Цифры после букв соответствуют мощности лампы в ваттах, далее в скобках — «красное отношение», %, цифра через дефис — номер разработки.

Принцип действия основан на преобразовании УФ излучения ртутного разряда высокого давления, составляющего около 40% всего потока излучения, при помощи люминофора в недостающее излучение в красной части спектра. Качество исправления цветопередачи ламп типа ДРЛ определяется относительным содержанием красного излучения — отношением светового потока в красной области спектра (600–780 нм) к общему световому потоку лампы («красное отношение»).

Лампы типа ДРЛ представляют собой ртутную горелку в виде трубки из прозрачного кварцевого стекла, смонтированную в колбе из тугоплавкого стекла. Внутренняя поверхность внешней колбы покрыта тонким слоем порошкообразного люминофора. Колба снабжена резьбовым цоколем. Схематический вид лампы дан на рис. 3.61.

Лампы типа ДРЛ выпускают с горелками, имеющими кроме двух основных электродов еще один или два (так называемых зажигающих) электрода, служащих для облегчения зажигания разряда. Лампы включают в сеть через дроссель. Схемы включения приведены в разд. 4.

В качестве люминофоров применяют, главным образом, фосфат-ванадат иттрия, активированный европием, дающий несколько узких полос излучения в красной части спектра с максимумом излучения около 619 нм. Оптимальный выход излучения наблюдается при температуре люминофора 250–300°C. Исходя из этого, выбирают форму и размеры внешней колбы. При использовании этого люминофора «красное отношение» может достигать 12–15%. Для повышения световой отдачи ламп и удешевления люминофорного покрытия наносят смесь из фосфат-ванадата иттрия с более дешевыми фосфатными люминофорами, имеющими полосу излучения в оранжево-красной части спектра с максимумом около 590 нм. В этом случае «красное отношение» снижается до 7–8%. Спектр излучения ламп типа ДРЛ показан на рис. 3.62. Реже применяют в качестве люминофора фторогерманат магния с макси-

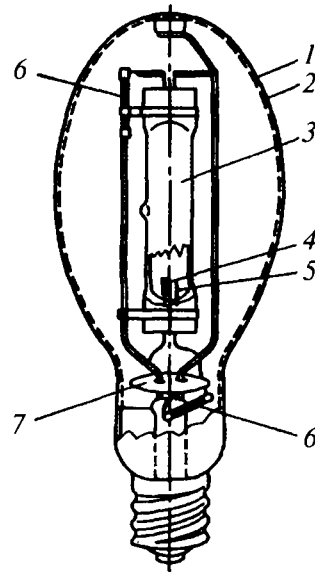


Рис. 3.61. Лампа типа ДРЛ мощностью 400 Вт (частично в разрезе): 1 — внешняя стеклянная колба; 2 — слой люминофора; 3 — разрядная трубка из прозрачного кварцевого стекла; 4 — рабочий электрод; 5 — зажигающий электрод; 6 — ограничительные резисторы в цепи зажигающих электродов; 7 — экран (конструкция ламп другой мощности аналогична)

мумом излучения около 650 нм, дающий меньшую световую отдачу и «красное отношение» 6–8%. Хотя качество цветопередачи ламп типа ДРЛ улучшено по сравнению с чисто ртутным разрядом, оно намного хуже, чем, например, у ЛЛ.

Лампы мощностью 80–1000 Вт выпускают трех модификаций — с «красным отношением» 6, 10 и 12–15%, с одинаковыми электрическими и геометрическими параметрами каждой мощности. У этих ламп $R_a = 42$, координаты цветности $x = 0,39$, $y = 0,40$.

Баланс энергии горелки лампы типа ДРЛ400: потери на электродах 30 Вт, мощность столба 370 Вт, из них излучение разряда 192 Вт, в том числе УФ — 73, видимое — 59 и ИК — 60 Вт, тепловые потери 178 Вт. Баланс лампы в целом: видимое излучение 67 Вт, ИК излучение разряда 57 Вт, ИК (тепловое) излучение внешней колбы 203 Вт, конвекция и теплопроводность 73 Вт.

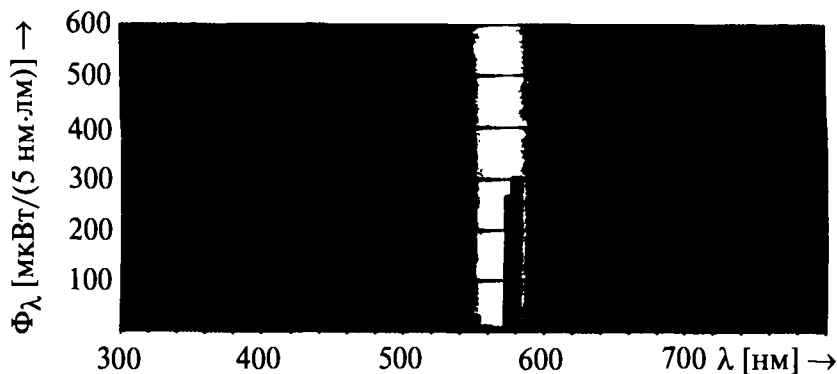


Рис. 3.62. Спектр излучения лампы типа ДРЛ мощностью 250 Вт

Положение горения допускается любое. Однако при горизонтальном положении дуга в горелке из-за конвекционных потоков слегка выгибается вверх, что приводит к небольшому снижению мощности и световой отдаче. Срок службы при этом из-за перегрева кварцевого стекла в верхней части горелки несколько снижается.

Рабочая температура центральной части внешней колбы — от 220 до 280°C. Температура на покое для ламп мощностью 80 и 125 Вт не должна превышать окружающую на 110°C, а для ламп 250–1000 Вт — на 150°C. Температура горелки достигает 700–750°C.

Температура окружающей среды $t_{окр}$ влияет на напряжение зажигания $U_з$. При отрицательных температурах давление паров ртути становится настолько малым, что зажигание разряда происходит в чистом аргоне и требуется более высокое напряжение, чем при наличии паров ртути. При $t_{окр} = 20 \div 40^\circ\text{C}$ $U_з$ должно быть не более 180 В; при $t_{окр} = -25^\circ\text{C}$ $U_з$ — не более 205 В; при $t_{окр} = -40^\circ\text{C}$ $U_з$ — не более 250 В для ламп 80–400 Вт и 300 В для ламп 700 и 1000 Вт. Для надежного зажигания лампы типа ДРЛ в условиях низких температур (ниже -30°C) необходимо применять ИЗУ (см. разд. 4) либо схемы с повышенным $U_{хх}$. Применение в современных лампах ДРЛ вновь разработанных синтерированных электролов позволило существенно снизить $U_з$, уменьшить спад $\Phi_{л}$ и несколько повысить $\eta_{л}$.

На рабочие характеристики ламп благодаря наличию внешних колб $t_{окр}$ оказывает незначительное влияние: при изменении $t_{окр}$ от $+20$ до -30°C $\Phi_{л}$ падает на 5%. Излишнее повышение $t_{окр}$, например, при работе в жарких цехах, в закрытых СП, вызывает перегрев внешней колбы и покоя, что в условиях повышенной влажности и вредных испарений ускоряет окисление и коррозию металлических деталей. (Возможен также отвал цоколя, если он прикреплен к колбе при помощи мастики.)

Напряжение сети U_c определяет рабочий режим лампы. При медленном изменении U_c в пределах $\pm(10-15)\%$ изменение светового потока рассчитывается из соотношения $\Delta\Phi_{л} / \Phi_{л} \cong 2,5\Delta U_c / U_c$, мощность $\Delta P_{л} / P_{л} \cong 2\Delta U_c / U_c$.

Пульсация светового потока происходит с двойной частотой сети. При работе в сети с частотой 50 Гц в

схеме со стандартным дросселем коэффициент пульсации лампы составляет 63–74%. При этой частоте (100 Гц) пульсации на глаз незаметны (см. разд. 7), но при наличии вращающихся деталей машин они могут вызвать опасный стробоскопический эффект. Пульсации суммарного потока могут быть уменьшены при включении лампы в разные фазы трехфазной сети.

Срок службы 12–20 тыс. ч. в процессе работы лампы происходит постепенное снижение светового потока и «красного отношения». На рис. 3.63 приведена усредненная кривая спада светового потока лампы типа ДРЛ, типичная для всех РЛВД. Скорость спада у маломощных (50–125 Вт) и мощных (1000–2000 Вт) ламп больше, чем у ламп мощностью 250 и 400 Вт. Срок службы уменьшается при увеличении числа включений.

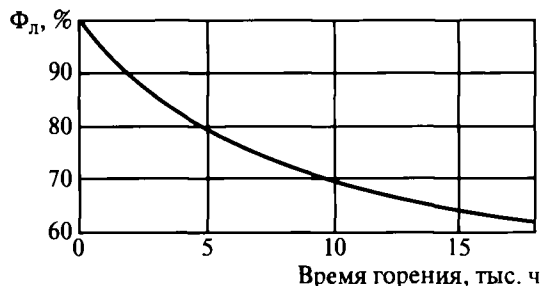


Рис. 3.63. Относительный спад светового потока лампы типа ДРЛ400 в процессе горения в схеме с индуктивным балластом

Основные области применения: НО, освещение промышленных предприятий высотой 3–5 м, не требующих высокого качества цветопередачи.

Обозначения ртутных ламп типа ДРЛ по международной системе ILCOS и по каталогам основных фирм-изготовителей приведены в табл. 3.30.

Основные параметры выпускаемых ламп типа ДРЛ с эллипсоидной внешней оболочкой, покрытой люминофором, представлены в табл. 3.31.

Обозначения лампы типа ДРЛ с различной цветопередачей производства основных фирм даны в табл. 3.32.

Обозначения ртутно-кварцевых ламп высокого давления с улучшенной цветопередачей

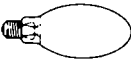
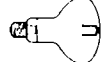
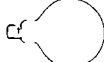
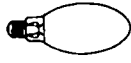

Вид лампы	Обозначение ламп по ILCOS	Поколы	Обозначения фирм-изготовителей				Примечание
			Philips	Osram	General Electric	Лисма	
	QE (в эллипсоидной колбе с люминофором)	E 27 E 40	HPL-N HPL* Comfort HPL* 4 Pro	HQL HQL* Super De Luxe HQL* De Luxe	H HDX*/	ДРЛ	* лампы с особо улучшенной цветопередачей
	QR (с внутренним отражающим слоем)	E 27 E 40	HPL-R	HQL R De Luxe	HR	ДРЛФ	
	QG (в сферической колбе с люминофором)	E 27 E 40	—	HQL B Super De Luxe			
	QV*** (со встроенным балластом в виде вольфрамовой спирали)	E 27 E 40	ML	HWL	HMLI	ДРВ ДРВ ЭД**	** лампы ртутно-вольфрамовые с эритемным излучением *** возможна прямая замена ЛН
	QBR (со встроенным балластом в виде вольфрамовой спирали и внутренним отражающим слоем)	E 27 E 40	MLR	HWL R DE Luxe	—	—	

Таблица 3.31

Основные параметры ламп типа ДРЛ с эллипсоидной внешней оболочкой, покрытой люминофором

Мощность лампы, Вт	Размеры, мм		Тип цоколя	Стандартные лампы $R_a = 40 + 59$, $T_{II} \sim 4000$ К	Лампы с улучшенной цветопередачей* $R_a = 40 + 59$, $T_{II} \leq 3300$ К	Лампы с особо улучшенной цветопередачей** $R_a = 60 + 69$, $T_{II} - 3300$ К, 4200 К
	Диаметр колбы, D	Длина лампы, L				
50	55–56	130	E 27	1800	1900–2000	1600–2000
80	70–71	156–166	E 27	3700–3800	3600–4000	3000–4000
125	75–76	170–178	E 27	5900–6300	6200–6700	5700–6800
250	90–91	226–228	E 40	12700–13000	13500–14200	—
400	120–122	290–292	E 40	22000–23500	24000–24200	—
700	140–152	330–357	E 40	38500–42000	—	—
1000	165–167	390–411	E 40	58000–59000	—	—

- * — красное отношение около 10%
 ** — красное отношение 12–15%

Таблица 3.32

Обозначения ламп типа ДРЛ с различной цветопередачей

Цветовая температура, К	Класс цветопередачи	Индекс цветопередачи	Osram	Philips	General Electric	Лисма
около 4000	2 В	60–69	HWL	ML	—	
	3	40–59	HQL	HPL 4 Pro HPL-N HPL-R ML	H HR HMLI	ДРЛ (6;10) ДРВ
≤3300	2 В	60–69	HQL Super De Luxe	MLR HPL 4 Pro	—	
	3	40–59	HQL De Luxe HQL R De Luxe	HPL Comfort	H NDX HR DX	ДРЛ (15)

Перспективы ДРЛ. В настоящее время ДРЛ еще остаются довольно широко распространенным источником света в уличных и промышленных ОУ. Однако мировая практика показывает, что доля производства ДРЛ в общей массе ИС высокой интенсивности постоянно снижается из-за малой световой отдачи и плохой цветопередачи, так же пропорционально снижается и спрос на них. ДРЛ все чаще заменяются на НЛВД или МГЛ.

Лампы ДРЛ за последние десятилетия предельно усовершенствованы, номенклатура четко определилась, и вряд ли можно ожидать заметного улучшения их характеристик.

Ртутно-вольфрамовые лампы [3.2] представляют собой РЛВД, в которых свечение разряда дополнено свечением вольфрамовой спирали. Ртутно-кварцевая горелка включается последовательно с вольфрамовой спиралью, выполняющей две функции: ограничительного (балластного) сопротивления для РЛВД, благодаря чему отпадает необходимость в специальном дросселе и дополнительном источнике излучения в красной части спектра; таким образом несколько исправляется цветопередача.

Ртутно-кварцевая горелка и вольфрамовая спираль монтируются на общей стеклянной ножке в общей стеклянной колбе. Лампы включаются непосредственно в сеть переменного тока напряжением 220 В без дросселя. В первые минуты после зажигания разряда практически все напряжение сети ложится на вольфрамовую спираль (напряжение на ртутной горелке при включении — около 20 В). По мере разогрева ртутной горелки напряжение на ней возрастает, а напряжение на вольфрамовой спирали уменьшается до рабочего значения. Световая отдача подобных ламп 18–20 лм/Вт, т.е. значительно ниже, чем у РЛВД, так как около половины мощности расходуется на нагрев вольфрамовой спирали. Световую отдачу можно повысить, если внутреннюю поверхность внешней колбы покрыть слоем люминофора, который преобразует УФ-излучение РЛВД в видимое излучение, обычно красное. В этом случае световая отдача достигает 26–28 лм/Вт при «красном отношении» 10–13%.

Особенно интересны для совместного облучения и освещения лампы типа ДРВЭ во внешних колбах из специального стекла, прозрачного для эритемного УФ излучения (до 280 нм), дающие излучение, близкое по своему действию к солнечному. В некоторых лампах этого типа внешние колбы выполняются специальной формы с зеркальным или диффузным покрытием (тип ДРВЭД), благодаря чему удается получить желаемое распределение потока излучения без дополнительной арматуры. Условное обозначение этих ламп: Д — дуговая, Р — ртутная, В — вольфрамовая, Э — эритемная, Д — диффузная. Цифры после букв — номинальная мощность в ваттах.

Основные типы ламп и их параметры. Общий вид специальной эритемной рефлекторной лампы типа ДРВЭ показан на рис. 3.64, а на рис. 3.65 приведены светораспределение и спектр излучения. Обычно лампы ДРВ имеют колбу эллипсоидной формы, покрытую

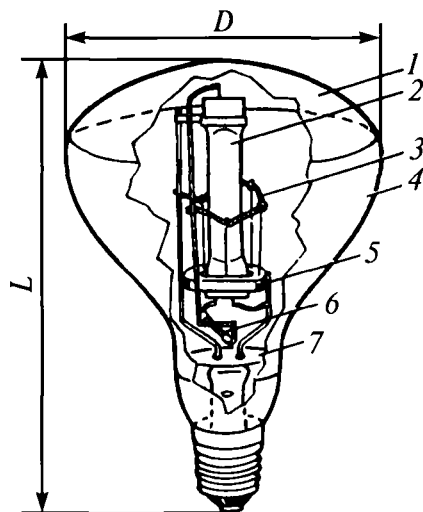


Рис. 3.64. Общий вид лампы типа ДРВЭ: 1 — внешняя стеклянная колба; 2 — разрядная трубка; 3 — вольфрамовая спираль; 4 — диффузно отражающее покрытие на внутренней стороне внешней колбы; 5 — керамическая дельта; 6 — ограничительное сопротивление; 7 — экран

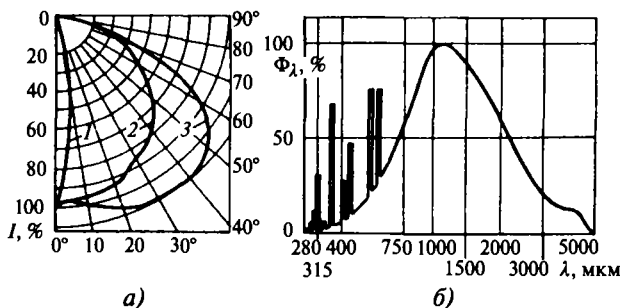


Рис. 3.65. Характеристики ртутно-вольфрамовых ламп: а — КСС (1 — зеркальная лампа; 2 — зеркальная, купол матирован; 3 — отражающее покрытие из окиси магния); б — спектр излучения

изнутри слоем люминофора, как у ламп ДРЛ. Мощности ламп: 160–500 Вт. Сроки службы 3–5 тыс. ч (по данным фирмы Philips 10–12 тыс. ч) и определяются в основном сроком службы вольфрамовой спирали. Особенно сильно сокращается срок службы в моменты разгорания лампы, т.к. в это время практически все напряжение сети приложено к вольфрамовой спирали и она работает в условиях перегрева.

Области применения ламп типов ДРВЭ и ДРВЭД — эритемное облучение людей и животных и одновременно общее освещение. Эти лампы, разработанные в 40-х годах XX века, были предназначены в основном для замены ламп накаливания. Однако, несмотря на ряд достоинств, в настоящее время они находят ограниченное применение только в сельском хозяйстве для облучения молодняка (ДРВЭ), т.к. пульсация светового потока у них весьма значительна (коэффициент пуль-

сации 70–90%), что объясняется наличием активного балласта. Обозначения этих ламп по ILCOS и каталогам зарубежных фирм даны в табл. 3.30 и 3.32.

Ртутные лампы сверхвысокого давления наиболее распространены в виде шаровых ртутных ламп типа ДРШ (рис. 3.66); реже применяются трубчатые лампы типа СВД. Капиллярные ртутные лампы с принудительным охлаждением в настоящее время промышленностью не выпускаются.

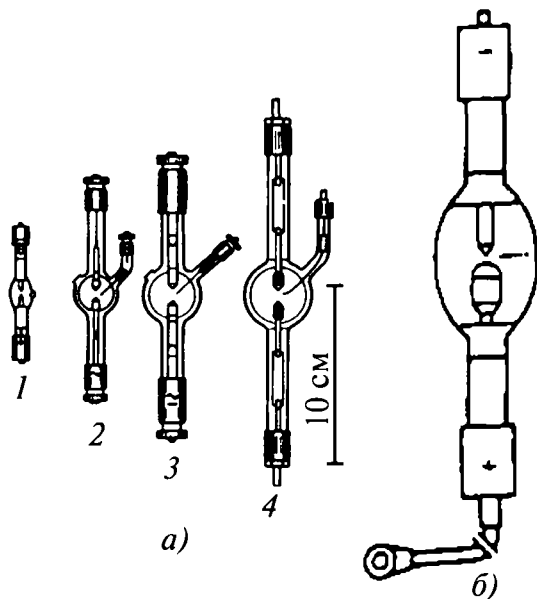


Рис. 3.66. Общий вид РЛ с РЛСВД: а — лампы типа ДРШ (1 — ДРШ100-3, 2 — ДРШ250, 3 — ДРШ500, 4 — ДРШ1000); б — лампа постоянного тока мощностью 2500 Вт с анодом внизу

Лампы типа ДРШ (Д — дуговая, Р — ртутная, Ш — шаровая, или короткодуговая, цифры после букв — мощность в ваттах, цифры после дефиса — номер разработки) отличаются высокой яркостью при довольно удобной для проекционной оптики веретенообразной или бочкообразной форме светящего тела. Они представляют собой толстостенную 2–3 мм колбу шаровой или близкой к ней формы из прозрачного кварцевого стекла, в которую с противоположных сторон впаяны два вольфрамовых электрода (см. рис. 3.66). Лампы мощностью до 500 Вт выпускаются для работы на переменном токе.

Лампы больших мощностей (от 1 кВт и больше) обычно рассчитаны для работы на постоянном токе в вертикальном положении (рис. 3.66). В лампах постоянного тока анод более массивный, чем катод, т.к. на аноде выделяется значительно большая энергия, чем на катоде. Для поддержания температуры внешнего вая на допустимом уровне (не выше 230°C) в лампах мощностью 750 Вт и выше применяют форсированное воздушное охлаждение анодного цоколя, что позволяет делать выводы более короткими. При естественном охлаждении выводы имеют сравнительно большую длину, с тем чтобы концы фольги и цоколи не перегрева-

лись. Катоды обычно активированы и для фиксации положения дуги имеют конусообразную форму. Расстояние между концами электродов 4–8 мм. Имеются специальные типы ламп с расстоянием 0,3–0,5 мм.

Высокие яркости РЛСВД с короткой дугой получаются за счет стягивания разряда у электродов в пятна высокой яркости малого размера. На рис. 3.67 приведено типичное распределение яркости для ламп типа ДРШ переменного тока в направлении, перпендикулярном оси разряда. Яркость свечения ламп на переменном токе в центре разряда составляет 150–200 Мкд/м². Яркость вблизи электродов достигает тысяч Мкд/м², но размеры этих областей весьма малы. В специальных лампах с очень малым расстоянием между электродами (0,3–2 мм) эти области используются для получения весьма высокой яркости (точечный источник высокой яркости, например, лампы типов ДРШ-100, ДРШ-200). С увеличением расстояния между электродами и уменьшением мощности яркость падает (рис. 3.68).

Спектр излучения (рис. 3.69) имеет линейчатый характер, но с более интенсивным, чем у РЛВД, непрерывным фоном, благодаря чему «красное отношение» достигает 4–6%. Вследствие сильного поглощения излучения в парах ртути излучение с длинами волн короче 280–290 нм практически отсутствует. Световая отдача РЛСВД 50–55 лм/Вт. С уменьшением расстояния

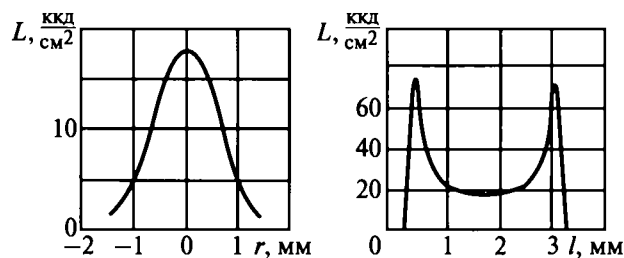


Рис. 3.67. Типичное распределение яркости в лампах ДРШ250 вдоль радиуса разрядного канала (r) и по оси (l)

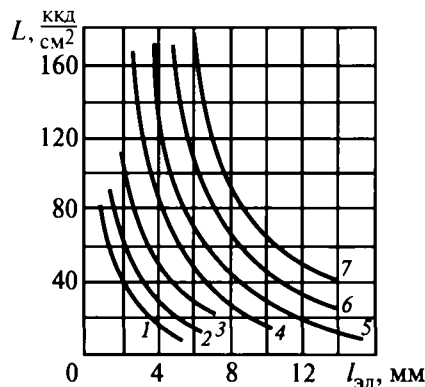


Рис. 3.68. Зависимость яркости в середине шнура разряда от расстояния между электродами $l_{эл}$ для ламп типа ДРШ различной мощности при $U_{эл} = 60 + 70$ В: 1 — 250; 2 — 500; 3 — 1000; 4 — 2500; 5 — 5000; 6 — 7500; 7 — 10000 Вт

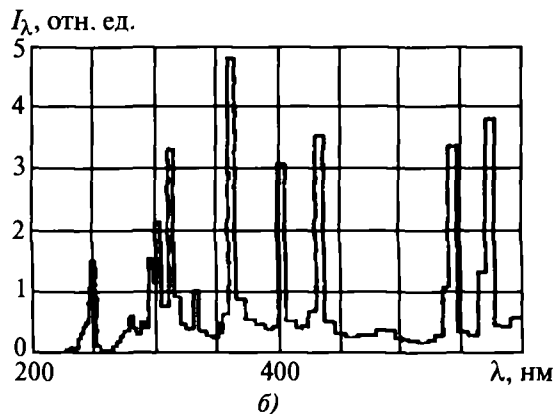
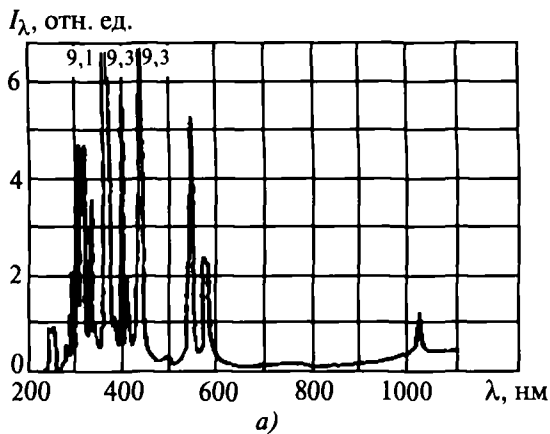


Рис. 3.69. Спектры излучения ламп типа ДРШ: *а* — лампа типа ДРШ100-3; *б* — ДРШ250-1000

между электродами она падает из-за увеличения доли околоэлектродных потерь и экранировки электродами.

Лампа включается в сеть только последовательно с балластом при работе на переменном токе с дросселем.

При работе на постоянном — через специальный блок, преобразующий переменный ток в постоянный (см. раздел 4). Лампы современного типа выпускаются без ЗЭ. Их зажигание осуществляется путем подачи на электроды высокочастотных импульсов высокого напряжения. Схемы включения и их параметры приведены в разд. 4.

Время разгорания составляет 2–5 мин. и определяется скоростью испарения ртути. Чем больше пачальный ток и меньше теплоотдача в период разгорания, тем меньше время разгорания. При этом пусковой ток не должен превышать допустимых пределов, указанных в паспорте лампы. После испарения всей ртути давление ее паров доходит до нескольких мегапаскалей, а температура колбы достигает 780–850°C.

Положение горения лампы выбирается с таким расчетом, чтобы не допустить перегрева электродов или колбы, и должно соответствовать указанному в инструкции по эксплуатации. Большинство ламп рассчитано на вертикальное положение горения. Некоторые типы ламп мощностью до 500 Вт допускают работу в

любом положении горения, но при этом снижается их срок службы.

Температура окружающей среды и условия охлаждения существенно влияют на параметры ламп типа ДРШ. При низких температурах и усиленном охлаждении может происходить конденсация ртути и резкое изменение всех параметров. Повышение температуры за счет излишнего утепления может вызвать опасный перегрев колбы, сопровождающийся кристаллизацией кварца и разрушением колбы, поэтому температурные условия эксплуатации ламп должны строго соблюдаться.

Сроки службы короткодуговых ртутных ламп СВД (типа ДРШ и др.) составляют от 50 до сотен часов и определяются спадом яркости из-за потемнения колбы и (или) нестабильности положения дуги, вызванной разрушением электродов. Срок службы и стабильность ламп постоянного тока выше, если колебания напряжения ограничены допустимыми пределами.

В настоящее время отечественная промышленность выпускает лампы ДРШ мощностью 250, 500 и 1000 Вт со световыми потоками соответственно 12,5; 22,5 и 53 клм. Тип цоколей у всех ламп — специальный. Зарубежные фирмы выпускают лампы этого типа от 50 до 3500 Вт (10–12 мощностей и около 30 типоразмеров).

Меры предосторожности должны быть приняты для защиты обслуживающего персонала от облучения мощным УФ излучением, а также от горячих осколков кварцевого стекла в случае разрыва колбы (крайне редко). Лампы должны работать в закрытом металлическом кожухе.

Области применения — светолучевые осциллографы с прямой записью на фотобумагу (ДРШ100), фотолитография при производстве полупроводниковых приборов (ДРШ250 и ДРШ500), люминесцентный анализ и люминесцентная микроскопия, проекционные системы и другие случаи, когда требуются источники высокой яркости в видимой области спектра или в ближней и средней УФ областях. Малые размеры ламп позволяют эффективно использовать их в оптических системах, а большой ассортимент — выбирать наиболее подходящий тип для каждого применения.

3.3.4. Металлогалогенные лампы

Металлогалогенные лампы, появившиеся в начале 60-х гг. XX века, открыли новую страницу в развитии РЛ [3.27, 3.28]. Перспективы использования МГЛ определяются исключительно широкими возможностями варьирования спектрального распределения излучения — от практически однородного до непрерывного — при высоком КПД и высокой удельной мощности. Вместе с тем, при разработке МГЛ возник ряд проблем, связанных главным образом с зажиганием и нестабильностью параметров. По мере преодоления этих трудностей МГЛ получают все более широкое применение.

Устройство и принцип действия МГЛ основаны на том, что галогениды многих металлов испаряются легче, чем сами металлы, и не разрушают кварцевое стекло. Поэтому внутри разрядных колб МГЛ, кроме ртути и аргона, как в РЛВД, дополнительно вводятся различ-

тые химические элементы в виде их галогидных соединений (т.е. соединений с I, Br, Cl). После зажигания разряда, когда достигается рабочая температура колбы, галогениды металлов частично переходят в парообразное состояние. Попадая в центральную зону разряда с температурой в несколько тысяч К, молекулы галогенидов диссоциируют на галоген и металл. Атомы металла возбуждаются и излучают характерные для них спектры. Диффундируя за пределы разрядного канала и попадая в зону с более низкой температурой вблизи стенок колбы, они воссоединяются в галогениды, которые вновь испаряются. Этот замкнутый цикл обеспечивает два принципиальных преимущества: 1) в разряде создается достаточная концентрация атомов металлов, дающих требуемый спектр излучения, потому что при рабочей температуре кварцевой колбы 800–900°С давление паров галогенидов многих металлов значительно выше, чем самих металлов, таких как таллий, индий, скандий, диспрозий и др.; 2) появляется возможность вводить в разряд щелочные (натрий, литий, цезий) и другие агрессивные металлы (например, кадмий, цинк), которые в чистом виде вызывают весьма быстрое разрушение кварцевого стекла при температурах выше 300–400°С, а в виде галогенидов не вызывают такого разрушения.

Применение галогенидов резко увеличило число химических элементов, используемых для генерации излучения, и позволило создать МГЛ с весьма различными спектрами, особенно в случае использования смеси галогенидов. Несмотря на относительно малую концентрацию добавляемых металлов по сравнению с концентрацией ртути, значительная часть излучения разряда создается высвечиванием атомов добавок, что объясняется более низкими потенциалами возбуждения этих атомов. Ртутный пар играет роль буфера, обеспечивая высокую температуру в разряде, высокий градиент потенциала, малые тепловые потери и др. Металлы I и III основных групп таблицы Менделеева дают излучение, состоящее из отдельных спектральных линий, как, например, натрия (589 нм), таллий (535 нм), индий (435 и 410 нм). Другие металлы дают спектры, состоящие из весьма большого числа густо расположенных линий, заполняющих всю видимую область, как, например, скандий, иттрий, лантан и редкие земли (РЗМ). Галогениды олова дают непрерывные молекулярные спектры. Характер спектра в сильной мере зависит также от условий разряда, например, индий и некоторые другие металлы при высоком давлении дают непрерывные спектры излучения в широких областях длин волн [3.27, 3.28].

Для общего освещения в настоящее время наиболее широкое распространение получили МГЛ со следующими составами металлогалогенных добавок (кроме ртуть и зажигающего газа): 1) йодиды натрия, таллия и индия; 2) йодиды натрия, скандия и тория. На рис. 3.70 приведены спектры излучения МГЛ. Лампы имеют спектр, состоящий из отдельных линий ртути и линий добавок, расположенных в различных областях спектра, благодаря чему удается сочетать высокую световую отдачу с хорошим качеством цветопередачи (см. табл. 3.33).

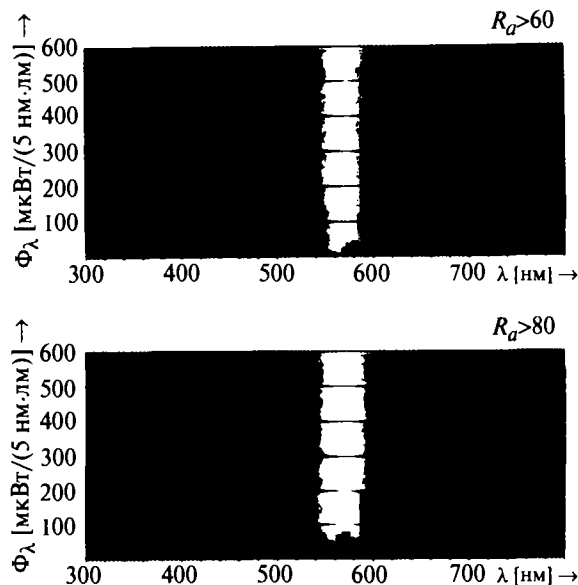


Рис. 3.70. Спектры излучения МГЛ

Таблица 3.33

Составы металлогалогенных добавок в МГЛ общего применения

Галогениды и их смеси	Световая отдача, лм/Вт	Индекс цветопередачи, R_a	Цветовая температура, $T_{ц}$, К
InI–TlI–NaI	80	65	4000
ScI ₃ NaI	100	65	4000
DyI ₃ –TlI	80	90	6000
DyI ₃ NdI ₃ CsI	86	90	6500
SnI ₂	50	92	5000
DyI ₃ –TmI ₃ –HoI ₃ –TlI–NaI	80	85	4200
InI TlI NaI–SnI ₂	67	80	2800
TmI ₃ –TlI–NaI	80	80	4000

Лампы с йодидами диспрозия и других редкоземельных металлов имеют спектр, настолько густо заполненный линиями, что он производит впечатление непрерывного во всей видимой области, благодаря чему достигается весьма высокое качество цветопередачи при высокой световой отдаче. На непрерывном фоне выделяются линии натрия и др. Добавки натрия и таллия повышают световую отдачу и стабилизируют разряд. Лампы с галогенидами олова излучают непрерывный спектр, обеспечивающий отличное качество цветопередачи ($R_a \geq 90$), но имеют сравнительно невысокую световую отдачу (50–60 лм/Вт).

Для повышения выхода излучения атомов металлов-добавок требуется более высокая рабочая температура колбы, чем у РЛВД или РЛСВД. У большинства МГЛ световая отдача и вообще КПД излучения возрастают с ростом рабочей температуры горелки, но при этом сокращается срок службы за счет более быстрой кристаллизации кварцевого стекла и пезелательных химических реакций с участием галогенов. (В МГЛ имеют место многочисленные химические реакции, которые определяют работу МГЛ и их долговечность.) Чтобы обеспечить необходимую температуру, разрядные колбы МГЛ делают меньшего размера по сравнению с колбами ртутных ламп той же мощности и напряжения. Обычно уменьшается расстояние между электродами и повышается давление паров ртути для сохранения тех же электрических параметров. В МГЛ с добавками йодидов натрия, таллия и индия минимальная температура горелки должна быть на 80–100°C выше, чем в лампах типа ДРЛ. В МГЛ с добавками йодидов скандия и натрия вследствие более низкого давления паров йодида скандия минимальная температура горелки должна быть еще выше. Еще более высокая температура горелок необходима, чтобы создать достаточное давление паров йодидов редкоземельных металлов (Dy, Ho, Tm и др.). Соответственно сроки службы МГЛ с добавками редких земель обычно ниже.

В МГЛ особо важное значение имеет равномерность температуры горелки. Горелкам придают сплюснутую форму, применяют различные способы утепления более холодного нижнего конца. Однако ясно, что из-за конвекции выровнять температуру по поверхности горелки можно только для определенного положения горения. Поэтому часто выпускают лампы нескольких модификаций, каждая из которых рассчитана на определенное положение горения.

Введение йодидов приводит к повышению напряжения зажигания разряда, в результате чего напряжение сети часто оказывается недостаточным даже при наличии зажигающих электродов. В настоящее время большинство МГЛ делается с двумя основными электродами (без зажигающих электродов), а для их зажигания используются специальные зажигающие устройства (см. разд. 4). Горелка с зажигающим электродом при работе располагают так, чтобы зажигающий электрод находился сверху, с тем чтобы избежать конденсации добавок в электродной части горелки. Кроме того, для предотвращения электролиза кварца между основным и зажигающим электродами во внешней колбе ставится биметаллическое реле, которое при работе лампы либо отключает зажигающий электрод, либо соединяет его с основным.

В МГЛ, содержащих йодид натрия, во время горения ионы натрия постепенно диффундируют через кварцевое стекло, оставляя в горелке избыток йода. В результате повышаются напряжения зажигания и перезажигания, а также появляется нестабильность разряда.

Вследствие более высокой рабочей температуры горелки и протекания различных химических реакций с участием галогенов, срок службы МГЛ меньше, а спад светового потока больше, чем у РЛВД. Однако благода-

ря исследованиям срок службы МГЛ возрос с 3–4 тыс. ч в 1966 г. до 10–12 тыс. ч и более в настоящее время. Исследования последних лет позволили у отдельных типов МГЛ повысить световую отдачу до 100–120 лм/Вт и увеличить срок службы. Существенными недостатками МГЛ, особенно с йодидами Na, Tl, In, остаются значительный разброс по цвету между отдельными лампами и сильная зависимость цветовых характеристик от положения горения, напряжения сети, окружающей температуры, типа СП (температуры лампы), разброса параметров ПРА и других причин.

Классификация МГЛ может проводиться по разным признакам. По применению различаются следующие основные группы ламп: 1) МГЛ общего назначения; 2) трубчатые и шаровые МГЛ с улучшенным качеством цветопередачи (например, для цветных телепередач и киносемак) и 3) МГЛ для многочисленных специальных применений, в основном технологических (см. разд. 16).

Металлогалогенные лампы для общего освещения типа ДРИ: Д — дуговая, Р — ртутная, И — с излучающими добавками, число — номинальная мощность в ваттах, цифры после дефиса — номер разработки или модификации. Лампы типа ДРИ по конструкции подобны лампам типа ДРЛ с одним зажигающим электродом или без него. В качестве внешней колбы обычно применяется стандартная внешняя колба лампы типа ДРЛ, но без люминофорного покрытия, или специальная колба цилиндрической формы (рис. 3.71). Иногда применяют стандартные колбы лампы типа ДРЛ с люминофорным покрытием, при этом резко снижается яркость светящего тела (например, с 700 до 11 кд/см² у МГЛ мощностью 400 Вт), а у ламп с натрий-скандиевым наполнением темного увеличивается излучение в оранжево-красной области и соответственно несколько снижается T_c . Эти лампы можно использовать в СП для ламп типа ДРЛ.

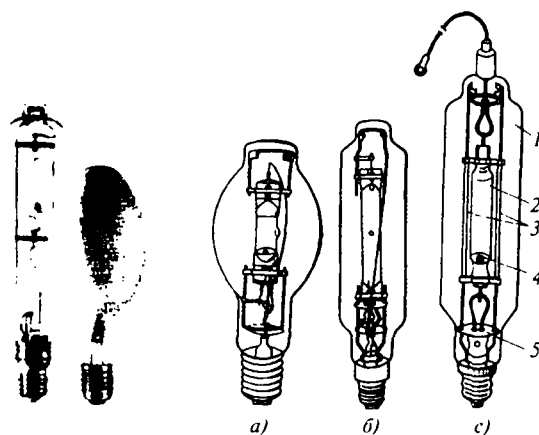


Рис. 3.71. Общий вид МГЛ для общего освещения: а — лампа 400 Вт в эллипсоидальной прозрачной колбе; б — лампа 2000 Вт в цилиндрической прозрачной колбе; в — линейная лампа мгновенного переза зажигания для цветного телевидения: 1 — внешняя стеклянная колба; 2 — разрядная трубка; 3 — traversы из изоляционного материала; 4 — электрод; 5 — экран

Положение горения значительно влияет на параметры ламп типа ДРИ, особенно с добавками йодидов Na, Ti, In. Это объясняется тем, что добавка йодида натрия вводится в избытке, поэтому при изменении положения горения меняются положение и температура холодной зоны, а вместе с ней давление паров йодида натрия. Обычно световой поток в горизонтальном положении на 15–18% ниже, чем в вертикальном; цветовая температура, наоборот, повышается. При изменении положения горения все параметры стабилизируются спустя несколько часов работы. Трубчатые лампы мощностью больше 1 кВт ввиду тяжелого теплового режима рассчитаны на одно определенное положение горения. Некоторые типы МГЛ выпускаются в нескольких модификациях, каждая из которых рассчитана на одно определенное положение горения, так как при этом удается оптимизировать тепловой режим горелки и повысить световую отдачу и срок службы МГЛ.

Температура окружающей среды влияет на параметры МГЛ типа ДРИ так же, как и в лампах типа ДРЛ.

При использовании ИЗУ повышение U_{Δ} с понижением $I_{окр}$ не влияет на зажигание, так как ИЗУ даст импульс напряжения с запасом (см. разд. 4).

Напряжение сети U_c оказывает на характеристики ламп типа ДРИ более сильное влияние, чем на ДРЛ. При медленных изменениях U_c в пределах $\pm(10-15)\%$ и работе со стандартным дросселем световой поток МГЛ меняется в отношении $\Delta\Phi_{л} / \Phi_{л} \approx 2,5\Delta U_c / U_c$, мощность $\Delta P_{л} / P_{л} \approx 2,2\Delta U_c / U_c$. С ростом U_c T_{II} падает.

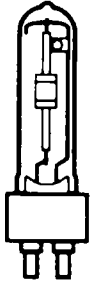
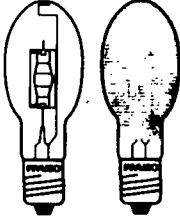
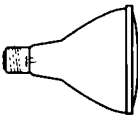
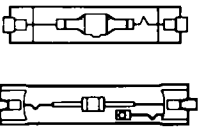
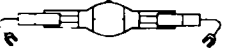
Пульсация светового потока в МГЛ типа ДРИ существенно ниже, чем в лампах типа ДРЛ, и составляет около 30%. В течение периода несколько меняется цвет излучения, что связано с различной глубиной пульсации излучения разных спектральных линий [3.26].

Срок службы ламп типа ДРИ составляет 7500–12000 ч. Спад светового потока больше, чем у ДРЛ.

Обозначения МГЛ для общего освещения по системе ILCOS и каталогам фирм-изготовителей приведены в табл. 3.34.

Таблица 3.34

Обозначения металлогалогенных ламп

Вид лампы	Обозначение ламп по ILCOS	Цоколь	Условные обозначения фирм-изготовителей			
			Philips	Osram	General Electric	Лисма
	МГ (в прозрачной цилиндрической колбе)	F 40	HPI-T Plus HPI-T Pro	HQ1-T 1HQ1-T/1	ARC/Г KRC/Г	ДРИ
		G 12		HQ1-T	ARC/Г	—
	МГ с керамической горелкой (в прозрачной цилиндрической колбе)	E 27, E 40	City CDM-TT	HCI-TT	СМН/Г	—
		G 12	CDM-T	HCI-T	СМН/Г/UVC	—
		PG 12-2 PGX 12-2	CDM-TP	—	—	—
G 8.5	CDM-TC		СМН/TC/UVC			
	МЕ (в эллипсоидной колбе с люминофором)	E 27, E 40	HPI Plus	HQ1-E	KRC/D ARC/D	
	МЕ с керамической горелкой (в эллипсоидной колбе с люминофором)	E 27, E 40	CDM-ET	HCI-E/P	СМН/E	—
	МС (в бесцветной эллипсоидной колбе)	F 27, F 40		HQ1-E	СМН/E (кер. г.) ARC/E KRC/E	ДРИ
	MR (с внутренним отражающим слоем)	E 40, штекер	—	HQ1-R		ДРИЗ
	MR с керамической горелкой (с внутренним отражающим слоем)	E 27, G 38	CDM-R PAR	HCI-PAR	СМН/PAR20 СМН/PAR30	
	MD (двухцокольная («софитная») во внешней оболочке)	Rx7s, Fc 2	MHN-TD Pro	HQ1-TS	ARC/TD ARC/UVC/TD	ДРИ-Сф («Рефлакс»)
	MD с керамической горелкой (двухцокольная («софитная») во внешней оболочке)	Rx7s, Fc 2	CDM-TD	HCI-TS	СМН/TD/UVC	
	MN (двухцокольная («софитная») без внешней колбы)	кабель	MHN-LA MHN-SA	HQ1-TS		ДРИШ

За прошедшие 15–20 лет непой больших усилий постепенно удалось добиться значительных успехов в совершенствовании ламп МГЛ. Расширился диапазон мощностей выпускаемых ламп:

- появились лампы малой мощности, применение которых возможно в установках внутреннего освещения;

- выпускаются лампы мощностью 400 Вт и более.

Основное требование, которое должно предъявляться к этим лампам, — стабильные цветовые параметры от лампы к лампе в течение всего срока службы независимо от положения горения. Решающее значение для получения стабильных цветовых характеристик имеет совершенствование горелки лампы. Однако при всех ухищрениях в МГЛ с кварцевой колбой добиться разброса T_d меньше ± 600 К не удается.

МГЛ с керамической горелкой. Наиболее существенного улучшения характеристик этих ламп удалось достичь в МГЛ из высокотемпературной керамики (поликристаллической окиси Al-ПОА). Основным достоинством таких ламп является высокая стабильность цветовых параметров излучения (особенно при работе с ЭПРА): разброс значений цветовой температуры в партии ламп в начале эксплуатации не превышает ± 150 К, а в конце срока службы — не более ± 200 К. МГЛ с ке-

рамической горелкой имеют отличную цветопередачу ($R_a > 90$) и высокую световую отдачу (87–92 лм/Вт). Внешние колбы новых МГЛ выполняются из специального легированного кварцевого стекла, поглощающего УФ излучение разряда. Кроме того, горелки этих ламп имеют значительно меньшие размеры, что позволяет более эффективно перераспределять их излучение в осветительных приборах.

Появились МГЛ с керамической горелкой сферической формы (фирма OSRAM), имеющие по сравнению с лампами с цилиндрической горелкой более высокие световые параметры, срок службы и качество цветопередачи.

Основные параметры МГЛ с кварцевой и керамической горелками приведены в табл. 3.35–3.36. На рис. 3.72 приведены общий вид МГЛ с керамической горелкой и спектры их излучения.

Цоколи для разрядных ламп высокого давления общего применения представлены на рис. 3.73.

Обозначения МГЛ общего применения разных фирм с различной цветопередачей даны в табл. 3.37.

Кроме указанных, каждая фирма выпускает довольно широкую номенклатуру специальных ламп, имеющих низкий срок службы (до 1000 ч).

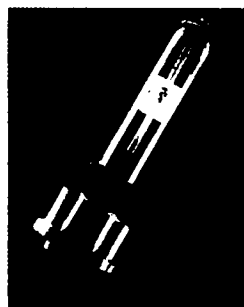
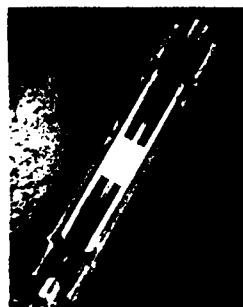
Таблица 3.35

Параметры МГЛ с кварцевой горелкой

Мощность лампы, Вт	Размеры, мм		Цоколь	Световой поток, лм		
	Диаметр	Полная длина		$T = 3000$ К $R_a = 80$	$T \geq 4000$ К $R_a = 60-69$	$T > 5000$ К $R_a = 90-100$
<i>с эллипсоидной светорассеивающей внешней оболочкой</i>						
70	54 71	38–156	E 27	4900–6000	4900–5200	
100	54 75	138–186	E 27	8000–8700	7300	
150	54–91	138–230	F 27, E 40	12000–13500	10500–12200	
250	90 91	226–227	E 40	23500–24500	19000–19500	
400	120–122	284 290	E 40	40000	35000–40000	24000–31000
<i>с эллипсоидной прозрачной внешней оболочкой</i>						
70	54–55	138–144	E 27	4700–6300	5200–5400	
100	54–55	138–144	E 27	8500–9200	7800	
150	54–55	138 144	E 27	12000–13500	11400–12500	
250	90 91	227	E 40		22500	
400	120	285	E 40		42000	
<i>с цилиндрической прозрачной внешней оболочкой</i>						
250	46 47	220 257	E 40		19000 21000	19000–20000
400	46–47	260 286	E 40		35000 39000	35000
1000	66 76	340 382	E 40		85000	80000
2000	100–102	430	F 40		189000–240000	180000

Параметры МГЛ с керамической горелкой в цилиндрической прозрачной внешней оболочке

Мощность лампы, Вт	Размеры, мм		Цоколь	Световой поток, лм		
	Диаметр	Полная длина		$T=3000\text{ K}$ $R_a = 80-89$	$T=4200\text{ K}$ $R_a = 80-89$	$T > 5000\text{ K}$ $R_a = 90-100$
<i>одноцокольные</i>						
20	15	81	G 8,5	1700		
35	15	81-85	G 8,5	3300-3400	3100	
70	15	81-85	G 8,5	5700-6900	6000	
70	32	149	PG 12-2	6000-6600	5800	
150	32	149	PGX 12-2	13000	12000	
35	19-20	100-103	G 12	3200-3400	3100	
70	19-25	84-103	G 12	5200-6700	5500-6600	
150	20-25	98-110	G 12	13000-14500	12700-13700	
250	28	175	G 12	24500		
70	30-48	150-156	E 27	6300-6600		
100	46	204-211	E 40	8700-9200		
150	46-47	204-211	E 40	13500-14500		
250	46	226-260	E 40	25000-25800		
400	46	278	E 40	42000		
<i>двухцокольные (софитные)</i>						
70	21-22	114-119	Rx7s	5000-7000	5500-6300	5000
150	24-25	132-137	Rx7s	11000-14800	11250-14200	11000
250	25-27	162-163	Fc 2	22000-24500	20000	20000
400	31	206	Fc 2		3500	35000



а)

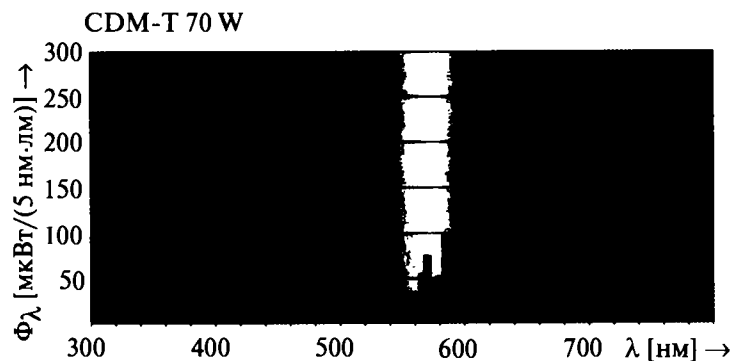


Рис. 3.72. Лампы МГЛ с керамической горелкой: а — общий вид; б — спектр излучения

Обозначения и цветопередача МГЛ

Цветовая температура, К	Класс цветопередачи	Индекс цветопередачи, R_a	Osram	Philips	General Electric	Лисма
>5000	1 A	90–100	HQI/D	MHN-SA, MHN-LA	KRC/960 ARC/960	—
	1 B	80–89				ДРИ (1)
около 4000	1 A	90–100	HCI/NDL	CDM/942	CMH/942	
	1 B	80–89	HQI/NDL	MHN-LA MHN-TD Pro	ARC/840	
	2 A	70–79			KRC/740 ARC/740	
	2 B	60–69	HQI/N	HPI Plus, HPI-T Plus, HPI-T Pro	KRC/645 ARC/645	ДРИ (5, 6) ДРИЗ
≤3300	1 B	80–89	HQI/WDL HCI/WDL	CDM/830, CDM-R PAR/830, SDW-T	ARC/830 CMH/830	
	2 A	70–79		MHW-TD Pro	ARC/730	
	2 B	60–69				ДРИ (–2)

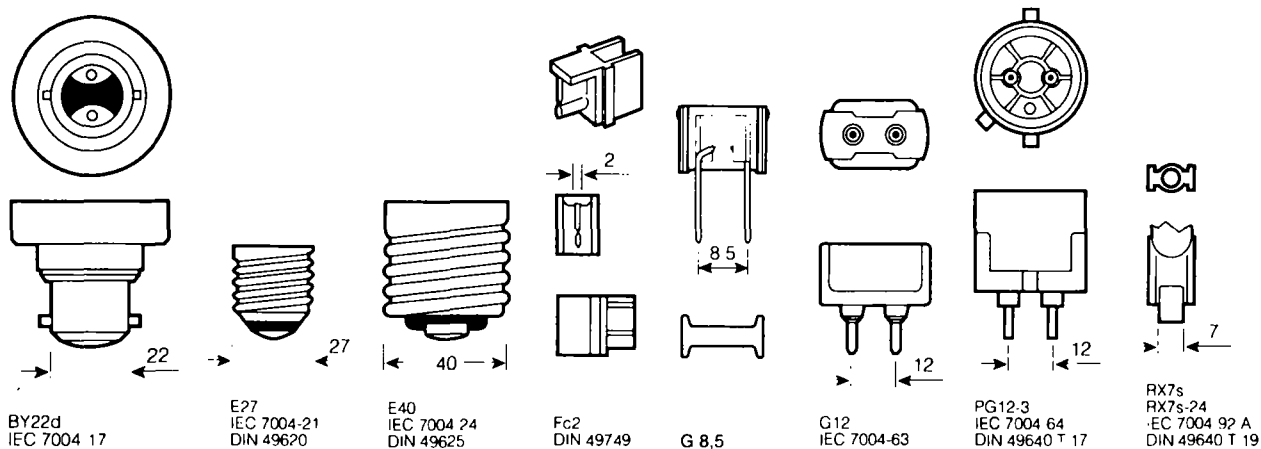


Рис. 3.73. Цоколи для ламп МГЛ

МГЛ в зеркализированной колбе. Отечественные зеркальные МГЛ типа ДРИЗ (лампы-светильники) [3.29] предназначены для освещения открытых пространств производственных помещений, для использования в щелевых световодах.

Лампы включаются в сеть переменного тока частотой 50 Гц напряжением 220 В и 380 В с соответствующими ПРА и ИЗУ.

На рис. 3.74 и в табл. 3.38 представлены основные характеристики выпускаемых ДРИЗ.

Компактные оптические оптоволоконные системы с высоким КПД позволяет создать зеркальная МГЛ фирмы Osram POWERSTAR HQI-R мощностью 150 Вт и световым потоком 11000 лм.

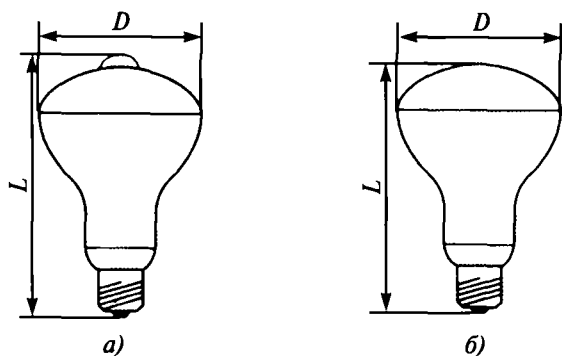
Кроме того, за рубежом выпускаются МГЛ с керамическими горелками типа PAR для открытых светильников узкого (Spot) и широкого (Flood) светораспределений мощностью 35 и 70 Вт: PAR 20 и PAR 30 (см. рис. 3.75).

В каталоге General Electric приведена МГЛ PAR 64 мощностью 1000 Вт и световым потоком 76000 лм.

Цветные МГЛ. В последние годы получают распространение цветные МГЛ. Лампы выпускаются четырех цветов: оранжевого (595 нм), желтого (500 нм), зеленого (535 нм) и синего (465 нм) в нескольких исполнениях. Диапазон их мощности — от 75 до 1000 Вт. Они все шире используются для цветного архитектурного освещения.

Характеристики отечественных ламп типа ДРИЗ

Тип лампы	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Средняя продолжительность горения, ч	Габариты, мм		Тип цоколя	Рис. 3.74
				L	D		
ДРИЗ250	250	13700	7500	280	168	E 40	а)
ДРИЗ250-1	250	12000	7500	290	165	F 40	а)
ДРИЗ250-2	250	13700	7500	280	165	F 40	а)
ДРИЗ400-1	400	24000	7500	335	225	E 40	а)
ДРИЗ400-2	400	24000	7500	290	179	E 40	а)
ДРИЗ400-3	400	24000	7500	325	183	F 40	а)
ДРИЗ700-1	700	45000	4000	350	255	F 40	б)
ДРИЗ700-2	700	45000	7500	355	255	E 40	б)



а)



б)

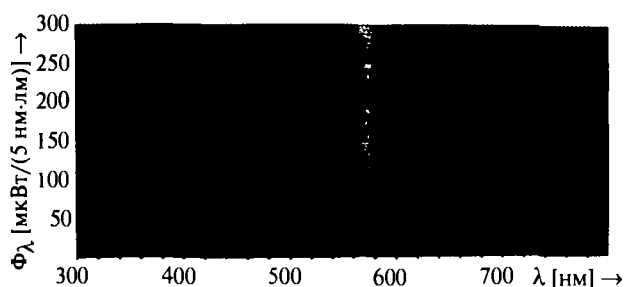


Рис. 3.75. МГЛ с керамической горелкой типа PAR: а — общий вид; б — спектр излучения

Рис. 3.74. Общий вид ламп типа ДРИЗ: а — ДРИЗ250, 400; б — ДРИЗ700

Металлогалогенные лампы для цветного телевидения и кино разработаны и выпускаются отечественной промышленностью двух модификаций: 1) линейные (или рубчатые); 2) шаровые (компактные, со средней дли-

ной дуги). Лампы сочетают высокую световую отдачу (80 лм/Вт и более) с очень высоким качеством цветопередачи ($R_a \geq 80 \div 90$).

Линейные МГЛ для цветного телевидения типа ДРИ [3.30] содержат горелку трубчатой формы из кварцевого стекла, заключенную во внешнюю цилиндрическую

колбу из тугоплавкого стекла. В МГЛ, предназначенных для работы в схемах, обеспечивающих мгновенное перезажигание горячей лампы путем подачи высоковольтного импульса с напряжением около 60 кВ, для исключения пробоя в цоколе или во внешней колбе один электрод выведен на резьбовой цоколь, а противоположный ему — через внешнюю колбу (см. рис. 3.71, в). Горелки, кроме ртути и зажигающего газа (аргона), содержат йодиды диспрозия, гольмия, тулия, таллия, цезия и лантана. Внешняя колба наполнена азотом особой чистоты.

Время разгорания МГЛ 5–10 мин. Срок службы МГЛ для цветного телевидения 400 ч.

Лампы включаются в сеть переменного тока через специальный дроссель. Для зажигания и повторного зажигания горячей МГЛ служит специальный блок мгновенного перезажигания (схему и параметры см. в разд. 4).

Основная область применения ламп — освещение спортивных сооружений для цветных телераздатков и цветных киносъемок. Ввиду исключительно хорошего качества цветопередачи и высокой световой отдачи лампы могут применяться также для освещения демонстрационных залов, выставок, ярмарок и других помещений с высокими требованиями к качеству освещения.

Компактные (шаровые) МГЛ для цветного телевидения типа ДРИШ: Д — дуговая, Р — ртутная, И — с излучающими добавками, Ш — шаровая, число — номинальная мощность в ваттах. Лампа представляет собой толстостенную колбу шаровой, эллипсоидальной или цилиндрической формы из кварцевого стекла, в которую с противоположных сторон впаяны вольфрамовые электроды. Общий вид и размеры ламп показаны на рис. 3.76. Форма колбы и ее размеры выбираются с таким расчетом, чтобы получить требуемый тепловой режим и достаточно равномерное распределение температуры по поверхности. С этой же целью в лампах мощностью 200 и 575 Вт на концы колбы нанесен слой утепляющего покрытия. Для уменьшения температуры выводов кварцевые шейки сделаны достаточно длинными; чем больше мощность, тем длиннее ножки. Лампы напол-

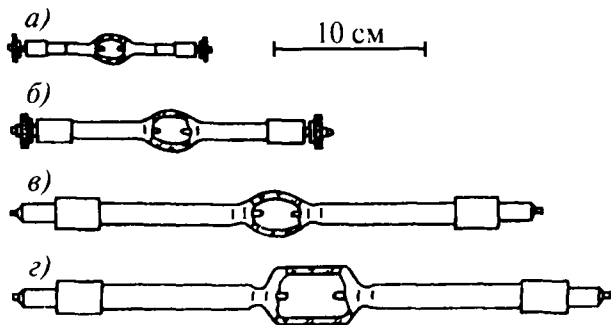


Рис. 3.76. Общий вид ламп типа ДРИШ для цветного телевидения и кино: а — ДРИШ575; б — ДРИШ1200; в — ДРИШ2500; г — ДРИШ4000

нены, кроме ртути и зажигающего газа (аргона), йодиды и бромиды диспрозия, гольмия, цезия (и тулия для ламп мощностью 2500–7000 Вт). Бромиды обеспечивают очистку колбы от расплывающегося вольфрама и таким образом повышают срок службы. Цезий стабилизирует разряд.

Основные типы ламп и их параметры приведены в табл. 3.39.

В зависимости от мощности лампы в видимой области излучается от 44 до 48% потребляемой мощности, в ИК области 42–40% (излучение нагретой колбы и разряда), конвекция и теплопроводность — около 3%, остальное — в УФ, начиная с 220 нм, по главным образом в области около 350 нм. Распределения яркости и силы света приведены на рис. 3.77, а, б. Координаты цветности для всех ламп типа ДРИШ: x и $y \approx 0,32$ с точностью $\pm 0,01$. Время разгорания в зависимости от мощности 30–60 с, в течение которых достигается $0,8\Phi_{\text{ном}}$, через 2–3 мин. характеристики полностью стабилизируются. При повторном зажигании горячей лампы время разгорания значительно сокращается. Глубина пульсации светового потока на частоте 50 Гц составляет около 75% для ламп 575 Вт и уменьшается с ростом мощности. Температура окружающей среды и условия охлаждения оказывают влияние на режим ра-

Таблица 3.39

Основные параметры отечественных МГЛ для цветного телевидения и кино ($T_{\text{ц}} = 6000 \text{ К}$; $R_a > 80$)

Тип лампы	Мощность лампы, Вт	Напряжение на лампе, В	Ток, А	Световой поток, клм	Длина дуги, мм	Полная длина лампы, мм	Внешний диаметр, мм
ДРИШ200	200	80	3,1	14	9	76	13
ДРИШ575	575	95	7,2	44	12	140	21
ДРИШ1200	1200	100	12,0	100	14	220	27
ДРИШ2500	2500	115	26,0	220	21	360	30
ДРИШ4000	4000	200	23,0	370	35	405	38
ДРИШ7000	7000	220	35,0	630	40	450	46

Примечание: Положение горения — горизонтальное $\pm 15^\circ$; для ламп типа ДРИШ575 — любое.

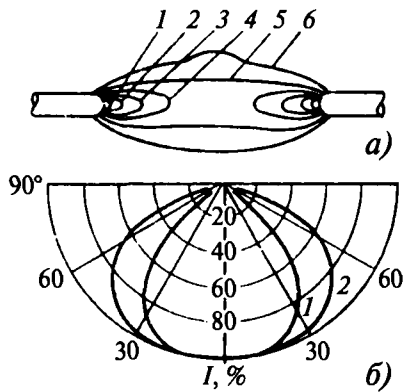


Рис. 3.77. Характеристики излучения ламп типа ДРИШ: *a* — распределение яркости для ламп ДРИШ1200 (1 — 400 Мкд/м²; 2 — 300; 3 — 200; 4 — 150; 5 — 100; 6 — 50); *б* — нормализованные КСС ламп (1 — 575 Вт; 2 — 1200–4000 Вт)

боты ламп. С ростом температуры лампы $T_{ц}$ падает, и наоборот. Для того чтобы уменьшить влияние теплового режима СП на $T_{ц}$, минимальное расстояние между колбой и отражателем СП должно быть не менее $1-1,5d_k$. Нормируемый срок службы ламп в среднем равен 200 ч и определяется снижением $T_{ц}$ до 5500 К. Фактический срок службы выше. Спад светового потока, благодаря действию бромно-вольфрамового регенеративного цикла, составляет не более 10–20% за время горения. Лампа включается в сеть переменного тока через специальный дроссель. Для зажигания и мгновенного перезажигания горячей лампы служит специальный блок мгновенного перезажигания (схемы и параметры см. в разд. 4).

Компактные (шаровые) МГЛ большой мощности с высоким качеством цветопередачи. Ряд зарубежных фирм выпускает лампы подобного типа. Эти лампы имеют исключительно короткую световую дугу и являются идеальным источником света для компактных прожекторов заливающего света. Лампы фирмы Osram POWERSTAR HQI-TS (рис. 3.78) при мощности 1000 Вт имеют световой поток 90 клм, при 2000 Вт — 200 клм.

Фирма Philips выпускает 4 модификации аналогичных ламп MHN-SA мощностью 1800 и 2000 Вт, со световыми потоками соответственно 160 клм и 200 клм, $T_{ц} = 5600$ К и $R_a = 90$.

В номенклатуре МГЛ фирмы General Electric также присутствуют мощные МГЛ 1200 Вт и 1800 Вт в софитном исполнении и одноцокольные, $T_{ц} = 5600$ К и 6000 К.



Рис. 3.78. МГЛ без наружной колбы

Особенности эксплуатации ламп типа ДРИШ заключаются: 1) в возможности мгновенного перезажигания в горячем состоянии путем использования специальных блоков, 2) в необходимости соблюдать чистоту кварцевой колбы. Установку и смену лампы следует производить в хлопчатобумажных перчатках, а после установки открытую часть лампы нужно протереть чистой тканью, увлажненной чистым спиртом. Во избежание ожогов глаз и лица УФ-излучением, лампы должны работать только в закрытых СП с защитными стеклами. Температура кварцевой колбы во время работы достигает 900°C. Рабочая температура цоколей не должна превышать 250°C.

Основные области применения ламп типа ДРИШ — в закрытых СП и прожекторах для освещения телестудий и объектов выездных цветных телеразвлекательных киносъемок. Лампы типа ДРИШ с успехом могут применяться и в других ОУ, например, в театрах, цирках, на эстраде, при проекции крупноформатных диапозитивов, в эпископах, поисковых прожекторах спасательных служб и т.п.

МГЛ специального применения — выпускается большое количество типов.

Перспективы МГЛ. Исследования последних лет показывают, что процесс совершенствования существующих типов МГЛ и создания новых еще далеко не исчерпан. Можно сформулировать основные требования, к выполнению которых необходимо стремиться в развитии этой, одной из самых перспективных групп ламп:

- высокая световая отдача (до 100–110 лм/Вт);
- хорошие цветовые характеристики;
- большой срок службы (более 10 тыс. ч) с малым спадом светового потока;
- невысокая себестоимость комплекта лампа-ПРА;
- компактность (особенно размеров горелок);
- высокий индекс цветопередачи ($R_a \geq 85$);
- универсальное рабочее положение;
- малое время разгорания и перезажигания;
- стабилизация цветовых характеристик на протяжении всего срока службы;
- исключение «жесткого» УФ-излучения.

Именно эта группа ламп, благодаря перечисленным выше характеристикам, малым размерам светящего тела и его высокой яркости, представляет наилучшие возможности перераспределения излучения в пространстве с помощью малогабаритных оптических систем.

3.3.5. Натриевые лампы

Натриевые лампы — одна из наиболее эффективных групп источников видимого излучения. Они обладают самой высокой световой отдачей среди известных РЛ и незначительным снижением светового потока при длительном сроке службы [3.2, 3.28]. Поэтому натриевые лампы, в первую очередь, высокого давления, все шире применяются в разных системах освещения, особенно в НО. Недостатком ламп является низкое качество цветопередачи и глубокая пульсация излучения.

Принцип действия ламп основан на использовании резонансного излучения D-линии натрия (589 и 589,6 нм). Исходя из рабочего давления паров натрия, выделяют два типа ламп — НЛНД и НЛВД. Зависимость световой отдачи излучения натриевого разряда от давления паров натрия имеет два максимума (рис. 3.79). Область первого максимума соответствует давлению около 0,2 Па и достигается при температуре жидкой фазы 270–300°C, именно при этих давлениях и плотностях тока 0,1–0,5 А/см² работают созданные еще в 30-х годах НЛНД. Второй максимум имеет место при давлении около 10 кПа. Это давление насыщенных паров натрия достигается при 650–750°C. Создание НЛВД стало возможным только в 60-х годах после получения и освоения технологии производства светопропускающего высокотемпературного материала для разрядной трубки, устойчивого к длительному воздействию агрессивных паров натрия при 1300–1400°C и представляющего собой керамику на основе поликристаллической окиси алюминия.

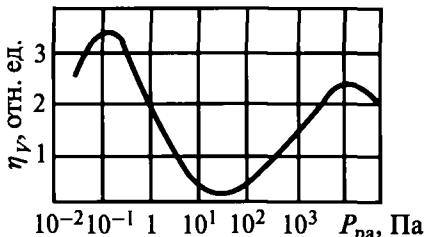


Рис. 3.79. Зависимость световой отдачи излучения натриевого разряда от давления паров натрия

Натриевые лампы низкого давления [3.2, 3.28] являются чрезвычайно эффективным источником почти однородного видимого излучения, так как КПД разряда при низком давлении для резонансного излучения всегда бывает высоким, а резонансные линии натрия лежат в области, близкой к максимальной чувствительности глаза.

В экспериментальных НЛНД с оптимальными плотностью тока и диаметром трубки и при повышенной температуре окружающей среды удавалось получать КПД 50–60%, что соответствует световой отдаче 300–400 лм/Вт. При практической реализации эффективной НЛНД для обеспечения температуры стенки 270–290°C, соответствующей оптимальному давлению паров натрия, необходимо увеличивать тепловую нагрузку, отходя от оптимальных тока и диаметра, и улучшать теплоизоляцию разрядной трубки. Для этого разрядную трубку помещают в стеклянную вакуумную теплоизолирующую рубашку, придают ей U-образную форму, на внутреннюю стенку внешней колбы в современных типах паносят селективно отражающие теплового фильтры из SnO₂ или In₂O₃, которые отражают ИК-излучение на разрядную трубку и пропускают желтое резонансное излучение [3.28]. Для зажигания и развития разряда в трубку добавляют неон при давлении 1–1,5 кПа и 0,5–1% аргона (смесь Пеннинга) для сни-

жения напряжения зажигания. Натрий в лампу вводят в избытке.

Разрядная трубка НЛНД имеет диаметр 15–25 мм и изготавливается из специальных сортов стекла. В современных лампах применяется специально разработанное стекло, не только устойчивое к воздействию горячих паров натрия, но и не поглощающее Ag, который вводится в качестве небольшой добавки к Ne для понижения напряжения зажигания.

Для предотвращения миграции паров натрия вдоль разрядной трубки круглого сечения на ее поверхности ранее делали небольшие выпуклости, равномерно распределенные по длине трубки [3.28].

Электроды НЛНД представляют собой самокалящиеся оксидные триспиральные катоды в форме бифиляра или подобные применяемым в ЛЛ (см. п. 3.3.1). В настоящее время применяются синтерированные электроды.

Внешний вид лампы показан на рис. 3.80.

Спектр излучения НЛНД и КСС для U-образной лампы приведены на рис. 3.81, а и 3.82.

Время разгорания НЛНД составляет 10–15 мин. Из-за почти полной безынерционности натриевого разряда его электрические и световые характеристики меняются вслед за мгновенными изменениями напряжения сети, и пульсация светового потока приближаются к 100%.

Температура окружающего воздуха слабо влияет на параметры НЛНД. Они работают как в открытых, так и закрытых ОП. Температура внешней колбы и цоколя не должна превышать 150°C. Положение горения — горизонтальное (±15°).

Обозначения НЛНД по ILCOS и каталогам фирм-изготовителей приведены в табл. 3.40.

Номенклатура и основные технические характеристики НЛНД различных фирм в значительной мере стабилизировались.

Параметры зарубежных НЛНД приведены в табл. 3.41. В России выпускается одна лампа НЛНД мощностью 140 Вт и сроком службы 2000 ч.

Средняя продолжительность горения зарубежных НЛНД лежит в пределах 9000–12000 ч, а спад светового потока <10%; их преимуществом является высокая экономичность. Кроме плохой цветопередачи, к недостаткам НЛНД, которые должны учитываться при выборе их в качестве ИС для решения той или иной конкретной светотехнической задачи, относятся:

1) постепенное увеличение потребляемой мощности в процессе горения (до 140% от начальной), что должно учитываться при проектировании электрической части осветительных установок;

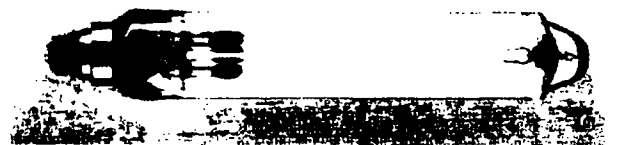


Рис. 3.80. Общий вид современной натриевой лампы низкого давления

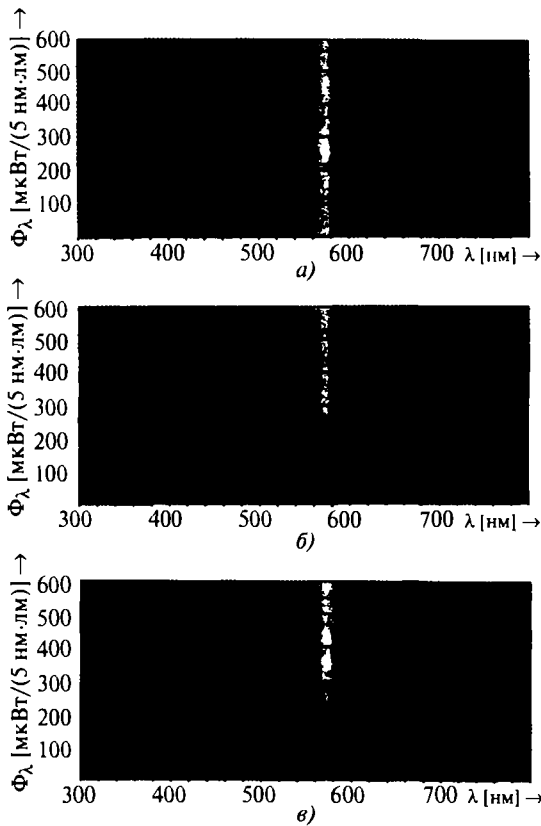


Рис. 3.81. Спектральное распределение излучения натриевых ламп: а — НЛНД; б — НЛВД с $R_a \approx 26$ и $T_{ц} \approx 2100$ К; в — НЛВД с $R_a = 85$ и $T_{ц} = 2500$ К

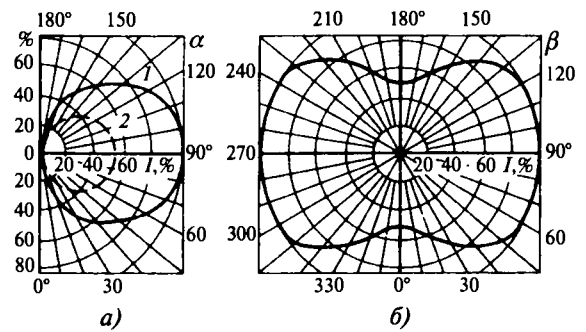


Рис. 3.82. Кривые силы света U-образной лампы в различных плоскостях: а - вертикальная плоскость (1 - при $\beta = 90^\circ$, 2 - при $\beta = 0^\circ$); б - горизонтальная плоскость

2) большие потери в ПРА, достигающие у новых улучшенных образцов 17–60%;

3) низкий коэффициент мощности (0,27–0,35 при напряжении осветительной сети 220 В), вызывающий необходимость применять для его компенсации конденсаторы большой емкости (20–40 мкФ);

4) большие материалоемкость, масса и габаритные размеры ПРА (4,2–7,2 кг, сечение 100 × 100, длина 170 мм) и самая высокая удельная стоимость светового потока комплекта «лампа-ПРА»;

5) ограниченная возможность перераспределения светового потока вследствие больших размеров и малой яркости (8–10 кд/см²) светящегося тела (аналогично люминесцентным лампам), большая материалоемкость осветительной арматуры.

При работе с ВЧ ЭПРА энергопотребление снижается на 10–40%, обеспечивается независимость пара-

Таблица 3.40

Обозначения натриевых ламп низкого давления


Вид лампы	Обозначение ламп по ILCOS	Цоколь	Условные обозначения фирм-изготовителей				Примечание
			Philips	Osram	General Electric	Лисма	
	LS (1-цокольные с U-образной горелкой)	BY 22d	SOX Pro	SOX*	SOX SOX-Plus	ДНаО	* лампа с отражающим ИК-излучение покрытием
	LSE (1-цокольные типа «Е» для включения с гибридным ПРА)	BY 22d	SOX-E	SOX*-E	SOX-E	—	* световая отдача SOX-E до 200 лм/Вт

Таблица 3.41

Параметры натриевых ламп низкого давления с цилиндрической прозрачной внешней оболочкой (с селективным отражающим покрытием)

Мощность лампы, Вт	Размеры, мм		Световой поток, лм
	Длина	Диаметр	
18*	216	52–54	1800
35*	311	52–54	4600
55*	425	66–68	7650–8100
90**	528	66–68	13000–14300
135**	775	66–68	22000
180**	1120	66–68	32000

* с U-образной разрядной трубкой и цоколем типа BY22D; рабочее положение — цоколем вверх

** с U-образной разрядной трубкой и цоколем типа BY22D; горизонтальное рабочее положение ($\pm 20^\circ$)

метров от напряжения сети, повышается коэффициент мощности до 0,95 и снижается масса ПРА, т.е. устраняются недостатки, перечисленные в пп. 1-4.

В последние годы НЛНД были усовершенствованы за счет применения двойной вакуумированной рубашки и теплоотражающих покрытий на внутренней поверхности колбы для снижения тепловых потерь. В результате световая отдача НЛНД была увеличена примерно в 2 раза и в настоящее время достигает у промышленно выпускаемых НЛНД 133–178 лм/Вт (Philips), а у опытных образцов, разработанных в последние годы, превышает 200 лм/Вт (теоретический предел световой отдачи НЛНД около 500 лм/Вт).

Области применения НЛНД — освещение автострад, туннелей, перекрестков, складов и товарных станций, промышленных объектов, архитектурное и декоративное освещение. Благодаря желтому монохроматическому свету, обеспечивающему превосходную видимость и разрешающую способность глаза при низких уровнях освещенности и хорошее прохождение излучения в тумане, НЛНД находят применение в светосигнальных установках. Для общего освещения эти лампы не применяются из-за сильного искажения цвета объектов.

Натриевые лампы высокого давления [3.2, 3.31] содержат смесь паров натрия и ртути при высоком давлении и зажигающий газ — ксепон. Натрий, имеющий наиболее низкие потенциалы возбуждения и ионизации, является основным рабочим веществом (излучение, электроны и ионы); ртуть вводится в качестве буферного газа для повышения температуры разряда, градиента потенциала в столбе разряда и снижения тепловых потерь; вклада в излучение ртуть практически не дает. Рабочее давление паров натрия 4–14 кПа, соотношение парциальных давлений паров натрия и ртути 1:10–1:20. Ксепон вводится при холодном давлении 2,6 кПа, он повышает световую отдачу за счет снижения теплопроводности плазмы. Напряжение зажигания лампы с ксепоном 2–4 кВ. Для уменьшения напряжения зажигания иногда используют смесь Ne + 0,5% Ag в качестве зажигающего газа, но при этом на 25% снижается световая отдача лампы.

Спектр излучения НЛВД содержит значительно уширенные D-линии натрия с сильным самообращением, а также интенсивные линии в сине-зеленой части спектра (см. рис. 3.81, б, в). Цвет излучения имеет золотисто-белый оттенок, $T_{II} = 1900 \pm 2100$ К, координаты цветности $x = 0,510$, $y = 0,410$; $R_a \approx 23$ (специальные индексы $R_9 = -186$, $R_{10} = 45,8$, $R_{11} = -30$, $R_{12} = 31,6$, $R_{13} = 22,4$, $R_{14} = 70,7$). Цветовая температура излучения и индекс цветопередачи могут быть повышены за счет увеличения давления паров натрия, и, частично, небольшого увеличения диаметра разрядной трубки, но при этом неизбежно происходит заметное снижение световой отдачи (рис. 3.83) и срока службы.

Баланс мощности НЛВД: потери на электродах 6%, видимое излучение 30%, УФ- и ИК-излучения 20%, тепловые потери в столбе разряда 44%. В желто-оранжевой области (560–610 нм) сосредоточено 70% видимого излучения разряда. В НЛВД используется разряд в насыщенных парах натрия и ртути над жидкой фазой

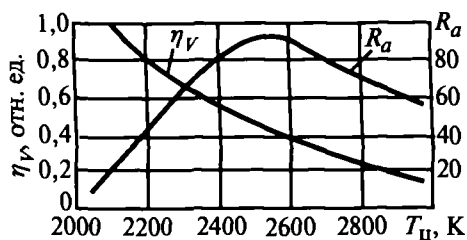


Рис. 3.83. Зависимость световой отдачи η_v и общего индекса цветопередачи R_a от цветовой температуры T_{II} излучения натриевого разряда высокого давления

амальгамы. Поэтому наблюдается резкая зависимость оптических и электрических характеристик от температуры холодной зоны разрядной трубки, расположенной, как правило, в откачанном штенгеле или в заэлектродной части. С ростом тока и температуры стенки разрядной трубки световая отдача возрастает, вместе с тем, при постоянстве нагрузки на единицу поверхности трубки увеличение ее диаметра приводит к благоприятному повышению T_{II} излучения разряда.

Устройство НЛВД [3.31] — цилиндрическая разрядная трубка, смонтированная в вакуумированной внешней колбе (рис. 3.84). Силикатные стекла не пригодны для изготовления разрядной трубки НЛВД, поскольку при высокой температуре натрия взаимодействует с окисью кремния и дает устойчивые силикатные соединения, вызывающие почернение и разрушение трубки практически после нескольких минут работы лампы. Разрядная трубка НЛВД изготавливается из особо чистой окиси алюминия в виде диффузно пропускающей свет поликристаллической керамики (поликор, люкор), либо в виде прозрачного трубчатого монокристалла (лейкосапфир). Эти материалы устойчивы к длительному воздействию паров натрия при температуре до 1600°C, вакуумноплотные и механически прочные, имеют общий коэффициент пропускания видимого излучения 90–95%. В зависимости от мощности лампы трубки имеют внешний диаметр от 5 до 12 мм и толщину стенки 0,5–1 мм. В качестве материала ввода обычно используется ниобий (с добавкой 1% циркония) — тугоплавкий и химически стойкий металл с температурным коэффициентом расширения, наиболее близким к керамике. Пайка ввода к оболочке разрядной трубки осуществляется при помощи специальных высокотемпературных стеклоцементов при 1400–1500°C. Конструктивно вводы могут быть выполнены в виде керамической втулки, диска или ниобиевого колпачка, в которые впаивается ниобиевая трубка, служащая одновременно откачным штенгелем, держателем электрода и внешним выводом разрядной трубки (рис. 3.85, а). В бесштенгельном варианте конструкции разрядной трубки токовод изготавливается из ниобиевой проволоки или тонкостенной трубки (рис. 3.85, б). Для лучшей фиксации местоположения холодной зоны разрядной трубки и обеспечения заданной температуры амальгамы натрия могут быть использованы теплоотра-

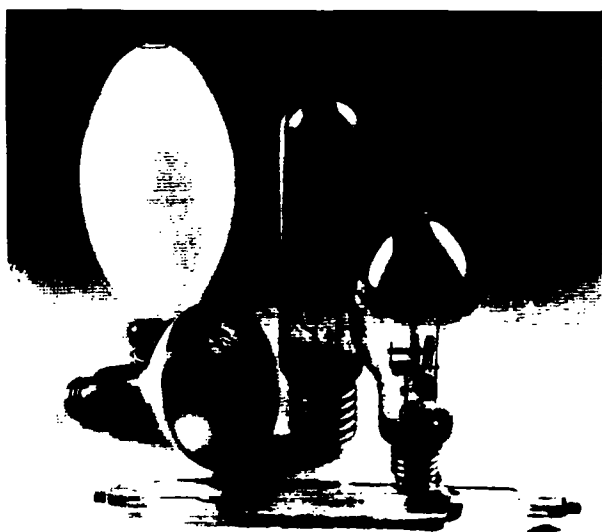
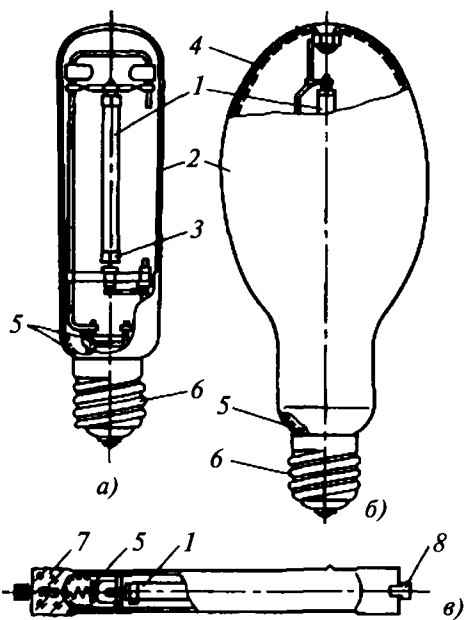


Рис. 3.84. Общий вид НЛВД: а — в прозрачной колбе; б — в светорассеивающей колбе; в — в софитном исполнении: 1 — разрядная трубка; 2 — стеклянная внешняя колба; 3 — теплоотражающий экран; 4 — светорассеивающее покрытие; 5 — газопоглотитель; 6 — цоколь резьбовой; 7 — кварцевая внешняя колба; 8 — цоколь специальный

жающие экраны из ниобиевой ленты, падаемые на один или оба электродных участка разрядной трубки (рис. 3.85, в). Натрий и ртуть вводятся в НЛВД в виде амальгамы с атомным содержанием натрия 65–75%. Разрядная трубка смонтирована внутри внешней колбы, изготовленной либо из стекла вольфрамовой группы (лампа с цилиндрической и эллипсоидной внешней колбой и резьбовым цоколем типов Е27 и Е40), либо из кварца (лампы софитного двухцокольного исполне-

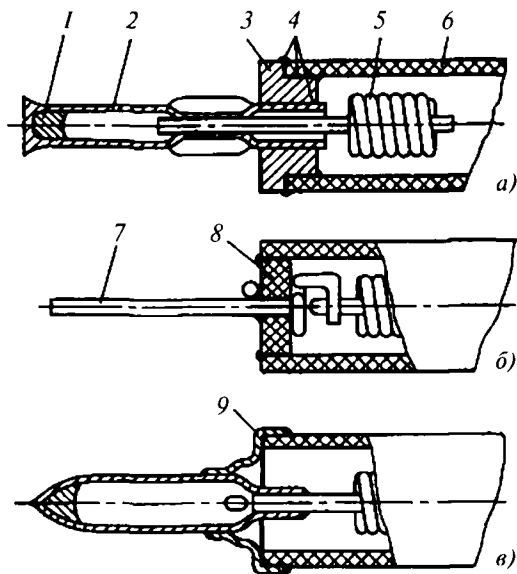


Рис. 3.85. Конструкция ввода разрядной трубки НЛВД: а — штенгельный ввод с керамической втулкой; б — бесштенгельный ввод с керамическим диском; в — колпачковый штенгельный ввод; 1 — амальгама натрия; 2 — ниобиевый штенгель; 3 — керамическая втулка; 4 — пайка стеклоцементом; 5 — электрод; 6 — оболочка разрядной трубки; 7 — ниобиевый ввод-кернадержатель; 8 — керамический диск; 9 — ниобиевый колпачок

ния). Внешняя колба вакуумирована, давление в колбе не выше 0,01 Па поддерживается в течение всего срока службы при помощи газопоглотителя.

Зажигание НЛВД осуществляется специальным устройством, подающим на лампу высоковольтный высокочастотный импульс с амплитудой 2–4 кВ. Время разгорания лампы составляет 5–7 мин. и определяется скоростью нагрева лампы и испарения натрия и ртути. По мере разгорания спектр излучения меняется от монохроматического желтого до нормального уширенного, соответствующего установившимся рабочим параметрам. Время повторного зажигания погасшей лампы определяется временем остывания разрядной трубки до температуры, при которой подаваемые импульсы напряжения достаточны для повторного зажигания разряда, и составляет 2–3 мин. (схему включения НЛВД см. в разд. 4).

Положение горения НЛВД — любое.

Температура окружающей среды слабо влияет на характеристики НЛВД, и они могут работать при $T_{\text{окр}}$ от -60 до $+40^{\circ}\text{C}$. Перегрев НЛВД в ОП недопустим, максимальная допустимая температура внешней стеклянной колбы 350–400 $^{\circ}\text{C}$, а цоколя 150–200 $^{\circ}\text{C}$. Конструкция ОП должна исключать возможность попадания отраженного излучения на разрядную трубку; допустимый прирост напряжения на лампе при помещении ее в ОП по сравнению с работой на открытом воздухе 5–10 В в зависимости от мощности лампы.

Срок службы НЛВД (12–28 тыс. часов в зависимости от мощности и исполнения) ограничивается главным образом постепенным ростом напряжения (1–5 В на каждые 1000 ч горения) на лампе вплоть до погасания. Этот рост связан с убылью натрия в течение срока службы, а также частичным утеплением разрядной трубки за счет почернения приэлектродных консов. Другая причина выхода НЛВД из строя — разрушение металлокерамических вводов. При непрерывном горении НЛВД имеют срок службы на 30% больше, чем при циклическом (10-часовом). Лампы отличаются высокой стабильностью светового потока в течение срока службы: спад потока — не более 15–20% за 10 тыс. ч горения.

В мировой практике лампы существуют в трех основных модификациях: в цилиндрической или эллипсоидной прозрачной внешней колбе; во внешней колбе от ламп типа ДРЛ с внутренним светорассеивающим покрытием, которое служит для увеличения размеров светящего тела, что важно при использовании ламп в ОП для ламп типа ДРЛ; в кварцевой внешней трубчатой колбе софитного типа с двумяцоколями — эти лампы предназначены для установки в прожекто-

рах заливающего света вместо трубчатых ГЛН. Обозначение НЛВД по ILCOS и каталогам фирм-изготовителей приведены в табл. 3.42.

В последние годы НЛВД были значительно усовершенствованы в отношении как их световой отдачи, так и цветопередачи. В результате проведенных исследований, в дополнение к стандартным НЛВД были разработаны НЛВД с повышенной на 10–15% световой отдачей (с повышенным давлением ксенона в разрядной трубке), а также с улучшенной цветопередачей (с внешней оболочкой, наполненной ксеноном). Улучшение цветопередачи и повышение цветовой температуры НЛВД с неизбежностью приводит к уменьшению их световой отдачи и срока службы.

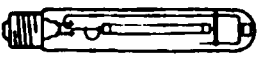
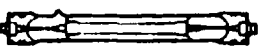
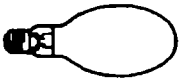
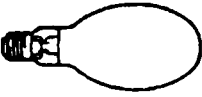

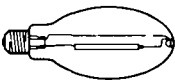
Обозначения и цветопередача НЛВД приведены в табл. 3.43.

Параметры НЛВД различных типов лампы в табл. 3.44.

Кривые силы света и распределения яркости по светящему телу для ламп типа ДНаТ приведены на рис. 3.86 и 3.87. Распределение яркости характеризуется большой неравномерностью, (особенно для ламп с разрядными трубками из монокристалла Al_2O_3). Кри-

Таблица 3.42

Обозначения натриевых ламп высокого давления

Вид лампы	Обозначение ламп по ILCOS	Цоколь	Условные обозначения фирм-изготовителей			
			Philips	Osram	General Electric	Лисма
	ST (с трубчатой прозрачной колбой)	E 27, E 40	SON-T PIA SON-T PIA Plus SON-T Pro SON-T PIA Agro SON-T PIA Green Power	NAV-T Super 4 Y NAV-T 4 Y NAV-T PLANTASTAR	I.U/T LU/HO/T I.U/XO/T	ДНаТ ДНаТ Бр
	SD [двухцокольная («софитная»)]	Rx7s, Fc 2	NAV-TS Super 4 Y NAV-TS	LU/TD	LU/TD	
	SE (с эллипсоидной колбой и диффузно рассеивающим покрытием)	E 27, E 40	SON PIA SON PIA Plus SON Pro	NAV-E Super 4 Y NAV-E 4 Y NAV-E/I 4 Y NAV-E NAV-E/I	LU/D I.U/HO/D I.U/XO/D	ДНаМт
	S Q (для замены ДРЛ)	E 27, E 40	SON-H Pro	NAV-E Plug-in	LUH/D	ДНаМг
	S H (с высоким R_d)	E 40 GX 12-1 PG 12-1	SON-T Comfort Pro SDW-TG SDW-T	—	—	—
	SR (с внутренним отражателем)	E 27, E 40	—	—	LU/RFL	ДНаЗ
	SC (с эллипсоидной прозрачной колбой)	E 27, E 40	—	—	LU/I	ДНаТ

Обозначения и цветопередача НЛВД

Цветовая температура, К	Класс цветопередачи	Индекс цветопередачи	Osram	Philips	General Electric	Лисма
≤ 3300	1 B	80 89	—	SDW		—
	2 B	60 69	—	SON Comfort Pro	—	—
	4	20–39	NAV-E, NAV-T, NAV4Y, NAV Super 4Y	SON-H Pro, SON-T Pro, SON-T PIA Plus, SON PIA Plus, SON-T PIA (Hg free), SON-T PIA AGRO	I.U/T, I.U/D, LU/TD, I.U/I	ДНаТ, ДНаТ Бр, ДНаМг, ДНаЗ

Таблица 3.44

Параметры натриевых ламп высокого давления

Мощность, Вт	Полная длина, мм	Цоколь	Световой поток, лм		
			Стандартные лампы	Лампы с повышенной световой отдачей	Лампы с улучшенной цветопередачей
<i>с эллипсоидной светорассеивающей внешней оболочкой</i>					
50	156	E 27	3300–3500	—	—
70	156	E 27	5600–5800	—	—
100	186–211	E 40	9200	10000	—
150	226	E 40	14000	17000	12500
250	226	E 40	26000	32000	22000
400	282–290	E 40	47000	54000	37000
1000	372–400	E 40	120000–128000	—	—
<i>с цилиндрической прозрачной внешней оболочкой</i>					
50	156	E 27	3400	4400	—
70	156	E 27	6000	6500	—
100	211	E 40	9600	10000	—
150	211–227	E 40	15000	17500	13000
250	227–260	E 40	27000	33000	23000
400	285	E 40	50000	56000	38000
600	285	E 40	—	90000	—
750	292	E 40	—	112000	—
1000	372–400	E 40	130000	—	—

Положение горения всех НЛВД — любое.

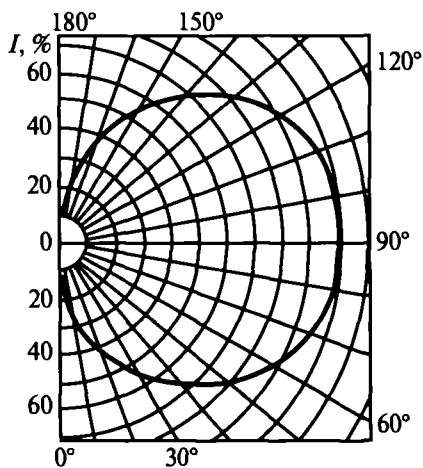


Рис. 3.86. Кривая силы света лампы типа ДНАТ400

вые силы света являются почти косинусными, небольшое различие в световых потоках в верхнюю и нижнюю полусферу (49 и 51%) связано с экранирующим действием цоколя и зеркала распыленного геттера (в лампах ранних конструкций).

Спектры излучения ламп различной мощности несколько различаются из-за более высокого давления паров натрия в лампах средней мощности. Среди НЛВД с улучшенными цветопередающими свойствами установилось два типа ламп: с $R_a \sim 60 \div 70$, $T_{II} = 2200$ К и световой отдачей на 15–20% ниже по сравнению со стандартными НЛВД соответствующей мощности и с $R_a \sim 85$, $T_{II} = 2500 \div 2800$ К и еще более низкими световой отдачей (около 50 лм/Вт) и сроком службы (см. рис. 3.83).

Электрические параметры. Начальное напряжение горения НЛВД на 25–30% меньше, чем РЛВД типа ДРЛ и МГЛ типа ДРИ той же мощности, и повышается со временем (на 25–30% к концу срока службы), поэтому для стандартных НЛВД нельзя применять балласты от ДРЛ. Для непосредственной замены ДРЛ на лампы типа ДНАТ в ОП следует использовать специально для этого предназначенные НЛВД меньшей мощности, чем заменяемая ДРЛ и, соответственно, меньшим рабочим током, чем у стандартных ламп типа ДНАТ, допустимым для работы дросселя от ДРЛ. Напряжение зажигания у них должно быть ниже напряжения сети.

Напряжение сети довольно сильно влияет на световые и электрические параметры НЛВД (рис. 3.88), длительная эксплуатация НЛВД при отклонениях сетевого напряжения более чем на 5% от номинального значения приводит к сокращению срока службы ламп. Работа на переменном токе частотой 50 Гц сопровождается значительными пульсациями светового потока (около 70%).

Из новейших разработок представляют интерес НЛВД малой мощности с улучшенной цветопередачей — SDW (Philips) (см. табл. 3.43) мощностью 35–100 Вт с $R_a = 83$ и цветностью излучения, близкой к цветности излучения ламп накаливания.

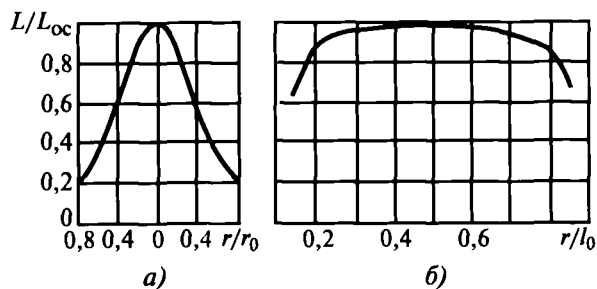


Рис. 3.87. Кривые распределения яркости лампы типа ДНАТ400: а — в поперечной плоскости; б — в продольной плоскости

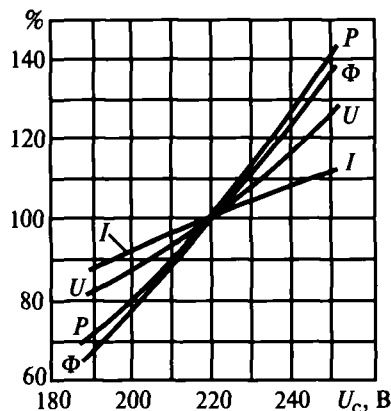


Рис. 3.88. Зависимость мощности P , светового потока Φ , напряжения на лампе U , тока I от напряжения сети

Ряд фирм выпускают маломощные НЛВД со встроенным во внешнюю колбу импульсным зажигающим устройством. Для этого были разработаны специальные малогабаритные высокотемпературные стартерный конденсатор и керамический стартер.

Отдельно следует остановиться на возможности и тенденции разработки безртутных НЛВД — экологически чистых ламп. Этот процесс идет не так быстро, в том числе и потому, что ртуть существенно увеличивает эффективность этих источников света, признаваемых сегодня наиболее экономичными.

Существующие и находящиеся в стадии разработки безртутные лампы имеют большое будущее.

Давно известна серия безртутных ламп Mercury Free фирмы Sylvania.

Производитель обращает особое внимание на улучшенные цветопередающие свойства, сравнивая их со стандартными аналогами собственного производства (табл. 3.45).

Таблица 3.45

Безртутная и стандартная НЛВД фирмы Sylvania

Лампа	Световой поток, лм	Цветовая температура, К	Индекс цветопередачи
SHP-RS 150 W Mercury Free	16000	2200	25
SHP-TS 150 W	17000	2050	20

В последние годы фирма Philips внесла ряд существенных усовершенствований в конструкцию и технологию производства НЛВД:

- для снижения напряжения зажигания на внешней поверхности керамической трубки вдоль ее оси «вжигается» узкая проводящая полоска, закапчивающаяся в области электродов охватывающими трубку пезамкнутыми кольцами. Фирма назвала эту конструкцию и технологию – «Philips integrated Antenna» – технология PIA. Она упрощает и упрочняет конструкцию и сокращает число ранних отказов по зажиганию;

- в новой конструкции монтажа горелки во внешней колбе число мест сварки проводов сведено к минимуму и обеспечена их большая устойчивость к ударам и вибрациям;

- применен новый нераспыляемый ZrAl геттер взамен распыляемого бариевого, что обеспечило поддержание более высокого вакуума в течение всего срока службы;

- применение синтерированных электродов.

В результате удалось добиться более надежной работы ламп. На основе этих усовершенствований фирма с 2001 года начала выпуск двух новых серий НЛВД:

SON(-T) Plus с повышенным «холодным» давлением Хе и, соответственно, повышенной световой отдачей до 150 лм/Вт для ламп 600 Вт; SON(-T) Hg-free, т.е. полностью безртутных экологически чистых НЛВД. Фирма анонсирует срок службы новых ламп 32000 ч.

В настоящее время фирма Philips выпускает 7 исполнений безртутных ламп:

- 4 исполнения в цилиндрической колбе: 100 Вт (8800 лм), 150 Вт (15000 лм), 250 Вт (28000 лм), 400 Вт (48000 лм);
- 3 исполнения в эллипсоидной колбе: 150 Вт (14500 лм), 250 Вт (27000 лм), 400 Вт (48000 лм).

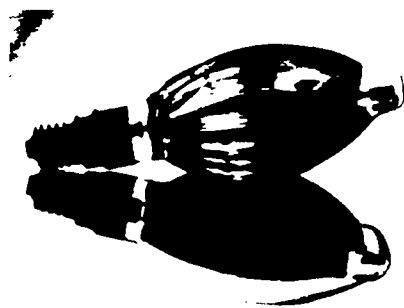
Нет сомнения в том, что со временем предпочтение будет отдаваться экологически чистым безртутным НЛВД, особенно маломощным, которые используются в ОУ внутреннего освещения.

В России освоено производство серии НЛВД в зеркальных внешних колбах специальной формы, обеспечивающих оптимальные КСС для дорожного освещения и теплиц. Технические характеристики этих ламп приведены в табл. 3.46 и на рис. 3.89.

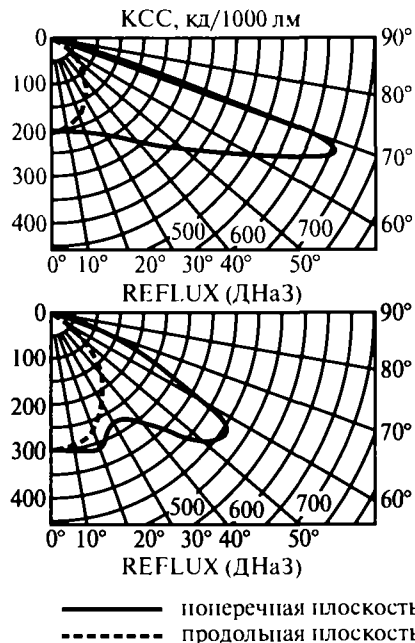
Таблица 3.46

Зеркальные натриевые лампы типа ДНаЗ («Рефлекс»)

Тип лампы	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Габариты, мм	Тип цоколя
ДНаЗ 50	50	3500	76 × 200	Е 27
ДНаЗ 70	70	5000	76 × 200	Е 27
ДНаЗ 100	100	9000	96 × 250	ЕХ 40/46
ДНаЗ 150	150	14000	96 × 250	ЕХ 40/46
ДНаЗ 250	250	26000	122 × 320	ЕХ 40/60
ДНаЗ 400	400	46000	122 × 320	ЕХ 40/60
ДНаЗ 600	600	86000	122 × 320	ЕХ 40/60
ДНаЗ 220	220	20000	122 × 320	ЕХ 40/60
ДНаЗ 350	350	34000	122 × 320	ЕХ 40/60



а)



б)

Рис. 3.89. Зеркальные натриевые лампы: а — общий вид; б — кривые силы света

В последние годы среди новинок НЛВД появились серийные образцы ламп с двумя горелками в общей внешней колбе (фирмы General Electric, Sylvania): при случайном погасании одной горелки другая — «холодная» — зажигается почти мгновенно. Благодаря этому исключается необходимость в специальных устройствах для быстрого перезажигания лампы. Есть основания полагать, что это направление является перспективным, поскольку подобное решение не только способствует существенному увеличению срока службы лампы, но и устраняет сложности мгновенного перезажигания, расширяет потенциальные возможности комбинирования горелок с различными мощностями, спектральными составами и т.п.

Срок службы такой лампы действительно увеличивается лишь при том условии, что на протяжении жизни лампы горелки зажигаются попеременно. Для этого

приходится применять специальные схемы включения. В этом случае, по данным фирмы Sylvania, реальный срок службы увеличивается в 1,5–1,6 раза.

В противном случае, при окончании ресурса чаще работающая горелка начинает частично шунтировать вторую (это явление иногда называют электрической «течью»), и могут возникать сложности с ее зажиганием.

Области применения НЛВД — наружное и внутреннее освещение. Типичные объекты — улицы, площади, скоростные магистрали, транспортные пересечения, протяженные туннели, большие открытые пространства, аэродромы, строительные площадки, контейнерные площадки на железнодорожных станциях, открытые и закрытые склады, высокопролетные производственные помещения, архитектурные сооружения, некоторые общественные здания с кратковременным пребыванием людей (вокзалы, аэропорты и т.п.). Значительное улучшение качества цветопередачи и более приятное зрительное впечатление можно получить путем сочетания в ОУ НЛВД с другими эффективными ИС, дающими преимущественное излучение в синезеленой части спектра, например, с РЛВД или МГЛ.

3.3.6. Ксеноновые лампы

В ксеноновых лампах используется разряд в ксеноне при высоком и сверхвысоком давлениях и плотности тока, составляющей десятки и сотни А/см² [3.2]. Разряд этого типа имеет ряд характерных особенностей: 1) непрерывность спектра излучения в пределах от 200 нм до 1,5–2 мкм. В видимой области спектр близок к солнечному с $T_{\text{ц}} = 6100 \div 6300$ К и обеспечивает высококачественную цветопередачу: $R_a = 95 \div 98$; $x = 0,33$; $y = 0,33$. В близкой ИК-области (0,8–1 мкм) имеется несколько интенсивных спектральных линий; 2) возрастающая ВАХ в диапазоне больших токов дает возможность стабилизировать разряд балластом с малой индуктивностью, а длинные трубчатые лампы включать в сеть даже без балласта [3.2]; 3) практическое отсутствие периода разгорания (рис. 3.90); 4) вы-

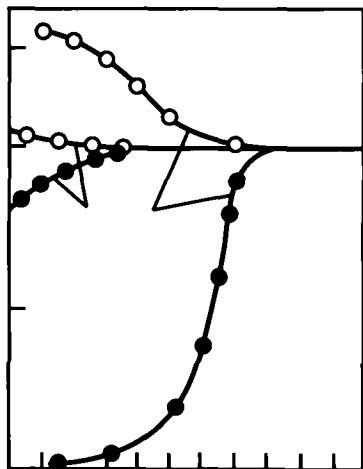


Рис. 3.90. Характеристики разгорания ксеноновых ламп высокого давления: I — ксеноновая лампа; II — РЛВД (для сравнения); ● — сила света; ○ — ток

сокок напряжение зажигания, обусловленное тем, что в момент зажигания давление газа в лампе далеко от минимума по кривой Пашена, поэтому лампы требуют сложной схемы высоковольтного поджига; 5) независимость параметров ламп от рабочей температуры колбы и от $t_{\text{окр}}$, способность работать при низких температурах (до -50°C) без изменения параметров; 6) большой разрядный ток, обусловленный низким значением градиента потенциала в ксеноне — примерно в 3–4 раза меньшим, чем в парах ртути, вследствие этого электроды и вводы приходится делать более массивными; 7) подверженность разряда действию конвекции и внешних магнитных полей, что необходимо учитывать при конструировании и эксплуатации ламп.

Классификация ламп, приводимая ниже, основана на конструктивных признаках: 1) трубчатые лампы высокого давления с естественным и водяным охлаждением и 2) лампы сверхвысокого давления с короткой дугой с естественным и принудительным (воздушным или водяным) охлаждением. Помимо этого имеется много ламп специальных типов, например, металлические разборные лампы-светильники большой мощности, ртутно-ксеноновые ВИ, рассчитанные на разные мощности и режимы работы, безэлектродные лампы и др.

Трубчатые лампы типа ДКСТ (Д — дуговая, Кс — ксеноновая, Т — трубчатая) представляют собой мощный источник ОИ в близкой УФ-, видимой и близкой ИК-областях спектра [3.32].

Устройство лампы — трубка из кварцевого стекла, в концы которой впаяны вольфрамовые активированные электроды (рис. 3.91). В лампах с водяным охлаждением горелка помещается соосно в стеклянный цилиндр со специальными фланцами и патрубками (рис. 3.91, в). В зазоре между горелкой и внешним цилиндром цирку-

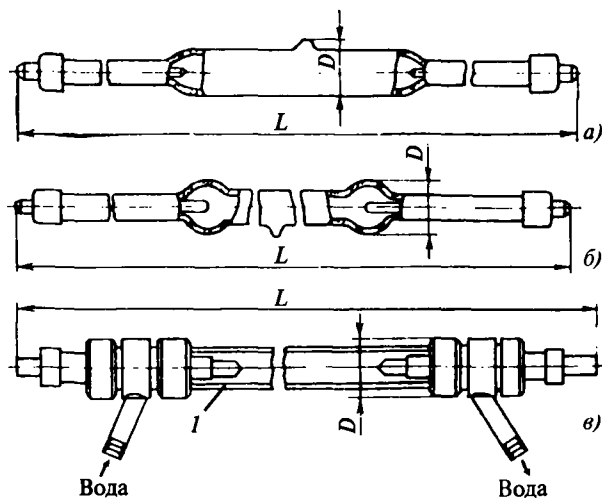


Рис. 3.91. Общий вид ксеноновых трубчатых ламп высокой интенсивности: а — лампы типа ДКСТ5000; б — ДКСТ10000 и ДКСТ20000; в — лампы с водяным охлаждением ДКСТВ6000, ДКСТВ15000; I — оболочка водяного охлаждения

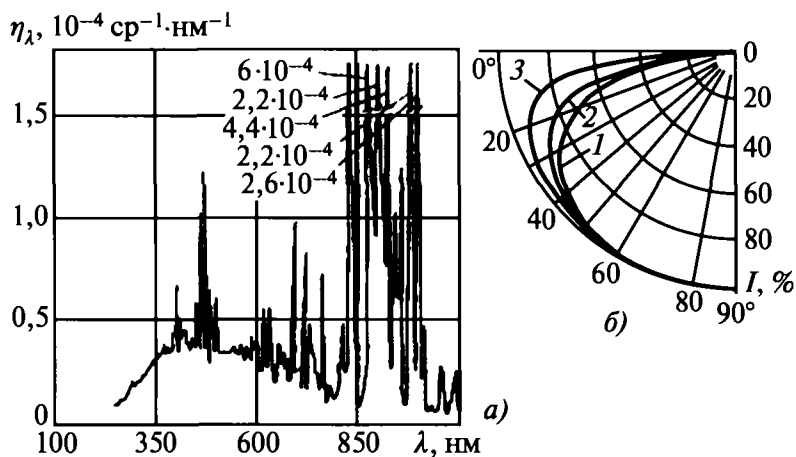


Рис. 3.92. Характеристики излучения ксеноновой трубчатой лампы высокой интенсивности: *a* — спектральное распределение КПД в единичном телесном угле; *б* — КСС в продольной плоскости; 1 — лампа типа ДКсТВ15000; 2 — ДКсТВ6000; 3 — ДКсТ10000

лирует дистиллированная вода. Водяное охлаждение позволяет существенно сократить габариты при той же мощности и повысить световую отдачу. (В настоящее время выпускаются ведомственными предприятиями).

Ксеноновые трубчатые лампы выпускаются мощностью от 0,5 до 20 кВт. Фирма Лисма (2004 г.) выпускает три типа ДКсТ: 5, 10 и 20 кВт соответственно на 110, 220 и 380 В в трубках $\varnothing 40$ мм, длиной 710, 1420 и 2140 мм со световыми потоками 100, 260 и 600 кдм. На рис. 3.92 приведены спектр излучения ламп типа ДКсТ 10000 и КСС в продольной плоскости. Яркость свечения распределена резко неравномерно: при небольшой удельной мощности пучок разряда занимает лишь среднюю часть трубки. По мере повышения удельной мощности пучок расширяется, яркость возрастает. Так, у ламп ДКсТ6000 $L = 1,5 \cdot 10^6$ кд/м².

Световая отдача возрастает с ростом удельной мощности, стремясь к пределу (около 45–48 лм/Вт). У ламп с естественным охлаждением $\eta_v = 20 \div 29$ лм/Вт, у ламп с водяным охлаждением $\eta_v = 35 \div 45$ лм/Вт. При изменении тока и давления ксенона относительное спектральное распределение излучения в видимой части спектра меняется незначительно.

Температура колбы ламп типа ДКсТ t_k определяется удельной мощностью лампы и условиями охлаждения. Обычно $t_k = 700 \div 750^\circ\text{C}$. С ростом t_k выше предельного значения срок службы из-за кристаллизации кварца быстро падает. Вообще сроки службы ламп весьма малы: от 800 до 1600 ч.

Напряжение сети сильно влияет на мощность и световой поток ламп, работающих без балласта: $\Delta P_{\lambda} / P_{\lambda} = 3,5(\Delta U_c / U_c)$. При повышении напряжения наблюдается сильный перегрев лампы и сокращается срок службы, поэтому практически все фирмы, которые еще выпускают ДКсТ, делают их с небольшим балластом, незначительно теряя в световой отдаче, но выигрывая в сроке службы.

Включение ламп, рассчитанных на работу без балласта, производится непосредственно в сеть 110, 220 или 380 В с частотой 50 Гц. Для зажигания как безбалластных, так и балластных ксеноновых ламп применяются специальные зажигающие устройства, дающие высоко-

вольтный (до 50 кВ) импульс высокой частоты (см. разд. 4).

Основные области применения. В 60–80 гг. XX века лампы широко применялись для освещения больших открытых пространств, аэропортов (особенно в северных районах) и теплиц. В настоящее время в связи с освоением производства мощных линейных ГЛН (5 и 10 кВт), МГЛ большой мощности (до 2 кВт) со световыми отдачами до 100 лм/Вт, высоким R_d и сроком службы (τ) 4–6 тыс. ч, а также натриевых ламп со световыми отдачами до 150 лм/Вт и τ до 20 тыс. ч, применение ламп ДКсТ для освещения экономически нецелесообразно.

В настоящее время трубчатые ксеноновые лампы с форсированным воздушным охлаждением, выпускаемые зарубежными фирмами, в кварцевых трубках \varnothing до 12 мм на мощности до 6 кВт (длиной до 1,2 м) и световыми отдачами около 30 лм/Вт, находят широкое применение для накачки лазеров.

ДКсТ с водяным охлаждением на мощности до 12 кВт в трубках \varnothing до 10 мм и длиной до 300 мм также применяются для накачки лазеров.

Эти лампы с успехом применяются в некоторых технологических процессах.

Шаровые ксеноновые лампы типа ДКсШ и ДКсЭл являются источниками высокой яркости с компактным светящим телом. Они дают в видимой области непрерывный спектр излучения, близкий к солнечному, практически не имеют периода разгорания (см. рис. 3.90) и работают, как правило, на постоянном токе.

Устройство ламп — кварцевая толстостенная колба, близкая по форме к сфере или эллипсоиду вращения, в которую с противоположных сторон введены два вольфрамовых электрода — массивный анод и более тонкий катод. Расстояние между электродами обычно несколько миллиметров, у специальных маломощных типов ламп его уменьшают до 0,5–2 мм и, по мере увеличения мощности, увеличивают до 10–12 мм. Холодное давление ксенона 0,3–1,2 МПа. Впаи электродов у маломощных ламп — фольговые, а у ламп большой мощности — на переходных стеклах. Диапазон возможных

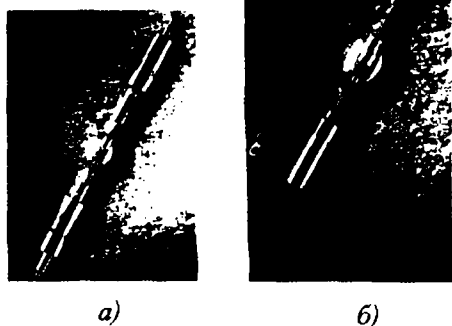


Рис. 3.93. Общий вид шаровых короткодуговых ксеноновых ламп: а - ДКсШ500; б - ДКсЭЛ1000-4000

мощностей — от нескольких Вт до нескольких десятков кВт.

Отечественная фирма Лисма выпускает в настоящее время лампы типа ДКсШ и ДКсЭл 9 типоразмеров мощностью 0,5; 1,2; 3 и 6,5 кВт, близкие по параметрам к зарубежным аналогам. Ведущие фирмы Западной Европы, США, Японии выпускают широкий ассортимент ламп этого типа (свыше 20 типоразмеров) на мощности от 50 Вт до 10–12 кВт. Длины дуг — от 0,5 мм у ламп 50–70 Вт до 14 мм — у 10 кВт, габаритные яркости от 40 до 100 ккд/см²; световая отдача от 15 лм/Вт (70 Вт) до 52 лм/Вт (10 кВт); напряжение на лампах от 14 В (70 Вт) до 50–60 В (10 кВт). Лампы мощностью от 700 Вт до 10 кВт, как правило, требуют воздушного охлаждения, что позволяет делать вводы более короткими. Так, например, общая длина ламп l_1 составляет: у ламп 50–70 Вт — 80–90 мм, 1 кВт — от 250 до 370 мм, 3 кВт — от 340 до 430 мм, 6–10 кВт — около 450 мм.

Общий вид ламп дан на рис. 3.93, спектр излучения лампы ДКсШ — на рис. 3.94. Из всей мощности излучения, составляющей около 40%, около 9% излучается в УФ-области, около 35% — в видимой и около 56% —

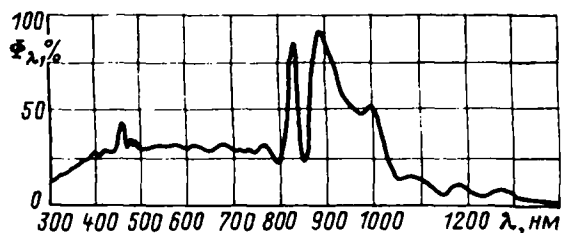


Рис. 3.94. Типичный спектр излучения шаровых короткодуговых ксеноновых ламп (типа ДКсШ3000)

в близкой ИК-области. Световая отдача возрастает с ростом мощности лампы (точнее, удельной мощности), стремясь к пределу. У ламп типа ДКсШ 1000 $\eta_v \sim 30$ лм/Вт, у разборных ламп с водяным охлаждением электродов мощностью 20 кВт η_v превышает 50 лм/Вт. Сроки службы составляют от 800 до 2–3 тыс. ч.

На рис. 3.95, а приведено распределение яркости ДКсШ. Относительное распределение яркости мало зависит от условий разряда. Яркость в центре разряда можно приближенно оценить по формуле [3.2] $L_{\text{ц}} \sim 5,7 \cdot 10^7 P_{\text{ст}} / l_{\text{эл}}^2$, где $P_{\text{ст}}$ — мощность столба, Вт; $l_{\text{эл}}$ — расстояние между электродами.

Яркость у катода намного превышает яркость в центре. В лампах с малым расстоянием между электродами (0,5–2 мм) удается получить яркость более 10^3 Мкд/м². На рис. 3.95, б показано типичное распределение силы света ламп типа ДКсШ. Излучение хорошо модулируется током, вплоть до частот в несколько десятков килогерц. Для целей модуляции иногда приходится создавать лампы специальной конструкции, с тем, чтобы устранить или уменьшить мешающие действия акустического резонанса, собственных магнитных полей и др.

Положение горения для большинства ламп типа ДКсШ — вертикальное анодом вверх, так как в этом случае конвекционные потоки и поток электронов из катода направлены в одну сторону и дуга горит более устойчиво. При небольших расстояниях между электродами при соответствующей конструкции лампы могут устойчиво работать в вертикальном положении

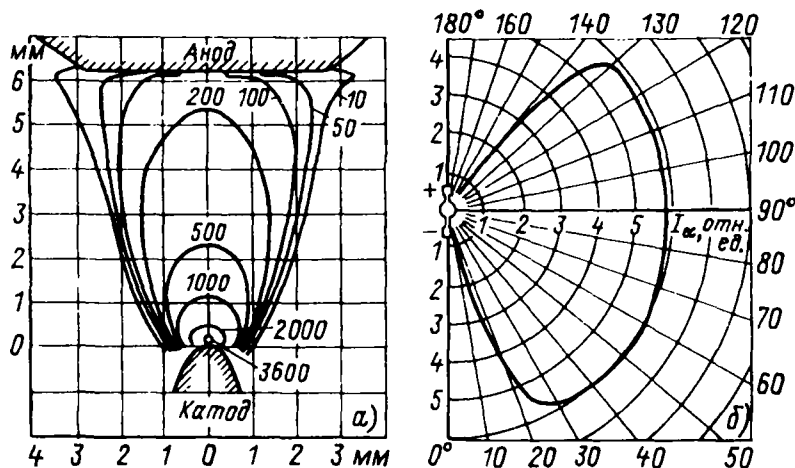


Рис. 3.95. Типичный характер распределения яркости (а) и силы света (б) короткодуговых ксеноновых ламп (цифры у кривых — яркость в Мкд/м²)

либо анодом вверх, либо вниз. (Для работы в горизонтальном положении нужна внешняя магнитная стабилизация дуги).

Тепловой режим лампы практически не сказывается на электрических и световых параметрах, но определяет срок службы. Температура колбы высокая (700–900°C), поэтому перегрев лампы, например, из-за превышения мощности или слишком малого и закрытого кожуха недопустим. Анод нагревается до 2500°C, быстрые изменения температуры вызывают его разрушение.

Включение. Лампы рассчитаны на работу от источника постоянного тока (с последовательно включенным резистором в качестве балласта). Однако в большинстве случаев их включают в промышленные сети переменного тока через специальные блоки, состоящие из дросселя (трансформатора), выпрямителя и конденсаторов, сглаживающих пульсацию тока до 8–10% (см. раздел 4). При больших пульсациях электроды быстро разрушаются из-за термоусталости вольфрама.

Зажигание дуги осуществляется при помощи специального искрового генератора, подающего на лампу импульс высокого напряжения — от 20 до 50 кВ высокой частоты (см. разд. 4). Существует минимальное напряжение питания, ниже которого дуговой разряд не зажигается. Оно составляет примерно $2-2,5U_{л.р.аб.}$, но не менее 45–50 В. (Для питания кинопроекторных ламп типа ДКсШРБ от сети переменного тока выпускалась серия специальных выпрямляющих устройств.)

Основные области применения короткодуговых ксеноновых ламп ВИ — мощностью 1 кВт и более — кинопроекция черно-белых и цветных фильмов (до 90% ламп ДКсЭл), имитаторы солнечного излучения, фотоэкспонирование, установки радиационного нагрева, установки сварки светом и многочисленные другие установки и приборы, где требуются высокая яркость, спектр, близкий к солнечному, или высокое качество цветопередачи и мгновенное включение.

Для эндоскопов разработаны специальные лампы типов ДКсШ200 и ДКсШ300, могущие работать в комбинированном режиме (наложение импульса с 10-кратной перегрузкой по току на дугу постоянного тока). Специальные лампы применяются в установках, использующих хорошую модуляционную способность ксенонового разряда сверхвысокого давления.

Меры предосторожности обусловлены тем, что давление ксенона в лампах не менее 0,3–0,5 МПа и они взрывоопасны даже в нерабочем состоянии. Поэтому на лампы надевают защитные кожухи из органического стекла (или металла), которые позволяют включать лампу, не снимая кожуха. Его разрешается снимать только после установки лампы в закрытую аппаратуру. Кожух также защищает кварц от прикосновения пальцев. Лампы являются источником мощного излучения, которое может вызвать ожоги кожи и глаз. Правила обращения изложены в инструкциях по эксплуатации и должны неукоснительно соблюдаться!

Короткодуговые ксеноновые лампы ВИ большой мощности (десятки кВт). В 60-х гг. XX-го века у нас ощущалась потребность в создании таких ламп в связи с масштабными проектами исследования и освоения

космического пространства, развития кино и телевидения, освоения Северного морского пути, создания мощных концентраторов ОИ и др. В то же время практика и расчеты убедительно показали, что создание таких ламп с внешним воздушным охлаждением на мощности больше 10–12 кВт практически невозможно. Единственным возможным путем создания таких ламп являлось только внутреннее водяное охлаждение электродов и в первую очередь анода, на котором выделяется от 25 до 40% подводимой к лампе мощности. Принципиально важным шагом, снявшим стоявшие на этом пути ограничения, явилось изобретение в 1965 г. в ЦКБ Московского электролампового завода (МЭЛЗ) разборных (или сборных) вакуумно-плотных вводов в кварцевую колбу с внутренним водяным охлаждением электродов. В короткие сроки разработка была завершена и начато производство серии т.н. разборных короткодуговых ксеноновых ламп ВИ с водоохлаждаемыми электродами для кинопроекции и телевидения мощностью 3,5 и 10 кВт (ДКсШРБ) [84]. Эксперименты показали, что таким путем возможно создание ламп мощностью в несколько десятков кВт. Но в это же время во ВНИСИ закончилась разработка совершенно оригинальной по конструкции ксеноновой металлической разборной водоохлаждаемой лампы — светильника мощностью 55 кВт. Внутренняя поверхность ее металлического корпуса представляла собой зеркализованный эллипсоид вращения, в одном из фокусов которого размещалась вертикально горящая ксеноновая дуга ВД, а в другом — обращенное внутрь двойное купольное (для водяного охлаждения) кварцевое окно, через которое выходило излучение [84]. Лампы использовались для наземных испытаний космических аппаратов.

Для кинопроекции на любые экраны обычно было достаточно ламп мощностью до 6–10 кВт с воздушным охлаждением, эксплуатация которых проще, чем ламп с водяным охлаждением. Поэтому спрос на разборные лампы оказался небольшим, а в 90-е годы их выпуск прекратился. Свертывание космических программ привело к тому, что спрос на металлические лампы-светильники мощностью 55 кВт тоже прекратился.

Между тем, по данным зарубежной печати последних лет, некоторые фирмы в последние годы разработали короткодуговые ксеноновые лампы ВИ в кварцевых колбах с охлаждаемыми изнутри электродами мощностью 20 и 30 кВт, а совсем недавно появилось сообщение о создании лампы мощностью 50 кВт, использованной в прожекторе ледокола.

3.3.7. Безэлектродные разрядные лампы

Революционным достижением, обеспечивающим начало нового развития ИС, является разработка и освоение производства безэлектродных индукционных ВЧ-ламп (БИЛ) с люминофором: QI. (Philips, 1991 г.), Genura R80 (GE, 1994 г.), Endura (Osram, 1997 г.) и СВЧ «серной» лампы (Fusion Systems, 1992 г.) [3.18, 3.33].

ВЧ-разрядная лампа QL. Колба лампы QL (рис. 3.96) по форме и габаритам близка к лампам накаливания об-

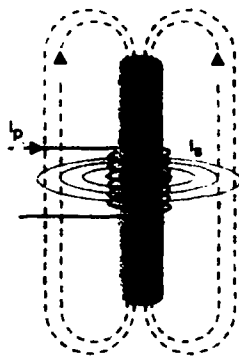
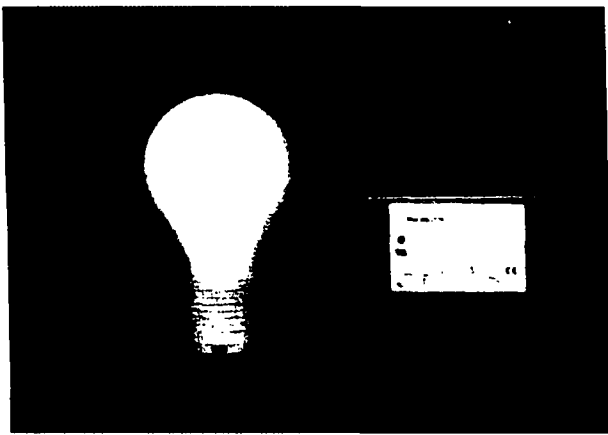


Рис. 3.96. Общий вид комплекта «БИЛ типа QL+ВЧ-генератор» и принцип индукции

шего назначения мощностью 200–300 Вт. Питание осуществляется от выносного электронного ВЧ-генератора, соединенного отрезком экранированного кабеля длиной 400 мм с соленоидным индуктором на ферритовом сердечнике, который размещен внутри колбы. Ин-



Рис. 3.97. Зависимость светового потока БИЛ типа QL от температуры окружающего воздуха

дуктор под действием генератора создает в колбе высокочастотное электромагнитное поле (2.65 МГц), инициирующее в парах ртути и инертном газе резонансное УФ-излучение, воздействующее на люминофорное покрытие (трехкомпонентная смесь гексагональных алюминатов, активированных редкоземельными элементами). Эти люминофоры обеспечивают высокое качество цветопередачи ($R_a > 80$). Лампы типа QL выпускаются двух оттенков: тепло-белого света с $T_{II} = 2700$ и 3000 К и нейтрально-белого света с $T_{II} = 4000$ К.

Лампы рассчитаны на питание от сети с номинальным напряжением 220 или 120 В и частотой 50 (60) Гц. Надежное зажигание ламп гарантировано при температурах воздуха до минус 20°C, при положительных температурах лампы зажигаются и перезагреваются практически мгновенно. Основные характеристики ламп QL приведены в табл. 3.47.

Давление ртутных паров регулируется амальгамой. Зависимость светового потока ламп от температуры в закрытом светильнике показана на рис. 3.97.

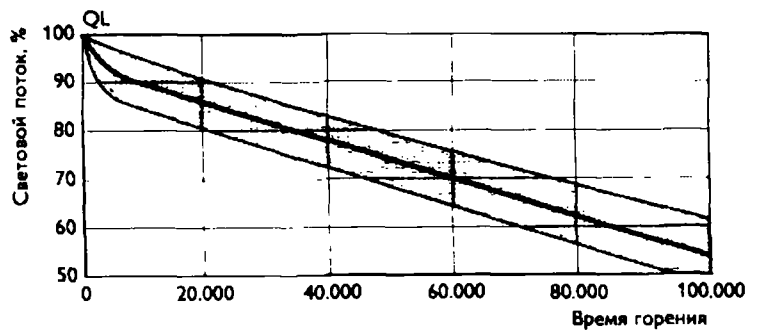
Необходимо отметить, что данные БИЛ за счет удачно решенной проблемы экранировки не создают помех для работ радио- и видеоаппаратуры, высокочувствительных электронных медицинских приборов и удовлетворяют требованиям Европейских норм EN

Таблица 3.47

Характеристики безэлектродных индукционных ламп типа QL

Мощность, потребляемая комплектом «лампа+ПРА», Вт	Световой поток, лм	Световая отдача комплекта, лм/Вт	Средняя яркость, ккд/м ²	T_{II} , К	Габариты		Параметры питающей сети	
					Лампа	ПРА	Напряжение, В	Частота, Гц
55	3500	64	6.5	2700 3000 4000	$D = 85, H = 140,5$	$130 \times 130 \times 41,5$	220-240, 120	50/60
85	6000	71	6.5	2700 3000 4000	$D = 111, H = 180,5$	$130 \times 130 \times 41,5$	220-240, 120	
165	12000	73	22	2700 3000 4000	$D = 131, H = 210$	$161 \times 161 \times 50$	220-240	

Рис. 3.98. Зависимость светового потока QL от времени горения



60555/2 и EN 55015 по электромагнитной совместимости.

Основное достоинство БИЛ типа QL — чрезвычайно большой срок службы (60000 ч), обусловленный отсутствием традиционных для разрядных ламп термоэмиссионных катодов. Кроме того, люминофор и стекло предохраняются от ртутного загрязнения бесцветным защитным покрытием. Это покрытие способствует тому, что спад светового потока после 10 тыс. ч наработки не превышает 10%, а к 60 тыс. ч. — ~30% (рис. 3.98); доля ламп, выходящих из строя в конце срока службы в крупных ОУ, составляет не более 20%.

Благодаря большому сроку службы лампы QL являются идеальным ИС для ОУ со значительной годовой наработкой, в которых светильники размещены на высотах и в зонах, труднодоступных для обслуживания.

В публикациях зарубежной прессы появилась информация о выпуске ламп Duralight типа QL со сроком службы 80000 ч (фирма Tungda Lighting, Гонконг): со встроенным ПРА — лампы мощностью 15, 23 и 35 Вт, с выносным ПРА — 35, 55, 85, 125, 165 Вт. Готовятся к производству лампы мощностью 200 Вт.

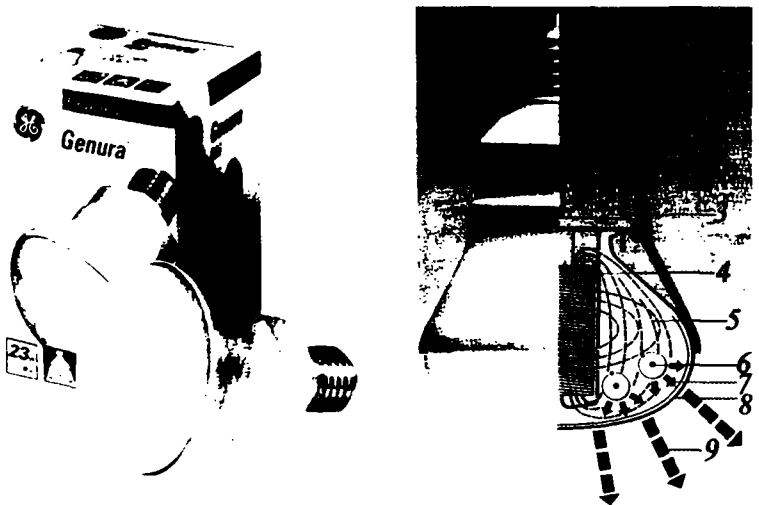
ВЧ-разрядная лампа Genuga. Компактная БИЛ под фирменной маркой Genuga, разработанная и впервые представленная на светотехнический рынок в 1994 г. GE Lighting, функционирует на том же принципе, что и лампа QL.

Общий вид, конструктивная схема и основные характеристики БИЛ Genuga представлены на рис. 3.99 и в табл. 3.48. По форме и габаритам лампа максимально приближена к стандартной зеркальной ЛН в выдувной колбе, мощностью 100 Вт. Аналогичную лампу типа Century DQL мощностью 20 и 25 Вт со световой отдачей 55 лм/Вт и сроком службы 30 тыс. часов выпускает фирма DIAS Electric (Китай). Фирма Sylvania выпускает такого типа лампу под названием DURA-ONE.

БИЛ Genuga, снабженная цоколем E 27, не требует новой и специальной арматуры — она может быть установлена в любом подходящем для нее светильнике с резьбовым патроном. При такой замене может быть получена существенная экономия электроэнергии (более чем в 4 раза) и уменьшены расходы на обслуживание, так как срок службы БИЛ Genuga в 15 раз больше, чем у ЛН. Меньшая мощность (23 Вт вместо 100 Вт) и соответственно сниженное тепловыделение значительно облегчают тепловой режим светильников, уменьшая нагрев освещаемых объектов (при эксклюзионном освещении) и нагрузку на систему кондиционирования (при общем освещении помещений).

Грибовидная колба наполнена небольшим количеством ртути и ксенона и покрыта изнутри трехкомпонентным люминофором, обеспечивающим такое же спектральное распределение энергии излучения и качество цветопередачи, как и у ЛЛ. По оси колбы (внутри

Рис. 3.99. Общий вид и конструктивная схема лампы типа Genuga: 1 — выпрямитель; 2 — ВЧ-преобразователь; 3 — ВЧ-кабель; 4 — катушка индуктора; 5 — ВЧ-магнитное поле; 6 — атом; 7 — фотон; 8 — люминофорное покрытие; 9 — видимое излучение



**Основные характеристики
безэлектродной индукционной КЛЛ Genuga**

Параметры	Значения
Потребляемая мощность, Вт	23
Питающая сеть: напряжение, В частота, Гц	220- 240 50/60
Рабочая частота электромагнитного поля, МГц	2,5
Световой поток, лм	1100
Осевая сила света, кд	280
Световая отдача, лм/Вт	48
Средний срок службы, ч	15000
50%-й угол рассеяния светового пучка, град	120
Цветовая температура излучения, К	2700, 3000
Общий индекс цветопередачи R_a	≥ 82
Габариты: диаметр, мм длина, мм	82 127
Масса, г	200

нес) расположен соленоидный индуктор с ферритовым сердечником, питаемый от встроенного в прицоковую зону колбы генератора ВЧ (2,5 МГц), в схеме которого применены электронные компоненты повышенной надежности.

На поверхности колбы под слоем люминофора нанесено тонкопленочное электропроводящее покрытие из окиси цинка, препятствующее выходу излучения индуктора.

Внешний кожух-отражатель, служащий главным образом защитной оболочкой для электронного блока ПРА, отлит из белого конструкционного полипропилена марки Valox фирмы GE — Plastic (USA), обладающего формостойкостью при температурах от -20°C до $+120^\circ\text{C}$.

Отсутствие электродов в БИЛ Genuga позволило достичь срока службы 15000 ч. Дальнейший прогресс в развитии микроэлектроники позволит в будущем увеличить срок службы у БИЛ аналогичной конструкции в 1,5–2 раза.

Время зажигания и перезажигания лампы Genuga — 0,1 с. Надежное зажигание гарантировано и при отрицательных температурах (до -10°C). Примечательно, что световой поток лампы стабилен в большом диапазоне температуры окружающего воздуха (от -10°C до $+40^\circ\text{C}$), при 55°C спад потока составляет только 5%.

Спад светового потока составляет: после 5 тыс. ч работы — 23%, после 10 тыс. ч — 28% и после 15 тыс. ч — 30%.

При тарифе на электроэнергию 0,15 доллара/кВт·ч лампа окупает свою достаточно высокую цену примерно за полгода при ежесуточной наработке в течение 12 ч.

ВЧ-разрядная лампа Enduga. Последней новинкой в еще относительно небольшом ассортименте безэлектродных разрядных источников света стала БИЛ модели Enduga. Эта принципиально новая по конструкции БИЛ разработана фирмой Osram. Фирма Sylvania выпускает лампу такого типа под названием ICETRON.

Разрядная трубка лампы имеет форму вытянутого кольца, на коротких прогиволегающих участках которого расположены кольцевые соленоидные индукторы на ферритовых сердечниках (рис. 3.100), питаемые от специального ВЧ-ЭПРА.

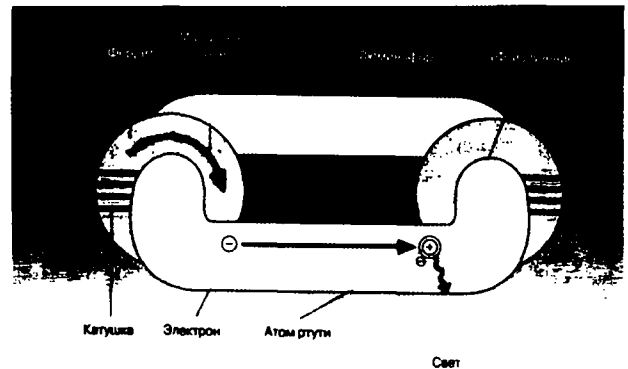
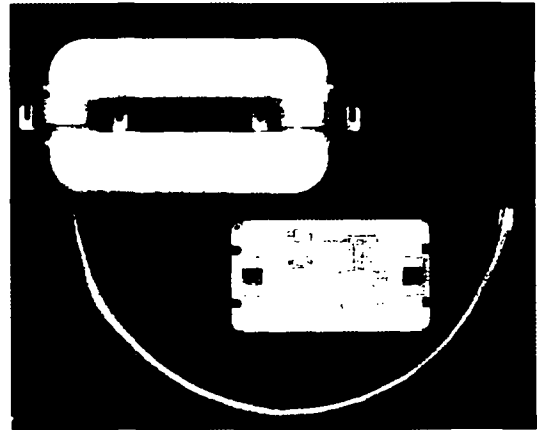


Рис. 3.100. Безэлектродная индукционная лампа Enduga

Применение замкнутых магнитопроводов кольцевой формы для индукторов позволило повысить КПД передачи ВЧ энергии в разряд. Кроме того, этому способствовал выбор более низкой частоты для ВЧ поля (250 кГц). Это позволило довести световую отдачу комплекта до 80 лм/Вт.

Хорошее качество цветопередачи обеспечено применением улучшенных трехкомпонентных люминофорных смесей.

Основные характеристики выпускаемых ламп типа Enduga приведены в табл. 3.49.

Характеристики лампы типа Endura (Icetron)

Мощность лампы, Вт	Световой поток, лм	Световая отдача, лм/Вт	Цветовая температура, К	Габариты, мм $l \times b \times h$
70	6500	71–82	3500	315×139×75
100	8000		4100	315×139×75
150	12000		5000	415×139×75

Лампы ICETRON мощностью 100 и 150 Вт выпускаются также типа Black Light (360 нм).

Форма и размеры лампы Endura (особенно ее небольшая высота — 75 мм) и габариты ЭПРА позволяют создавать компактные плоские светильники как с экранящими решетками, так и с рассеивателями.

Наиболее целесообразными областями применения БИЛ Endura являются ОУ объектов, где смена ламп связана с трудным доступом к светильникам и значительными расходами на эти операции (высокие промышленные здания, туннели, станции метро, железнодорожные и аэровокзалы и т.д.). Резкое снижение эксплуатационных расходов может быть получено в цехах с круглосуточной эксплуатацией технологического оборудования: периодичность замены БИЛ Endura в этих случаях может составлять 6–7 лет, тогда как обычные ЛЛ при таком режиме эксплуатации приходится менять через 1,5–2 года.

Основными преимуществами ламп типа Endura являются: очень большой срок службы — 60000 ч; мощный световой поток; мгновенное зажигание; большая световая отдача >80 лм/Вт; хорошая цветопередача ($R_a > 80$); небольшое падение светового потока в течение срока службы; хорошее зажигание при температурах до -25°C ; возможность работы в сети постоянного тока.

«Серная» СВЧ-разрядная лампа [3.27, 3.34]. Источник света представляет собой сферическую колбу из прозрачного безводного кварцевого стекла диаметром от 5 до 30 мм, наполненную дозированным количеством серы и аргона. Наполнение не содержит ртути. Разряд возбуждается СВЧ-полем, подводимым к лампе волноводной системой, на частоте 2,45 ГГц, широко используемой в промышленности, науке, медицине. На этой же частоте работают распространенные во всем мире бытовые микроволновые печи.

Лампа снабжена системами интенсивного воздушного охлаждения и вращения колбы, обеспечивающими необходимый тепловой режим и его равномерность.

Схематический вид безэлектродной микроволновой «серной» лампы фирмы FSC и общий вид светового прибора с ней показан на рис. 3.101. Блок-схема СВЧ-светового прибора представлена на рис. 3.102.

«Серные» СВЧ-лампы ВД дают непрерывное по спектру излучение, преимущественно в видимой области; R_a от 79 до 86; T_{11} от 4000 до 8000 К в зависимости от условий разряда; световая отдача установки

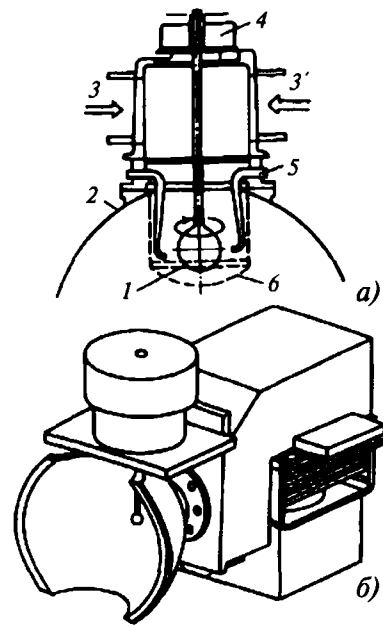


Рис. 3.101. Микроволновая серная безэлектродная лампа фирмы Fusio Lighting и световой прибор с ней: а — схема лампы; 1 — шаровая колба; 2 — отражатель; 3, 3' — микроволновая энергия; 4 — блок вращения колбы; 5 — охлаждающий воздух; 6 — защитная сетка; б — общий вид светового прибора

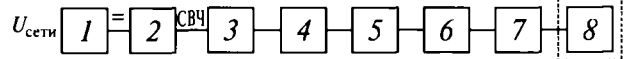


Рис. 3.102. Блок-схема СВЧ-светового прибора: 1 — источник вторичного питания; 2 — магнетронный генератор СВЧ-колебаний; 3 — СВЧ-адаптер; 4 — СВЧ-тракт; 5 — СВЧ-возбудитель; 6 — светонепрозрачный СВЧ-резонатор; 7 — безэлектродная серная лампа; 8 — оптическая система

90–95 лм/Вт, а световая отдача, отнесенная к мощности СВЧ, поглощенной в излучающем объеме, достигает 140 лм/Вт. На рис. 3.103 приведен пример спектра «серной» лампы ВД. Светящее тело имеет шаровую форму малых размеров с равномерной высокой яркостью, очень удобное для СП прожекторного типа.

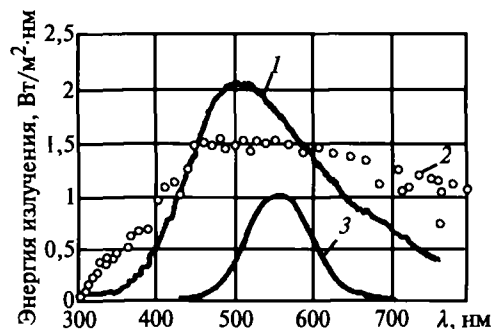


Рис. 3.103. Спектральное распределение энергии «серной» СВЧ-лампы: 1 — лампа; 2 — солнечный спектр; 3 — кривая относительной спектральной чувствительности глаза

Промышленно выпускается только один базовый образец под маркой Solar 1000 с потребляемой из сети мощностью 1,4 кВт, световым потоком 135÷140 кдм. $T_{II} = 6000$ К, $R_a \sim 79$, диаметром горелки — 28–30 мм.

Основные достоинства «серных» ламп ВД:

- сплошной квазисолнечный спектр с максимумом спектральной плотности излучения, совпадающим с максимумом кривой относительной спектральной чувствительности глаза (рис. 3.103);
- высокая световая отдача установкой (90–95 лм/Вт);
- высокий срок службы (до 45 тыс. ч);
- малогабаритность и равномерность светящегося тела, облегчающие оптимизацию оптической системы;
- возможность регулирования яркости.

Открытие уникальных световых и эксплуатационных характеристик безэлектродной СВЧ «серной» лампы ВД безусловно знаменует новый этап в развитии светотехники. Созданные на этой основе ламповые системы делают еще только первые практические шаги. Фактически они открывают путь в еще недостаточно изученную область взаимодействия ВЧ и СВЧ электромагнитных колебаний с плазмой как источником оптических излучений. Можно надеяться на развитие исследований в этом направлении. Но уже и сейчас можно указать области, в которых исключительные достоинства «серных» ламп делают их применение весьма эффективным. Следует также иметь в виду, что безэлектродные лампы с другими наполнителями, являясь весьма эффективными источниками оптического излучения в разных областях спектра, например, в УФ-области, могут оказаться вне конкуренции во многих промышленных фотопроцессах.

Однако наряду с перечисленными выше достоинствами «серные» лампы ВД имеют серьезные недостатки. Для обеспечения работы ламп необходимо применение блока магнетронной накачки, состоящего из генератора СВЧ с системой принудительного воздушного охлаждения магнетронов, а также специальной волноводной конструкции, обеспечивающей эффективный подвод и «закачку» энергии в разрядный объем, и системы надежной защиты окружающего пространства от распространения СВЧ-излучения. По сути, срок службы комплекта обусловлен сроком службы магнетронов, который, как правило, не превышает 15 тыс. ч.

В результате мощная «серная» лампа превращается в сложный агрегат, состоящий из разнородных блоков и узлов, обеспечивающих стабильную работу самого светящегося разрядного объема. Это приводит к существенному снижению общего КПД установки (до 37% подводимой мощности), снижению ее надежности, значительно усложняются условия эксплуатации, а, следовательно, ограничиваются области применения. При этом надо учесть весьма высокую стоимость ряда агрегатов, входящих в систему блоков и узлов. Поэтому вопрос об экономической целесообразности применения «серных» ламп в данное время нуждается в уточнении. Ведущая фирма по разработке «серных» ламп временно приостановила работы по их созданию.

3.4. ИМПУЛЬСНЫЕ ЛАМПЫ

Одним из видов преобразования электрической энергии в высокоинтенсивное оптическое излучение является мощный импульсный разряд в газе. Источники света на основе такого разряда используются для накачки различных типов лазеров, для освещения при фотографировании, для оптической связи на небольших расстояниях, для возбуждения спектров анализируемых веществ и т.п. [3.35–3.37].

Импульсной лампой (ИЛ) называется РЛ, рассчитанная на мощные импульсные электрические разряды, сопровождающиеся интенсивным ОИ [3.10]. Лампы имеют герметичный баллон из стекла или кварца, наполненный химически неактивным газом (чаще ксеноном). Зажигание ИЛ осуществляется с помощью третьего, расположенного внутри или на внешней поверхности лампы, электрода при подаче на него высоковольтного импульса. В некоторых случаях ИЛ не имеет управляющего электрода и зажигается кратковременным увеличением напряжения на основных электродах.

Для получения микросекундных импульсов созданы специальные типы ламп с малыми емкостью и индуктивностью [3.38].

Питание ИЛ осуществляется от источника, способного обеспечить в течение короткого времени большой ток, чаще всего от конденсатора, заряжаемого до рабочего напряжения U_0 . Особенность ИЛ заключается в возможности их эффективного использования при значительном варьировании амплитуды тока, длительности и частоты разрядов при небольших изменениях КПД и спектрального состава излучения. Для ИЛ с длительностью разряда в сотни мкс это расширяет ассортимент доступных ламп [3.39] при ограниченном числе выпускаемых промышленностью типов. В настоящее время с ИЛ получены следующие наибольшие значения параметров: пиковая электрическая мощность $2 \cdot 10^8$ Вт, световой поток 10^{10} лм, яркость 10^{11} кд/м². Диапазон длительности вспышек ИЛ, выпускаемых промышленностью, — 10^{-7} + 10^{-2} с.

Классификация ИЛ по конструктивным признакам позволяет выделить *трубчатые* и *шаровые ИЛ*. У первых разрядный объем ограничен стенками трубки, у вторых разряд не ограничен в пространстве — расширяющаяся плазма за время разряда не достигает стенок колбы. Терминология, относящаяся к ИЛ, дана в [3.40], а система условных обозначений отечественных ИЛ установлена в [3.41].

Основные конструктивные и эксплуатационные особенности ИЛ определяются областью их применения и характером оптической задачи. Прежде всего, делается выбор вида импульсного разряда (ИР) (ограниченного стенками или свободно расширяющегося), а затем конструкции лампы: трубчатой или шаровой. Когда основным требованием является получение минимального светящегося объема с высокой пиковой яркостью и малой длительностью разряда, преимущество имеют шаровые лампы, которые могут рассеять значительно большую мощность, чем канильярные лампы с тем же расстоянием между электродами. Они предпочтительны также, когда требуется высокая час-

тогда повторения вспышек при небольшой энергии одной вспышки.

Трубчатые лампы предпочтительны при требовании строгой локализации светящего объема. Они более выгодны, когда произведение радиуса канала на энергию разряда, отнесенную к 1 см^3 канала, превосходит 2 Дж/см^2 , а длительность импульса составляет десятки и более мкс. При этом один из пространственных размеров светящего объема составляет десятки и более мм.

В зависимости от требований к пространственному распределению светового потока трубчатые лампы подразделяются на лампы с прямой цилиндрической разрядной полостью и на лампы с полостью сложной конфигурации: спиральной, U-образной, панельной, коаксиальной. Шаровые лампы могут существенно различаться элементами конструктивного исполнения (число и расположение в разрядном промежутке электродов зажигания; конструкции токовводов, оболочки, цоколей и др.).

Следующим признаком является режим работы лампы, на который она рассчитана: частотный (стробоскопический) или одиночных импульсов. Хотя любые ИЛ работают в обоих режимах, этот признак важен, потому что для повышения экономичности и эффективности ламп в определенном режиме должны быть применены специальные материалы и конструкторские решения.

В качестве дополнительных классификационных признаков следует отметить индуктивность ламп, интенсивность создаваемых ими магнитных полей, рабочий напряжения, материал — стекло или кварц.

Конструкции ламп, материал и технология изготовления. Основные конструктивные элементы ИЛ:

- баллон и газовое наполнение;
- электродные узлы: катодный (включающий в себя катод, газопоглотитель, ввод в стекло и внешний вывод); анодный (анод, ввод, внешний вывод), управляющий электрод (электрод зажигания);
- элементы внешнего оформления: цоколь, защитный баллон, приспособления для принудительного охлаждения, блокировки и т.п.

Баллоны светосигнальных и фотоосветительных ламп изготавливаются из стеклянных или кварцевых трубок разных размеров.

Баллон из стекла предпочтителен для фотоосветительных и сигнальных ламп, если при этом обеспечиваются необходимые размеры светящего объема и напряжения зажигания. Только специфические требования малых размеров светящего объема, обуславливающих высокие энергетические нагрузки на стенку трубки или высокую среднюю мощность, делают обоснованным использование кварцевой разрядной трубки.

Выбор материала баллона шаровых импульсных ламп, в основном работающих в частотном режиме, основывается на допустимой средней мощности, отнесенной к 1 см^2 внутренней поверхности баллона как для режимов в установившемся тепловом равновесии, так и для работы короткими сериями, когда в лампе не успевает устанавливаться стационарный тепловой режим. Конструкции шаровых ламп показаны на рис. 3.104.

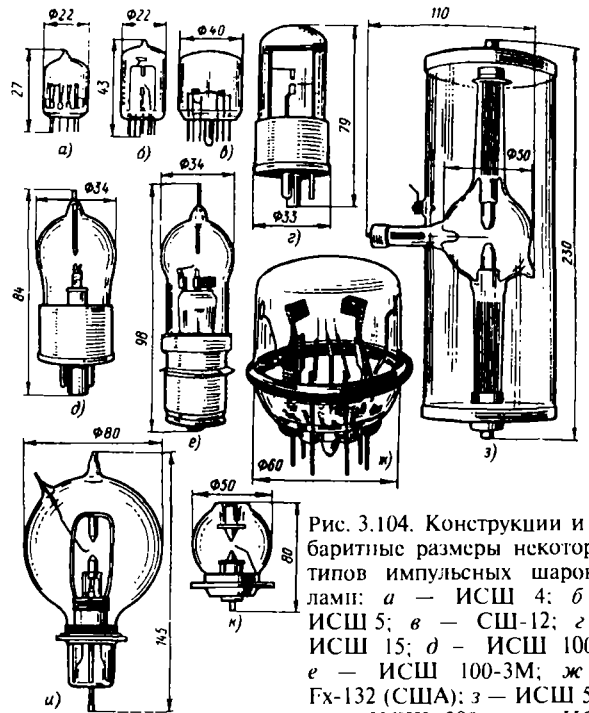


Рис. 3.104. Конструкции и габаритные размеры некоторых типов импульсных шаровых ламп: а — ИСШ 4; б — ИСШ 5; в — СШ-12; г — ИСШ 15; д — ИСШ 100-5; е — ИСШ 100-3М; ж — Гх-132 (США); з — ИСШ 500; и — ИСШ 300; к — ИСШ

Лампы с повышенным УФ-излучением имеют баллон из специальных сортов кварца или стекла. Кроме того, в них могут впаиваться окна с хорошим пропусканием УФ-излучения.

Шаровые ИЛ обычно наполняются Хе или смесью Хе с Ag или молекулярными газами (H_2 , N_2 , реже O_2 и др.) до давления $0,09 \text{ МПа}$. Недостаток ксенонного наполнения — увеличение длительности светового импульса, особенно в условиях колебательного разряда.

Электродные узлы являются одними из важнейших элементов ламп. Для трубчатых стеклянных ламп применяются металлические стержневые вводы из пружков W, Mo или специальных сплавов. В шаровых стеклянных лампах с горцевым выходом излучения применяются дисковые вводы или многостержневые, выполненные в виде плоских или гребенчатых пожек.

В промышленных типах кварцевых импульсных ламп применяют следующие токовводы: плоские фольговые, цилиндрические фольговые, стержневые на переходных стеклах, колпачковые с уплотнением мягкими припоями. В экспериментальных лампах применяют клееные вводы колпачкового или стержневого вида с уплотнением полимерными компаундами, а также разборные вводы из специальных резин или мягких металлов — свинца, меди и др. Каждый тип токоввода имеет преимущества и недостатки. Достоинствами фольговых токовводов являются: вакуумная надежность, теплостойкость, позволяющая производить высокотемпературный нагрев деталей ламп для их очистки от газов; механическая прочность электродного узла. Однако фольговый ввод ограничивает пропускаемый ток, весьма трудоемок в изготовлении и имеет низкую коррозионную устойчивость. Другие типы токовводов пропускают большие токи при сравнительно

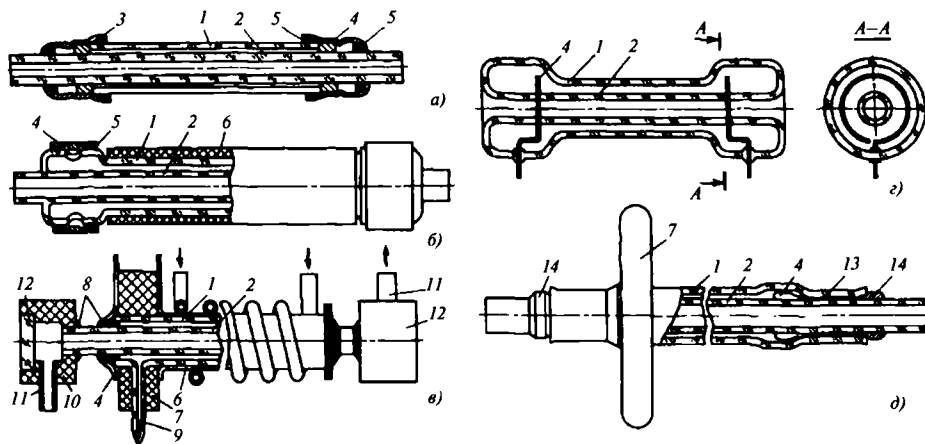


Рис. 3.105. Варианты конструктивного исполнения импульсных коаксиальных ламп (а-д): 1 и 2 — кварцевые трубки; 3 — колпачок; 4 — электрод; 5 — металлический обратный токоввод-отражатель; 6 — металлический обратный токоввод-отражатель; 7 — изолятор; 8 — органический клей; 9 — штенгель; 10 — насадка; 11 — штуцер; 12 — окно кюветы; 13 — молибденовая фольга; 14 — вывод

меньшей длине. Однако токоввод на переходных стеклах чувствителен к резким перепадам температур и обладает меньшей механической прочностью по сравнению с фольговым вводом. Для механизированного производства наиболее удобными являются колпачковые вводы, основанные на припайвании к металлизированной поверхности кварцевой трубки металлического колпачка или диска припоем олово-титан.

Таким образом, фольговые цилиндрические вводы целесообразно применять в импульсных частотных лампах с высокой средней мощностью, а плоские — в маломощных частотных лампах. Лампы с колпачковыми токовводами и на переходных стеклах предпочтительны для режимов работы с одиночными импульсами. Если эксплуатировать такие лампы в частотных режимах, то их нужно интенсивно охлаждать.

Коаксиальные импульсные лампы были созданы для исследований импульсного фотолитза газов и жидкостей, а затем они стали применяться и для накачки лазеров: химических, фотодиссоционных и на красителях. Варианты конструкций коаксиальных импульсных ламп показаны на рис. 3.105. Они выполняются с кольцевыми (рис. 3.105, а-в, д) и стержневыми электродами (рис. 3.105, з), у которых герметичное соединение металла с кварцем осуществляется с помощью металлических припоев (а, б), органических компаундов (в), через переходные стекла (з) и ввариванием тонкой молибденовой фольги между двумя кварцевыми трубками (д).

При использовании стержневых токовводов две коаксиальные трубки спаиваются между собой на концах. Вольфрамовые прутки впаиваются через переходные стекла во внешнюю кварцевую трубку перпендикулярно осевой линии лампы и направлены в одну сторону (рис. 3.105, з). В разные стороны направлены электродные стержневые узлы с фольговыми вводами в лампах типа ИФПП7000, предназначенных для работы с импульсами длительностью сотни мкс.

Усовершенствование кольцевых электродных узлов в колпачковых токовводах привело к созданию в них балластных объемов, расположенных за рабочей частью электродов.

В качестве диффузных отражателей используются порошки из MgO , $BaSO_4$ или аморфная двуокись крем-

ния, впекаемая в поверхность внешней трубки (рис. 3.105, б). Зеркальные отражатели в виде трубок или фольги из серебра, алюминия или меди одновременно служат обратным токовводом, уменьшающим индуктивность разрядного контура.

Наиболее распространенные промышленные ИЛ показаны на рис. 3.106 и 3.107. Кроме представленных, имеется также более трех десятков типов трубчатых

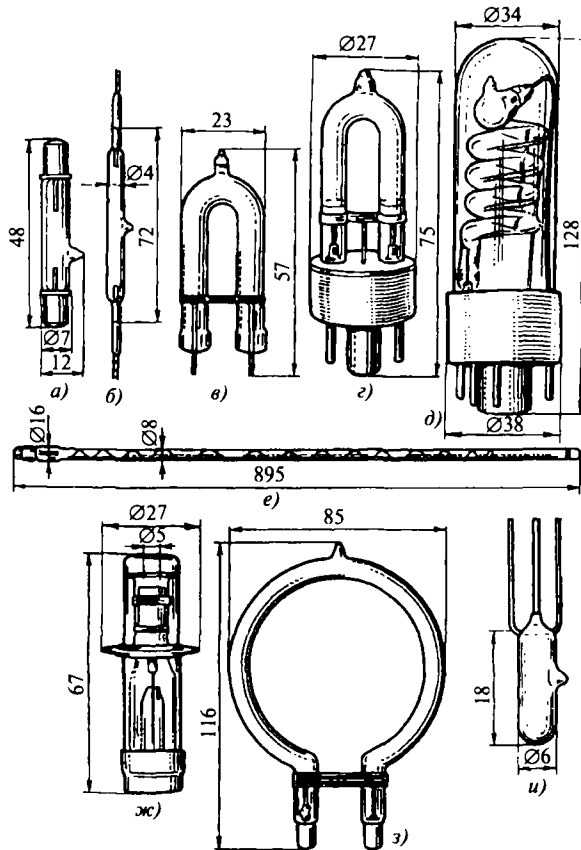


Рис. 3.106. Варианты конструкций импульсных стеклянных ламп для фотографии: а, б, е — линейчатые трубчатые; в, г, ж — U-образные; д — спиральная; з — кольцевая трубчатая; и — трехэлектродная

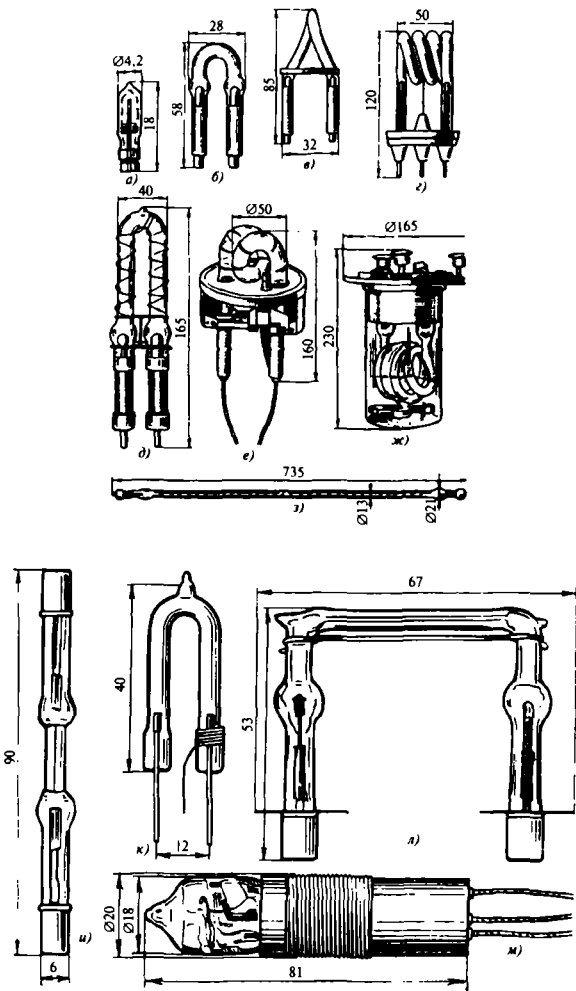


Рис. 3.107. Варианты конструкций импульсных кварцевых ламп для фотографии и сигнализации: *a, б, д, к* — U-образные; *в, г, е, ж* — трубчатые спиральные; *з, и* — трубчатые линейные; *л* — П-образная; *м* — со спиральным каналом разряда, вырезанном на поверхности кварцевого монолита

кварцевых ИЛ, предназначенных для накачки лазеров и импульсного фотолиза [3.10, 3.38].

Схемы включения и питания ИЛ с разрядом длительностью в сотни мкс содержат накопитель, заряжаемый от источника постоянного тока, и устройства управления, синхронизации и защиты, регулирующие работу зарядного устройства, генератора зажигающих импульсов и разрядного контура (рис. 3.108). Приблизительно ИЛ можно рассматривать как ключ с односторонним управлением: прохождение тока через лампу прекращается, когда энергия накопителя W_p почти полностью иссякает, или срабатывает выключатель в разрядном контуре, или гасящее устройство уменьшает напряжение на ИЛ до напряжения погасания.

Диапазон напряжений между основными электродами, в пределах которого возможно управляемое зажигание ламп, ограничивается напряжениями зажига-

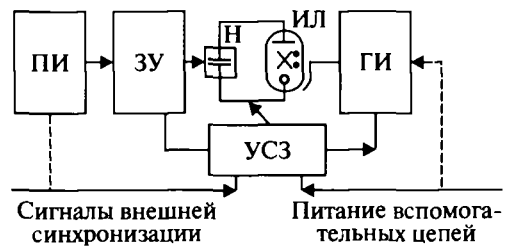


Рис. 3.108. Функциональная схема питания лампы: ИЛ — импульсная лампа; Н — накопитель электрической энергии; ЗУ — зарядное устройство; ПИ — первичный источник энергии; ГИ — генератор зажигающих импульсов; УСЗ — блок управления, синхронизации и защиты

ния и самопробоя. Методы измерения напряжений зажигания и самопробоя стандартизованы [3.42, 3.43].

Самым распространенным и простым способом питания ИЛ является подключение ее к накопительному конденсатору, при разряде которого генерируется импульс тока (см. рис. 3.108). Накопитель заряжается через зарядное устройство от первичного источника постоянного тока.

Несколько иначе питаются «микросекундные» ИЛ (рис. 3.109). Поскольку напряжение, до которого заряжают разрядный контур, всегда выше напряжения самопробоя лампы, то используют управляемый разрядник, который разрывает электрическую цепь. В нужный момент на управляющий электрод разрядника подается напряжение, происходит разряд сначала между ним и одним из основных электродов, а затем и между двумя основными электродами. При этом на электроды лампы подается высоковольтное напряжение, межэлектродный промежуток пробивается, и вся энергия выделяется в газовом объеме. Управляемость ИЛ зависит от условий разряда в лампе, которые характеризуются несколькими параметрами. Это диапазон управляемости (напряжение между рабочими электродами лампы, в пределах которого обеспечивается надежное зажигание разряда), мощность и энергия в канале зажигающего (вспомогательного) разряда, время запаздывания импульса излучения относительно импульса зажигания. Время запаздывания имеет важное значение в световой сигнализации. Например, в космиче-

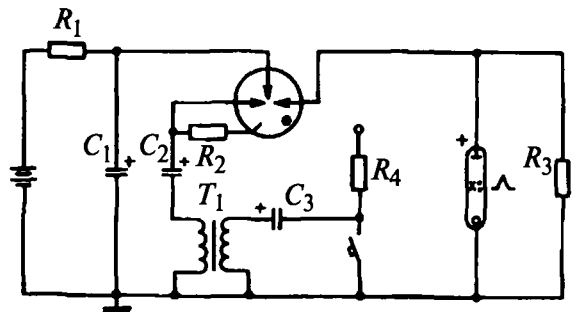


Рис. 3.109. Схема включения ламп с разрядником: $R_1 - R_4$ — сопротивления; $C_1 - C_3$ — емкости; T_1 — трансформатор

ских маяках, используемых в геодезических целях. импульсная вспышка света должна следовать в строго заданное время (когда спутник пролетает над измерительной станцией). Разброс времени запаздывания светового импульса относительно управляющего сигнала, предназначенного для инициирования вспышки, приводит к ошибкам в измерении координат местности. В связи с этим рассмотрим подробно процессы, происходящие в лампе при зажигании разряда.

Электрический пробой газопых промежутков характеризуется процессом создания высокой проводимости между электродами с помощью двух основных механизмов: механизма образования большого числа электронных лавин (таунсендовский) и стримерного, или канального, механизма, когда уже первая лавина приводит к образованию токовой перемычки. В реальных условиях существуют переходные формы, являющиеся комбинацией этих двух механизмов с разным статистическим весом.

В случае электрического пробоя в длинных газовых промежутках ориентировочно выделяют три стадии развития разряда, качественно отличающиеся друг от друга и характеризующиеся временами: $t_{ст}$ — статистического запаздывания; t_p — рабочего времени развития разряда; t_ϕ — формирования разряда, по времени соответствующего росту тока до максимального значения. Время запаздывания разряда t_3 определяется от момента подачи напряжения на трубку до начала резкого нарастания тока и складывается из $t_{ст}$ и t_p . Время $t_{ст}$ зависит от случайных событий, хотя на его среднее значение влияют ряд факторов (длина промежутка, геометрия и напряженность поля, внешние условия). Для импульсных ламп, использующих вспомогательный разряд для зажигания основного, $t_{ст} = 0$ и $t_3 = t_p$.

Вспомогательный разряд образует в газе сравнительно узкий токопроводящий слой с высокой температурой, хотя мощность его мала, а действие кратковременно. С течением времени токопроводящий слой может либо леонизоваться, либо начать расширяться. В первом случае выделяемая мощность разряда недостаточна для компенсации тепловых потерь, а во втором — значительно их превосходит.

Импульс зажигания подается на лампу двумя способами. При первом из них, называемом последовательным или внутренним, вторичная обмотка импульсного трансформатора вводится в цепь разряда, а при втором, называемом параллельным или внешним, импульс подается на вспомогательный электрод в виде проволоки, навитой на колбу лампы. При внутреннем зажигании, которое образует вспомогательный канал разряда по осевой линии лампы, развитие основного разряда происходит симметрично и однородно. В случае внешнего зажигания геометрия вспомогательного разряда повторяет геометрию внешнего электрода, а основной разряд вследствие этого в течение некоторого времени развивается несимметрично. Это ухудшает излучательные характеристики ламп. При внутреннем зажигании излучение распределено более равномерно по всему сечению трубки. В то же время введение обмотки трансформатора в цепь разряда увеличивает ее индуктив-

ность и затягивает импульс излучения. В течение времени, соответствующего t_a , существуют предпробойные токи (примерно $10^{-2} \pm 1$ А), а излучение у электродов более слабое, чем в середине разрядной трубки. Такое распределение излучения напоминает аномальный тлеющий разряд. Зависимость времени запаздывания от начального давления p_0 наполняющего газа имеет U-образный вид: с ростом p_0 вначале наблюдается уменьшение t_3 , а затем его рост. Время запаздывания существенно сказывается на синхронной работе ИС в многоламповых системах.

После образования канала вспомогательного разряда в нем происходит выделение энергии основного разряда. Для разрядного контура, создающего основной разряд,

$$L \frac{di}{dt} + Ri + \frac{1}{C} \int i dt = U_0, \quad (3.22)$$

где U_0 — начальное напряжение; i — ток; R — активное сопротивление; L — индуктивность контура; C — емкость конденсатора.

При напряжении, равном напряжению зажигания (которое обычно определяется с 95%-ной вероятностью осуществления основного разряда), $U_0 = U_3$, мощность, выделяемая в канале вспомогательного разряда, равна энергетическим потерям. Она полностью расходуется на поддержание стационарного состояния. При этом время запаздывания стремится к бесконечности ($t_3 \rightarrow t_3^\infty$). Для стационарного режима $di/dt = 0$, а $Ri \ll iC/C$. Тогда из (3.22) имеем

$$t_3^\infty = U_3 C / I. \quad (3.23)$$

При $U_0 > U_3$ выделяемая мощность больше потерь, и t_3 уменьшается. Его снижение пропорционально разности выделяемой и теряемой мощностей. В (3.23) это выразится заменой i на $i_0 - i_3$, где i_0 — ток в канале вспомогательного разряда при напряжении U_0 , а i_3 — при U_3 .

Время запаздывания

$$t_3 = \frac{U_3 RC}{U_0 - U_3} = \frac{RC}{U_0/U_3 - 1}. \quad (3.24)$$

Здесь величина U_0/U_3 принимается по аналогии U_0/U_c , где U_c — напряжение самопробоя при отсутствии вспомогательного разряда, она называется перенапряжением. Соотношение (3.24) позволяет выяснить физический смысл влияния на t_3 различных факторов.

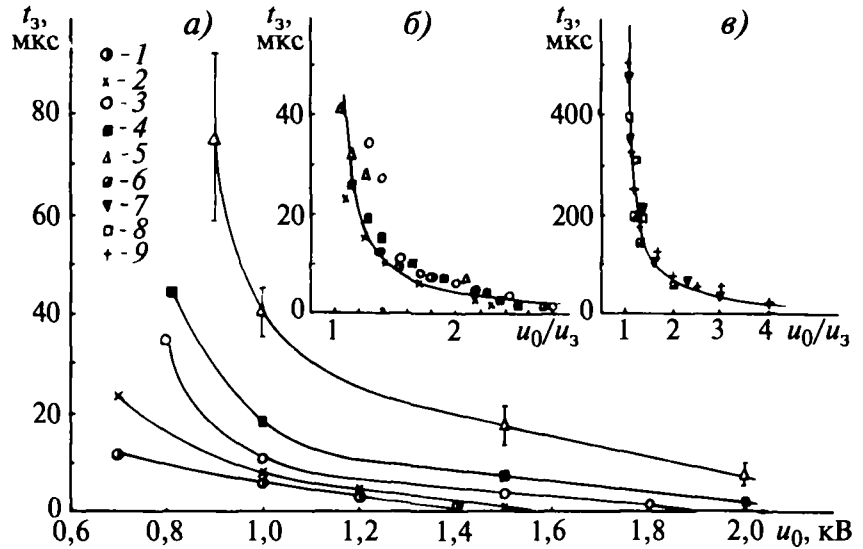
Поскольку $RC = \text{const}$, из (3.24) дифференцированием можно получить

$$\Delta t / t = \Delta U_0 / U_3 (U_0 / U_3 - 1). \quad (3.25)$$

Соотношение (3.25) говорит о том, что относительный разброс времени запаздывания увеличивается при $U_0/U_3 \rightarrow 1$.

На рис. 3.110 показаны зависимости t_3 от U_0 и перенапряжения. Из рис. 3.110, б. в видно, что с ростом отношения U_0/U_3 , когда вкладываемая во вспомогательный разряд мощность значительно превышает мощность тепловых и излучательных потерь, время запаздывания быстро уменьшается. Увеличение емкости конденсатора ведет к задержке развития основного разряда.

Рис. 3.110. Зависимость времени запаздывания разряда от начального напряжения (а) и перенапряжения (б, в); а и б — лампы размером 7×120 мм, $C = 25$ мкФ, $r_0 > 13$ (1), 27 (2), 40 (3), 53 (4) и 67 кПа Хе (5); в — лампы диаметром 1,7 см и длинами 1,7 (б), 27 (7, 8) и 84 см (9), $r_0 = 40$ (6, 7, 9) и 93 кПа (8). На рис. а — $r_0 = 27$ (Δ), 80 (○) и 134 кПа (×), $C = 106$ мкФ [3.38]



На время запаздывания t_3 оказывает влияние начальная ионизация газа во вспомогательном разряде, зависящая от формы и амплитуды импульса зажигающего напряжения.

Импульсные лампы с длительностью разряда в сотни мкс могут работать в широком диапазоне частот повторения импульсов. Возникающие при этом сбои регулярной работы ламп бывают трех видов — переход в стационарный режим горения, самопробой межэлектродного промежутка и пропуски вспышек. В лампах с разрядами длительностью порядка нескольких мкс таких сбоев нет.

Характеристики излучения трубчатых ИЛ определяются параметрами лампы и разрядного контура.

Импульсы силы света $I(t)$ характеризуются освещением

$$0 = \int I(t) dt, \quad (3.26)$$

амплитудой силы света I_n и длительностью вспышки τ . Варьируя форму и длительность импульса выделяющейся в ИЛ электрической мощности, можно изменять форму и параметры импульсов излучения, получать импульсы силы света, близкие к прямоугольным. Однако при питании от конденсатора кривая $I(t)$ имеет характерную форму (рис. 3.111). Длительность вспышки

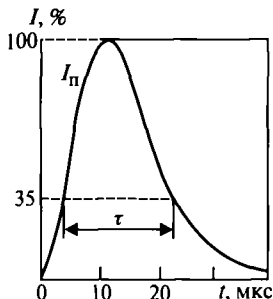


Рис. 3.111. Типичная зависимость силы света $I(t)$ от времени t (I_n — амплитудная сила света; τ — длительность импульса)

ки τ при заданном внутреннем диаметре d_i разрядной трубки определяется произведением Cl (C — емкость конденсатора, l — длина разрядной трубки). При сравнительно больших длительностях разряда, когда плазма практически равномерно заполняет все внутреннее сечение разрядной трубки, можно рассчитать амплитудную габаритную яркость и интеграл яркости

$$\int L_0(t) dt = 0 / (ld_i) \quad (3.27)$$

(для ламп с изогнутыми трубками ld_i заменяется на соответствующую площадь проекции светящего объема).

Световая отдача трубчатых ксеноновых ИЛ достигает 60 лм/Вт. Пространственное распределение световой энергии характеризуется индикатрисами освещивания (рис. 3.112). Связанной с пространственным распределением излучения величиной является эквивалентный телесный угол Ω_3 , равный отношению световой энергии к освещиванию θ в направлении излучения, принято за основное. Для прямых трубчатых ИЛ — это направление нормали к оси лампы. Эквивалентные телесные углы прямых трубчатых ИЛ лежат в пределах 10,4–11,6 ср. Теоретические крайние значения Ω_3 равны 9,6 и 11,7 ср. Для ламп типа ИФК $\Omega_3 = 10,1$ –12,1 ср.

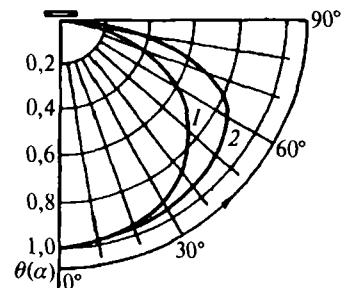


Рис. 3.112. Максимально различающиеся по форме индикатрисы освещивания ИЛ: 1 — ИФП1200 ($U_0 = 1100$ В; $C = 200$ мкФ; $L = 10$ мкГн; $\tau = 350$ мкс); 2 — ИФП2000 ($U_0 > 1500$ В; $C = 1800$ мкФ; $L = 50$ мкГн; $\tau = 840$ мкс)

Спектры излучения трубчатых ИЛ с разрядом длительностью в сотни мкс (температура плазмы 8000–12000 К) охватывает диапазон длин волны 155–4500 нм при кварцевой колбе и 290–3000 нм при стеклянной. Спектры излучения состоят из спектральных линий и сплошного фона. В обобщенном и схематизированном виде (без подробного изображения множества спектральных линий излучения ксенона) спектральные характеристики для различных значений пиковой электрической мощности P_n , рассеиваемой в 1 м^3 плазмы, представлены на рис. 3.113. При увеличении P_n температура плазмы возрастает, доля УФ увеличивается, а ИК уменьшается. Спектры ИЛ практически не меняются при изменении частоты следования разрядов.

В оптимальном режиме при $P_n = 0,5 \cdot 10^6 \text{ МВт/м}^3$ обций КПД несколько возрастает с увеличением диаметра разрядной трубки (примерно до $d_i = 7 \text{ мм}$), а при дальнейшем увеличении d_i остается практически неизменным, достигая 80%. У трубчатых ИЛ КПД в ИК-области (700–2700 нм) достигает 40% в режимах, близких к дуговым. 20% при увеличении P_n до $(0,5-1) \cdot 10^6 \text{ МВт/м}^3$ и около 10% при $(2-10) \cdot 10^6 \text{ МВт/м}^3$.

Основная доля излучения импульсных ламп с разрядом длительностью порядка нескольких мкс, как это видно из рис. 3.113, соответствует УФ-области. Поэтому такие лампы применяются для импульсного фотолиза жидкостей и газов, накачке различного типа лазеров и могут быть использованы как УФ бактерицидные излучатели [3.41]. При этом варьированием удельной мощности разряда можно менять положение максимума спектрального распределения излучения и выход УФ.

За счет увеличенной мощности импульсные разряды в кварцевых трубках с инертным газом характеризуются интенсивным испарением материала оболочки, диссоциацией двуокиси кремния и появлением линий излучения кремния в УФ-области спектра 185–245 нм.

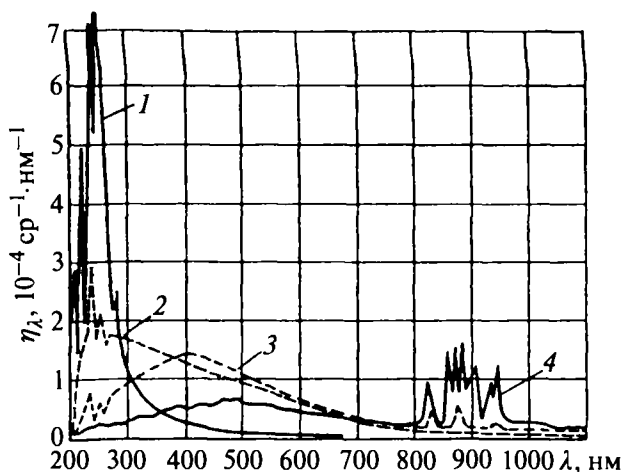


Рис. 3.113. Спектральные распределения КПД в единичном телесном угле в направлении, перпендикулярном оси трубки, для трубчатых ксеноновых ламп. (Объемная плотность мощности 10^4 МВт/м^3 : 1 — 5; 2 — 1; 3 — 0,2; 4 — 0,04). Графики пересчитаны для ламп большой длины с пренебрежимо малыми приэлектродными потерями

Мощными источниками, дающими вклад в УФ-излучение ИЛ, являются радиальные ударные волны, образованные быстрым расширением канала разряда после пробоя межэлектродного промежутка, интенсивно излучающие во все фазы импульса.

Характеристики излучения шаровых ИЛ имеют особенности, обусловленные существенно меньшей продолжительностью и меняющейся от импульса к импульсу формой светящего канала разряда в неограниченном стенками разрядном промежутке малой длины. Из-за низкого сопротивления канала такие разряды чаще всего бывают колебательными. Непрерывное изменение диаметра канала разряда, плотности газа, электрического сопротивления и мощности, расходуемой на расширение канала, обуславливает большое различие временных зависимостей силы света $I_v(t)$ и яркости $L_v(t)$ (рис. 3.114).

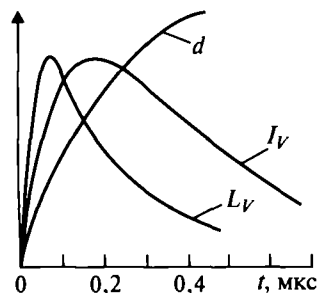


Рис. 3.114. Пример временных зависимостей параметров шаровых ламп

Отношение выделяющейся в шаровой ИЛ электрической энергии W_d к энергии, запасаемой в конденсаторе,

$$W_p = CU_p^2 / 2, \quad (3.28)$$

называемое КПД разрядного контура η_k , изменяется в более широких пределах, чем у трубчатых ИЛ, и сильно зависит от свойств контура. При неизменном балластном сопротивлении η_k существенно зависит от W_p , определяющей диаметр и эффективное сопротивление канала разряда. Невоспроизводимость формы канала разряда, вызывающая повышенный разброс световых параметров от импульса к импульсу, особенно сильно проявляется, начиная с некоторой зависящей от W_p частоты повторения вспышек.

Световая отдача шаровых ИЛ обычно не превышает 15 лм/Вт. Увеличение расстояния между электродами сопровождается приблизительно линейным ростом световой отдачи. Амплитудная сила света I_n в широком диапазоне изменения параметров слабо зависит от U_p и C при постоянной энергии разряда W_p и растет примерно пропорционально $\sqrt{W_p}$.

Длительность импульса силы света τ определяется продолжительностью процессов выделения электрической энергии в канале разряда и временем высвечивания нагретого газа; τ примерно пропорционально $\sqrt{W_p}$, независимо от изменения U_p и C . Включение в разрядный контур небольшого балластного сопротивления сокращает τ приблизительно в 2 раза.

Пространственное распределение излучения шаровых ИЛ обычно близко к изотропному в области пространства, не затененного электродами. Эквивалентные телесные углы Ω_3 для лампы типа ИСШ равны 10,2–10,8 ср. Для приближенных расчетов можно рекомендовать $\Omega_3 = 11$ ср.

Спектральные характеристики плазмы шаровых ИЛ (се температура составляет десятки тысяч К) имеют максимум спектральной плотности излучения в области вакуумного УФ (100–200 нм). Ультрафиолетовое излучение плазмы частично поглощается наполняющим колбу газом и стеклом колбы (рис. 3.115). При прозрачной для УФ колбе наблюдается резкое возрастание спектрального КПД при $\lambda < 250$ нм, обусловленное не только сплошным фоном, но и пакетом мощных линий ксенона. В ИК области излучение зарегистрировано до 1700 нм.

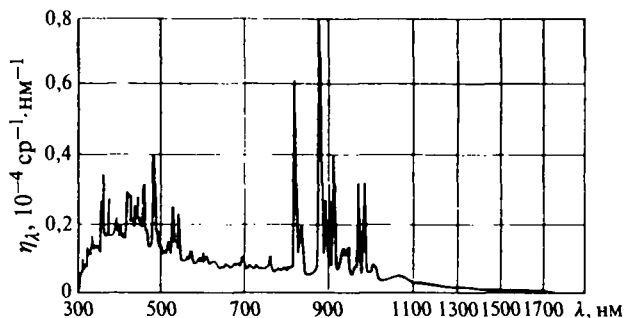


Рис. 3.115. Спектральное распределение КПД в единичном телесном угле для импульсной частотной шаровой лампы (ксенон; 0,22 МПа; $l = 2,5$ мм; 1000 В; 6800 нФ; $\tau = 0,35$ мкс; $f = 2$ кГц, $I_{ср} = 4,8$ кл)

Так же как световая отдача, КПД шаровых ИЛ в несколько раз меньше, чем трубчатых, и в видимой области составляет несколько процентов. Общий КПД лампы типа ИСШ7 равен только 9% из-за поглощения УФ-излучения колбой. Так, КПД разряда в интервале 220–250 нм составляет половину КПД в интервале 220–1050 нм. С учетом вакуумного УФ-излучения общий КПД мощных неограниченных разрядов, вероятно, может достигать 0,5.

Интервал напряжений между основными электродами, в пределах которого возможно управляемое зажигание лампы, ограничивается напряжениями зажигания и самопробоя. Методы измерения напряжения зажигания и напряжения самопробоя стандартизованы [3.42, 3.43].

Нагрузочные характеристики. К основным нагрузочным параметрам ИЛ относятся наибольшая допустимая энергия одного импульса, рассеиваемая в лампе в режиме редких импульсов, а в режиме часто повторяющихся импульсов — наибольшая допустимая средняя мощность. Под предельной энергией $W_{пр}$ ИЛ понимается наименьшее значение электрической энергии разряда, при которой лампа выходит из строя на первом импульсе (чаще всего из-за разрушения оболочки), либо в серии импульсов. Предельная энергия является

одним из важнейших параметров ИЛ, так как характеризует диапазон ее энергетической нагрузки и служит для оценки ресурсной наработки.

На $W_{пр}$ влияет форма импульса тока. При одинаковой длительности импульса для RC-разряда, характеризующегося крутым фронтом импульса тока и экспоненциальным спадом, $W_{пр}$ на 35–40% больше, чем для LC-разряда, форма импульса тока которого близка к синусоидальной, и на 60% выше, чем для импульса разряда прямоугольной формы.

Физический механизм разрушения ИЛ рассмотрен в [3.38]. За разрушение ответственны давление разряда, меняющее свое значение в зависимости от условий, при которых происходит разрушение, и термические растягивающие напряжения на внешней поверхности оболочки. Не равномерный по толщине стенки лампы нагрев подтверждается измерениями температуры и эффектом окрашивания кварцевого стекла. Кроме того, непосредственно наличие разрушающих термических напряжений экспериментально показано в [3.38].

Термические напряжения зависят от длительности разряда в лампе. При разряде длительностью в несколько мкс термические напряжения, вероятно, отсутствуют, и разрывное давление в лампе, например, с размерами трубки 7 × 120 мм и толщиной стенки 1,5 мм достигает 18 МПа. С увеличением длительности разряда и появлением термических напряжений разрушающее давление уменьшается. Термические напряжения исчезают при нагреве лампы (например, в печи), и тогда разрывное давление снова увеличивается до 18 МПа.

Предельной мощностью ИЛ, работающих в частотном режиме, считается наименьшая мощность, которая приводит к выходу лампы из строя в течение первой минуты ее функционирования.

Долговечность. На процесс износа ИЛ влияет много факторов и, в частности, распыление электродов, которое однозначно связано с изменением освечивания (рис. 3.116). Чем интенсивней эрозия электродов, зави-

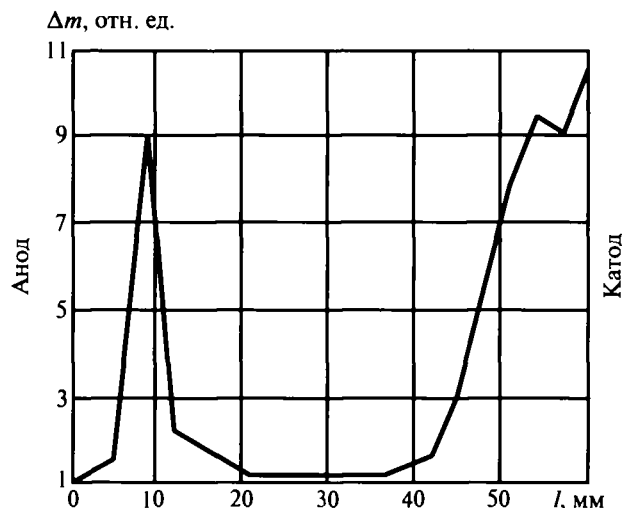


Рис. 3.116. Распределение массы эрозионного вольфрама по длине разрядной части лампы с размерами разряда $\varnothing 5 \times 60$ мм, обработавшей $7 \cdot 10^5$ импульсов [3.39]

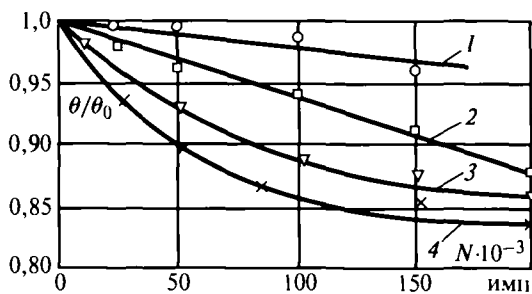


Рис. 3.117. Относительное снижение освещивания импульсных ламп с размерами разряда $\varnothing 7 \times 120$ мм (1 и 2) и $\varnothing 12 \times 250$ мм (3 и 4). Точки — эксперимент, линии — зависимость [3.39]

сущая от материала и средней температуры нагрева, тем быстрее снижается освещивание (рис. 3.117). Под влиянием интенсивного теплового потока на стенку ламп наблюдается испарение кварцевого стекла и унос его в наиболее холодные места лампы. В плазме разряда SiO_2 диссоциирует на оксид кремния и кислород. Последний способствует окислению материала электродов. Оксиды достаточно легко покидают поверхность электродов и практически полностью разлагаются в плазме разряда с восстановлением металлов. Эрозия оболочки лампы уменьшает ее механическую прочность. Затенение оболочки, покрытой эрозийными металлическими частицами, увеличивает энергию, поглощаемую стенкой лампы.

Известные причины, приводящие к износу ИЛ, можно разделить на следующие группы:

- возрастание тепловых потерь на стенках;
- уменьшение прочности материала оболочки;
- уменьшение толщины стенки лампы из-за постоянной эрозии кварца в разряде;
- возрастание давления газа за счет испарения SiO_2 в предыдущих импульсах;
- снижение температуры кипения кварцевого стекла.

Модель износа ИЛ [3.38] состоит в том, что под действием плазмы из оболочки лампы происходит испарение и диссоциация SiO_2 . Продукты ее диссоциации O_2 и O взаимодействуют с электродами и снижают их эрозионную стойкость. Кремний и его оксиды в реакциях с примесными в ксеноне молекулярными газами образуют непрозрачные соединения, которые вместе с эрозионными электродными частицами уменьшают прозрачность оболочки и снижают прочность кварцевого стекла из-за появления дефектов в местах оседания палетов. Коэффициент пропускания излучения уменьшается и из-за объемного радиационного окрашивания кварцевого стекла. Все эти эффекты действуют одновременно. Снижение прочности оболочки и предельной энергии ИЛ происходит до тех пор, пока $W_{\text{лр}}$ не сравняется с энергией разряда, при которой лампа эксплуатируется. Тогда и происходит ее разрушение.

Вопросам долговечности ИЛ посвящено много исследований, обобщенных в [3.10, 3.35]. Предложено не-

сколько формул для расчета их ресурса. Одной из первых формул является выражение

$$\lg N = a(1 - v), \quad (3.29)$$

где a — коэффициент пропорциональности, а $v = W / W_{\text{лр}}$ — фактор нагрузки, т.е. отношение энергии разряда, при которой эксплуатируется лампа, к ее предельной энергии. Например, для ламп с фольговыми тоководами, эксплуатируемыми в режиме редких импульсов, формула справедлива при $v = 0,4 - 0,7$. Другие формулы также основаны на зависимости N от v . Например,

$$N = \exp [m(S_{\text{Ту}} - 1)], \quad (3.30)$$

где m — эмпирический коэффициент, $S_{\text{Ту}}$ — сопротивление теплового удару, которое определяется отношением σ_0 / σ . Здесь σ — термическое напряжение, возникающее при воздействии на образец тепловых ударов постоянной интенсивности, σ_0 — предельное значение этого напряжения для конкретного материала. Величину $S_{\text{Ту}}$, по-видимому, можно отождествлять с величиной, обратной фактору нагрузки.

Эмпирическая зависимость в виде

$$N = (1/v)^{8,58} \quad (3.31)$$

использована для расчетов ИЛ накачки твердотельных лазеров.

Для разрядов длительностью в несколько мкс предложена формула расчета числа импульсов наработки в виде

$$N = [3 / (1 + 2v)^5 v]^A. \quad (3.32)$$

На рис. 3.118 кривая 1 построена по этому соотношению для одиночных импульсов; кривая 2 — при $f = 3$ Гц и $A = 3,86$; кривая 3 при $f = 10$ Гц и $A = 4,3$. Эмпирический коэффициент A зависит от частоты повторения импульсов (для $\tau = 2 - 5$ мкс) в диапазоне $f = 0,1 - 25$ Гц:

$$A = 3 + 0,5 \sqrt{f}.$$

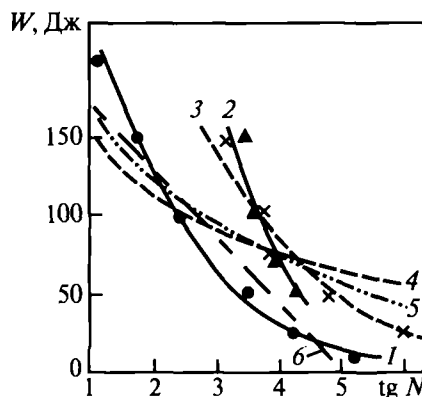


Рис. 3.118. Увеличение ресурса импульсных ламп с размером колбы $\varnothing 7 \times 120$ мм со снижением энергии разряда: 1 — редкие импульсы, естественное охлаждение; 2 — $f = 4$ Гц; 3 — $f = 10$ Гц, водяное охлаждение. Точки — эксперимент, линии — зависимость (3.32). Кривые 4–6 построены по зависимостям (3.29–3.31) соответственно

Эксплуатационные свойства. Конструкции ИЛ являются весьма жесткими и выдерживают значительные механические нагрузки (вибрации, удары, постоянное ускорение). У кварцевых ламп имеются существенные преимущества в отношении механической прочности цилиндрических фольговых тоководов по сравнению с колпачковыми или вводами на переходных стеклах.

Температура окружающей среды влияет на нагрузочную характеристику и диапазон управляемости лампы. Низкая температура вплоть до точки кипения наполняющего газа (-108°C для Хе) сказывается мало. При эксплуатации ламп в закрытых камерах с ограниченным объемом следует учитывать суммарное воздействие на лампу температуры окружающей среды и температуры, создаваемой рассеиваемой в лампе мощностью.

Понижение давления окружающего воздуха сказывается на зажигании ламп: при давлении ниже 4 кПа (но выше 0,001 Па) управляющий импульс высокого напряжения внешнего зажигания шунтируется разрядом по поверхности, и лампа может потерять способность к управлению. В этом случае применяют внутреннее зажигание. В глубоком вакууме (например, в космосе) достаточно надежное зажигание осуществляют и с помощью внешнего электрода. При этом снижается допустимая средняя нагрузка лампы, так как рассеяние энергии происходит лишь за счет излучения. Для кварцевых ламп с допустимой температурой до 850°C максимальную среднюю рассеиваемую мощность оценивают, исходя из мощности серого излучателя (с интегральным коэффициентом излучения около 0,5) при доле тепловых потерь разряда 0,2–0,9. Эксплуатация ламп в жидких средах меняет их нагрузку и напряжения зажигания и самопробоя.

При повышенной влажности шенная часть тоководов и цоколи ржавеют. Наиболее подвержены этому фольговые тоководы. Имеются различные способы защиты этих узлов от влаги с применением герметиков, нанесением коррозионно-стойкого покрытия на токовод или использованием специальных конструкций.

Области применения. В настоящее время ИЛ применяются в приборах, относящихся к разнообразным отраслям науки и техники, а импульсный разряд помогает изучать явления, связанные с кратковременными посылками излучения оптического диапазона длин волн. Кроме того, в связи с широким развитием квантовой электроники большое распространение получили источники возбуждения лазерных сред различных типов. Для каждого типа лазеров существует оптимальный диапазон длительностей импульсов накачки. В качестве источников возбуждения микросекундных лазеров применяют устройства на основе сильноточных разрядов и ИЛ с длительностями вспышек порядка мкс. Физические и эксплуатационные характеристики последних в значительной степени отличаются от ламп с длительностью разряда в сотни мкс, используемых для накачки твердотельных лазеров. Эти отличия заключаются в разной динамичности плазменных процессов, сильном испарении оболочки лампы, изменении развития и протекания ИР и т.д. Такие лампы

применяются для накачки лазеров на красителях, химических и фотодиссоционных лазеров.

Для накачки твердотельных лазеров созданы и серийно выпускаются сотни типов ИЛ с тоководами на основе металлической фольги, колпачков и переходных стекол. Проведено также много работ по определению (зная параметры внешней электрической цепи и свойства разрядного промежутка) временного хода мощности излучения в определенном спектральном интервале. Решены многие варианты обратной задачи: выбор параметров цепи и разрядного промежутка лампы в соответствии с данными ИС.

Преимущества ИЛ проявляются в тех случаях передачи информации, когда используется малоинерционная регистрирующая аппаратура, либо когда сам процесс продолжается короткое время. Именно этим объясняется тенденция использования импульсных посылок излучения как способа улучшения параметров оптической системы с целью увеличения скорости, повышения точности, расширения диапазона и автоматизации процессов в новейшей технике.

Существуют ИЛ, основанные на использовании химической реакции горения (лампы однопорозового действия). Эти лампы-вспышки заполнены металлической фольгой, сгорающей в атмосфере кислорода или фтора. В магниевых фотовспышках или фотобомбах металлический порошок мгновенно сгорает благодаря выделению кислорода из смешанной с ним богатой кислородом соли.

Во всех развитых странах в больших количествах выпускаются ИЛ с энергиями импульсов от долей Дж (для внутриполостной медицинской фотографии и портативных электронных фотовспышек) до сотен тысяч Дж для почтовых аэросъемок и накачки лазеров. В стробоскопах ИЛ работают с частотой повторения импульсов в несколько кГц, так же, как и в осветителях для скоростной киносъемки. Они используются в медицинской, биологической и других специальных видах фотографии. Устройства с ИЛ применяются в автоматике и телемеханике — приборах со световыми каналами управления и передачи информации. Это — оптические дистанционные контактирующие устройства, датчики «угол — число» ЭВМ, аппаратура светового ограждения, управление преобразователями на высоковольтных линиях постоянного тока, толщиномеры и т.п. Они находят также применение в оптической локации и связи (измерители высоты облачности, другие дальномеры, оптическая телефония). Создается много светосигнальных приборов: световые трассеры, маяки, бортовые огни самолетов, огни других транспортных средств. ИЛ используются для получения отметок времени, фоторегистрации, микрофильмирования, съемки, полиграфии, фотолитографии, фотометрии и т.п. Разрабатываются ИЛ для технологических применений.

Если ИЛ помещена в какое-либо светооптическое устройство, содержащее отражающие поверхности, часть собственного излучения может возвратиться в столб разряда и частично поглотиться плазмой. Поглощенное излучение эквивалентно дополнительной подводимой к разряду мощности, вызывающей повыше-

ние температуры плазмы, возрастание яркости столба плазмы, а также перегрев конструкции лампы, из-за которого снижаются ее предельно допустимая энергия и долговечность. Наибольшее проявление этого эффекта происходит в предельно малом отражателе, плотно окружающем колбу лампы. Амплитуда разрядного тока в трубчатой лампе возрастает при этом на 20%. Длительность импульса разрядного тока несколько уменьшается. Прирост спектральной яркости (420 нм) в тесном отражателе достигает 60%. В отражателе лампа имеет длительность фронта импульса на 15–20% меньшую, а длительность импульса на уровне 0,35 пикового значения на 15% большую, чем у этой же лампы в открытом пространстве. При уменьшении энергии разряда и давления газа различия во временном ходе излучения открытых ламп и ламп, помещенных в отражатель, уменьшаются.

У шаровых ИЛ такого действия отраженного излучения не наблюдается, т.к. отражатель практически не концентрирует его на канале разряда лампы.

3.5. СВЕТОДИОДЫ

Светодиоды (СД, в иностранной литературе — I.F.I), Lighting Emitting Diodes) — наиболее «молодые» источники света, принципиально отличающиеся от тепловых или разрядных излучателей. Принципы работы СД и история их развития подробно изложены в [3.44, 3.45, 3.46].

Впервые свечение на границе металла и полупроводникового материала — карбида кремния — наблюдал русский инженер О.В. Лосев в Нижегородской радиолaborатории в 1923 г. Позднее (в 1939 г.) он дал физическое объяснение этого свечения, получившего в литературе название «эффекта Лосева». Свечение было голубовато-зеленого цвета с очень малой яркостью, о практическом применении этого явления в те годы не могло быть и речи.

В начале 60-х годов XX века несколько зарубежных компаний начали производство СД с красным цветом излучения на основе полупроводниковых материалов III и V групп таблицы Менделеева — галлия, мышьяка, фосфора (Ga, As, P). Эти СД имели световую отдачу 0,1–0,2 лм/Вт, световой поток не более 0,02 лм и стали очень широко использоваться в различной аппаратуре как индикаторные элементы. В конце 60-х годов появились СД с зеленым, а затем и с желтым цветом излучения, созданные также на основе элементов III и V групп — арсенидов и фосфидов галлия, мышьяка, индия. Светотехнические параметры зеленых и желтых СД мало отличались от параметров красных.

Подлинная революция в производстве СД произошла в начале 90-х годов, когда, благодаря работам Ж.И. Алферова и других, были получены многопроходные двойные гетероструктуры (МДГС) — GaAlAs, AlInGaAs, AlInGaP. Световая отдача красных и зеленых СД увеличилась в 100 (!) раз и достигла значений 10–20 лм/Вт. В 1994 г. японской фирмой Nichia были созданы СД на основе нитрида галлия (GaN) и его твердых растворов (InGaN, AlGaN) с синим цветом излучения (470 нм). К 2004 году световая отдача СД на

основе МДГС достигла значений 30–50 лм/Вт, а на лабораторных образцах СД красного цвета (611 нм) была получена световая отдача 102 лм/Вт [3.47].

Появление СД с излучением в коротковолновой части спектра открыло пути для создания приборов с белым излучением за счет преобразования синего света в более длинноволновое с помощью люминофоров (апатогенно процессам в люминесцентных лампах) или путем аддитивного смешивания красного, зеленого и синего цветов. Белые СД с люминофорами появились в 1996 году. Именно с этого времени СД превратились из индикаторных элементов в источники света в прямом смысле этого понятия. Во многих странах одновременно стали разрабатываться и выпускаться различные ОП с использованием СД.

К 2006 г. получены следующие значения параметров СД: цветность излучения — практически любая; световая отдача серийных СД — до 65 лм/Вт (цветных) и 45–55 лм/Вт (белых); общий индекс цветопередачи белых СД — 85. По прогнозам специалистов фирмы Philips (Голландия) в ближайшие годы световая отдача красных СД может быть увеличена до 150, зеленых — до 135 и белых — до 50 лм/Вт [3.48]. Следует отметить, что жизнь опережает эти прогнозы: на выставке «Light+Building-2004» во Франкфурте-на-Майне уже демонстрировались белые СД с $\eta_v = 57$ лм/Вт, а на лабораторных образцах получена световая отдача более 100 лм/Вт. По оценке А.Э. Юновича [3.48] к 2020 г. η_v белых СД может достигнуть 200 лм/Вт, а теоретический предел световой отдачи составляет 300 лм/Вт.

Принцип работы и устройство СД. Генерация света в СД происходит за счет энергии, выделяемой при рекомбинации носителей тока — электронов и дырок — на границе полупроводниковых материалов с разным характером проводимости. Характер проводимости определяется не только самим материалом, но и примесями (легирующими веществами), вводимыми в основной материал в строго дозированных количествах. Материал, у которого в результате легирования проводимость определяется, в основном, избытком электронов, называется «полупроводником типа *n*». Материал с недостатком электронов, т.е. с избытком положительно заряженных ионов (так называемых «дырок»), способных поглотить электрон и стать нейтральным атомом, называется «полупроводником типа *p*». На границе таких материалов образуется *p-n* переход. При подаче напряжения прямой полярности (минус — к материалу с электронной проводимостью *n*, плюс — с дырочной проводимостью *p*) через переход пойдет ток, а при рекомбинации электронов и дырок будет выделяться энергия. Величина энергии квантов, выделяемых при рекомбинации, зависит от разницы энергетических уровней электронов в возбужденном и нейтральном атомах, т.е. от ширины запрещенной зоны. При ширине запрещенной зоны от 1,7 до 3,4 эВ энергия излучаемых квантов соответствует видимому диапазону спектра с длинами волн от 700 до 400 нм.

Полупроводниковые материалы с различными типами проводимости и разной шириной запрещенной зоны делают на специальных установках методом эпитаксиального выращивания МДГС в жидкой или газообраз-

пой среде. Наибольшее распространение получил метод выращивания МДГС путем металлоорганического вакуумного нанесения материалов на подложку из сапфира (Al_2O_3), карбида кремния (SiC), арсенида галлия (GaAs) или фосфида галлия (GaP). На рис. 3.119 показана структура кристалла СД с указанием реальной толщины слоев. Выращенные на подложках структуры диаметром 6–12 см разрезаются на кристаллы размером от $0,1 \times 0,1$ до $0,5 \times 0,5$ мм, являющиеся основой собственно СД.

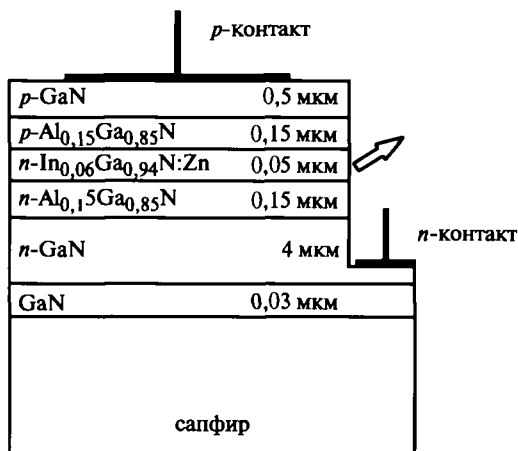


Рис. 3.119. Структура кристалла СД

Для СД с излучением в красной и желтой областях спектра используются полупроводниковые МДГС на основе GaAlAs и AlGaInP , в зеленой и синей областях — на основе нитридов индия и галлия и их твердых растворов (InN , GaN , InGaN , AlInGaN).

Типовая конструкция наиболее массовых СД показана на рис. 3.120.

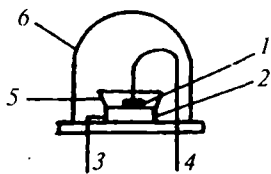


Рис. 3.120. Типовая конструкция СД

Излучение генерируется в кристалле 1 и в $p\text{-}n\text{-}p$ -переходе между кристаллом 1 и кристаллодержателем 2, к которым через электроды 3 и 4 подводится напряжение соответствующей полярности. С помощью отражателя 5 с высотой стенок около 0,5 мм боковое излучение направляется в пучковую сторону — вдоль оптической оси СД. Кристалл, кристаллодержатель и внутренние электроды залиты прозрачным полимером с максимально высоким коэффициентом преломления — эпоксидной смолой или поликарбонатом, образующим корпус СД 6. Купол корпуса выполняет функцию линзы, фокусирующей излучаемый поток в определенном телесном угле. При углах больше 15° форма купола близка к сферической, при меньших углах — к эллиптической. Иногда вместо купольной формы делают выходное окно в виде линзы Френеля, также формирующей излучаемый поток в заданном угле. Внешние выводы

электродов 3 и 4 служат не только для подвода напряжения, но и для фиксации СД на печатных платах. При очень больших механических нагрузках, кроме крепления выводами, применяют дополнительные меры, например, приклеивание корпуса и т.п.

Кроме торцевой конструкции, показанной на рис. 3.120, часто встречаются СД плоскостного монтажа, у которых внешние выводы расположены в плоскости основания (в иностранной литературе такие СД называются SMT или реже COB). Такие СД могут монтироваться непосредственно на печатных платах, образуя конструкции очень малой толщины (1–2,5 мм).

Кроме полупроводниковых СД на основе металлов, разработаны органические СД (в иностранной литературе — OLED). Первое сообщение об органических СД появилось в 1987 г. (Чип Тэнг, Стив Ван-Слайк, фирма Eastman Kodak). Светоизлучающий слой из органических материалов, легированных металлами, располагается между двумя тончайшими слоями других органических материалов, которые с помощью добавок превращены в полупроводниковые материалы n - и p -типов. С полупроводником n типа контактирует катод из прозрачной окиси олова (индия), нанесенной на стекло. В качестве анода, контактирующего с полупроводником p -типа, используется сплав серебра и магния. Вся конструкция имеет толщину, соизмеримую с длиной волны видимого излучения. Генерируемый при подаче напряжения свет выходит через прозрачный катод. Яркость органических СД достигает сотен кд/м^2 , срок службы зависит от цветности излучения и соизмерим со сроком службы обычных СД, световая отдача заметно ниже. Из органических СД могут формироваться гибкие тонкие панели больших размеров, что и определило их основную (пока) область применения — для экранов лисплеев ноутбуков.

В последние годы появились достаточно мощные СД с собственными радиаторами в виде фланцев, крепежных винтов и др. Следует сказать, что при увеличении мощности СД возникает необходимость в отводе тепла от них, т.к. с ростом температуры световая отдача СД снижается. В каталогах фирм, выпускающих СД повышенной мощности, обычно приводятся рекомендации по необходимой площади теплоотвода.

Ряд фирм производит светодиодные панели круглой, квадратной, прямоугольной и других форм, на которых смонтировано множество отдельных кристаллов, в совокупности образующих равномерно светящуюся поверхность.

Параметры СД, как и любого ИС, можно разделить на входные и выходные. К входным параметрам относятся:

- прямой ток через СД $I_{пр}$;
- прямое падение напряжения при номинальном токе $U_{пр}$;
- максимально допустимое обратное напряжение $U_{обр.макс}$;
- вольтамперная характеристика (зависимость прямого падения напряжения от тока).

Номинальный прямой ток $I_{пр}$ через кристалл размером $0,1 \times 0,1$ мм равен 20–40 мА. Максимально допустимый прямой ток $I_{пр.макс}$ зависит от условий охлажде-

ния, конструкции СД, а при импульсном режиме — от скважности импульсов.

Прямое падение напряжения $U_{пр}$ на СД при номинальном токе зависит от энергии излучаемых квантов и составляет от 1,5 В для диодов, излучающих в ИК-области, до 4,2 В для СД, излучающих синий и фиолетовый свет.

Максимально допустимое обратное напряжение $U_{обр.макс}$ для большинства СД равно 10 В.

Примеры вольт-амперных характеристик СД разных цветов показаны на рис. 3.121.

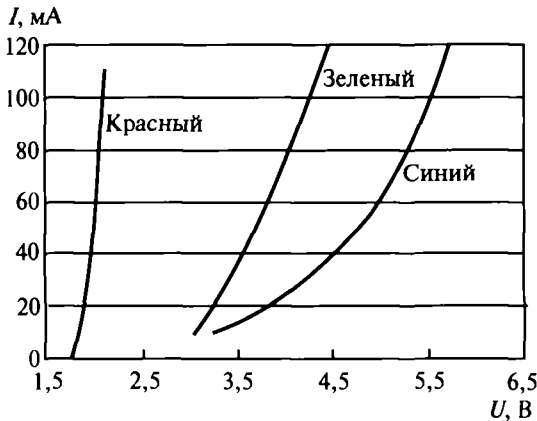


Рис. 3.121. Вольт-амперные характеристики СД

Все СД допускают работу в импульсном режиме с превышением амплитудного значения прямого тока над номинальным в 5–10 раз.

К выходным параметрам СД относятся:

- световой поток Φ ;
- угол излучения $2\alpha_{0,5}$;
- осевая сила света I_0 ;
- цветность излучения или длина волны в области максимума излучения $\lambda_{макс}$;
- световая отдача η_v (для ИК-диодов — КПД);
- яркость L (указывается для светящихся пластин);
- инерционность τ ;
- люмен-амперная характеристика (зависимость светового или лучистого потока СД от прямого тока).

В литературе по СД часто встречаются еще два выходных параметра: внутренний и внешний квантовый выход. Внутренний квантовый выход — это отношение числа генерируемых в $p-n$ -переходе квантов излучения к числу проходящих в единицу времени электроно-дырочных пар. В современных инфракрасных и красных диодах на основе МДГС $AlGaInP$ с подложкой из арсенида галлия внутренний квантовый выход близок к 100%, для СД синего цвета на основе нитридов индия и галлия — около 20%. Однако не все генерируемые кванты излучения выходят наружу — часть их теряется в результате поглощения внутри кристаллов и за счет полных внутренних отражений на границе кристалл-полимер. Внешний квантовый выход — это отношение числа квантов, выходящих из СД

наружу, к числу электроно-дырочных пар, проходящих через $p-n$ -переход.

Световой поток Φ — наиболее важный для светотехников параметр СД, однако он указывается далеко не всегда и не всеми фирмами-изготовителями. Чаше в каталогах приводятся осевая сила света I_0 и угол излучения $2\alpha_{0,5}$, т.е. полный угол, на границах которого сила света составляет 0,5 от осевой. Для СД с двумя плоскостями симметрии, изготавливаемых рядом фирм, в каталогах указываются углы в этих плоскостях $2\alpha_{0,5}$ и $2\beta_{0,5}$. Среди промышленных СД разброс углов излучения составляет от 3 до 180°, т.е. КСС СД могут быть от очень узких до диффузных. Величина осевой силы света определяется углом излучения и световым потоком. Для однокристалльных СД красного и зеленого цветов она составляет от 0,5 до 150 кд, для синих — от 0,1 до 30 кд.

Цветность излучения определяется шириной запрещенной зоны и, в меньшей степени, толщиной активного слоя СД. Излучение СД не является строго монохроматическим; ширина спектральной полосы излучения составляет от 10 до 20 нм (по уровню 0,5). Положение максимума излучения слабо зависит от прямого тока СД и от температуры $p-n$ -перехода (около 0,05 нм/К). В настоящее время производятся СД практически с любым цветом излучения. На рис. 3.122 показано спектральное распределение энергии излучения современных СД.

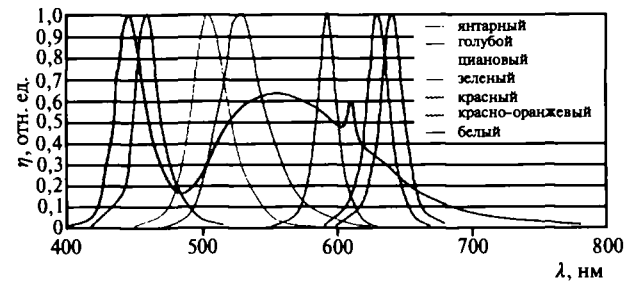


Рис. 3.122. Спектральное распределение энергии излучения СД

Белый свет СД получают либо с помощью люминофоров, преобразующих коротковолновое излучение в более длинноволновое, либо аддитивным смешиванием излучения трех кристаллов. Наиболее простой и дешевый способ — введение люминофора, излучающего желтый свет, в состав полимерного корпуса синих СД. Однако цветопередача таких СД невысока (R_a не более 70). Лучшую цветопередачу при более высокой световой отдаче можно получить, используя три цветных люминофора, излучающих красный, зеленый и синий цвета (аналогично ЛЛ с узкополосными редкоземельными люминофорами). С применением люминофоров созданы СД с различной цветовой температурой (от 3000 до 8000 К) при общем индексе цветопередачи R_a до 85. При аддитивном смешивании излучений трех кристаллов можно получить белый свет практически с

любой цветовой температурой при R_a , близким к 100, но с низкими частными индексами цветопередачи.

Световая отдача η_v лабораторных образцов красных СД ($\lambda_{\text{макс}} = 611 \text{ нм}$) достигает 102 лм/Вт и, по прогнозам специалистов, в ближайшие годы может превысить 150 лм/Вт. Выше 100 лм/Вт может быть также световая отдача зеленых (530 нм) и желтых (598 нм) СД. К 2004 г. для белых СД с люминофором достигнута световая отдача 50 лм/Вт для промышленных и 100 лм/Вт для лабораторных образцов. Световая отдача синих СД (470 нм) в настоящее время достигает 50 лм/Вт и в будущем может быть повышена до 100 лм/Вт [3.49].

Яркость L указывается в каталогах только для светодиодных матриц и пластин с достаточно большой площадью свечения. Яркость зависит от цвета излучения и может превышать 10000 кл/м² [3.50].

Инерционность СД определяется временем нарастания светового потока от 0,1 до 0,9 и спада от 0,9 до 0,1 $\Phi_{\text{ном}}$ при подаче и снятии напряжения. У современных СД на основе МДГС это время составляет от 10 до 50 нс. Столь малая инерционность позволяет модулировать излучение СД с частотой до десятков МГц.

Типичная люмен-амперная характеристика СД приведена на рис. 3.123. На достаточно больших участках эта характеристика линейна, однако при токах, значительно превышающих номинальные значения, у всех СД наблюдается отклонение от линейности (в сторону насыщения).

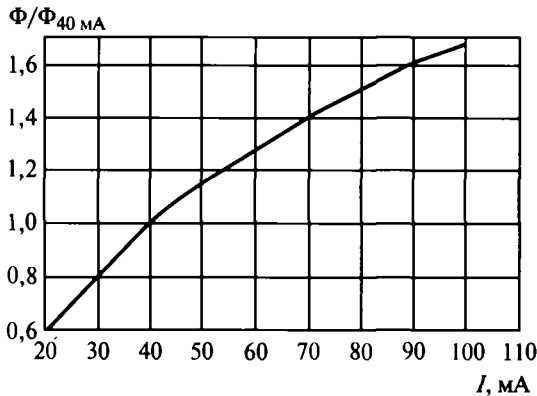


Рис. 3.123. Типичная люмен-амперная характеристика СД

Линейная зависимость светового потока от прямого тока и малая инерционность СД позволяют создавать на их основе свето- и цветодинамические установки с очень широкими диапазонами изменения яркости и цвета, недостижимыми при использовании других ИС. Эти же свойства открывают дорогу для применения СД в устройствах оптической связи и дистанционного управления аппаратурой. Для этих целей, в основном, используются диоды, излучающие в ИК-области.

Эксплуатационные свойства СД очень высоки. Они могут работать при температурах окружающего воздуха от -55 до $+85^\circ\text{C}$, не боятся высоких механических нагрузок (удары, вибрации, линейные ускорения), могут работать в вакууме и при высоком атмосферном давлении.

По устойчивости к механическим нагрузкам СД значительно превосходят все остальные ИС. С ростом температуры световая отдача СД несколько снижается (приблизительно 0,5% на градус).

Срок службы большинства современных СД в номинальном режиме превышает 50000 ч. По этому параметру СД также превосходят все остальные типы ИС.

Схемы включения СД предельно просты, т.к. они допускают последовательное и параллельное включение без выравнивающих сопротивлений. Поскольку максимально допустимое обратное напряжение СД значительно выше прямого падения напряжения на них, то, в принципе, они могут включаться непосредственно в сеть переменного тока с соответствующим напряжением. Например, цепочка из 100 последовательно соединенных СД желтого цвета может быть включена через ограничительное сопротивление в сеть с напряжением 220 В. Однако на практике такое включение не применяется, т.к. последовательное включение большого количества элементов резко снижает их надежность и, кроме того, глубина нульсаций светового потока при питании переменным током равна 100%. При этом, в отличие от люминесцентных и других разрядных ламп, частота нульсаций составит не 100, а 50 Гц. Поэтому на практике СД включаются только на постоянное напряжение.

Большинство фирм-изготовителей СД производит и блоки питания для них. Такие блоки представляют собой преобразователи сетевого напряжения (напр., 220 В, 50 Гц) в постоянное напряжение 8, 12 или 24 В, от которых питаются параллельно-последовательные цепочки СД. Количество последовательно соединенных СД в цепочке определяется выходным напряжением блока и цветностью СД. Например, к блоку с напряжением 12 В может быть подключено до трех СД с синим или белым излучением или до 6 с красным. Количество параллельных цепочек определяется максимальным током, который допускает блок. Например, к блоку с выходным током 1 А может быть подключено до 50 цепочек с номинальным током 20 мА. Типичные габариты блока с максимальным током нагрузки 1 А — $100 \times 50 \times 20 \text{ мм}$, масса — не более 70 г.

Примеры схем включения СД показаны на рис. 3.124.

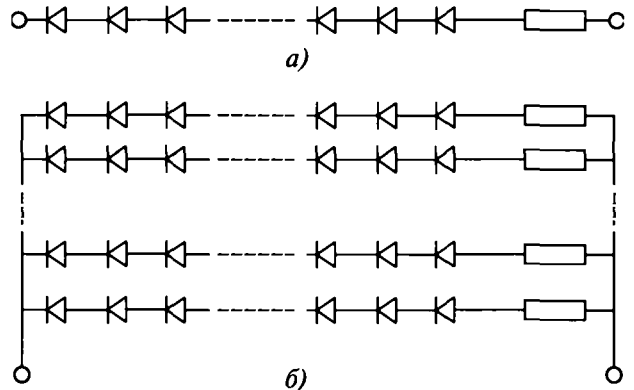


Рис. 3.124. Варианты группового включения СД: а — последовательное; б — последовательно-параллельное

Бурное развитие производства СД и их широкое внедрение в светотехнику обусловлено рядом их несомненных достоинств:

- исключительно высокой надежностью;
- большим сроком службы;
- малыми габаритами;
- отсутствием необходимости во внешних оптических элементах (линзах, рассеивателях, отражателях) для большинства случаев применения;
- высоким коэффициентом использования светового потока (близким к 100%);
- высокой устойчивостью к механическим нагрузкам;
- способностью работать в широком диапазоне температур;
- экологичностью, связанной с отсутствием ртути и других вредных веществ;
- электрической безопасностью;
- простотой схем включения и управления.

Мировой объем производства СД в 2004 г. превысил 10 млрд. штук; их выпуск начат ведущими мировыми производителями ИС — фирмами Philips, Osram и др.

Основной *недостаток* СД — малая единичная мощность. Рядом фирм, в том числе и российских, производятся многокристалльные СД, в которых для увеличения мощности на одной подложке смонтировано несколько кристаллов, соединенных последовательно-параллельно. Мощность таких многокристалльных СД, называемых также «светодиодными лампами», достигает 5 (по некоторым сведениям, даже 10) Вт. Часто встречаются также светодиодные модули или кластеры — сборки из нескольких отдельных СД на одной плате (как правило, 5–7 штук на плате диаметром около 30 мм).

Современный ассортимент серийно выпускаемых СД охватывает весь видимый диапазон спектра, ближние ИК- и УФ-области. Диапазон единичных мощностей СД — от единиц мВт до 5 Вт, углы излучения — от 3 до 180°.

Основной областью применения СД в настоящее время являются светосигнальные устройства: огни торможения и габаритные огни автомобилей, уличные и железнодорожные светофоры, дорожные указатели, заградительные огни для высотных сооружений [3.49, 3.50, 3.51]. Очень широко внедряются СД в архитектурно-художественное освещение, особенно для декоративной подсветки фонтанов и фасадов зданий. Ряд фирм производит настольные и настольные светильники с белыми и цветными СД. На улицах многих городов, в том числе в Москве, Санкт-Петербурге, Екатеринбурге, установлены крупные (десятки м²) рекламно-информационные табло на СД, по яркости, четкости изображения и насыщенности цветов многократно превосходящие аналогичные устройства на лампах накаливания при одновременном значительном снижении потребляемой мощности и упрощении систем управления.

На выставке Light+Building-2004 во Франкфурте-на-Майне демонстрировались уличные светильники с желтыми СД (450 шт. общей мощностью 42,5 Вт).

(Следует сказать, что опытные образцы подобных светильников на российской фирме «Корвет-Лайтс» были изготовлены и испытаны еще в 2000 г.). На выставке Light+Building-2002 был показан автомобиль, все светотехническое оборудование которого, включая фары дальнего света, было сделано только на СД. В 2001 г. несколько ведущих фирм-изготовителей СД в комнате площадью около 50 м² соорудили осветительную установку, оснащенную 14000 СД. На большом столе для заседаний этой установкой создается освещенность до 750 лк, регулируемая не только по уровню, но и по цветности.

Другие области применения СД: оптическая связь, аварийное и эвакуационное освещение, шахтное освещение и многое другое.

В табл. 3.50 приведены параметры СД, достигнутые к 2004 г.

Таблица 3.50

Цветность	$\lambda_{\text{макс}}$, нм	Световая отдача, лм/Вт
Белый		50
Синий	470	10
Зеленый	50	54
Оранжевый	598	68
Красный	611	102
Красный	634	78

На рис. 3.125–3.130 показаны светодиоды, мощные светодиодные модули и образцы ОП. Примеры ОУ с СД приведены в разделе 13.



Рис. 3.125. Образцы СД

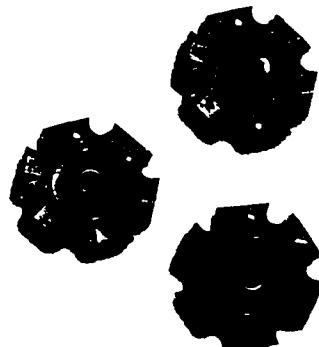


Рис. 3.126. Мощные светодиодные модули



Рис. 3.127. Светильник со светодиодами

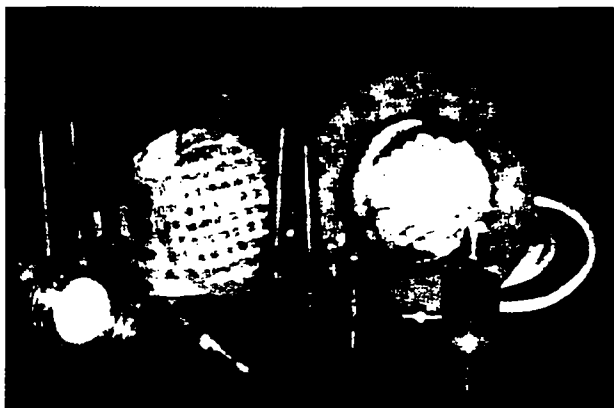


Рис. 3.128. Светильники для фонтана «Похищение Европы»

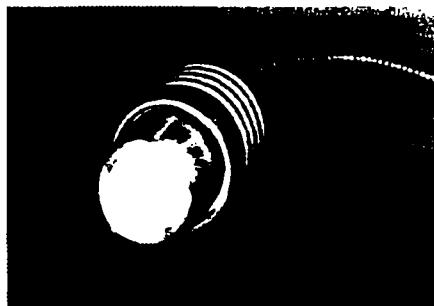


Рис. 3.129. Настольный светильник с одним СД мощностью 5 Вт



Рис. 3.130. Проектор с 960 СД

3.6. РАЗЛИЧНЫЕ РАЗРЯДНЫЕ ЛАМПЫ

Плоские безртутные ЛЛ PLANON прямоугольной формы (Osram, Германия) используются в качестве светящей фоновой панели для жидкокристаллических дисплеев. По внешнему виду они напоминают большую белую керамическую плитку толщиной 10 мм с диагональю от 265 до 530 мм (для дисплеев от 10,4 до 21,3 дюйма). Лампы имеют $R_a = 86$ и практически идеально равномерную яркость. Выпускаемые фирмой типоразмеры PLANON приведены в табл. 3.51, внешний вид лампы — на рис. 3.131.

Лампы тлеющего свечения (ЛТС) предназначены для использования, главным образом, в качестве индикаторов. Кроме того, они находят множество других специальных применений [3.2, 3.5].

Устройство и принцип их действия основаны на использовании катодного тлеющего свечения. В стеклянный баллон лампы впаяны два электрода, расположенные на близком расстоянии друг от друга. Лампа наполняется обычно неоновом-гелиевой смесью (при давлении 650–2600 Па) с небольшой примесью аргона для снижения напряжения зажигания (иногда добавляют

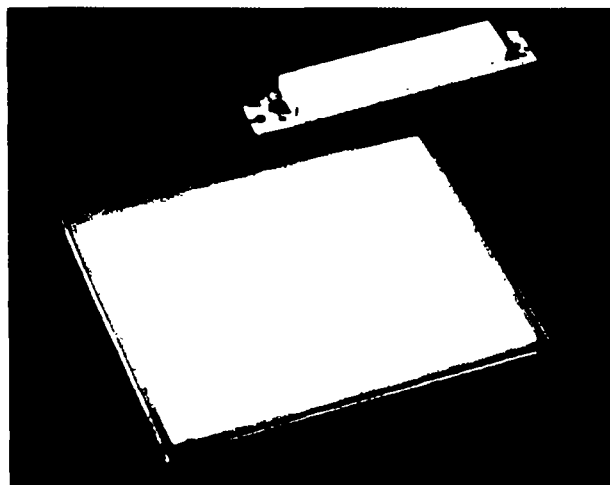


Рис. 3.131. Безртутная ЛЛ PLANON

Параметры ламп PLANON

Диагональ дисплея, дюйм	Мощность, Вт	T_{11} , К	Яркость, кд/м ²	Размеры, мм		
				l	b	h
PLANON 10,4	24	8000	5200	231	174	8,5
PLANON 15,0	56	6800	5900	324	258	8,5
PLANON 15,0	56	8000	5900	324	258	8,5
PLANON 15,0	40	6800	4400	324	258	8,5
PLANON 15,0	40	8000	4400	324	258	8,5
PLANON 18,1	90	8000	5900	384	317	8,5
PLANON 18,1	80	7400	5600	384	317	8,5
PLANON 18,1	80	8000	5600	384	317	8,5
PLANON 18,1	65	8000	5100	384	317	8,5
PLANON 20,1	65	8000	4100	433	320	8,5
PLANON 21,3	108	6300	5800	452	353	8,5
PLANON 21,3	108	8000	5800	441	359	8,5
PLANON 21,3	65/130	8000	4000/7800	441	359	8,5

ртуть). Форма электродов зависит от назначения ЛТС. Часто электроды покрываются тонкой пленкой активирующего вещества, снижающего напряжение зажигания. При включении в сеть тлеющее свечение покрывает электрод, соединенный с отрицательным полюсом. При работе на переменном токе свечение попеременно (с частотой сети) покрывает оба электрода. Излучение обладает весьма малой инерционностью и может модулироваться с частотой до 20–22 кГц. Лампы, наполненные неоном, дают оранжево-красное свечение, спектр которого показан на рис. 3.132. При добавлении ртути появляется синевато-белый ореол по краям светящейся пленки, даваемый линиями ртути. Световой поток ЛТС в зависимости от типа ламп составляет от 0,02 до 5 лм, яркость свечения — от 10^2 до 10^4 кд/м², световая отдача — от 0,2 до 1 лм/Вт, мощность — от 0,01 до 10 Вт. Особую группу составляют лампы в колбах, покрытых внутри слоем люминофора, дающие излучение разного цвета.

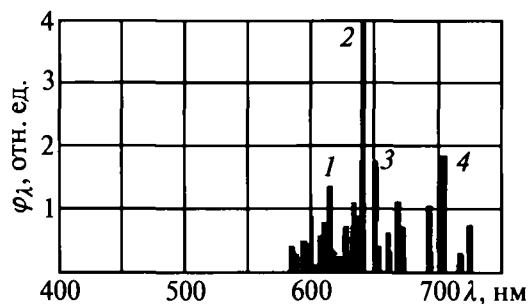


Рис. 3.132. Спектр излучения неоновых ламп: 1 — 614 нм; 2 — 640 нм; 3 — 650 нм; 4 — 703 нм

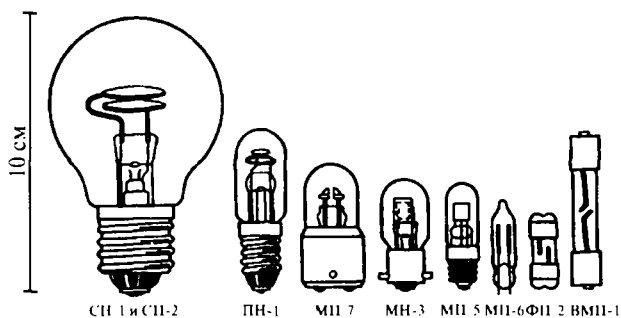


Рис. 3.133. Общий вид ЛТС

Общий вид некоторых типов ЛТС показан на рис. 3.133.

Срок службы ЛТС — свыше 1000 ч и ограничивается поглощением наполняющего лампу газа и потемнением колбы от распыления электродов.

Включение ламп в сеть как постоянного, так и переменного тока осуществляется через небольшой резистор, соединяемый последовательно с лампой. В ЛТС достаточно больших размеров резистор встраивается в ножку или поколь. В лампах малого размера он расположен отдельно. Сопротивление и размеры резистора подбираются по току лампы и выделяемой на нем мощности.

Спектральные лампы служат источниками излучения с точно определенными длинами волн или с непрерывным спектром с известной спектральной плотностью потока излучения [3.2].

По устройству и принципу действия спектральные лампы подразделяются на несколько групп.

Лампы дугового разряда с парами металлов и инертными газами содержат излучатель в виде небольшой разрядной трубки, наполненной каким-либо металлом и зажигающим газом (аргоном, неоном или гелием). Излучатель помещен во внешнюю стеклянную колбу, снабженную специальным, резьбовым или специальным цоколем. Размеры трубки излучателя и сорт стекла выбираются, исходя из наполнения и теплового режима, с таким расчетом, чтобы обеспечить интенсивное излучение линий наполняющего металла, необходимый электрический режим и достаточный срок службы. Лампы излучают линейчатые спектры, характерные для атомов наполняющего горелку металла или газа.

Дуговые низковольтные водородные лампы дают непрерывное интенсивное излучение в области 165–400 нм и многолинейчатый спектр в области 80–165 нм (вакуумный УФ). В лампах, разработанных ГОИ им. С.И. Вавилова, применяются активированный подогревный катод, заключенный в экранирующий цилиндр, и анод в виде диска с отверстием для наблюдения разряда. Пространство между катодом и анодом отделено экраном с небольшим отверстием (около 1–2 мм) для прохождения разряда. Концентрация плазмы в малом отверстии повышает плотность тока и энергетическую яркость излучения. Колба лампы имеет специальное окно, обеспечивающее выход УФ-излучения с длиной волны до 80 нм. Лампы наполнены водородом или дейтерием (иногда вводят еще и ртуть). Водородная лампа типа ВМФ-25П, выпускаемая ГОИ, имеет плоское окно из монокристалла фтористого магния, расположенное на торце колбы.

В лампах с парами металлов нормальный режим устанавливается через 7–10 мин. после включения. В лампах с газами период разгорания практически отсутствует.

Спектральные лампы с полым катодом излучают узкие спектральные линии (не более 0,005 нм) в различных областях спектра. В основном это резонансные линии металлов, которые возбуждаются в полном катоде, если внутренняя полость катода выполнена из соответствующего металла. Многоэлементные лампы типа ТДС имеют несколько полых катодов и одновременно излучают спектры нескольких элементов. Лампы работают от источника постоянного тока 500 В при $I = 5 \div 45$ мА или в импульсном режиме.

Двухразрядные лампы (с комбинированным разрядом) типов ЛК, ЛК2–ЛК4 представляют собой стеклянную цилиндрическую колбу диаметром 42 мм с плоским торцевым окном и октальным цоколем (общая длина 235 мм). Внутри колбы вдоль оси смонтированы один или несколько сквозных полых катодов. На конце со стороны цоколя расположен оксидный накальный катод, закрытый сверху цилиндрическим экраном. Со стороны окна расположен анод в виде кольца. Лампы обычно наполнены неоном. Катодное распыление металлов, содержащихся в катодах, осуществляется за счет тлеющего разряда, а возбуждение происходит не только в тлеющем разряде, но дополнительно в про-

должном дуговом разряде между накаленным катодом и анодом. Благодаря этому лампы дают более интенсивное излучение, в основном резонансных линий. Питание лампы осуществляется от специального источника, обеспечивающего работу лампы как в непрерывном режиме, так и в режиме селективной модуляции прямоугольными импульсами. Выпускаются лампы, дающие излучение свыше 25 элементов.

Высокочастотные безэлектродные лампы типа ВСБ-2 представляют собой стеклянную колбочку сферической формы диаметром 20 мм, наполненную инертным газом при давлении в несколько сотен паскалей и содержащую небольшое количество металла. Лампа помещается в высокочастотное поле (примерно 100 МГц), создаваемое генератором, и излучает при этом узкие спектральные линии соответствующего металла. Лампы типов ЛТ, ЛК и ВСБ используются в атомно-абсорбционных, атомно-флуоресцентных спектрофотометрах, рефрактометрах и подобных им приборах.

Неоновые дуговые лампы являются эффективным и мощным источником оранжево-красного излучения (580–730 нм). Общий вид лампы типа ДНеСГ500-1 (Д — дуговая, Не — неоновая, СГ — сигнальная, мощностью 500 Вт) показан на рис. 3.134. Лампа работает от сети с напряжением 220 В, частотой 50 Гц и включается последовательно с дросселем. Для зажигания применен предварительный накал активированных электродов в сочетании с импульсом высокого напряжения (подобно схеме включения ЛЛ со стартером). С этой целью у каждого электрода выведены оба конца. Средняя продолжительность горения 1000 ч. Лампы надежно работают при $t_{\text{окр}}$ от -40 до $+40^\circ\text{C}$ и применяются, главным образом, для сигнального освещения аэродромов, высоких сооружений и т.п.

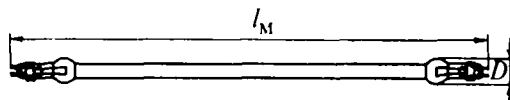


Рис. 3.134. Общий вид дуговой неоновой лампы

Электролюминесцентные панели (ЭЛП) представляют собой плоский конденсатор, между электродами которого помещен люминофор. Электролюминесценция возбуждается при напряженности поля порядка $10^4 - 10^5$ В/см. Плоскопараллельные обкладки электролюминесцентного конденсатора находятся на расстоянии нескольких десятков микрометров друг от друга [3.52]. Пространство между ними заполнено прозрачным диэлектриком, в котором взвешены частицы люминофора (рис. 3.135). Одна или обе обкладки делаются прозрачными, обычно из стекла (иногда на керамике) или на гибкой основе. В последнем случае ЭЛП могут легко изгибаться. Стандартные ЭЛП на стекле имеют вид прямоугольных пластин размером до 300×300 мм² толщиной 4–5 мм. При необходимости ЭЛП придают форму простых или сложных знаков. ЭЛП на гибкой основе (пленке) имеют форму лент различной ширины и достаточно большой длины (до нескольких сотен м) при толщине в доли мм.

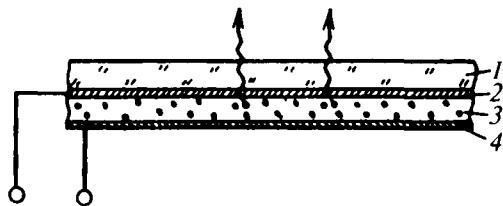


Рис. 3.135. Схематический разрез ЭЛП (толщины показаны не в масштабе): 1 — стекляннная пластина; 2 — прозрачный электропроводящий слой; 3 — зерна электролюминофора, взвешенные в прозрачном диэлектрике; 4 — металлическая пластина

В качестве люминофоров применяют сульфиды цинка, сульфиды-селениды цинка, кадмия и др.

Яркость свечения возрастает с ростом напряжения питания и частоты. Каждый тип ЭЛП рассчитан на определенное напряжение, т.к. при более высоком напряжении возможен пробой диэлектрика и выход ЭЛП из строя. ЭЛП могут работать при окружающей температуре от -40 до $+120^{\circ}\text{C}$.

По мере работы ЭЛП происходит падение яркости свечения, особенно сильное в первые сотни часов. У гибких ЭЛП спад яркости происходит значительно быстрее, чем у ЭЛП на твердой основе. Это связано с большей сложностью герметизации торцов пленки. Яркость гибких ЭЛП существенно выше, чем у твердых ЭЛП при одинаковых условиях (U и f). Спад яркости сильно зависит также от свойств люминофора.

В табл. 3.52 и на рис. 3.136 приведены характеристики ЭЛП на твердой основе с промышленными люминофорами, предназначенных для работы от сети 220 В.

Таблица 3.52

Усредненные яркости свечения ЭЛП с промышленными электролюминофорами (диэлектрик — лак ВС-530, $\epsilon = 12$) при $U_c = 220$ В

Электролюминофор*	Цвет	Яркость, $\text{кд}/\text{м}^2$, при частоте, Гц		
		50	400	1000
Э-455-115(220)	Голубой	4-5	30-50	50-80
Э-515-115(220)	Зеленый	7-10	75-100	140-250
Э-575-115(220)	Желтый	7-10	70-110	120-150
Э-650-115(220)	Красный	0,6-1	8-12	17-30
Э-670-115(220)	Красный	0,6-1	7-10	17-25

* Первая цифра после буквы означает длину волны (нм) в максимуме свечения, в скобках — номинальное напряжение питания.

Максимальная световая отдача ЭЛП зеленого и желтого цветов свечения — до $12 \text{ лм}/\text{Вт}$ при напряжении $200-300$ В и частоте 1000 Гц.

В проспектах некоторых зарубежных фирм приводятся данные о спаде яркости до 50% от начальной за $15-20$ тыс. ч при 115 В и 400 Гц, в то время как у гибких ЭЛП такой же спад происходит за 2000 ч.

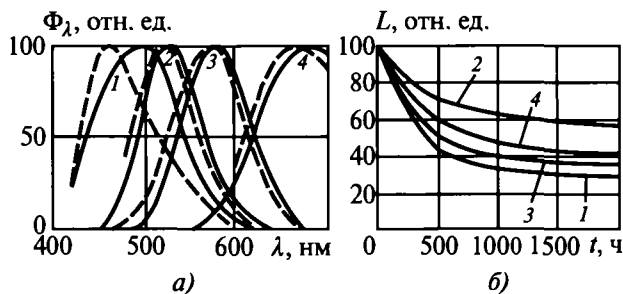


Рис. 3.136. Характеристики ЭЛП с различными электролюминофорами: а — спектры излучения (— — 50 Гц; - - - - 1000 Гц); б — спад яркости в процессе эксплуатации: 1 — ЭЛ-465; 2 — ЭЛ-525-С; 3 — ЭЛ-570-М; 4 — ЭЛ-670-И

Области применения — в светящихся знаках для сигнализации и отображения информации, в качестве маломощных источников декоративного освещения и др.

В ряде случаев высокое напряжение и нестандартные частоты питания являются препятствием для применения ЭЛП. В этой связи отметим, что в 90-х гг. XX века были открыты органические полупроводниковые светоизлучающие материалы, работающие при напряжениях в несколько В. Нет сомнения в том, что они найдут в дальнейшем разнообразное практическое применение.

Источники света с радиоактивными изотопами не требуют внешних источников питания, взрывобезопасны, имеют большой срок службы, но дают малые световые потоки и яркости, достаточные только для освещения шкал приборов, создания светящихся знаков и тому подобных целей [3.16].

Световые знаки с тритиевым наполнением представляют собой запаянную стеклянную колбу или трубку диаметром $1-3$ см, покрытую изнутри слоем люминофора и наполненную тритием — изотопом водорода (^3H).

Испускаемое тритием β -излучение (электроны с энергией $5,7$ кВ) возбуждает люминофор, который излучает свет со спектром, характерным для данного люминофора. Стеклянные стенки колбы совершенно непроницаемы для трития и β -излучения, так что такой ИС не представляет радиационной опасности. У экспериментальных образцов яркость достигает $6-7 \text{ кд}/\text{м}^2$; обычно же — $1-2 \text{ кд}/\text{м}^2$ для желтого, зеленого и белого цветов свечения и $0,3-0,8 \text{ кд}/\text{м}^2$ для синего и оранжево-красного. Яркость свечения падает по мере распада трития. Период полураспада трития около 12 лет, фактически яркость падает вдвое за $6-7$ лет, но полезный срок службы ламп можно считать равным $12-15$ годам.

Светосоставы постоянного действия (СПД) представляют собой люминофор, смешанный с радиоактивными веществами. В настоящее время для возбуждения используют радиоактивные изотопы, дающие только β -излучение: тритий или прометий-147. Их достоинство в том, что электроны полностью задерживаются даже тонкими защитными слоями вещества и не разрушают основу люминофора. Всесоюзная контора «Изо-

тон» поставляет СПД на тритиевой основе различных цветов. Яркость в зависимости от цвета составляет от 0,05 до 0,2 кд/м². СПД употребляются для изготовления самосветящихся красок. Они практически безвредны, так как тонкий слой лака полностью поглощает β-излучение трития. Спад яркости определяется периодом полураспада трития.

Эксплуатация ИС, содержащих радиоактивные изотопы, должна проводиться с разрешения и под контролем соответствующих ведомств.

3.7. ЛАЗЕРЫ

Лазеры представляют собой генераторы оптического излучения, обладающего совершенно уникальными свойствами: 1) высокой когерентностью в пространстве и во времени, 2) исключительно узкой направленностью (расходимость пучка может быть близкой к дифракционному пределу), 3) огромной концентрацией мощности (до 10¹¹ Вт/см² в непрерывном режиме и до 10¹⁸ Вт/см² в импульсе), 4) высокой степенью монохроматичности (спектральная ширина линии генерации $\Delta\lambda = 10^{-9}$ нм при $\lambda = 500$ нм), 5) способностью фокусироваться в исключительно малые объемы порядка λ^3 [3.53]. Слово «лазер» образовано из первых букв английских слов: Light Amplification by stimulated emission of radiation (усиление света при помощи вынужденного излучения). Строго говоря, аббревиатура «лазер» в начале относилась к оптическим генераторам света, но для удобства образования сложных терминов слово «лазер» стали применять ко всему диапазону оптического спектра: УФ, видимому и ИК. Фундаментальный вклад в эту новую бурно развивающуюся область науки и техники, называемую квантовой электроникой, внесли советские ученые. Первые лазеры были созданы в 1960 г. В 1959 г. за разработку нового принципа генерации и усиления радиоволн, создание молекулярных генераторов и усилителей академиком Н.Г. Басову и А.М. Прохорову была присуждена Ленинская премия, а в 1964 г. они совместно с американским ученым Ч. Таунсом за фундаментальные исследования в области квантовой электроники были удостоены Нобелевской премии по физике.

Принцип действия лазеров основан на использовании теоретически предсказанного А. Эйнштейном еще в 1916 г. процесса вынужденного (стимулированного, индуцированного) испускания фотона возбужденным атомом или молекулой под воздействием излучения, имеющего ту же частоту. Самое важное и замечательное в этом процессе то, что фотон, возникший при вынужденном испускании, совершенно тождественен с вызвавшим его внешним фотоном по направлению, частоте, фазе и поляризации. На языке волновой оптики это означает, что вынужденное излучение когерентно со стимулирующим. Этот принцип справедлив для всего спектра электромагнитного излучения.

Вынужденное излучение в оптическом диапазоне спектра в обычных условиях значительно меньше спонтанного и поэтому практически не наблюдалось. В 1940 г. В.А. Фабрикант предложил метод прямого доказательства существования вынужденного излучения

и при этом впервые обратил внимание на принципиальную возможность создания среды, не ослабляющей, а усиливающей проходящее через нее излучение [3.54]. Для этого необходимо было создать такие искусственные условия, при которых концентрация возбужденных атомов или молекул на каком-либо верхнем энергетическом уровне была бы больше, чем их концентрация на каком-либо нижнем, соответствующем оптическому переходу между ними. Такая необычная «заселенность» энергетических уровней называется инверсной, так как в обычных условиях концентрации возбужденных атомов или молекул резко убывают с ростом энергии возбужденного уровня.

Среда с инверсной заселенностью называется активной. Излучение с частотой, соответствующей инверсному переходу, проходя через активную среду (АС), вызывает лавину вынужденных фотонов, «летающих» строго в одном направлении, и вместо обычного ослабления получается усиление излучения в направлении падающего луча. Эта идея лежит в основе многочисленных процессов квантовой электроники. Государственный комитет по делам изобретений и открытий СССР выдал В.А. Фабриканту, М.М. Вудынскому и Ф.А. Бутаевой диплом на открытие за № 12 с приоритетом от 1951 г. «на способ усиления электромагнитного излучения (ультрафиолетового, видимого, инфракрасного и радиодиапазонов волн), основанный на использовании явления индуцированного испускания».

Принципиально важным шагом в создании лазеров явилось предложение А.М. Прохорова поместить активную среду в оптический резонатор (ОР), что в значительной мере определило уникальные свойства лазерного излучения [3.55]. В простейшем случае ОР представляет собой две отражающие поверхности, обращенные друг к другу, обеспечивающие многократное прохождение излучения через АС и за счет этого его резкое усиление. Максимальное усиление получают лучи, наибольшее число раз прошедшие через АС, вследствие чего резко увеличивается мощность выходящего лазерного излучения, и оно становится остронаправленным, сохраняя при этом высокую когерентность. Для выхода излучения одну из поверхностей ОР делают частично прозрачной или с отверстием. Из-за интерференции в ОР усиливаются только те излучения, длины волн которых образуют стоячие волны, благодаря чему выходящее лазерное излучение становится высокомонохроматичным. Помещение АС в ОР обеспечивает возможность перехода от режима усиления излучения к режиму генерации. Для этого необходимо, чтобы потери излучения при одном цикле прохождения через систему (отражения в ОР, рассеяния и др.) были меньше его усиления в АС. Возбуждение АС может создаваться за счет подвода энергии извне или при выделении ее в химических или ядерных процессах. Перевод лазерного вещества в активное состояние называется накачкой. Для каждой конкретной конструкции ОР и лазерного вещества существуют свои минимальные пороговая мощность накачки (в непрерывном режиме работы системы) и пороговая энергия накачки (в импульсном режиме), ниже которых генерация невозможна. Мощность (энергия) генерации растет с мощностью (энер-

гией) накачки, однако, как правило, наступает насыщение этой зависимости [3.56].

Пространственная когерентность характеризует степень изменения фазы на всем протяжении волнового фронта в определенный момент времени. Нелазерные источники света обладают плохой пространственной когерентностью. У лазерного пучка пространственная когерентность связана с его модовой структурой. Она имеет наибольшее значение у одномодового излучения и обеспечивает более равномерное освещение. Лазерный пучок хорошо сфокусирован, и поэтому все его излучение легко собрать с помощью оптики.

Ограничение на угол расходимости θ лазерного пучка накладывается дифракцией. Оно является принципиальным. Преодолеть его путем совершенствования оптики невозможно. Дифракция определяет нижний предел угла расходимости пучка, приближенно определяемого формулой

$$\theta = K\lambda / d,$$

где λ — длина волны излучения, d — диаметр выходной апертуры, K — числовой коэффициент, равный 1,22 для однородных пучков, и $2/\pi$ для гауссовых пучков. Лазерные пучки с минимальной расходимостью называются дифракционно ограниченными. Расходимость некоторых лазеров приведена в табл. 3.53.

Таблица 3.53

Значение угла расходимости наиболее распространенных лазеров [3.57]

Лазер	He-Ne	Ar	CO ₂	Рубин	Стекло с неодимом	Nd : ИАГ	GaAs
θ , мрад	0,2–1	0,5–1	1–10	1–10	0,5–10	2–20	20–200

Лазеры генерируют излучение высокой мощности, испускаемое с единичной площади в единичном телесном угле, т.е. являются источниками очень высокой яркости. Например, в лазере на стекле с неодимом с дифракционным ограничением расходимости пучка лучистая яркость достигает $2 \cdot 10^{17}$ Вт/см²·ср. Для сравнения отметим, что лучистая яркость солнца составляет ~ 130 Вт/см²·ср.

Достижимое значение плотности мощности лазерного пучка определяется размерами пятна, в которое может быть сфокусирован пучок. Всегда существует минимально достижимый размер пятна, определяемый дифракцией. Кроме того, для любой оптической системы существует конечный предел остроты фокусировки, который также называется дифракционным. Он определяет минимальную площадь фокального пятна, а следовательно, и максимально достижимую облученность.

Лазерный луч характеризуется такими свойствами, как монохроматичность, из-за возможности создания узкой спектральной линии, направленность, из-за хорошей коллимации пучка, когерентность, временные характеристики, яркость, характеристики фокусировки, максимально допустимая мощность лазерного излучения. Волновой фронт лазерного пучка не подвер-

жен хаотическим изменениям во времени и пространстве, т.е. излучение лазера когерентно. В табл. 3.54 для примера даны значения яркости некоторых лазеров и дуговой лампы. Видно, что эти значения у лазеров на несколько порядков выше, чем у лампы.

Таблица 3.54

Энергетическая (L) и спектральная (L_ν) яркость различных лазеров и дуговой лампы

Источник	L , Вт/(см ² ·ср)	L_ν , Вт/(см ² ·ср·Гц)
Дуговая лампа	10^3	10^{-10}
Ag ⁺ -лазер, 10 кВт	$4 \cdot 10^9$	1
CO ₂ -лазер непрерывного действия, 100 Вт	10^8	10
Неодимовый лазер, импульс 10 пс, 1 Дж	10^{16}	10^3

Лазер состоит из трех основных узлов: излучателя, системы накачки и источника питания, а также вспомогательных устройств, обеспечивающих его нормальную работу и управление лазерным излучением. Излучатель предназначен для преобразования энергии накачки в лазерное излучение. Он может содержать один или несколько лазерных элементов, помещенных в ОР. Активный элемент (АЭ) является основной функциональной частью излучателя, содержащей лазерное вещество, в котором в процессе накачки может быть создана АС. Лазерное вещество может находиться в плазменном, газообразном, жидком и твердом состоянии. Соответственно различают следующие типы лазеров: плазменные, газовые, жидкостные, твердотельные и полупроводниковые.

Оптический резонатор в общем случае представляет собой систему отражающих, преломляющих, фокусирующих и других оптических элементов, в пространстве между которыми могут возбуждаться определенные типы колебаний электромагнитного поля. Он должен иметь минимальные потери на поглощение в рабочей части спектра (коэффициент отражения одной из поверхностей часто бывает выше 0,99) и высокую оптическую точность узлов и их установки относительно друг друга.

Системы накачки — это совокупность элементов, предназначенных для преобразования энергии и передачи ее от внешнего источника к АЭ. Накачка осуществляется несколькими способами: 1) электрическим разрядом (газовые лазеры), 2) оптическим излучением (твердотельные и жидкостные), 3) инъекцией — «впрыскиванием» электронов в $p-n$ -переход (полупроводниковые), 4) пучком ускоренных электронов (все типы лазеров). Существуют также лазеры с другими типами накачки: газодинамические, химические, ядерные, на свободных электронах и пр. Для накачки твердотельных лазеров используются дуговые и импульсные лампы в кварцевой оболочке. Сильноточные разряды в инертных газах, инициируемые электрическим

взрывом металлических проволочек, применяются для накачки лазеров с длительностью импульсов порядка 50–100 мкс. С их помощью возбуждаются в основном фотодиссоционные, химические и некоторые эксимерные лазеры. В последних в качестве АС используют эксимеры – возбужденные электронным ударом молекулы Ar_2^* , Kr_2^* , Xe_2^* ; эксиплексы типа ArF^* ; тримеры типа Kr_2F^* и др. Лазерное излучение в этих газах основано на переходах из связанного состояния в виде возбужденных молекул (существующего $\sim 10^{-12}$ с) в свободное с испусканием фотона и диссоциацией на атомы. Более короткими импульсами ($\sim 0,1$ – 10 мкс) возбуждаются лазеры на красителях.

В качестве источников накачки разных лазеров применяют также устройства на основе сильноточных разрядов: различного рода пинчевые разряды [3.58] (пинч-эффект: сжатие разряда в поперечном направлении за счет взаимодействия тока разряда с создаваемым им магнитным полем), разряд магнитоплазменного компрессора (устройство стационарного сжатия плазменной струи под действием собственного азимутального магнитного поля), разряд по поверхности диэлектрика, ударные волны, движущуюся плазму, катодлюминесцентные приборы.

Большой популярностью в качестве источников накачки пользуются электронные пучки, с помощью которых получена лазерная генерация на молекулярных и атомных газах, эксимерах, парах красителей, химических средах, кристаллах и стеклах, полупроводниках, неорганических жидкостях. Накачка электронным пучком перспективна для получения больших мощностей когерентного излучения, для исследования генерации новых АС, особенно для создания лазеров, излучающих вакуумный ультрафиолет и рентгеновские лучи [3.58].

В лазерах на свободных электронах (ЛСЭ) используется коллективное взаимодействие электронного пучка и электромагнитной волны. При выполнении условия авторезонанса частицы находятся в синхронизме с полем. Длина волны излучения связана с периодичностью магнитного поля и может непрерывно перестраиваться в широком диапазоне спектра изменением энергии электронов. Для этих лазеров требуются ускорители электронов определенных типов.

Существуют проверенные возможности накачки лазеров излучением, возникающим с помощью импульсного или непрерывного нагрева металлических фольг до температур, близких к температурам их плавления (2500–3000 К). Есть способ накачки излучением, возникающим при горении металлов или газов. При этом отпадает необходимость в источнике электронитания [3.59].

Одним из перспективных путей использования солнечной радиации является преобразование ее в лазерное излучение. В качестве АС можно применять твердые тела, жидкости и газы. Светооптическая система накачки в этом случае состоит из параболического или сферического зеркала, в фокусе которого размещается ЛЭ. Его накачка осуществляется через торец или боковую

поверхность. Солнечная накачка перспективна для лазеров, работающих в космосе.

Режим работы лазеров бывает непрерывным, импульсно-периодическим и импульсным. Лазеры непрерывного действия характеризуются мощностью луча; импульсно-периодические – импульсной мощностью, длительностью и энергией импульсов и частотой их повторения; импульсные – мощностью, длительностью и энергией импульса. В непрерывном и импульсно-периодическом режимах увеличение мощности луча обычно ограничивается возможностями отвода тепла, выделяющегося в АЭ [3.60]. При этом количество тепла определяется не импульсной, а средней мощностью. В режиме одиночных импульсов предел мощности определяется, главным образом, стойкостью лазерных материалов к мощному световому потоку [3.61].

Импульсные лазеры могут работать в нескольких режимах. В режиме свободной генерации импульс лазерного излучения возникает под действием импульса накачки в его начале и прекращается на его спаде. Поэтому длительность лазерного излучения в значительной степени определяется длительностью импульса накачки. Лазеры с относительно большой продолжительностью жизни возбужденного уровня могут работать в режиме с модуляцией добротности резонатора (МДР). Он основан на быстром изменении потерь в резонаторе лазера. Принцип МДР заключается в том, чтобы допустить развитие генерации лишь тогда, когда достигнут максимум инверсной населенности. Генерация происходит с начальным усилением, намного большим порогового значения. Такой режим обеспечивается с помощью расположенного внутри резонатора затвора, открывающегося лишь для прохождения излучения, когда достигнут максимум инверсии населенностей. При этом потери и добротность резонатора регулируются. С этой целью в ОР вводится элемент, мгновенно в нужный момент отключающий ОР перед самым концом импульса накачки, благодаря чему удается накопить большую концентрацию возбужденных частиц на верхнем уровне и увеличить мощность лазерного излучения. Но КПД лазера при этом снижается [3.62, 3.63].

Основные генерационные параметры наиболее распространенных лазеров приведены в табл. 3.55. Они были рассчитаны по приближенным формулам [3.63]:

$$\nu = 3 \cdot 10^{14} / \lambda \text{ Гц}; \quad \nu/c = 10^4 / \lambda \text{ см}^{-1};$$

$$h\nu = 1986 \cdot 10^{-12} / \lambda \text{ эрг} = 1,986 \cdot 10^{-19} / \lambda \text{ Дж} = \\ = 5,52 \cdot 10^{-24} / \lambda \text{ кВт} \cdot \text{ч}; \quad N_A h\nu = 28,5 / \lambda \text{ ккал/моль};$$

$$h\nu / k = 1430 \text{ К} / \lambda; \quad h\nu = 1,24 / \lambda \text{ эВ}$$

с использованием известных соотношений:

$$\lambda\nu = c; \quad eV = h\nu = hc / \lambda.$$

Здесь h – постоянная Планка, N_A – постоянная Авогадро, k – постоянная Больцмана.

Таблица 3.55

Длины волн, частоты излучения и энергии квантов некоторых лазеров [3.63]

Лазер	λ , мкм	ν , 10^{14} Гц	ν/c , 10^3 см $^{-1}$	$h\nu$, 10^{19} Дж	$h\nu$, эВ
He-Ne	0,633	4,74	15,8	3,14	1,96
	1,15	2,61	8,7	1,73	1,08
	3,39	0,885	2,95	0,586	0,366
Аргоновый	0,488	6,15	20,5	4,06	2,54
	0,5145	5,83	19,4	3,86	2,41
He-Cd	0,325	9,23	30,8	6,11	3,82
	0,4416	6,79	22,6	4,50	2,81
Медный	0,510	5,88	19,6	3,89	2,43
	0,578	5,19	17,3	3,44	2,15
CO ₂	9,6	0,312	1,04	0,207	0,129
	10,6	0,283	0,943	0,187	0,117
HF	2,7	1,11	3,7	0,74	0,46
Йодный	1,315	2,28	7,60	1,51	0,943
CO	5,5	0,545	1,82	0,36	0,225
Азотный	0,3371	8,90	29,7	5,89	3,68
KrCl	0,222	13,5	45,0	8,95	5,59
KrF	0,249	12,0	40,2	7,96	4,98
XeCl	0,308	9,74	32,5	6,45	4,03
XeF	0,352	8,52	28,4	5,64	3,52
Рубиновый	0,693	4,33	14,4	2,87	1,79
Неодимовый	1,06	2,83	9,43	1,87	1,17
Эрбиевый	2,94	1,02	3,40	0,675	0,422
Роламиновый	0,6	5,0	16,7	3,31	2,07
LiF - F ₂ ⁺	1,0	3,0	10,0	1,986	1,24
LiF - F ₂ ⁻	1,2	2,5	8,33	1,66	1,03
GaAs	0,84	3,57	11,3	2,36	1,48

Газовые лазеры могут давать излучение в весьма широком диапазоне длин волн — от 100 нм до 1,965 мкм. Их излучение обладает наименьшими углами расходимости, наибольшей монохроматичностью и стабильностью частоты. Они могут работать как в импульсном, так и в непрерывном режимах. Недостатком является значительно меньшая мощность излучения с единицы объема АЭ, чем у твердотельных или жидкокристаллических лазеров. В промышленных типах лазеров накачка АЭ осуществляется, главным образом, электрическим разрядом. Существует три основных типа газоразрядных лазеров: 1) атомарный, в котором используются лазерные переходы между энергетическими уровнями возбужденных нейтральных атомов (излучение в ИК- и частично в видимой области), 2) ионный — на возбужденных ионах (УФ- и видимая области) и 3) мо-

лекулярный — на возбужденных молекулах (ИК-область). Типичными представителями лазеров первого типа являются гелий-неоновые, второго — ионные (аргоновые) и третьего — лазеры на CO₂. Существует также много лазеров каждого типа на других газах, парах и смесях [3.64–3.66].

Гелий-неоновый лазер представляет собой стеклянную трубку диаметром 1–5 мм, длиной 0,3–2 м, наполненную смесью He с Ne до давления 100–400 Па и помещенную в ОР (рис. 3.137, а). Лазерная накачка осуществляется в разряде на постоянном токе или на СВЧ (200 МГц). Атомы He возбуждаются при соударениях с быстрыми электронами и, сталкиваясь с атомами Ne, передают им свою энергию (рис. 3.137, б). Индуцированное излучение возникает в близкой ИК (около 1,15 мкм) и красной (около 0,63 мкм) областях спектра.

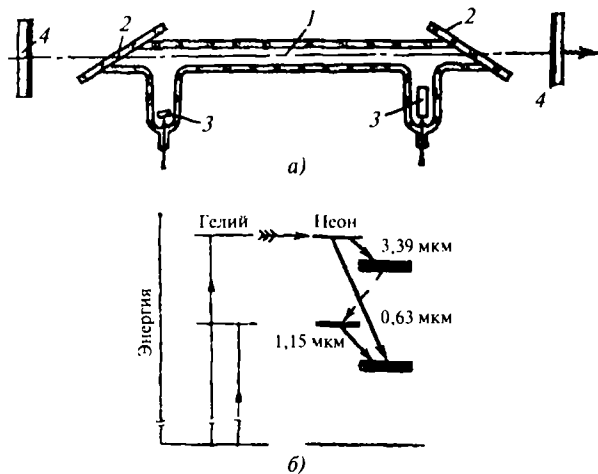


Рис. 3.137. Гелий-неоновый лазер: а — схематический вид излучателя (продольный разрез); 1 — разрядная трубка; 2 — окна, расположенные под углом Брюстера к продольной оси лазера для уменьшения потерь излучения; 3 — электроды (катод и анод); 4 — зеркала внешнего оптического резонатора; б — упрощенная схема энергетических уровней (жирные стрелки — вынужденные переходы). Выход лазерного излучения обозначен стрелкой

Ионные лазеры являются наиболее мощными источниками лазерного излучения в видимой и УФ-областях спектра. Практический интерес представляют лазеры с излучением голубых линий ионизованного аргона (Ar II). Значительно реже применяются лазеры с излучением красной (647 нм) и желтой (521 нм) линий Kг II, голубой (442 нм) и УФ-линий Cd II, Ne II, Ar III, Kг III. Сильная (двух- и трехкратная) ионизация создается в разряде путем пропускания постоянного тока большой плотности (до 300–500 А/см²) через длинный (30–70 см) капилляр (Ø2–3 мм) из материала с высокими нагревостойкостью и теплопроводностью, например, бреллисовой керамики. Применяют также набор графитовых шайб, разделенных изолирующими кольцами [3.66]. Для увеличения плотности тока разряд осуществляют в продольном магнитном поле (до

10^5 А/м). Разрядное устройство охлаждается проточной дистиллированной водой. Поток электронов в капилляре увлечает за собой газ от катода к аноду. Чтобы обеспечить обратную циркуляцию газа, анодный конец капилляра за пределами разрядного канала соединяют с катодным при помощи трубки (рис. 3.138) или другим путем.

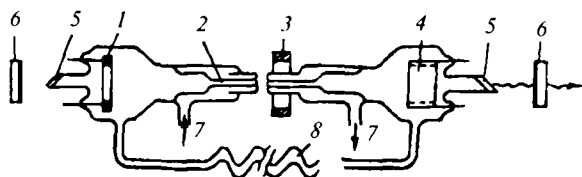


Рис. 3.138. Схематический вид ионного (аргонового) излучателя (продольный разрез): 1 — катод; 2 — разрядный капилляр; 3 — магниты; 4 — анод; 5 — окна (под углом Брюстера); 6 — зеркала внешнего оптического резонатора; 7 — вход и выход для жидкости, охлаждающей капилляр; 8 — трубка для циркуляции Ar

Лазеры на парах меди используются для разделения изотопов и для связи подводных лодок с надводными и космическими кораблями. В схеме рабочих уровней атомов медного лазера два близко расположенных уровня $2P_{1/2}$ и $2P_{3/2}$ эффективно возбуждаются электронным ударом (рис. 3.139) и имеют приблизительные значения сечений возбуждения $9,7 \cdot 10^{-16}$ см² для $2P_{3/2}$ и $4,5 \cdot 10^{-16}$ см² для $2P_{1/2}$, что выше, чем у всех подобных металлов. Генерация происходит на переходах с этих уровней на метастабильные уровни $2D_{3/2}$ и $2D_{5/2}$.

Времена жизни верхних уровней велики в силу плечения излучения и составляют в реальных условиях около 800 и 400 нс.

Генерация на парах меди была получена при температуре 1500°C (давление паров меди 0,4 мм рт. ст.).

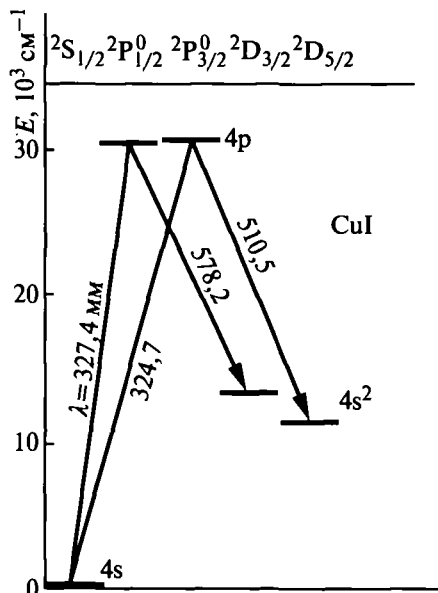


Рис. 3.139. Схема уровней атома меди. Лазерные переходы указаны стрелками

Мощность генерации зеленой линии (510,5 нм) выше, чем желтой (578,2 нм). Длительность импульса генерации ~5–10 нс, пиковая мощность 200 кВт. При частоте повторения импульсов 20 кГц средняя мощность генерации ~40–50 Вт.

Жесткий температурный режим работы керамической разрядной трубки из Al_2O_3 и BeO , внутри которой находится нагретая рабочая смесь, требует определенных мер по технике безопасности.

Молекулярные лазеры. Существует около ста различных лазерных систем, которые обеспечивают выход лазерного излучения примерно на 400 переходах в УФ-диапазоне спектра 200–400 нм и в области вакуумного УФ ($\lambda \leq 200$ нм). Генерация в вакуумном УФ была впервые получена при возбуждении конденсированного ксенона пучком быстрых электронов и в газовом разряде. Лазеры с излучением в вакуумном УФ созданы на H_2 , D_2 , HD .

Азотный (N_2 -) лазер является высокомоощным лазером в УФ-диапазоне с коротким временем нарастания импульса накачки и высокой частотой повторения импульсов ($1 \cdot 10^4$ Гц). Он применяется для накачки лазеров на красителях, в спектроскопии, фотохимии, при обработке материалов.

Лазерное излучение с $\lambda = 337,1$ нм генерируется при переходе между колебательными уровнями различных электронных состояний в триплетной системе нейтрального молекулярного азота (вторая положительная система): $C^3P_{ii} \rightarrow V^3P_g$.

Из-за малого времени жизни верхнего лазерного уровня (~40 нс) инверсия населенностей достигается только при возбуждении короткими импульсами (≤ 15 нс), а максимальная частота повторения импульсов составляет ~100 Гц. Более высокая частота импульсов генерации требует быстрой замены газа. Схема импульсного азотного лазера приведена на рис. 3.140.

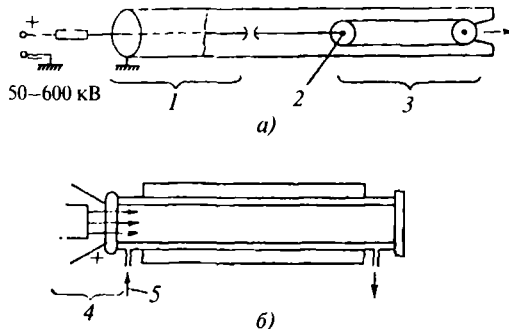


Рис. 3.140. Схематическое изображение конструкции N_2 -лазера: а — коаксиальное возбуждение; б — возбуждение электронным пучком (в частности, и для H_2 -лазера); 1 — накопитель энергии; 2 — зеркало со 100-процентным отражением; 3 — лазерная трубка; 4 — источник электронного пучка; 5 — охлаждающая вода

Лазеры на CO_2 и CO являются наиболее мощными генераторами излучения в ИК-области спектра и обладают высокими КПД. Длина волны излучения лазера на CO_2 соответствует 10,6 мкм. Для повышения эффек-

тивности генерации к CO_2 добавляют азот и гелий, а также пары воды.

Активный элемент отпаянных лазеров на CO_2 представляет собой охлаждаемую водой стеклянную трубу большой длины, внутри которой происходит разряд. Давление газов 0,1–1 кПа. Мощность луча в непрерывном режиме — несколько сот Вт. Продольно-прокачные лазеры (с прокачкой газа вдоль трубы) дают мощности излучения порядка 1 кВт. Поперечно-прокачные обеспечивают еще большие мощности генерации, порядка нескольких десятков кВт. Они работают с поперечной по отношению к направлению луча прокачкой газа и с поперечным разрядом при давлениях около 0,1 МПа. Повышение давления позволяет сократить длину оптического активного участка до 0,5–1 м.

CO -лазер является высокомошным ИК-лазером с излучением в диапазоне длин волн 5–6 мкм, работающим в непрерывном или импульсном режимах с очень высоким КПД 40–50%. Однако эффективный режим работы требует охлаждения газа до температуры ≤ 100 К, поэтому области его применения несколько ограничены по сравнению с CO_2 -лазером, несмотря на сопоставимые характеристики.

Из класса **эксимерных** наиболее важны лазеры на галогенидах инертных газов. Они являются высокомошными импульсными лазерами с излучением в УФ-диапазоне длин волн с большими энергиями и высокой частотой повторения импульсов при их длительности более 100 нс и высоким КПД (1–10%). Эти лазеры находят применение в фотолитографии, для накачки лазеров на красителях и в управляемом лазерном термоядерном синтезе.

В **газодинамических лазерах** инверсия населенностей возникает при расширении нагретого и сжатого газа на выходе его из сопла. Рабочий газ нагревается (обычно до $10^3 - 3 \cdot 10^3$ К) с помощью электроподогревателя, ударной трубы, адиабатического сжатия, затем поступает в сопло, где он ускоряется и на выходе его охлаждается (рис. 3.141). Ось оптического резонатора пер-

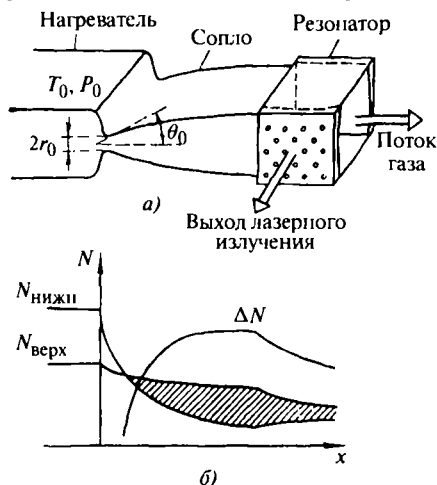


Рис. 3.141. Схема газодинамического лазера (а) и распределение заселенностей N верхнего и нижнего лазерных уровней вдоль оси сопла (б). Заштрихованная область — зона инверсии ($\Delta N > 0$)

пендикулярна направлению газового потока. Если время жизни верхнего лазерного уровня больше, чем нижнего, то возникает инверсия населенностей. В резонаторе часть колебательной энергии, связанной с инверсией, переходит в когерентное излучение. Колебательно возбужденный газ можно получать также за счет химических реакций сгорания или взрыва [3.67].

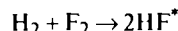
Следует различать два типа **лазеров на плазме**: лазеры, усиление в которых происходит в режиме ионизации газа (газовые лазеры), и лазеры, усиливающая среда которых — рекомбинирующая плазма (плазменные лазеры). Для газового лазера температура свободных электронов T_e больше равновесной температуры T_w , при которой степень ионизации совпадает с фактически имеющейся. Для плазменного, наоборот, $T_e < T_w$. Соответственно, импульсные газовые лазеры работают на переднем фронте импульса возбуждения, а плазменные — в послесвечении.

В плазмодинамических лазерах на электронных переходах существенное значение имеет движение АС (расширение, проток и сжатие плазмы, разлет газа). В движущейся плазме с быстро меняющимися плотностью и температурой реализуются значительные неоднородности.

Предельные физико-технические параметры газовых лазеров приведены в табл. 3.56.

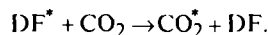
В **химическом лазере** энергия излучения возникает за счет неравновесного распределения химической энергии среди продуктов реакции непосредственно в реакторе. Наиболее естественным аккумулятором энергии, выделяющейся в процессе химической реакции, являются колебательные степени свободы молекул. Именно переходы между колебательными уровнями используются в подавляющем большинстве химических лазеров.

Они генерируют излучение на многих длинах волн от 1,3 до 26 мкм и достигают энергии в импульсном режиме несколько кДж, а мощность в непрерывном режиме — несколько кВт. Возбуждение АС происходит за счет образования колебательно-возбужденных лазерных молекул: а) образование реагирующих друг с другом атомов происходит в электрическом разряде при диссоциации молекул под действием фотонов или электронов (химически гибридный лазер); б) в чисто химическом лазере реагенты в реакции накачки



образуются при горении (плазменный лазер), в импульсных цепных реакциях (HF-лазер) или в химических реакциях в камере сгорания (звездочка у молекул обозначает их возбужденное состояние).

В химических процессах переноса энергии образованные колебательно-возбужденные молекулы отдают свою колебательную энергию при столкновениях второго рода и таким образом создают в молекулах — партнерах по столкновению инверсию населенностей, например,

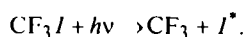


Пределные параметры газовых лазеров [3.62]

Параметр	Значение	Тип лазера
Мощность в непрерывном режиме, кВт	400	Газодинамический CO ₂ -лазер
Энергия импульса излучения, кДж	70	Быстропроточный CO ₂ -лазер ТЕА-лазер на CO ₂ Йодный лазер
	10	
	1000	
Импульсная мощность, ГВт	20	ТЕА-лазер на CO ₂
Длительность импульса, нс	30	ТЕА-лазер на CO ₂ с укорочением импульса
КПД, %	10-50	Лазер на галогенидах инертных газов в УФ-диапазоне, СО- и CO ₂ -лазеры в ИК-диапазоне
Минимальная длина волны лазерного излучения, нм	116	H ₂ -лазер
Максимальная длина волны лазерного излучения, мм	1,965	CH ₃ Br-лазер
Стабильность частоты	10 ⁻¹⁵	He-Ne-лазер

Примечание: ТЕА (Transversely Excited Atmospheric) лазеры атмосферного давления с поперечным возбуждением АС. Поперечное сечение кюветы этих лазеров с АС имеет вид прямоугольника с накачкой ее поперек линии большей длины.

В фотодиссоционных процессах за счет фотодиссоциации молекул образуются возбужденные атомы, например,



Твердотельные лазеры дают излучение в видимой и близкой ИК-областях спектра. Плотность активных частиц в рабочих веществах твердотельных лазеров составляет 10^{18} – 10^{20} см⁻³, в то время как в газовых лазерах она обычно лежит в пределах 10^{15} – 10^{16} см⁻³. Степень монохроматичности излучения хуже, расходимость пучка больше, чем в газовых лазерах. В качестве АС используют искусственные кристаллы и стекла. Первым АЭ был кристалл рубина (Al₂O₃, активированный трехвалентными ионами хрома Cr³⁺), дающий генерацию на $\lambda = 0,694$ мкм. Образцы рубина в виде цилиндра [3.68] диаметром примерно 9,5 мм и длиной 19,5 мм с плоскими торцами, параллельными друг другу, крепились внутри спиральной лампы-вспышки, а все устройство помещалось в полированном алюминиевом цилиндре (рис. 3.142). Затем поя-

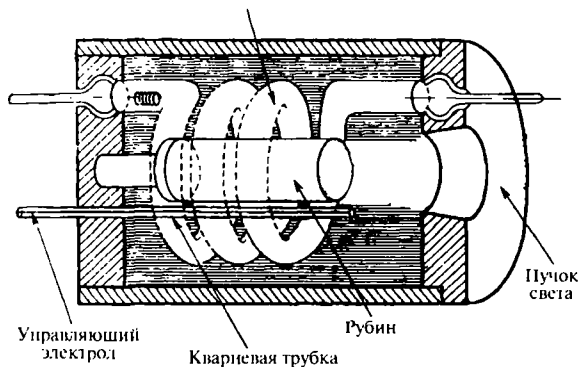


Рис. 3.142. Устройство для первого импульсного лазерного возбуждения кристалла рубина

вился и получил широкое распространение кристалл алюмоиттриевого граната (АИГ), активированный трехвалентными ионами неодима (Y₃Al₅O₁₂:Nd³⁺), а также неодимовые стекла (специальные силикатные или фосфатные стекла с добавкой 1–6% окиси неодима), дающие генерацию на $\lambda = 1,06$ мкм. Вообще в твердотельных и жидкостных веществах генерация создается в активирующих присадках, в то время как большинство остальных свойств определяется основным материалом, т.е. материалом матрицы. Активные элементы обычно имеют форму стержней. На их торцы наносятся отражающие покрытия, и тогда АЭ становится ОР. Часто применяются и внешние зеркала.

Возбуждение АЭ осуществляют разными путями, но чаще всего оптической накачкой. Светооптическое устройство концентрирует излучение специальной лампы или нескольких ламп на АЭ (рис. 3.143). Эффективность системы накачки (рис. 3.144) прежде всего зависит от геометрических размеров лампы накачки и отражателя, их взаимного расположения в лазерном осветителе, от степени соответствия спектра лампы накачки спектру поглощения АЭ, от КПД лампы и всей светооптической

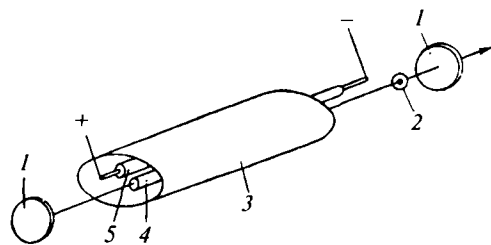


Рис. 3.143. Схематическое изображение конструкции твердотельного лазера: 1 — зеркала; 2 — молдовая диафрагма, имеющая центральное отверстие для прохождения основной моды излучения и экранирования других мод; 3 — отражатель; 4 — АЭ в форме цилиндра; 5 — лампа накачки

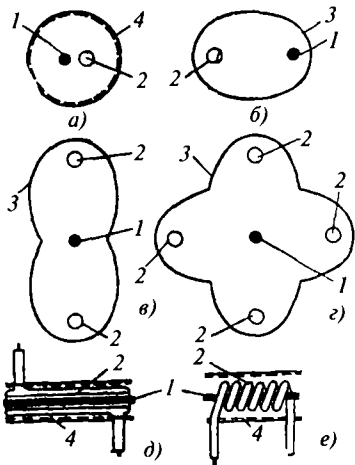


Рис. 3.144. Наиболее распространенные схемы светооптических устройств накачки: *a* — цилиндрические; *b* — эллипсоидные (*в* и *г* — применяются для лазеров с большой энергией); *д* и *е* — коаксиальные; 1 — активный элемент; 2 — лампы накачки; 3 — отражатель; 4 — диффузно отражающее покрытие

системы и доли излучения, поглощаемого АЭ. Большинство твердотельных лазеров работает в импульсном режиме, так как для накачки, при которой возникает генерация, требуется создавать на АЭ весьма большие облученности (десятки Вт/см²). Их удается получать только в импульсном режиме при помощи специальных импульсных ламп накачки. Кроме того, при необходимых уровнях облученностей в непрерывном режиме в АЭ выделяется такое количество тепла, которое вызывает его перегрев (рис. 3.145). Исключение составляют низкороговые лазеры типа АИГ, которые благодаря небольшому порогу генерации и высокой теплопроводности АЭ могут работать в импульсно-периодическом и непрерывном режимах [3.69, 3.70].

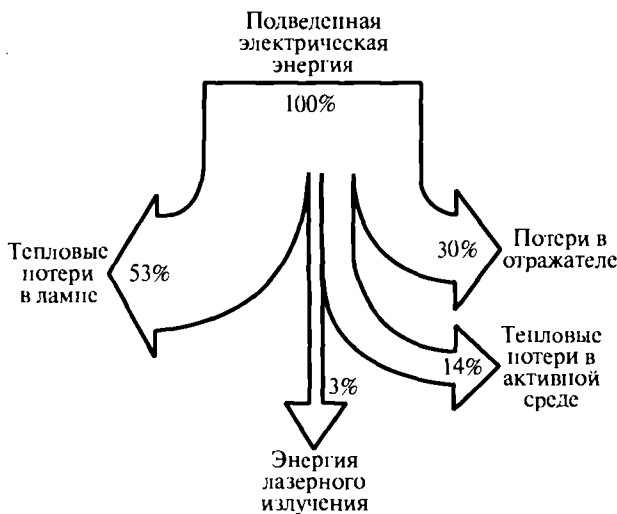


Рис. 3.145. Баланс энергии системы накачки с использованием криптоновой дуговой лампы для накачки непрерывного лазера на АИГ: Nd³⁺ [3.62]

Полупроводниковые лазеры (ППЛ) [3.71] обладают следующими особенностями: очень малыми размерами излучающей области, весьма высокими КПД (50–60%), малыми мощностями, меньшей когерентностью, направленностью (1–6°) и монохроматичностью луча (примерно 5 нм), чем у твердотельных и газовых лазеров. ППЛ испускают излучение в диапазоне длин волн 0,32–32 мкм. В качестве АС применяют полупроводниковые кристаллы. В них используются оптические переходы с участием свободных носителей тока в кристаллах, т.е. с участием состояний в электронных зонах (рис. 3.146). По способу накачки ППЛ делятся на инжекционные, с оптической накачкой, с накачкой пучком быстрых электронов, с накачкой пробоем в электрическом поле. Работают ППЛ преимущественно в импульсном режиме и при низких температурах, что вызвано необходимостью обеспечить теплоотвод, а также и тем, что при понижении температуры генерация возникает при меньших плотностях тока. В качестве АС наиболее широко применяют арсенид галлия с *p-n*-переходом, генерирующим излучение с $\lambda = 0,84$ мкм, и сплав арсенида и фосфида галлия. Возбуждение *p-n*-перехода осуществляют путем инжекции электронов. Разработаны ППЛ на гетероструктурах, которые могут работать при температурах 20°C и выше. По своим качествам, структуре и принципам работы ППЛ отличаются от других лазеров. Энергетические уровни, относящиеся к лазерному переходу, определяются всей кристаллической решеткой. Эти состояния не являются дискретными, а слиты в энергетические зоны, представляющие собой группы энергетических состояний, расположенные настолько тесно, что образуют как бы континуум. Для лазера представляют интерес две энергетические зоны: валентная и проводимости. Валентная зона является наиболее высоким состоянием, заполненным электронами. Зона проводимости лежит выше и отделена областью энергии, называемой запрещенной зоной, в которой нет никаких электронных состояний. При поглощении энергии электроны переходят из ва-

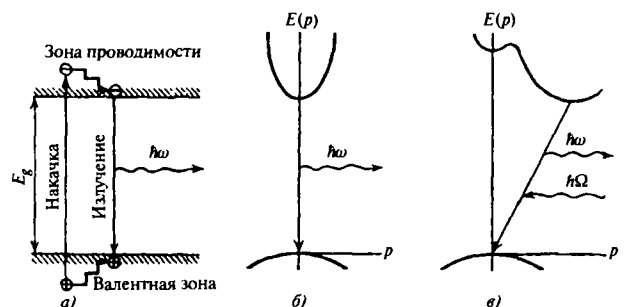


Рис. 3.146. Энергетические диаграммы междузонных оптических переходов в полупроводниках: *a* — накачка квантами с энергией, большей, чем E_g , и испускание кванта $\sim h\omega$, близкого по энергии к E_g . Разность энергий теряется при внутрizonной релаксации; *б* — прямой переход с энергией $h\omega$ между экстремумами зон в прямозонном полупроводнике; *в* — переход с энергией $h\omega$ в непрямозонном полупроводнике; в переходе участвует (на рисунке поглощается) фонон $\sim h\Omega$, обеспечивающий сохранение квазимимпульса [3.53]

лентной зоны в зону проводимости. В валентной зоне остаются дырки. Аналогично электрон может перейти из зоны проводимости и рекомбинировать с дыркой в валентной зоне. При рекомбинации разность энергии испускается в виде излучения. На рис. 3.147 показана схема ППЛ на $p-n$ -переходе. Электроны инжектируются со стороны n -типа и рекомбинируют в области перехода. В результате этого возникает ток. Такие лазеры называются инжекционными. При прохождении тока должно создаваться достаточное количество дырок и электронов, так чтобы излучение, генерируемое при их рекомбинации, превышало потери, которые связаны с дифракционным выходом света из активной области, пропускаемым светом на границе перехода и поглощением света свободными носителями в области перехода. Поэтому существует пороговое значение плотности тока, необходимое для работы лазера [3.71].

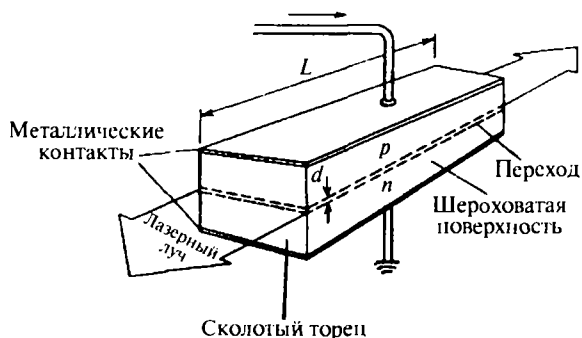


Рис. 3.147. Схема устройства полупроводникового лазера на $p-n$ -переходе

Полупроводниковые лазеры не обладают малой расходимостью пучка, так как их излучение испускается через апертуру, ограниченную малой шириной перехода. Дифракция на узкой полосе перехода приводит к выходу излучения в более широком угле, чем для лазеров других типов. Поэтому излучение, например, лазера на арсениде галлия (рис. 3.148) имеет вид луча эл-

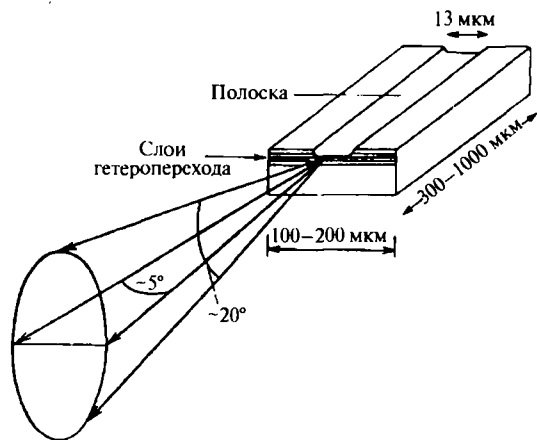


Рис. 3.148. Форма луча лазера на арсениде галлия с гетеропереходом и полосковой структурой

липтического сечения с углом рассеяния на уровне 0,5, равным нескольким градусам в направлении, параллельном переходу, и большими размерами в направлении, перпендикулярном переходу.

Жидкостные лазеры [3.72] в принципе сочетают в себе достоинства газовых и твердотельных лазеров. Они имеют большие объемные плотности активаторов. С их помощью легко создавать большие объемы активного вещества требуемой формы и достаточно однородные по составу и свойствам. Циркуляция жидкости позволяет решать проблему охлаждения, производить ее обновление. Недостатком является быстрое разрушение активной жидкости под действием излучения накачки. Наиболее распространены лазеры на спиртовых растворах органических соединений (красителей), состоящих из сложных молекул с молекулярным весом в несколько сотен единиц). Их основные достоинства — возможность получать генерацию практически на любых длинах волны — от 0,35 до 1,2 мкм. При помощи специальных селектирующих устройств (дифракционной решетки, интерференционно-поляризационного фильтра и т.п.) в ОР можно производить плавное изменение (нерестройку) генерируемой длины волны в пределах, немного меньших полосы люминесценции красителя (например, у красителя родамина 6Ж она занимает область 0,56–0,62 мкм). Путем использования кювет с разными растворами красителей можно изменять область длин волн генерации. Ширина полосы генерации одного красителя составляет в среднем 5–20 нм. При использовании дифракционной решетки или интерферометра Фабри–Перо ширина линии генерации может быть уменьшена на несколько порядков.

Оптическая накачка лазеров на красителях (ЛК) может осуществляться только источниками с малой длительностью вспышки, например, специальными импульсными лампами [3.38] с длительностью импульса порядка несколько мкс или импульсными лазерами, в частности, газовыми и твердотельными [3.62]. В последнем случае коэффициент преобразования излучения достигает 40–50%.

На рис. 3.149 показана схема непрерывного ЛК с накачкой аргоновым лазером. Луч лазера фокусируется в небольшое пятно, а раствор красителя протекает через резонатор ЛК. Скорость потока ~ 10 м/с, а луч фокусируется в пятно диаметром ~ 10 мкм. Следовательно, длительность накачки составляет 1 мкс. Раствор красителя под давлением вытекает в виде высокоскоростной струи.

Практическое значение ЛК приобрели при использовании в лазерном атомно-флуоресцентном и атомно-ионизационном анализе, спектроскопии когерентного антистоксова рассеяния света, в методе дифференциального поглощения и рассеяния и в дистанционном зондировании атмосферы. Все эти методы основаны на селективном взаимодействии перестраиваемого излучения с атомами и молекулами. Они также применяются в таких областях, как лазерная фотохимия, разделение изотопов, получение сверхчистых веществ.

Направления дальнейших работ по ЛК состоят в следующем: синтез новых эффективных красителей;

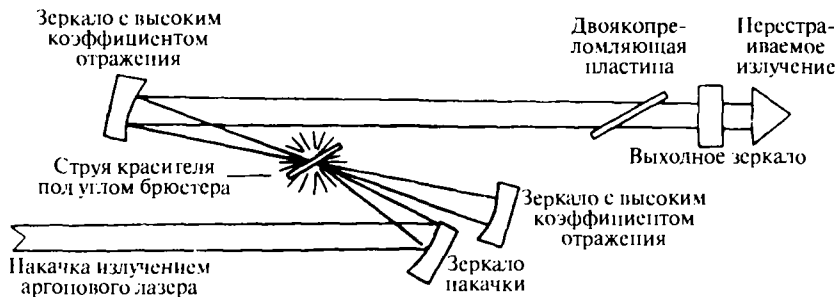


Рис. 3.149. Схема перестраиваемого лазера с оптической накачкой на красителе с использованием способа быстрой струи активного вещества

увеличение фотохимической стабильности ЛК; автоматизация ЛК с управлением от ЭВМ; создание мипи-ЛК с накачкой ППЛ; разработка ЛК со спектрально ограниченными импульсами фемтосекундной длительности ($\sim 10^{-15}$ с) [3.73].

В качестве активной среды жидкостных лазеров применяют также неорганические растворы сложного химического состава с ионами редкоземельных металлов (преимущественно с Nd^{3+}). Их достоинством является возможность создания активной среды больших размеров. Кроме того, $\Delta\lambda$ остается в пределах 0,1 нм даже при больших превышениях порога генерации (в неодимовом стекле при этом $\Delta\lambda$ устриается до 8–10 нм). Первые жидкостные лазеры такого типа были созданы на основе хелатов (сложных внутриккомплексных соединений). В них удалось совместить высокую плотность активных частиц и удобный теплоотвод. Но были определены и два препятствия на пути увеличения мощности генерации: большой коэффициент поглощения излучения растворами, ограничивающий глубину эффективной накачки, а значит, и сечение АЭ, и фотохимическая нестойкость, приводящая к быстрому распаду АС.

В неорганических лазерных жидкостях, активированных редкоземельными ионами, используются системы на основе POCl_3 и SeOCl_2 с Nd^{3+} и другими редкоземельными активаторами.

Первый лазер на свободных электронах (ЛСЭ) был реализован в 1976 г. С этого времени данному типу лазеров уделяется все возрастающее внимание. У ЛСЭ АС является электронный пучок высокой энергии. Реализация ЛСЭ требует также дополнительных полей: а) статических, периодически изменяющихся в пространстве магнитных полей (ондуляторов), которые модулируют траектории электронов и обуславливают таким образом излучение фотонов (магнитное тормозное излучение); большинство реализованных до сих пор ЛСЭ основаны на этом принципе действия; б) поля при распространении электронов в среде (эффект Черенкова); в) распространения в волноводе с решеткой (эффект Смита–Парселла).

Принцип действия ЛСЭ основан на магнитном тормозном излучении. Длина волны ЛСЭ может быть последовательно настроена путем вариации скорости электронов, периода ондулятора или его поля. В качестве источников электронов применяются линейные ускорители, накопительные кольца, микротроны (наиболее просто реализуемые). Преимущественные диапа-

зоны длин волн излучения: субмиллиметровый, ИК, УФ и рентгеновский. Самая короткая длина волны рентгеновского лазера около 4 нм [3.74].

Лазерное ускорение электронов. При воздействии жестко сфокусированных интенсивных ультракратких лазерных импульсов ускорение электронов, движущихся вдоль оси лазерного луча, определяется продольной электромагнитной и продольной составляющей электрического поля лазерной волны. Лазеры с предельными в настоящее время параметрами позволяют ускорять электроны до энергий порядка 1 ГэВ. Это сопоставимо с энергиями, получаемыми в настоящее время на самых «больших» ускорителях [3.75].

Лазеры, перестраиваемые по длинам волн излучения. В нелинейных оптических устройствах используются свойства нелинейных кристаллов. В нецентросимметричном кристалле может быть наведена большая диэлектрическая поляризация, пропорциональная квадрату напряженности электромагнитного поля. При возникновении нелинейной поляризации возможно генерирование гармоник или же суммарных и разностных частот. Для реализации излучения на новых частотах должно быть выполнено условие фазовой синхронизации: волновые векторы приложенных полей и генерируемого поля должны быть также взаимосвязаны, как и их частоты. Каждый нелинейный оптический процесс можно представить состоящим из двух этапов: сначала свет большой интенсивности вызывает нелинейный отклик среды, а затем реакция среды, в свою очередь, нелинейным образом изменяет оптические характеристики.

В табл. 3.57 представлены сведения о лазерах с перестраиваемой частотой генерации.

В последние два десятилетия разработано большое число разнообразных твердотельных АС, которые позволяют плавно перестраивать длину волны генерации в диапазонах, несколько меньших, чем их полосы люминесценции. При этом с помощью разных АС и нелинейных кристаллов удается получать лазерное излучение в видимой и ближней ИК-областях. Первыми среди них были лазеры на александрите, а затем и на других кристаллах. Диапазон длин волн перестраиваемого лазерного излучения на кристалле Ti-сапфир составляет 400 нм с пиком на 780 нм, на форстерите 1,167–1,35 мкм, на LiCaF:Cr^{3+} и на $\text{LiSrCaAlF}_6:\text{Cr}^{3+}$ 800–900 нм. Лазеры на ZnSe:Fe излучают в диапазоне 3,77–4,40, а на $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnS}$ — 2,07–2,40 мкм.

Лазеры на титан-сапфире нашли широкое применение в лидарных системах аэрокосмического базирова-

Лазеры с перестраиваемой частотой генерации

Тип лазера	Полный диапазон перестройки	Область перестройки для одного вещества	Пояснения
Лазеры на красителях	350–1200 нм	5–20 нм	Для перестройки в указанном диапазоне необходимо иметь набор разных красителей
Полупроводниковые лазеры	Видимый и ИК-спектр	0,1 мкм	Перестройка в ограниченных участках, использование криогенной техники
Комбинационные лазеры на переориентации спина	Видимый и ИК-спектр	~5 мкм	Необходимы новые лазерные вещества и большие магниты
Параметрические генераторы	2–20 мкм	Несколько микрометров	Необходим поиск новых нелинейных кристаллов и другие лазеры для накачки
Лазеры на нелинейных эффектах с использованием накачки с изменяющейся длиной волны	УФ-спектр	~20 нм	Необходимы перестраиваемые лазеры для накачки в УФ-области спектра

ния для мониторинга параметров атмосферы, в системах лазерной связи, в спектроскопии.

Созданы также разнообразные кристаллы с центрами окраски (ЦО), с помощью которых можно перестраивать длины волн лазерного излучения от 0,8 до 4 мкм. Лазеры на ЦО в непрерывном режиме излучают мощность в несколько ватт. Лазер на NaCl с ЦО $F^{2-}:O^{2-}$ генерирует в диапазоне 1,52–1,64 мкм, а с нелинейным кристаллом BaF_2 — в диапазоне 0,4–3,5 мкм. Лазер на $KCl:Li^+$ с F_A -центрами излучает в интервале 1,35–1,75 мкм, а с $F_A(Tl^+)$ -центрами — в интервале 1,4–1,6 мкм.

Еще одной АС перестраиваемых твердотельных лазеров являются пластмассовые стержни (в основном из полиметилметакрилата из-за лучшей прозрачности), в которые специальным образом внедрены красители.

Если имеется перестраиваемый лазер с излучением в одной области спектра и второй, перестраиваемый, лазер, то может быть получено излучение с суммарными или разностными частотами. При перестройке параметрического генератора изменение фазово-связанных длин волн осуществляется за счет изменения показателя преломления кристалла при изменении температуры, повороте кристалла или положении электрического поля. Параметрические генераторы работают как в непрерывном, так и в импульсном режимах.

Комбинационные лазеры на переориентации спина используют лазеры на фиксированных частотах (например, на CO или CO₂) для накачки полупроводникового кристалла InSb, помещенного в магнитное поле (100 кГс). Фотоны лазера накачки теряют энергию при соударениях с электронами в кристалле и вызывают изменение ориентации их спина в магнитном поле. Комбинационные фотоны отличаются по энергии от фотонов накачки на величину изменения энергии спина электрона, которая пропорциональна внешнему магнитному полю. В результате этого частота комбинационных фотонов зависит от напряженности магнитного поля.

За время, прошедшее со дня открытия лазеров до наших дней, они заняли исключительно важное место в производстве, науке и технике. Одно только перечис-

ление областей применения лазеров указывает на их важнейшее место в современной цивилизации. Это лазерные: анемометрия, голография, десорбция, деструкция полимеров, диагностика потоков жидкости, диагностика плазмы, закалка металлов, запись информации, звукозапись, локация (Лупы [3.76]), наплавка металлов, нейрохирургия, обработка материалов (стекла, металлов), получение плазмы в термоядерном реакторе, резка металлов, сварка, связь, спектроскопия (ультраскоростная), терапия, геология, деревообработка, мелиорация, целлюлозно-бумажное производство, технология, фотохимия, химия, хирургия, электроника, эрозия металлов, резка, разделение смесей и изотопов, зондирование атмосферы и океана, биологическое и химическое действие излучения, облучение растений и семян, разрушение горных пород, упрочнение металлов, лазерно-химические реакции, лазерные атомизаторы в атомно-абсорбционном анализе, воздушнопоршневые двигатели, геологические приборы, гироскопы летательных аппаратов и судов, дальнометры, движители взрывного типа для ускорения летательных аппаратов, звукопронизыватели, интерферометры, кишескопы, линии связи (телевизионные), лазерные методы измерений, приемники, радары в метеорологии, радиолокаторы, расходомеры, посадка самолетов, телеметрические и телевизионные установки, электрошо-лучевые трубки, атомно-флуоресцентный анализ, атомно-ионизационный анализ, масс-спектрометрический анализ, метод разделения изотопов (радиоактивных и стабильных), спектральный анализ, как стандарты частоты, как интерферометры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 3.1. *Иванов А.П.* Электрические источники света. М.-Л.: Госэнергоиздат. 1955.
- 3.2. *Рохлин Г.Н.* Газоразрядные источники света. М.-Л.: Энергия. 1966.
- 3.3. *Литвинов В.С., Рохлин Г.Н.* Тепловые источники оптического излучения. М.: Энергия. 1975.
- 3.4. *Криксунов Л.З.* Справочник по основам инфракрасной техники. М.: Советское радио. 1978.

- 3.5. *Справочная книга по светотехнике*. Под ред. В.С. Кулебакина. М.: Изд-во АН СССР. Т. 1. 1956.
- 3.6. *Денисов В.П.* Производство электрических источников света. М.: Энергия. 1975.
- 3.7. *Ульмишек Л.Г.* Производство электрических ламп накаливания. М.: Энергия. 1966.
- 3.8. *Литвинов В.С., Пляскин П.В.* Соотношение газоразрядных и тепловых источников света в промышленном освещении. ЭПСИ. 1976, № 1 (37). М.: Информэлэктро.
- 3.9. *Пляскин П.В.* О перспективах развития ламп накаливания общего назначения. Светотехника. 1972. № 10.
- 3.10. *Импульсные источники света*. Под ред. И.С. Маршак. М.: Энергия. 1976.
- 3.11. *Вавилов С.И.* О «теплом» и «холодном» свете. М.: Изд-во АН СССР. 1949.
- 3.12. *Фабрикант В.А.* Физика и техника люминесцентных ламп. Успехи физических наук. 1945. Т. 27. Вып. 2
- 3.13. *Бутаева Ф.А., Фабрикант В.А.* О резонансном излучении разряда в смеси ртути и аргона. Изв. АН СССР. Сер. физ. 1945. Т. IX. № 3.
- 3.14. *Федоров В.В.* Безртутные люминесцентные лампы. Светотехника. 1968. № 4.
- 3.15. *Федоров В.В.* Производство люминесцентных ламп. М.: Энергия. 1981.
- 3.16. *Марковский Л.Я., Пекерман Ф.М., Петошина Л.Н.* Люминофоры. М.: Химия. 1966.
- 3.17. *Международная система обозначений типов и модификаций источников света ILCOS.*
- 3.18. *Каталоги и информационные материалы фирм Philips Lighting, Osram, General Electric Lighting, Sylvania и др.*
- 3.19. *Альберсен В., Ланге Х.-Х.* Новое поколение тонких люминесцентных ламп (диаметром 16 мм) и проблемы их эффективного применения. 1997. № 1.
- 3.20. *Бутаева Ф.А., Дьяконова И.Н., Иоффе Р.С., Усвятцова Е.П., Федоров В.В.* К вопросу о лампах с узкополосными спектрами излучения. Светотехника. 1980. № 10.
- 3.21. *Горнов В.О.* Новые люминесцентные лампы — поколение 90-х годов. Новости светотехники. Выпуск № 1. М. Дом Света. 1998.
- 3.22. *Горнов В.О., Григоренко М.Л.* Новые типы люминесцентных ламп с увеличенным сроком службы. Новости светотехники. Выпуск № 6. М. Дом Света. 1998.
- 3.23. *Кулаков И.А., Рожкова Н.В.* Компактные люминесцентные лампы и светильники (обзор). Светотехника. 1984. № 3.
- 3.24. *Кулаков И.А., Рожкова Н.В.* Состояние и развитие компактных люминесцентных ламп (обзор). Светотехника. 1985. № 9.
- 3.25. *Горнов В.О., Григоренко М.Л.* Компактные люминесцентные лампы. Новости светотехники. Выпуск № 9—12. М.: Дом Света. 1998.
- 3.26. *Ртутные лампы высокого давления*. Перераб. и доп. пер. с англ. Под ред. Всеслышского И.М. и Рохлина Г.Н. М.: Энергия. 1971.
- 3.27. *Рохлин Г.Н.* Дуговым источникам света 200 лет. М.: Вигма. 2001.
- 3.28. *Уэймаус Д.* Газоразрядные лампы: пер. с англ. Под ред. Рохлина Г.Н. и Фугенфировой М.И. М.: Энергия. 1977.
- 3.29. *Ефимкина В.Ф., Софронов Н.Н.* Светильники с газоразрядными лампами высокого давления. М.: Энергоатомиздат. 1984.
- 3.30. *Источники света*. Каталог светотехнических изделий. Под общей редакцией Айзенберга Ю.Б. и Калязина Ю.Ф. М. Дом Света. 2003.
- 3.31. *Волкова Е.Б., Рохлин Г.Н.* Натриевые лампы высокого давления. Светотехника. 1971. № 2.
- 3.32. *Вассерман А.Л.* Ксеноновые трубчатые лампы и их применение. М.: Энергоатомиздат. 1989. (Б-ка светотехника. Вып. № 19).
- 3.33. *Горнов В.О.* Безэлектродные люминесцентные лампы. Новости светотехники. Выпуск № 3. М.: Дом Света. 1998.
- 3.34. *Шлифер Э.Д.* Безэлектродные сверхчастотные газоразрядные лампы. Новости светотехники. Выпуск. № 2 (14). М.: Дом Света. 1999.
- 3.35. *Андреев С.И., Ивасенко Н.Ф.* Основы расчета импульсных ксеноновых ламп. Томск: Изд. Томского ун-та. 1982.
- 3.36. *Александров А.Ф., Рухадзе А.А.* Физика сильноточных электроразрядных источников света. М.: Атомиздат. 1976.
- 3.37. *Борович Б.Л., Зуев В.С., Катулин В.А.* и др. Сильноточные излучающие разряды и газовые лазеры с оптической накачкой. Итоги науки и техники. Радиотехника. Т. 15. М.: 1978.
- 3.38. *Басов Ю.Г.* Источники накачки микросекундных лазеров. М.: Энергоатомиздат. 1990. С. 240.
- 3.39. *ОСТ 11 337.810-83.* Источники высокоинтенсивного оптического излучения газоразрядные. Система условных обозначений.
- 3.40. *ГОСТ 24286-80.* Импульсная фотометрия. Термины, определения и буквенные обозначения.
- 3.41. *Вассерман А.Л., Шандала М.Г., Юзбашев В.Г.* Ультрафиолетовое излучение в профилактике инфекционных заболеваний. М.: Медицина. 2003.
- 3.42. *ГОСТ 22466.2-77.* Источники высокоинтенсивного оптического излучения газоразрядные импульсные. Метод измерения напряжения зажигания.
- 3.43. *ГОСТ 22466.3-77.* Источники высокоинтенсивного оптического излучения газоразрядные импульсные. Метод измерения напряжения самопробоя.
- 3.44. *Коган Л.М.* Полупроводниковые светоизлучающие диоды. М.: Энергоатомиздат. 1983.
- 3.45. *Берг А., Дин П.* Светодиоды. Пер. с англ. Под ред. А.Э. Юновича. М.: Мир. 1979.
- 3.46. *Юнович А.Э.* Светодиоды на основе гетероструктур из пиритиды галлия и его твердых растворов. Светотехника. 1996. № 5—6.
- 3.47. *Бегеман Т.* Светоизлучающие диоды — тенденции развития и влияние на освещение. Светотехника. 2001. № 5.
- 3.48. *Юнович А.Э.* Светодиоды как основа освещения будущего. Светотехника. 2003. № 3.
- 3.49. *Коган Л.М.* Светодиоды нового поколения для светосигнальных и осветительных приборов. Новости светотехники. Вып. № 7—8 (34—35). М.: Дом Света. 2001.
- 3.50. *Агафонов Д.Р., Аникин П.П., Никифоров С.Г.* Вопросы конструирования и производства светоизлучающих диодов и систем на их основе. Светотехника. 2002. № 6.
- 3.51. *Коган Л.М., Шмерлинг И.Ф.* Полупроводниковые светодиодные излучатели для светосигнальных приборов навигационных знаков водных путей. Светотехника. 1998. № 2.

3.52. *Казанкин О.Н.* и др. Прикладная электролюминесценция. Под ред. М.В. Фока. М.: Советское радио. 1974.

3.53. *Справочник по лазерам.* Том I и II. Под ред. А.М. Прохорова. М.: Сов. Радио. 1978.

3.54. *Фабрикант В.А.* Механизм излучения газового разряда. Труды Всесоюзного электротехнического института. Вып. 41. Электронные и ионные приборы. Под ред. П.В. Тимофеева. М.: Госэнергоиздат. 1940.

3.55. *Прохоров А.М.* О молекулярном усилителе и генераторе на субмиллиметровых волнах. ЖЭТФ. 1958. Т. 34. Вып. № 6. 1658.

3.56. *Рохлин Г.Н.* На рубеже веков. Светотехника. 2000. № 4.

3.57. *Реди Дж.* Промышленное применение лазеров. Пер. с англ. М.: Мир. 1981.

3.58. *Басов Ю.Г., Прокудин В.С.* Источники накачки на основе пинч-разрядов (Обзор). Изв. СО АН СССР. Сер. Техн. наук. 1988. № 11. Вып. № 3.

3.59. *Басов Ю.Г.* Нетрадиционные способы накачки лазеров (Обзор). ПТЭ. 1988. № 6.

3.60. *Рохлин Г.Н.* Источники оптического излучения. В «Справочной книге по светотехнике» под ред. Ю.Б. Айзенберга. М.: Энергоатомиздат. 1983.

3.61. *Басов И.Г.* О квантовой электронике. М.: Наука. 1987.

3.62. *Справочник по лазерной технике.* Пер. с нем. М.: Энергоатомиздат. 1991.

3.63. *Карлов И.В.* Лекции по квантовой электронике. М.: Наука. 1983.

- 3.64. *Месяц Г.А., Осипов В.Ф., Тарасенко В.Ф.* Импульсные газовые лазеры. М.: Наука. 1991.
- 3.65. *Иванов И.Г., Латуш Е.Л., Сэм М.Ф.* и др. Ионные лазеры на парах металлов. М.: Энергоатомиздат. 1990.
- 3.66. *Донин В.И.* Мощные ионные газовые лазеры. Новосибирск.: Наука. Сиб. отд. 1991.
- 3.67. *Гордиец Б.Ф., Осипов А.И., Шелепин Л.А.* Кинетические процессы в газах и молекулярные лазеры. М.: Наука 1980.
- 3.68. *Тригг Дж.* Физика XX века: ключевые эксперименты. Пер. с англ. М.: Мир. 1978.
- 3.69. *Басов Ю.Г., Печенегов С.М.* Источники оптической накачки на основе ВЧ безэлектродного разряда (Обзор). Радиотехника и электроника. 1989. Т. 34. № 9.
- 3.70. *Басов Ю.Г.* Эффективность накачки твердотельных лазеров лампами непрерывного горения (Обзор). Радиотехника и электроника. 1993. Т. 38. № 9.
- 3.71. *Полупроводниковые инжекционные лазеры.* Динамика, модуляция, спектры. Дж. ван дер Зил, К. Лау, А. Ярив и др. Пер. с англ. М.: Радио и связь. 1990.
- 3.72. *Аникиев Ю.Г., Жаботинский М.Е., Кравченко В.Б.* Лазеры на неорганических жидкостях. М.: Наука. 1986.
- 3.73. *Херман Й., Вильгельми Б.* Лазеры сверхкоротких световых импульсов. М.: Мир. 1986.
- 3.74. *Нильсен Дж.* О первых рентгеновских лазерах. Квантовая электроника. 2003. Т. 33. № 1.
- 3.75. *Бахари А., Таранухин В.Д.* Лазерное ускорение электронов в вакууме до энергий 10^9 эВ. Квантовая электроника. 2004. Т. 34. № 2.
- 3.76. *Кокурин Ю.Л.* Лазерная локация Луны. 40 лет исследований. Квантовая электроника. 2003. Т. 33. № 1.

ПУСКОРЕГУЛИРУЮЩАЯ АППАРАТУРА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ

4.1. ПУСКОРЕГУЛИРУЮЩАЯ АППАРАТУРА

4.1.1. Определение. Классификация

Современные источники света (ИС) представляют собой сложные электротехнические приборы с нелинейным импедансом, являющимися функцией тока, напряжения, времени и температуры. Поэтому для обеспечения заданных электрических режимов ИС при включении их в сеть требуется согласующее устройство, получившее название *пускорегулирующий аппарат*.

Пускорегулирующий аппарат (ПРА) — это светотехническое изделие, с помощью которого осуществляется питание источника света от электрической сети, обеспечивающее необходимые пусковые и рабочие режимы ИС, конструктивно оформленное в виде единого аппарата, либо нескольких отдельных блоков.

ПРА классифицируются по следующим основным признакам:

- **типу ИС, для которого они предназначены** — для разрядных ламп (РЛ), для ламп накаливания (ЛН), для твердотельных ИС: электролюминесцентных панелей (ЭЛП) и светоизлучающих диодов (СД).

- **типу токоограничивающего элемента** — электромагнитные (ЭмПРА), выполненные на базе дросселей, трансформаторов, конденсаторов и резисторов, и электронные (ЭПРА), выполненные на базе полупроводниковых источников вторичного электропитания.

- **величине потерь мощности в ПРА** (только для ЭмПРА к ЛЛ). Для того чтобы облегчить выбор ЭмПРА с точки зрения энергоэкономичности, Комитет Европейской ассоциации производителей осветительных приборов и ПРА (CECMA) директивой ЕС № 2000/55/EG начиная с 2000 года ввел классификацию ПРА по индексу энергоэффективности (см. табл. 1).

С целью стимулирования роста производства энергоэкономичных ПРА той же директивой запрещено применение: с 21 мая 2002 г. — ПРА класса D, с 21 ноября 2005 г. — ПРА класса C.

- **количеству ИС, с которыми они могут работать** — индивидуальнольные и групповые.

- **виду входной электроэнергии** — на работающие от источника (сети) переменного напряжения (одно- или многофазного) и от источника (сети) постоянного напряжения.

- **возможности регулирования светового потока ИС** — регулируемые и нерегулируемые.

- **конструкции** — независимые, встраиваемые в световой прибор и интегрированные с ИС.

- **уровню шума** — с нормальным, пониженным, низким и особо низким уровнем шума (соответственно, группы H, II, A, и C).

4.1.2. Пускорегулирующие аппараты для разрядных ламп

4.1.2.1. Способы введения энергии в разряд

Для создания электрического поля, возбуждающего разряд в РЛ, применяются 2 способа: 1. Для РЛ с электродами — подачей напряжения на электроды, причем для РЛ с электродами, расположенными внутри горелки, это напряжение может быть как постоянным, так и переменным, а для РЛ с электродами, расположенными на внешней поверхности горелки, это напряжение должно быть только переменным вследствие того, что связь между электродами и разрядом — емкостная. 2. Для безэлектродных РЛ — воздействием на разрядный объем высокочастотным (ВЧ) или сверхвысокочастотным (СВЧ) электромагнитным полем.

4.1.2.2. Электрические характеристики разрядных ламп

Наиболее полное представление о РЛ как элементе электрической цепи дают ее вольт-амперные характеристики (ВАХ) — статическая и динамическая.





Статическая ВАХ связывает между собой действующие значения напряжения U и тока лампы I при установившейся для каждого значения тока температуре колбы РЛ (рис. 4.1).

В пусковом режиме рабочая точка РЛ проходит последовательно участок АБВ. Этот участок характеризуется малыми токами (до нескольких десятков мА) и высокими напряжениями. В точке пробоя межэлектродного промежутка (т.Б) напряжение может быть от сотен В до десятков кВ. В установившемся режиме горения рабочая точка РЛ находится либо на падающем (ВГ) участке ВАХ (это характерно, например, для ЛЛ), либо на горизонтальном (ГД) участке (например, у ламп МГЛ), либо на слабо возрастающем (ДЕ) участке (например, у ксенонных ламп ДКСТ).

Динамическая ВАХ связывает между собой мгновенные значения напряжения $u(t)$ и $i(t)$ (рис. 4.2), в связи с чем форма динамической ВАХ зависит от частоты питания. На промышленной частоте она нелинейная (рис. 4.2,а), а с повышением частоты становится почти линейной, так что уже при частотах свыше 1000 Гц лампа ведет себя как резистор (рис. 4.2,б).

Таблица 1

Классификация ПРА для люминесцентных ламп по энергоэффективности
(EEI – Energy Efficiency Index)

Тип лампы	Международный код типа лампы (ILCOS)	Мощность, потребляемая одной лампой, Вт		Мощность, потребляемая комплектом ЛЛ+ПРА, Вт							
		Классы EEI									
		при включении с обычным ПРА	при включении с электронным ПРА	A1*	A2	A3	B1	B2	C	D	
Линейные ЛЛ  T	FD-15-E-G13-26/450	15	13,5	—	≤16	≤18	≤21	≤23	≤25	>25	
	FD-18-E-G13-26/600	18	16	—	≤19	≤21	≤24	≤26	≤28	>28	
	FD-30-E-G13-26/895	30	24	—	≤31	≤33	≤36	≤38	≤40	>40	
	FD-36-E-G13-26/1200	36	32	—	≤36	≤38	≤41	≤43	≤45	>45	
	FD-38-E-G13-26/1047	38	32	—	≤38	≤40	≤43	≤45	≤47	>47	
	FD-58-E-G13-26/1500	58	50	—	≤55	≤59	≤64	≤67	≤70	>70	
	FD-70-E-G13-26/1800	70	60	—	≤68	≤72	≤77	≤80	≤83	>83	
Компактные 2-канальные ЛЛ  TC-L	FSD-18-E-2G11	18	16	—	≤19	≤21	≤24	≤26	≤28	>28	
	FSD-24-E-2G11	24	22	—	≤25	≤27	≤30	≤32	≤34	>34	
	FSD-36-E-2G11	36	32	—	≤36	≤38	≤41	≤43	≤45	>45	
	FSDH-40-L/P-2G11	—	40	—	≤44	≤46	—	—	—	—	
	FSDH-55-L/P-2G11	—	55	—	≤59	≤63	—	—	—	—	
Компактные 4-канальные ЛЛ  TC-D TC-DE	FSQ-10-E-G24q-1 FSQ-10-I-G24d=1	10	9,5	—	≤11	≤13	≤14	≤16	≤18	>18	
	FSQ-13-E-G24q-1 FSQ-13-I-G24d=1	10	12,5	—	≤14	≤16	≤17	≤19	≤21	>21	
	FSQ-18-E-G24q=2 FSQ-18-I-G24d=2	10	16,5	—	≤19	≤21	≤24	≤26	≤28	>28	
	FSQ-26-E-G24q=3 FSQ-26-I-G24d=3	10	24	—	≤27	≤29	≤32	≤34	≤36	>36	
	FSM-18-1-GX24d=2 FSM-18-E-GX24q-2	18	16	—	≤19	≤21	≤24	≤26	≤28	>28	
Компактные 6-канальные ЛЛ  TC-T TC-TE	FSM-26-1-GX24d=3 FSM-26-E-GX24q=3	26	24	—	≤27	≤29	≤32	≤34	≤36	>36	
	FSMII-32-L/P-GX24q=4	—	32	—	≤36	≤39	—	—	—	—	
	FSMII-42-L/P-GX24q=4	—	42	—	≤46	≤49	—	—	—	—	

* Количественные показатели для ПРА с регулированием светового потока (класс EEI-A1) находятся в стадии согласования C.F.L.M.A.

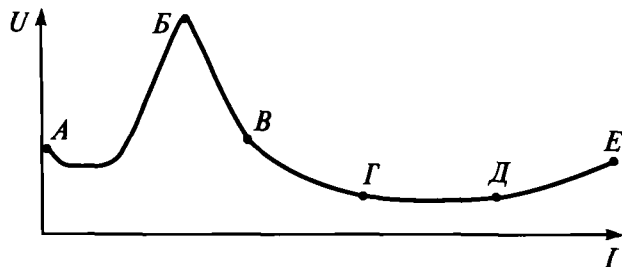


Рис. 4.1. Статическая ВАХ РЛ

Таким образом, РЛ в электрической цепи представляет собой нелинейное сопротивление на частотах до 1 кГц (статическая и динамическая ВАХ нелинейны) и условно нелинейное сопротивление на частотах свыше 1 кГц (статическая ВАХ нелинейна, динамическая — линейна).

4.1.2.3. Основные функции пускорегулирующих аппаратов

Из анализа ВАХ вытекают следующие основные функции ПРА:

- **зажигание РЛ** — пробой межэлектродного промежутка и формирование в нем требуемого вида разряда;
- **разгорание РЛ** — процесс установления рабочих характеристик лампы после зажигания. Продолжительность разгорания определяется типом лампы, величиной тока через нее и окружающей температурой;
- **обеспечение устойчивости работы РЛ в рабочем режиме.** Для выполнения этой функции в состав ПРА обязательно входит токоограничивающий (балластный) элемент (исключение составляют ПРА с динамической стабилизацией тока лампы — см. раздел 4.2.8). Обеспечить устойчивый режим работы от источника напряжения без токоограничивающего элемента принципиально невозможно для РЛ с падающей и горизонтальной характеристиками. Для РЛ со слабо возрастающей ВАХ устойчивая работа от сети без токоограничивающего элемента теоретически возможна, но на практике не используется из-за низкой стабильности тока лампы.

4.1.2.4. Система параметров пускорегулирующих аппаратов

Являясь одним из элементов светильника и ОУ, ПРА должны не только обеспечивать оптимальные электрические и световые характеристики ламп, но и удовлетворять ряду других требований, вытекающих из условий их эксплуатации. В связи с этим основные параметры ПРА подразделяются на 3 группы: пусковые, рабочие и эксплуатационные. Первые две группы обусловлены спецификой ламповой нагрузки, а в 3-ю группу входят параметры, определяемые потребителем и условиями эксплуатации.

Пусковые параметры:

- напряжение на лампе, ток через электроды и длительность его протекания в режиме предварительного подогрева электродов (только для ламп, требую-

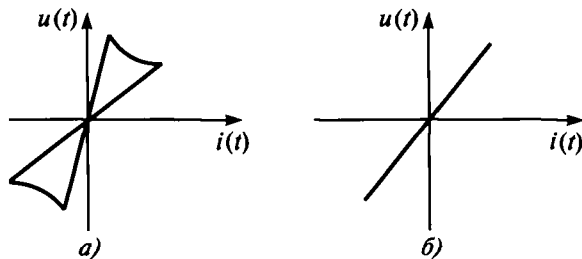


Рис. 4.2. Динамические ВАХ РЛ: а — на частоте 50 Гц; б — на частотах свыше 1 кГц

щих разогрева электродов перед подачей поджигающего напряжения);

- частота, действующее и амплитудное значения поджигающего напряжения;
- форма, частота повторения, длительность, амплитуда и энергия зажигающих импульсов напряжения (для ПРА со встроенным или независимым импульсным зажигающим устройством);
- пусковой ток, обеспечивающий разгорание РЛ (для РЛ высокого давления).

Параметры рабочего режима:

- ток и мощность лампы;
- частота и коэффициент амплитуды K_a тока РЛ, равный отношению амплитудного значения тока к действующему. Коэффициент K_a характеризует форму тока и не должен превышать 1,7, что регламентируется отрицательным влиянием искажения формы тока лампы на срок ее службы;
- стабильность тока лампы;
- фаза и величина тока подогрева электродов РЛ в рабочем режиме.

Эксплуатационные параметры:

- род тока и частота напряжения питания;
- электромагнитная совместимость с питающей сетью (гармонический состав входного тока, коэффициент мощности, уровень радиопомех);
- уровень акустического шума;
- конструктивное исполнение (встраиваемые в светильник, независимые, интегрированные с лампой);
- масса, габариты, установочные размеры, стоимость;
- частота и уровень пульсаций светового потока РЛ;
- потери мощности;
- нагрев в рабочем и аварийном режимах;
- электробезопасность;
- показатели надежности;

Конкретные значения перечисленных выше параметров заданы в стандартах на ПРА и ИС.

Структурная схема ПРА. В соответствии с перечисленными выше функциями и параметрами структурная схема ПРА имеет вид, представленный на рис. 4.3.

Схема содержит: *блок электромагнитной совместимости* (обеспечивает подавление радиопомех, коррекцию коэффициента мощности и снижение высших гармоник в токе, потребляемом аппаратом из сети), *блок*

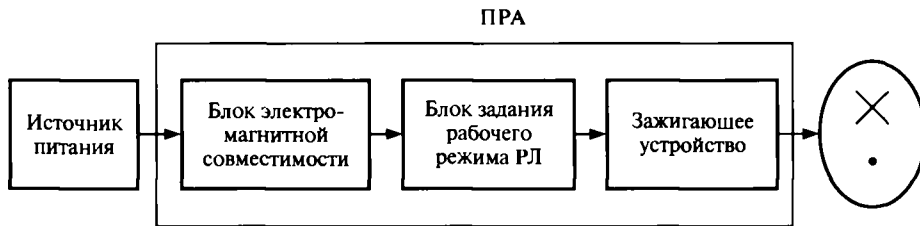


Рис. 4.3. Структурная схема ПРА для РЛ

задания рабочего тока РЛ и зажигающее устройство (обеспечивает совместно с блоком задания рабочего режима зажигание РЛ).

4.1.2.5. Электромагнитные пускорегулирующие аппараты

Базовые элементы электромагнитных пускорегулирующих аппаратов

К электромагнитным ПРА относятся аппараты с реактивными (дроссели, конденсаторы, трансформаторы с большим внутренним сопротивлением) и активными (резисторы) токоограничивающими элементами и их комбинациями. Осциллограммы напряжения, тока и светового потока РЛ, включенной в промышленную

сеть переменного тока с резистором, конденсатором и дросселем приведены на рис. 4.4 [33, 28].

Работа РЛ на переменном токе с резистором в качестве токоограничивающего элемента (рис. 4.4,а). В начале каждого полупериода ток почти равен нулю до тех пор, пока напряжение на лампе не достигнет напряжения перезажигания люгового разряда. Далее мгновенные значения напряжения на лампе и тока изменяются в соответствии с динамической ВАХ лампы. В конце полупериода при снижении напряжения питания до определенного значения разряд гаснет. В следующий полупериод картина повторяется в обратном направлении. Большие паузы тока вызывают сильную пульсацию излучения и увеличивают напряжение перезажигания разряда, что неблагоприятно сказывается на сроке

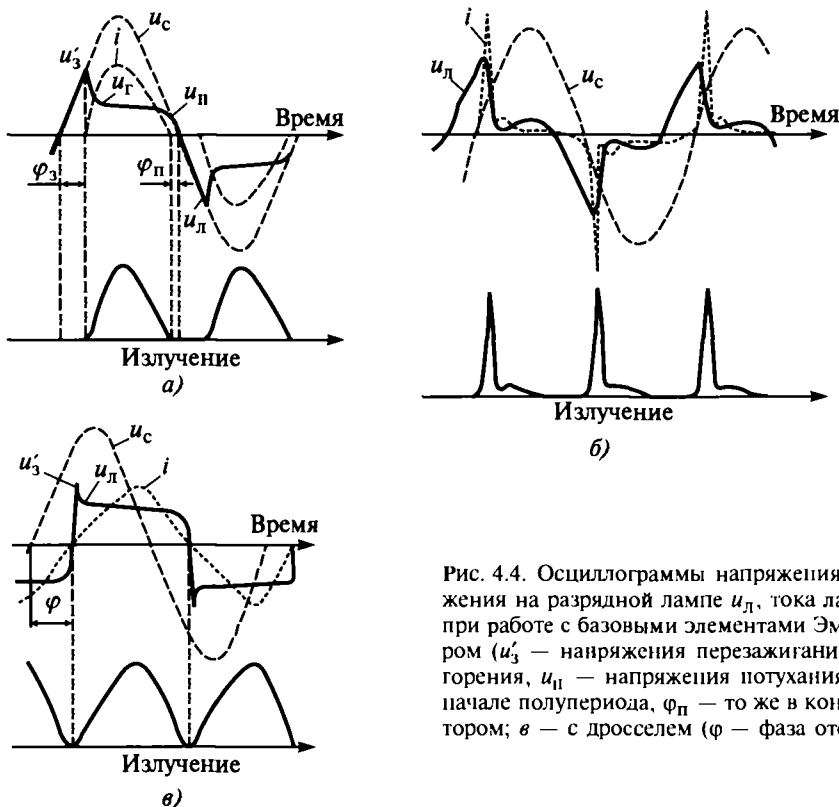


Рис. 4.4. Осциллограммы напряжения питания u_c , напряжения на разрядной лампе $u_л$, тока лампы i и излучения при работе с базовыми элементами ЭМПРА: а — с резистором ($u'_з$ — напряжения перезажигания, $u_Г$ — напряжение горения, $u_П$ — напряжения потухания, $\phi_з$ — пауза тока в начале полупериода, $\phi_П$ — то же в конце); б — с конденсатором; в — с дросселем (ϕ — фаза отставания $u_л$ от u_c)

службы РЛ. Кроме того, стабилизация разряда при помощи резистора на переменном токе, так же как и на постоянном, связана с большими потерями энергии в резисторе. В силу указанных недостатков единственными практически используемыми вариантами применения резистора в качестве токоограничивающего элемента являются ртутно-накальные лампы и лампы тлеющего разряда.

Работа РЛ с конденсатором в качестве токоограничивающего элемента (рис. 4.4, б). Конденсатор практически не ограничивает максимальное значение тока; его стабилизирующее действие проявляется в ограничении количества зарядов, проходящих через пень в каждый полупериод. Вследствие этого каждые полупериода возникают большие кратковременные броски тока и следующие за ними большие паузы тока и излучения. Такой режим работы ламп неприемлем для освещения и пагубно сказывается на сроке службы электродов. Поэтому стабилизация разряда с помощью только конденсатора при работе ламп в промышленной сети переменного тока не применяется (кроме ламп ДКСТ).

Работа РЛ с дросселем или трансформатором с большим внутренним сопротивлением в качестве токоограничивающего элемента (рис. 4.4, в). В отличие от резистора, дроссель обладает свойством запасать энергию во время прохождения через него тока. Появляющийся благодаря этому сдвиг фаз между напряжением сети и током приводит к уменьшению или полному уничтожению пауз тока, поскольку к моменту прохождения тока через пень напряжение сети уже имеет некоторую величину обратного знака и, таким образом, разряд зажигается вновь, едва успеет погаснуть. Уменьшение пауз тока приводит к уменьшению пауз излучения и снижению пиков напряжения перезажигания, что обеспечивает более благоприятные условия работы электродов. Кроме того, поскольку активное сопротивление дросселя много меньше его индуктивного сопротивления, потери мощности в дросселе оказываются значительно меньшими, чем в резисторном балласте, составляя от 5 до 50% мощности лампы (чем больше мощность лампы, тем меньше относительные потери в дросселе). Указанные достоинства обусловили массовое применение дросселей для стабилизации разряда РЛ при работе на переменном токе. В случаях, когда напряжение горения РЛ выше напряжения сети (напр., трубки высокого напряжения), применяют трансформаторы с большим магнитным сопротивлением. По своим электрическим характеристикам трансформатор или автотрансформатор с большим магнитным сопротивлением эквивалентен сочетанию обычного трансформатора с дросселем, но выгодно отличается от последних меньшей массой, размерами и потерями.

Все многообразие схем электромагнитных ПРА целесообразно разделить на 2 большие группы, отличающиеся способом зажигания ламп [69, 35]. Первая группа аппаратов обеспечивает прогрев электродов лампы перед подачей на них поджигающего напряжения, вторая — нет. Первая группа предназначена для ЛЛ, требующих предварительного подогрева электродов перед зажиганием. Вторая группа предназначена для ламп

мигновенного зажигания, не требующих подогрева электродов перед зажиганием.

Схемы электромагнитных пускорегулирующих аппаратов для люминесцентных ламп с предварительным подогревом электродов

Наиболее распространенной из этой группы является **стартерная схема** (рис. 4.5), содержащая индуктивный (дроссель Др.1) или емкостно-индуктивный (конденсатор С2 и дроссель Др.2) балласт и стартер тлеющего разряда Ст. При подаче напряжения сети зажигается разряд в инертном газе, наполняющем баллон стартера Ст. Разряд нагревает биметаллические контакты стартера, и они замыкаются, обеспечивая подогрев электродов ЛЛ током, ограниченным балластом. После остывания контактов стартера они размыкаются, и за счет энергии, запасенной в дросселе, возникает импульс напряжения, обеспечивающий пробой межэлектродного промежутка лампы и ее зажигание. Конденсатор С1 (емкость 10000—12000 пФ), расположенный в стартере, уменьшает амплитуду, но увеличивает длительность импульса напряжения и время подогрева электродов ЛЛ, т.е. способствует более надежному зажиганию последней. К тому же С1 подавляет радиопомехи. При горении лампы стартер автоматически отключается, так как его напряжение зажигания больше максимального значения напряжения на лампе. В схеме может использоваться как индуктивный, так и емкостно-индуктивный балласт, а вместо стартера тлеющего разряда может использоваться электронный стартер.

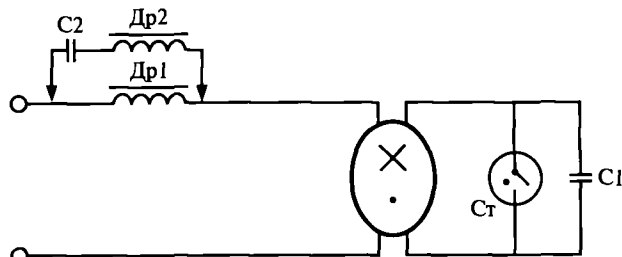


Рис. 4.5. Схема включения люминесцентной лампы со стартером тлеющего разряда

Типичная схема **электронного стартера** представлена на рис. 4.6.

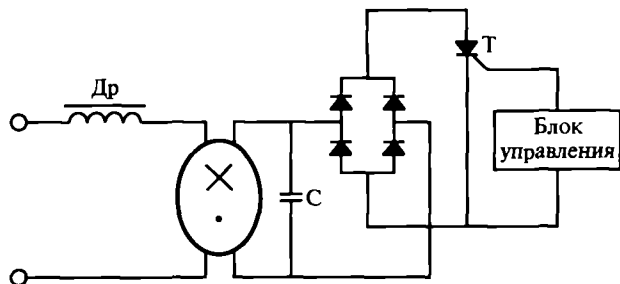


Рис. 4.6. Схема включения люминесцентной лампы с электронным стартером

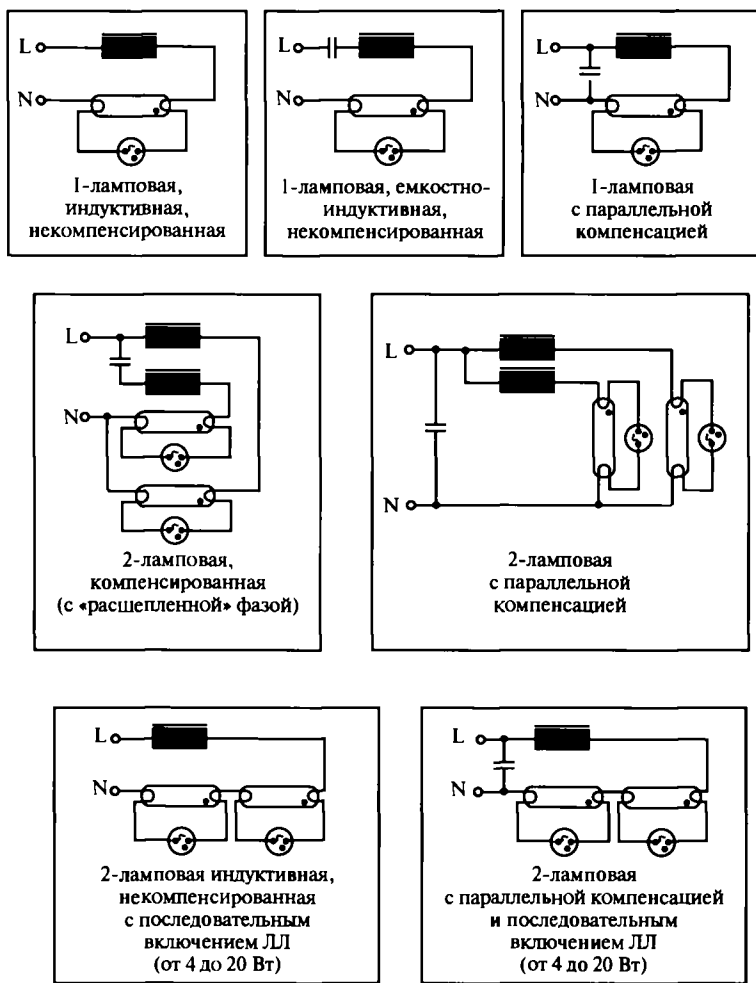


Рис. 4.7. Варианты стартерных ПРА

При подаче напряжения сети тиристор Т открыт, обеспечивая подогрев электродов ЛЛ током, ограниченным балластом. По истечении времени, достаточного для прогрева электродов (время задается блоком управления), тиристор запирается, и за счет резонансных явлений в контуре LC возникает импульс напряжения, зажигающий лампу. При горении лампы стартер автоматически отключается. В случае незажигания лампы блок управления обеспечивает несколько повторных попыток зажигания, и если они не приведут к положительному результату, отключает стартер. Достоинства электронного стартера: а) надежность зажигания благодаря фиксированному времени прогрева электродов и формированию зажигающего импульса в момент, когда мгновенное значение сетевого напряжения близко к максимальному; б) повышение срока службы лампы; в) отключение в аварийной ситуации. Конструктивно электронный стартер может быть размещен в стандартном корпусе стартера тлеющего разряда.

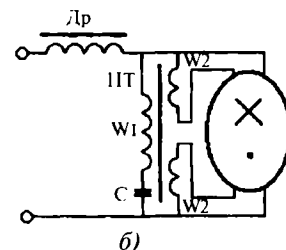
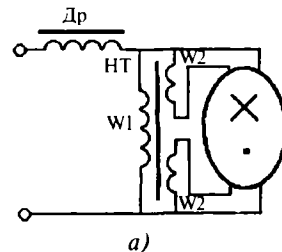


Рис. 4.8. Простейшие бесстартерные схемы включения ЛЛ

Варианты стартерных схем ЭМПРА представлены на рис. 4.7.

Благодаря простоте, надежности, дешевизне и созданию при этом благоприятных условий работы ЛЛ, стартерные схемы вот уже более 50 лет являются основными схемами включения ЛЛ в сеть переменного тока. И только в последнее десятилетие серьезную конкуренцию им начали составлять ЭПРА.

Бесстартерные схемы менее распространены, чем стартерные (поскольку стартерные схемы проще и имеют меньшие потери мощности), и находят применение в случаях, когда требуется подогрев электродов ЛЛ в рабочем режиме (например, в схемах с регулированием светового потока). Простейшие бесстартерные схемы приведены на рис. 4.8.

В схеме на рис. 4.8,а напряжение зажигания лампы должно быть меньше напряжения сети, а $m = U_{д} / U \leq 0,7$. Поэтому эта схема пригодна в основном для ЛЛ с проводящей полосой или проводящим покрытием на колбе. В схеме на рис. 4.8,б резонансная цепочка: дроссель Др, первичная обмотка W1 накального трансформатора НТ и конденсатор С — обеспечивает $U_{хх}$ на ЛЛ, в 1,3–1,5 раза превосходящее напряжение сети.

Схемы электромагнитных пускорегулирующих аппаратов для разрядных ламп мгновенного зажигания

К лампам мгновенного зажигания относятся все РЛ, не требующие подогрева электродов перед зажиганием. Это ЛЛ со специальными электродами и все высокоинтенсивные лампы — ДРЛ, МГЛ, НЛВД и др. По набору элементов в ПРА, а также по соотношению

основных параметров РЛ и напряжения питающей сети схемные решения ПРА данной группы можно разделить на несколько разновидностей.

Простейшие схемы наиболее экономичны, так как состоят только из балластного элемента, обеспечивающего устойчивость пускового и рабочего режимов РЛ. Простейшие схемы пригодны лишь для таких РЛ, у которых напряжение зажигания U_3 меньше напряжения питающей сети U , а рабочее напряжение $U_{дл}$ на лампе таково, что $m = U_{дл} / U \leq 0,7$. При таком соотношении параметров в простейших схемах обеспечивается надежное зажигание всех РЛ и требуемая стабильность их характеристик при колебаниях напряжения сети. В качестве балласта в большинстве случаев используется дроссель. Типичным представителем указанных схем является схема включения ламп типа ДРЛ (рис. 4.9).

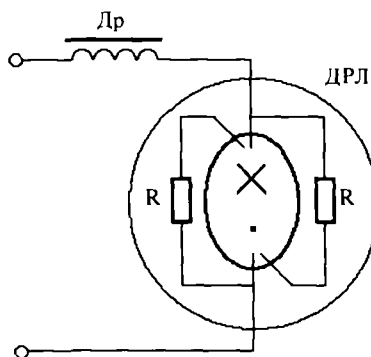


Рис. 4.9. Схема включения ламп типа ДРЛ (простейшая схема)

Каждый поджигающий электрод ртутно-кварцевой горелки через резистор $R = 10 \div 12$ кОм, расположенный внутри наружного баллона, подключается к противоположному основному электроду. Резистор R ограничивает ток вспомогательного разряда и уменьшает ток утечки через зажигающие электроды лампы при горении последней.

Все приведенные ниже схемы предназначены для РЛ мгновенного зажигания, у которых $U_3 > U$.

Резонансные схемы (рис. 4.10) содержат индуктивные L и емкостные C элементы, образующие в режиме холостого хода ПРА последовательный резонансный контур. При подключении РЛ параллельно одному из этих элементов обеспечивается надежное зажигание ламп с $U_3 > U$ [обычно $U_3 = (2 \div 2,5)U$]. Последовательный элемент служит балластом. Из-за отрицательного влияния емкости на форму кривой тока лампы резонансные схемы не нашли широкого применения на промышленной частоте. На повышенных же частотах они являются основными схемами включения РЛ, в том числе и с подогревными электродами.

Схемы с трансформаторами или автотрансформаторами с большими внутренними сопротивлениями (рис. 4.11) используются для РЛ, у которых $m > 0,7$. Для обеспечения зажигания и стабильной работы РЛ трансформатор повышает напряжение сети до необходимого значения, а его внутреннее сопротивление индуктивного характера, появляющееся из-за неполной магнитной связи между обмотками при горении РЛ, создает устойчивый режим работы последней. Возможны 2 варианта схем

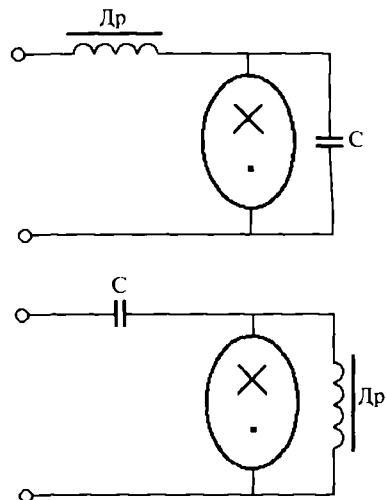


Рис. 4.10. Резонансные схемы включения РЛ мгновенного зажигания

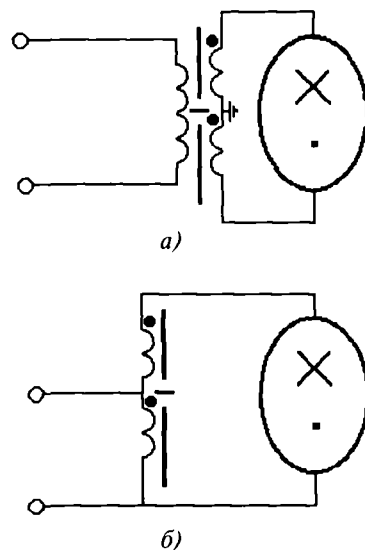


Рис. 4.11. Схемы включения РЛ: а — с трансформатором; б — с автотрансформатором с большими внутренними сопротивлениями

данного вида: трансформаторная (рис. 4.11, а) и автотрансформаторная (рис. 4.11, б). Последняя позволяет уменьшить расход стали и меди на изготовление ПРА, а схема на рис. 4.11, а позволяет заземлять средний вывод вторичной обмотки для удовлетворения требований техники безопасности. Эта схема используется для включения рекламных газосветных трубок, а схема на рис. 4.11, б — для включения НЛНД.

Схемы с импульсным зажигающим устройством (ИЗУ) нашли широкое применение для МГЛ и НЛВД, напряжение зажигания которых составляет несколько кВ (от 1 до 5 кВ). ИЗУ представляют собой генераторы

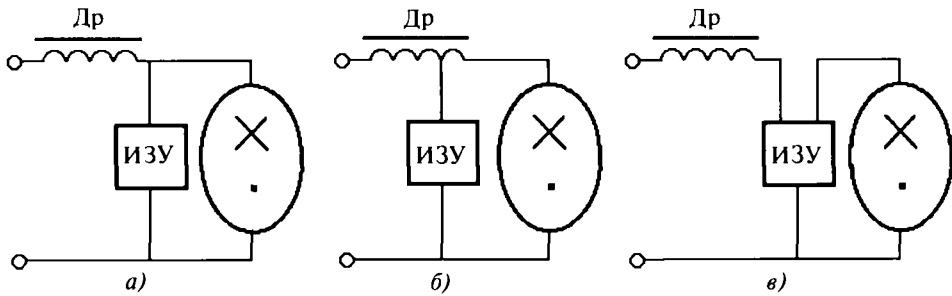


Рис. 4.12. Варианты электрических схем ПРА с ИЗУ

высоковольтных импульсов, создающие проводящий канал в газовом межэлектродном промежутке [4.6]. В этом канале затем формируется плазма сильного тока разряда, питаемого через ПРА от сети. Варианты электрических схем совместного включения ПРА и ИЗУ приведены на рис. 4.12.

На рис. 4.12, а представлена так называемая *схема «параллельного поджига»*. ИЗУ имеет 2 вывода и подключается параллельно лампе. В этой схеме ток лампы не протекает через ИЗУ, но высоковольтные импульсы напряжения воздействуют не только на лампу, но и на балластный дроссель и на соединительные провода между дросселем и лампой. Первое обстоятельство обуславливает достоинства этих схем: простоту, дешевизну и универсальность ИЗУ. Второе же обстоятельство обуславливает их недостатки: необходимость усиления изоляции балластных дросселей, зависимость параметров выходного импульса ИЗУ от длины подводных проводов и от конструкции балластного дросселя. Поскольку стандартные балластные дроссели не рассчитаны на воздействие напряжения свыше 2 кВ, такие схемы могут применяться только для ламп с $U_3 < 2$ кВ.

В схеме на рис. 4.12, б в ИЗУ нет импульсного трансформатора, поскольку его функции выполняет *балластный дроссель с отводом*. Это, с одной стороны, позволяет получить широкий импульс напряжения с

большой амплитудой и уменьшить габариты, массу и стоимость ИЗУ, но, с другой стороны, требует наличия специальных балластных дросселей с отводом и усиленной изоляцией.

В схеме на рис. 4.12, в, так называемой *схеме «последовательного поджига»*, ИЗУ имеет 3 вывода, 2 из которых включаются последовательно с лампой. Хотя ИЗУ последовательного поджига имеют несколько большие потери мощности, размеры и массу (вследствие того, что вторичная обмотка импульсного трансформатора должна быть рассчитана на протекающий через нее ток лампы), эта схема является наиболее распространенной, что определяется следующими ее достоинствами:

- балластный дроссель здесь не подвергается воздействию высоковольтных импульсов напряжения и поэтому не требует усиленной изоляции и специальной конструкции;

- выходной импульс ИЗУ не зависит от длины подводных проводов (имеются в виду соединительные провода между балластным дросселем и лампой) и от конструкции балластного дросселя;

- схема может применяться для зажигания РЛ с U_3 до нескольких десятков кВ.

Типичная схема ИЗУ последовательного поджига, (рис. 4.13, а) содержит импульсный трансформатор ИТ, вторичная обмотка W2 которого включена последова-

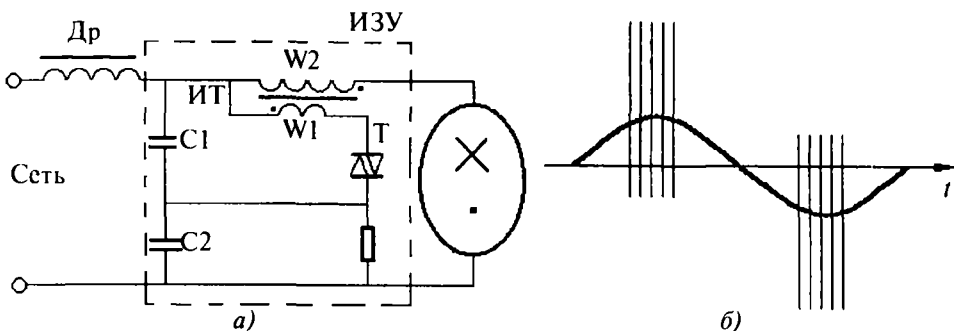


Рис. 4.13. ИЗУ последовательного поджига: а — схема; б — напряжение на лампе

тельно с лампой, а первичная W1 подключена к накопительному конденсатору C1 через неуправляемый симметричный тиристор Т с фиксированным значением напряжения пробоя. Устройство формирует на лампе каждый полупериод несколько импульсов напряжения с амплитудой до 5 кВ и длительностью порядка 1 мкс (рис. 4.13,б). После зажигания лампы последняя шунтирует зарядную цепь накопительного конденсатора C1, вследствие чего ИЗУ автоматически отключается. В случае незажигания лампы или ее отсутствия ИЗУ продолжает генерировать импульсы.

Основные параметры ИЗУ:

Амплитуда выходных импульсов напряжения U_m . В зависимости от типа лампы U_m может лежать в пределах от 0,8 до 5 кВ.

Длительность (ширина) выходных импульсов нормируется на определенном уровне напряжения (например на уровне 2,7 кВ при номинальном значении амплитуды импульса 5 кВ) и в зависимости от типа лампы может лежать в пределах от долей мкс до нескольких мкс.

Фаза генерации импульсов. Фазовый угол момента генерации импульса относительно момента прохождения кривой сетевого напряжения через нулевое значение. Рекомендуемые значения этого угла: 60–90°, 240–270°.

Количество импульсов за период сетевого напряжения. В зависимости от типа лампы, ИЗУ и применяемого ПРА количество импульсов может нормироваться от 1 до нескольких десятков. В случаях, когда импульсы формируются только в один из двух полупериодов сетевого напряжения, ИЗУ называют однополупериодным, а когда каждый полупериод — двухполупериодным.

Максимально допустимый длительный ток через ИЗУ и потери мощности в нем (только для ИЗУ последовательного поджига). Определяются допустимым нагревом вторичной обмотки импульсного трансформатора (не более 120–130°C). Потери мощности обычно не превышают 1% от мощности лампы.

Напряжение включения — значение сетевого напряжения, при котором ИЗУ начинает генерировать импульсы. Обычно это напряжение задается в диапазоне 170–198 В для сети 220 В и 320–342 В для сети 380 В. Верхняя граница этого диапазона определяется минимально допустимым значением сетевого напряжения, а нижняя — максимально возможным напряжением на горячей лампе (при напряжении на лампе большем напряжения включения ИЗУ последнее будет генерировать импульсы при горячей лампе).

Допустимая величина емкостной нагрузки, при которой гарантируются амплитуда и длительность зажигающего импульса. Емкость нагрузки определяется емкостью лампы, распределенной емкостью подводных проводов и межвитковой емкостью балластного дросселя (для ИЗУ параллельного поджига). В зависимости от типа ИЗУ допустимая величина емкостной нагрузки находится в диапазоне 20–10000 пФ.

Максимально допустимая длина проводов от ИЗУ до лампы. Определяется допустимой величиной емкостной нагрузки ИЗУ и может быть определена из соотношения: $L_{пр} = C_{доп} / C_{пр}$, где $L_{пр}$ — длина проводов,

$C_{доп}$ — допустимая емкость нагрузки ИЗУ, $C_{пр}$ — емкость проводов на единицу длины (в среднем $C_{пр} = 75$ пФ/м). Из этого соотношения следует, что в зависимости от допустимой величины емкостной нагрузки максимальная длина проводов от ИЗУ до лампы может составлять от 1,5 м до нескольких десятков метров.

Наличие блока отключения. В ряде случаев ИЗУ снабжаются блоками отключения, прекращающими генерацию импульсов в случае, если лампа в течение нескольких минут не зажигается (это время зависит от типа и мощности лампы и составляет 1–2 мин для ламп НЛВД и 10–15 мин для МГЛ). Блоки отключения выполняются на базе цифровых микросхем.

Энергия импульсов. Гарантирует переход искрового разряда в дуговой. В настоящее время единые нормы и методика измерения этого параметра отсутствуют.

Компенсация реактивной мощности

Компенсация реактивной мощности осуществляется подключением конденсатора. В зависимости от схемы включения конденсатора различают параллельную и последовательную компенсацию (рис. 4.7).

Параллельная компенсация. Конденсатор с реактивной мощностью, равной реактивной мощности балластного дросселя, подключается параллельно сети. Этот метод компенсации может быть использован во всех осветительных приборах (с ЛЛ, КЛЛ, ДРЛ, МГЛ, НЛВД). Параллельный конденсатор не оказывает никакого влияния на режим работы лампы. Оптимальные расчетные величины емкостей конденсаторов приводятся обычно в каталогах, для каждого конкретного типа лампы и дросселя. Приближенные значения емкостей могут быть рассчитаны по следующей формуле:

$$C = \{10^6 [\sqrt{(U^2 I^2 - P^2)} - P \operatorname{tg} \varphi] / 6,28 F U^2\} \text{ мкФ},$$

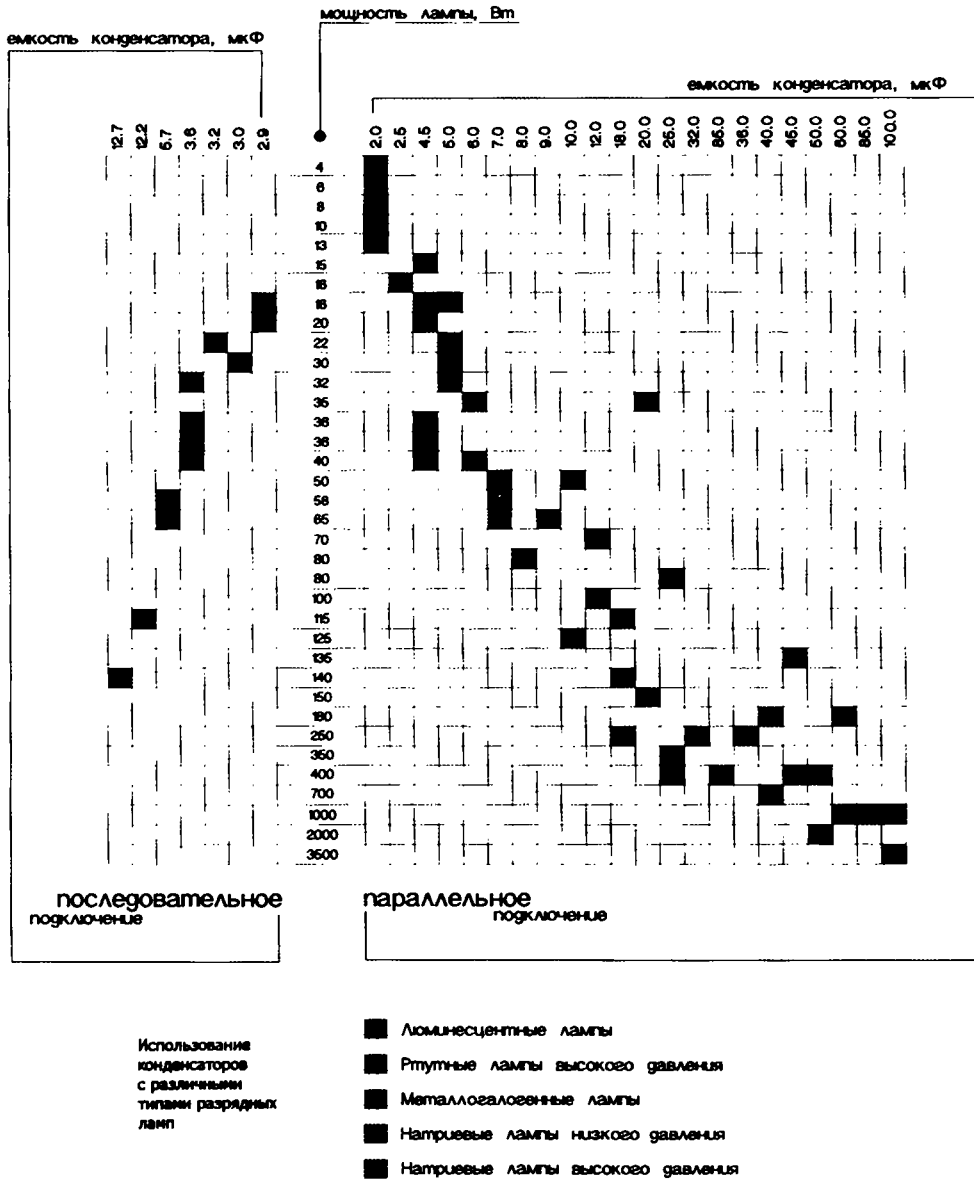
где C — емкость компенсирующего конденсатора, мкФ; U — напряжение сети, В; F — частота сетевого напряжения, Гц; P — активная мощность, потребляемая из сети (мощность лампы + потери мощности в балластном дросселе), Вт; I — ток лампы, А; $\operatorname{tg} \varphi = 0,62$ при $\cos \varphi = 0,85$; $\operatorname{tg} \varphi = 0,49$ при $\cos \varphi = 0,9$; $\operatorname{tg} \varphi = 0,33$ при $\cos \varphi = 0,95$.

При параллельной компенсации конденсаторы должны выдерживать пробивное напряжение 250 В (при номинальном значении сетевого напряжения 220 В).

Последовательная компенсация. Этот вид компенсации применяется в основном в светильниках с четным количеством ЛЛ: в половине ПРА конденсатор включается последовательно с дросселем. Поскольку в этом случае конденсатор оказывает прямое влияние на режим работы ЛЛ, допуск на его расчетную емкость не должен превышать $\pm 4\%$. Для требуемого ограничения тока ЛЛ полное сопротивление последовательно соединенных конденсатора и дросселя должно соответствовать характеристикам ЛЛ. Конденсатор при последовательной компенсации должен быть рассчитан примерно на удвоенное сетевое напряжение (450 В).

Рекомендуемые значения емкостей компенсирующих конденсаторов приведены на диаграмме.

Рекомендуемые значения емкостей компенсирующих конденсаторов



4.1.2.6. Электронные пускорегулирующие аппараты для люминесцентных ламп

Введение

При всей своей простоте, дешевизне и надежности ЭмПРА имеют такие существенные недостатки, как значительные массу, габариты и потери мощности, ограниченные функциональные возможности, принципиально не позволяющие оптимальным образом согласовывать характеристики питающей сети и источников света, а следовательно, и не обеспечивающие все необходимые режимы зажигания и горения ламп. Следствием этого являются, например, высокий уровень пульсаций светового потока ЛЛ (из-за малой инерционности люминофоров и процессов в разряде кривая мгновен-

ных значений светового потока ЛЛ на частоте 50 Гц практически повторяет в течение каждого полупериода полусинусоиду кривой мгновенной мощности, получаемой лампой), акустический шум аппаратов, проблемы глубокого регулирования тока лампы. Кроме того, синусоидальная форма тока, которую обеспечивают ЭмПРА на частоте 50–60 Гц, является далеко не оптимальной для ЛЛ не только с точки зрения пульсаций светового потока, но и с точки зрения их световой отдачи и срока службы. Переход на питание ЛЛ током повышенной частоты (>1 кГц) практически полностью исключает пульсации светового потока ламп, увеличивает их срок службы и на 10–25% повышает световую отдачу.

Силовая электроника, базирующаяся на монокристаллических полупроводниковых приборах с большой нагрузочной способностью и широкими функциональными возможностями, вместе с микроэлектроникой позволяет создавать электронные пускорегулирующие аппараты ЭПРА, полностью удовлетворяющие современным требованиям, предъявляемым к ним ламповой нагрузкой и потребителем.

ЭПРА представляют собой, по существу, источники вторичного электропитания (в соответствии с определением, принятым в преобразовательной технике, это устройства, предназначенные для преобразования входной электроэнергии переменного или постоянного напряжения с целью обеспечения электропитанием нагрузки при заданном виде и качестве электроэнергии на выходе), предназначенные для работы с такой специфической нагрузкой, какую представляют из себя ЛЛ.

Благодаря наличию нескольких ступеней преобразования энергии (см. структурную схему ЭПРА на рис. 4.15) ЭПРА обладают практически неограниченными функциональными возможностями, позволяющими выполнять все операции по преобразованию энергии, которые необходимы для формирования оптимальных пусковых и рабочих режимов ЛЛ, согласования работы комплекта с питающей сетью и удовлетворения требований потребителя. Это обеспечивает ЭПРА следующие *преимущества по сравнению с ЭМПРА*:

1) увеличение световой отдачи (на 10–25%) и срока службы (на 20–30%) ЛЛ, как полезного, так и полного, о чем свидетельствуют кривые спада светового потока ЛЛ при работе с ЭМПРА и ЭПРА (см. рис. 4.14);



Рис. 4.14. Кривые спада светового потока ЛЛ при работе с ЭМПРА и ЭПРА

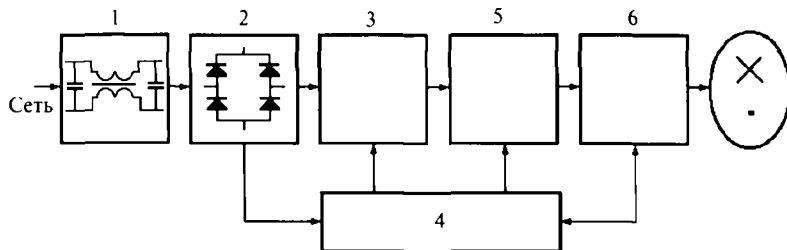


Рис. 4.15. Структурная схема ЭПРА для ЛЛ: 1 — фильтр подавления радиопомех; 2 — выпрямитель; 3 — корректор формы потребляемого из сети тока и коэффициента мощности; 4 — управляющий блок; 5 — ВЧ-блок; 6 — выходной блок

- 2) снижение в 1,5–2 раза потерь мощности в ПРА;
- 3) практическое отсутствие пульсаций светового потока ЛЛ и акустического шума ПРА;
- 4) возможность регулирования и стабилизации светового потока. В связи с широким внедрением систем управления освещением, это свойство ЭПРА становится сейчас особенно значимым;

5) снижение массы (в несколько раз по сравнению с ЭМПРА) и возможности варьирования геометрии ПРА открывают широкие перспективы по оптимизации конструкции светильников и созданию новых ЛЛ со встроеными ПРА (например, КЛЛ со встроеными в адаптер миниатюрными ЭПРА);

6) возможность формирования тока лампы практически любой формы и частоты — от НЧ (десятки и сотни Гц) до ВЧ (десятки и сотни кГц) и СВЧ (десятки МГц) — открывает широкие перспективы по созданию новых ламп. Целый ряд появившихся в последние годы новых ИС уже не могут работать в схемах с ЭМПРА и рассчитаны на работу только с ЭПРА (например, новые линейные ЛЛ в колбах диаметрами 7 и 16 мм, маломощные МГЛ для передних фар транспортных средств, безэлектродные ИС и др.);

7) возможность внедрения люминесцентного освещения в ОУ с питанием от источников постоянного тока (транспортное и аварийное освещение, подсветка жидкокристаллических индикаторов и т.п.).

Структурная схема электрошных пускорегулирующих аппаратов

В соответствии со структурной схемой (рис. 4.15) в состав ЭПРА входят следующие основные блоки [4.7]:

Фильтр подавления радиопомех (рис. 4.16). Для подавления высокочастотных помех, создаваемых ЭПРА в питающей сети, используются П-образные или двойные П-образные фильтры из индуктивностей в несколько мГн и емкостей до 1000 нФ. Как правило, дополнительно для этой же цели включается емкость порядка единиц нФ между одним из питающих проводов и заземляющим проводом.

Выпрямитель. Устанавливается в случае работы комплекта от сети переменного тока. В качестве выпрямителя, как правило, используется стандартный выпрямительный мост, рассчитанный на соответствующие токи и напряжения.

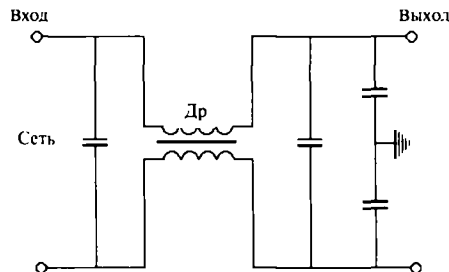


Рис. 4.16. Фильтр подавления радиопомех

Корректор коэффициента мощности. Так же, как и выпрямитель, устанавливается в случае работы комплекта от сети переменного тока. Формирует близкую к синусоидальной форму входного тока и близкий к 1 коэффициент мощности. Корректор коэффициента мощности может быть *пассивным* и *активным*.

Варианты пассивных корректоров приведены на рис. 4.17. Это либо *резонансный LC-контур* — рис. 4.17.а, либо *диодно-конденсаторный формирователь* — рис. 4.17.б, либо их *комбинация* — рис. 4.17.в [4.8]. Резонансные корректоры просты и дешевы, но значительно увеличивают массу аппарата (на 50–70%). Диодно-конденсаторные формирователи также просты и дешевы, имеют небольшую массу и размеры, но из-за недостаточной сглаженности выходного напряжения, подаваемого на ВЧ-блок, при работе с этими формирователями недопустимо увеличивается коэффициент амплитуды тока лампы ($>1,7$), что отрицательно сказывается на сроке службы лампы и увеличивает пульсации светового потока. Заслуживают внимания комбинированные корректоры, поскольку они имеют на 40–50% меньшую массу и габариты по сравнению с резонансным LC-контуром и лишены недостатков диодно-конденсаторных формирователей.

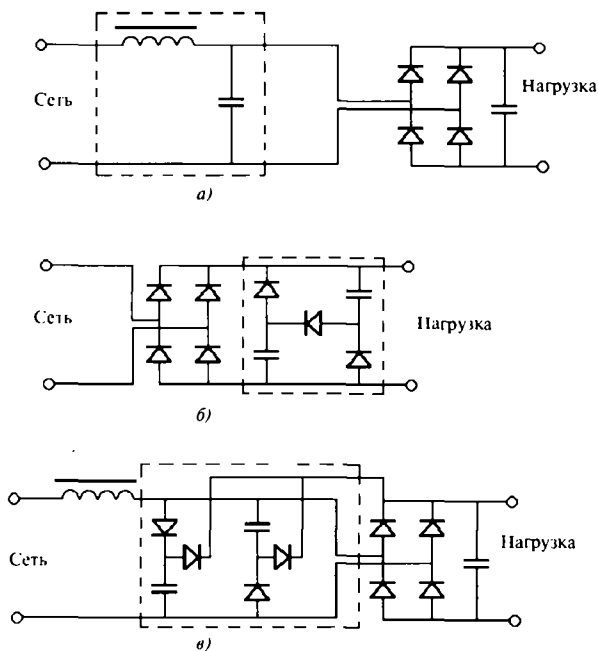


Рис. 4.17. Пассивные корректоры коэффициента мощности: а — резонансный LC-корректор; б — диодно-конденсаторная схема; в — комбинированная схема

Активный корректор коэффициента мощности представляет собой транзисторный импульсный регулятор, выполненный на базе преобразователя напряжения повышающего (рис. 4.18.а) или понижающего (рис. 4.18.б) типа. Работа активного корректора основа-

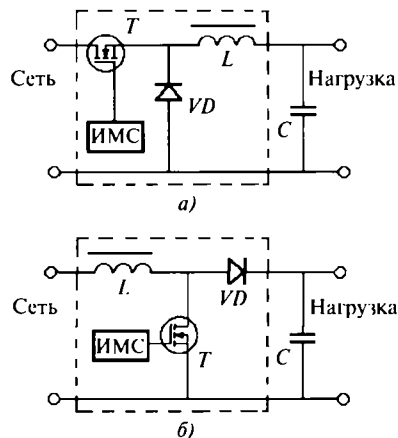


Рис. 4.18. Схемы активных корректоров коэффициента мощности на базе понижающего импульсного регулятора (а), и на базе повышающего импульсного регулятора (б)

на на открывании и закрывании транзистора T с частотой, значительно превышающей сетевую. Пока транзистор T открыт, происходит накопление энергии в дросселе L . После закрывания транзистора ток протекает через диод VD в накопительный конденсатор C , на котором поддерживается постоянное напряжение. Для получения синусоидальной формы сетевого тока и совмещения фаз тока и напряжения используется блок автоматического управления длительностью импульсов, подаваемых на транзистор T . В настоящее время выпускается большая номенклатура таких блоков, оформленных в виде интегральных микросхем.

Наиболее перспективными являются активные корректоры, так как помимо функций коррекции коэффициента мощности и формирования синусоидальной формы входного тока, они одновременно могут выполнять и функции стабилизатора или регулятора выпрямленного сетевого напряжения.

Высокочастотный блок содержит инвертор с выходной частотой более 20 кГц (выше звукового диапазона) и, при необходимости, согласующий силовой ВЧ-трансформатор. Инвертор может быть выполнен либо по автоколебательной однотактной или двухтактной схеме (генератор Ройера, схемы с переклюкающим трансформатором напряжения или тока, схема с переклюкающим дросселем и др.), либо по схеме с задающим генератором, входящим в состав управляющего блока [4.9]. Наибольшее распространение получила полумостовая схема инвертора, поскольку она не требует использования выходного трансформатора, а благодаря конденсаторам полумоста защищена от вентильного режима работы РЛ. В качестве силовых ключей инверторов используются транзисторы — биполярные или полевые. Более перспективными являются полевые транзисторы как более высокочастотные, имеющие малые динамические потери и отпираемые напряжением 10–15 В при очень малых токах (мкА), что позволяет управлять ими непосредственно от микросхем без промежуточных усилителей.

Выходной блок. Обеспечивает согласование выходных характеристик инвертора с пусковыми и рабочими характеристиками ЛЛ. Как правило, выходной блок представляет собой *резонансный LC-контур*, дроссель которого включен последовательно, а конденсатор — параллельно лампе [4.10]. Если резонансная частота контура LC совпадает или близка к частоте первой гармоники выходного напряжения инвертора, то полное сопротивление контура для этой гармоники будет определяться только сопротивлением электродов лампы и активным сопротивлением дросселя, и в контуре протекает ток, быстро прогревающий электроды и создающий на конденсаторе высокое резонансное напряжение, достаточное для зажигания лампы. В рабочем режиме лампа шунтирует конденсатор и ток через нее определяется в основном дросселем. Благодаря простоте, резонансная схема нашла очень широкое применение. Однако при ее использовании надо учитывать, что высокое напряжение, возникающее на реактивных элементах схемы сразу после включения инвертора, может зажечь лампу при недостаточно прогретых электродах. В этом случае ток лампы увеличивается за счет механизма ионной бомбардировки электродов, что приводит к их интенсивному распылению и снижению срока службы ЛЛ. Согласно [4.3] цена включения, т.е. уменьшение срока службы ЛЛ при каждом зажигании, составляет при зажигании с непрогретыми электродами 3–4 часа. Этот недостаток можно устранить несколькими способами, основные из которых следующие:

– шунтирование конденсатора позистором — нелинейным резистором с положительным температурным коэффициентом (рис. 4.19):

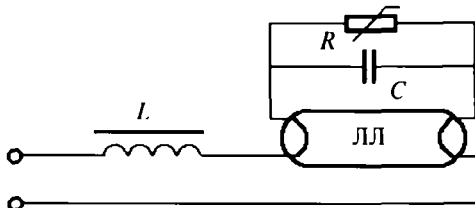


Рис. 4.19. Резонансная схема зажигания с позистором. L — индуктивность, C — емкость, R — позистор

– варьирование частоты инвертора или уменьшение его выходного напряжения в период пуска лампы таким образом, чтобы во время прогрева электродов (не менее 0,4 с) напряжение на лампе было недостаточным для ее зажигания (обычно для этого в 1,5–2 раза увеличивают частоту инвертора или уменьшают выход-

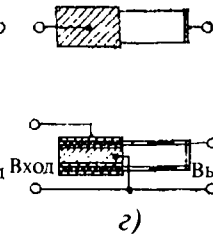
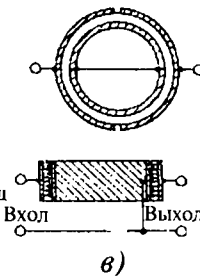
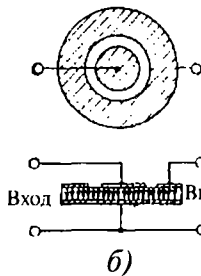
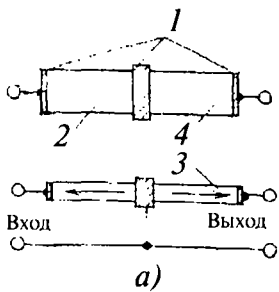


Рис. 4.21. Схема включения и варианты конструкции пьезокерамического трансформатора

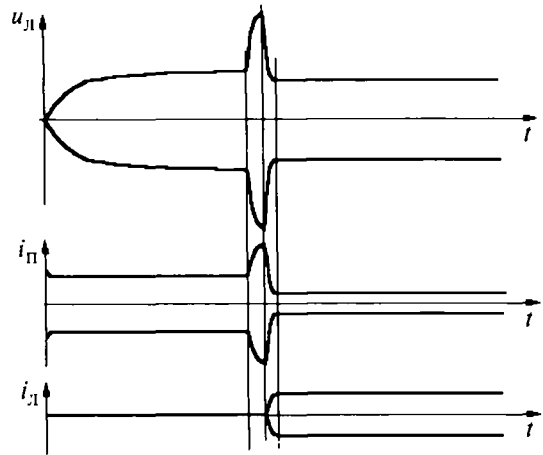


Рис. 4.20. Огибающие напряжения на лампе $u_{л}$, тока лампы $i_{л}$ и тока подогрева электродов $i_{п}$ при ждущем зажигании

ное напряжение инвертора путем амплитудного или широтно-импульсного регулирования).

Перечисленными способами можно добиться так называемого «ждущего» зажигания, при котором цена включения равна 0 часов. Качественная картина огибающих тока и напряжения на ЛЛ при ждущем зажигании приведена на рис. 4.20.

Количественные характеристики этой картины можно определить из следующей формулы [4.11]:

$$t_{п} = a(I_{\min}^2 - I_{abc}^2)^{-1/2},$$

устанавливающей связь между минимальным временем $t_{п}$ прогрева электродов и минимальным током подогрева I_{\min} . Значения коэффициента a и тока I_{abc} (тока, нагревающего электроды до минимальной необходимой температуры за длительное время) определяются экспериментально.

С целью исключения из состава аппарата намоточных элементов известны попытки использования в выходном блоке *пьезокерамического трансформатора (ПТ)* [4.12], обладающего идеальной ВАХ с точки зрения совместной работы с РЛ (выходное напряжение ПТ на холостом ходу может составлять несколько кВ, что достаточно для зажигания большинства РЛ, а под нагрузкой характер ВАХ ПТ крутопадающий, что позволяет стабилизировать ток РЛ без дополнительных токоограничивающих элементов).

ПТ (рис. 4.21) содержит не менее 3-х электродов l толщиной 10–20 мкм, нанесенных на поверхность пье-

зокерамического тела. Электроды возбудителя 2 служат для подачи напряжения поляризации к керамическому телу 3. Электроды генератора 4 — для снятия трансформированного напряжения и подачи его на лампу. Форма ПТ может быть самой различной: пластинчатой (рис. 4.21, а), дисковой (рис. 4.21, б), кольцевой (рис. 4.21, в), стержневой (рис. 4.21, г) и т.д.

Если ЭПРА предназначен для работы с безэлектродной ЛЛ, то в качестве выходного каскада используется ферритовый индуктор, находящийся в электромагнитной связи с разрядным промежутком лампы (рис. 4.22) [4.13].

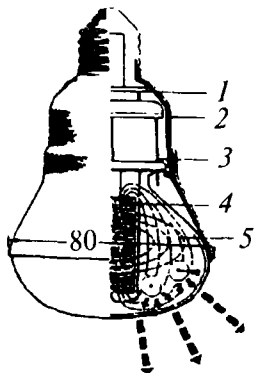


Рис. 4.22. Безэлектродная ЛЛ с ЭПРА ВЧ: 1 и 2 — ЭПРА ВЧ, 3 — ВЧ кабель, 4 — индуктор, 5 — электромагнитное поле

Управляющий блок предназначен для управления транзисторами инвертора и импульсного регулятора. В большинстве случаев управляющий блок выполнен на базе интегральных микросхем, в т.ч. специально разработанных для использования в ЭПРА. С целью корректировки выходных параметров ЭПРА в соответствии с состоянием ЛЛ, в схему могут быть введены цепи обратной связи, передающие информацию о режиме лампы (ток, мощность, световой поток) на управляющий блок. Для схемотехнической реализации управляющего блока перспективным является использование микроконтроллеров. Появление недорогих простейших 8-разрядных микроконтроллеров с флэш-памятью открывает перед разработчиками большие возможности по созданию систем, способных программно адаптироваться под нужды потребителя без внесения изменений в аппаратную часть.

Универсальные электронные пускорегулирующие аппараты

С целью сокращения ассортимента аппаратов и их унификации возможно создание универсальных ЭПРА, способных работать с ЛЛ разных мощностей. Первый путь создания таких аппаратов — это формирование крутопадающей внешней характеристики. Выходной ток таких аппаратов практически не зависит от напряжения на лампе. Это наиболее простой способ создания универсальных аппаратов, но он ограничивает номенклатуру лампами, имеющими один и тот же номинальный ток. Второй путь создания универсальных аппаратов базируется на цифровой технологии и расширяет возможности применимости ЭПРА на ЛЛ, отличающиеся не только напряжением, но и током. Эти ЭПРА автоматически подстраиваются под рабочие ха-

рактеристики ЛЛ. Во время первого зажигания микропроцессорная схема в течение нескольких минут диагностирует подключенную к аппарату лампу. Схема производит измерение характеристик ЛЛ, сравнивает их с параметрами, занесенными в память микропроцессора и выводит лампу на ее оптимальный режим. Характеристики этого оптимального режима остаются в памяти микропроцессора. Все последующие зажигания происходят уже сразу в оптимальном режиме.

Компактные люминесцентные лампы со встраиваемыми электронными пускорегулирующими аппаратами

Одним из самых массовых применений ЭПРА является их использование совместно с КЛЛ [4.14]. Созданные таким образом новые осветительные устройства состоят из установленного на резьбовом цоколе адаптера со встроенным в него миниатюрным ЭПРА, в который вставляется четырехштырьковая двухкапальная или многокапальная КЛЛ. Существуют 2 конструкции таких устройств: неразъемная — лампа и адаптер представляют неразборное соединение, и разъемная — лампа присоединяется к адаптеру через разъем. В связи с конструктивной простотой и меньшим количеством переходных контактов наиболее распространенной является первая конструкция. Варианты неразъемных КЛЛ показаны на рис. 4.23.



Рис. 4.23. Варианты КЛЛ со встроенным ЭПРА

4.1.2.7. Электронные пускорегулирующие аппараты для разрядных ламп высокого давления

Работы по созданию ЭПРА для РЛВД были начаты позже работ над ЭПРА для ЛЛ. Причины этого следующие: а) меньшая заинтересованность потребителей в таких аппаратах, поскольку световая отдача РЛВД на повышенных частотах почти не растет, а уровень пуль-

саций светового потока в ОУ наружного освещения (основных потребителях РЛВД) не играет такой важной роли, как в ОУ с ЛЛ; б) проблема «акустического резонанса»; в) отсутствие мощных надежных дешевых транзисторов. Однако прогресс в электронике и широкое внедрение в технику освещения РЛВД относительно небольшой мощности (от 20 до 150 Вт) стимулировали работы по созданию ЭПРА для РЛВД. В 90-е годы были разработаны такие ЭПРА для МГЛ и НЛВД мощностью до 150 Вт. В настоящее время имеются разработки ЭПРА для РЛВД мощностью до 1000 Вт.

Препятствием для высокочастотного питания РЛВД могут быть искажения разряда акустическими волнами, создаваемыми быстрыми изменениями давления, вызываемыми, в свою очередь, быстрыми изменениями температуры плазмы при протекании через нее переменного тока. На повышенных частотах (десятки кГц) длина этих волн становится соизмеримой с межэлектродным расстоянием внутри горелки, в результате чего возможно возникновение стоячих волн, получившее название «акустический резонанс». Это явление может приводить к искажениям разрядного канала, его искривлению, а следовательно к локальному перегреву стенок разрядной трубки и ее растрескиванию. Кроме того, акустическому резонансу сопутствуют такие нежелательные явления, как увеличение напряжения на лампе и, как следствие, нестабильность светового потока и даже погасание разряда.

В связи с проблемой «акустического резонанса» разработка ЭПРА для РЛВД ведется по двум структурным схемам — высокочастотной (>20 кГц), совпадающей со структурной схемой ЭПРА для ЛЛ (см. рис. 4.15) и низкочастотной (десятки и сотни Гц) — рис. 4.24.

В высокочастотном варианте проблема «акустического резонанса» решается либо путем выбора диапазона частот, свободных от этого явления, либо на основе инвертора с качающейся выходной частотой. В низкочастотном варианте эта проблема решается путем работы на частотах, заведомо свободных от «акустического резонанса», а именно — 50–200 Гц. При этом для линейаризации динамической ВАХ ламп используется прямоугольная форма тока через них. В отличие от высокочастотной схемы, низкочастотная содержит дополнительный блок — стабилизатор тока, выполненный по схеме импульсного ВЧ-регулятора, но из нее исключен выходной блок (т.к. его функции выполняет дополни-

тельный блок 5 — стабилизатор тока), а инвертор служит только для периодического изменения полярности тока лампы (с частотой 50–200 Гц) с целью обеспечения симметричной работы электродов и недопущения возникновения катодореза.

4.1.2.8. Схемы импульсного питания разрядных ламп

Отдельного рассмотрения заслуживают схемы питания РЛ импульсами тока с коэффициентом заполнения до 0,1 и частотой повторения от сотен Гц до десятков кГц. В паузах между импульсами через лампу может протекать небольшой ток, обеспечивающий дежурный разряд. Такой способ питания имеет следующие достоинства: 1) используя инерционные свойства разряда, на базе этого способа возможно создание так называемых «безбалластных» ЭПРА, в которых отсутствует пассивный токоограничивающий элемент, а его функции выполняются динамической стабилизацией тока путем автоматического варьирования коэффициента заполнения импульсов тока; 2) дополнительное увеличение световой отдачи ЛЛ (на 10–20%) по сравнению с ВЧ-питанием в режиме без пауз тока; 3) возможность повышения, а следовательно и регулирования цветовой температуры разряда ВД [4.13]. Схемы, реализующие импульсный способ питания, строятся по известной структурной схеме ЭПРА (рис. 4.15) и отличаются от известных схем ЭПРА более сложным алгоритмом управления силовыми транзисторами инвертора.

4.1.2.9. Электронные пускорегулирующие аппараты с одноступенчатым преобразованием энергии

Используемое в ЭПРА многоступенчатое преобразование энергии (выпрямление переменного тока, коррекция коэффициента мощности, преобразование постоянного тока в переменный) наряду с положительными сторонами (широкие функциональные возможности) влечет за собой повышение сложности и стоимости аппаратов, снижение их КПД и надежности. В связи с этим в последнее время появился ряд сообщений [4.15, 4.16] о разработке так называемых одноступенчатых ЭПРА, в которых коррекция коэффициента мощности и преобразование постоянного напряжения в ВЧ переменное выполняются одним блоком. Один из примеров такого блока представлен на рис. 4.25.

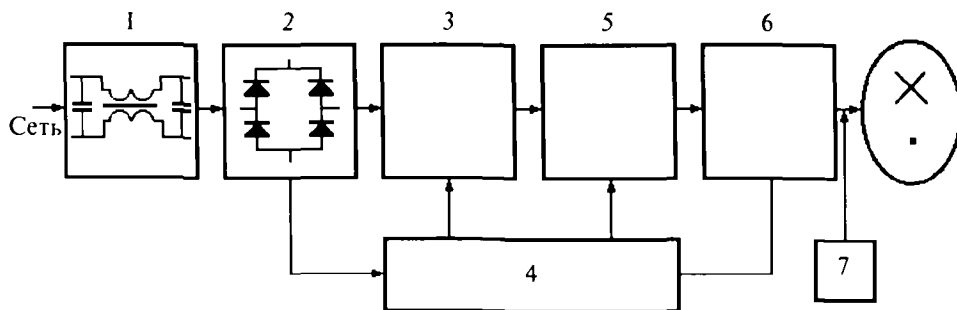
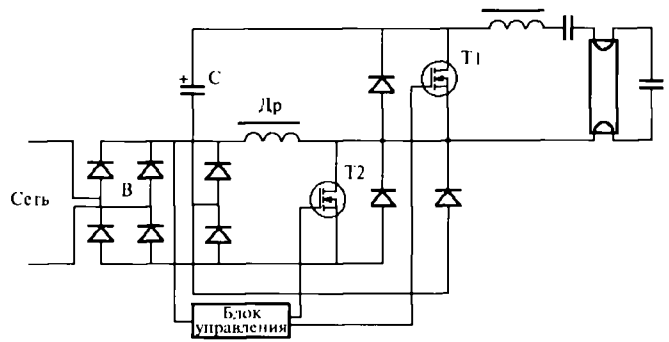


Рис. 4.24. Структурная схема ЭПРА НЧ: 1 — фильтр подавления радиопомех; 2 — выпрямитель; 3 — корректор формы потребляемого тока и коэффициента мощности; 4 — управляющий блок; 5 — стабилизатор тока; 6 — инвертор; 7 — зажигающее устройство

Рис. 4.25. ЭПРА с одноступенчатым преобразованием энергии (на базе полумостового инвертора)



Выполнение здесь одним блоком одновременно нескольких функций — повышение и регулирование выходного напряжения выпрямителя, коррекция коэффициента мощности, стабилизация тока лампы — достигается как схемным путем (подключение (+) выпрямителя В через дополнительный дроссель Др к общей точке транзисторов Т1 и Т2 инвертора и подключение (-) сглаживающего конденсатора С через 3 дополнительных диода к обоим вывода выпрямителя и к общей точке транзисторов инвертора), так и использованием асимметричной работы транзисторов инвертора. По существу, нижний транзистор Т2 полумоста инвертора при такой конфигурации выполняет помимо своей основной функции — функцию корректора коэффициента мощности и импульсного регулятора постоянного напряжения. Параметры аппарата в приведенном примере следующие: диапазон изменения сетевого напряжения 80–260 В, несимметрия длительностей открытого состояния транзисторов 0,23–0,77; рабочая частота 45 кГц; мощность лампы 40 Вт; коэффициент мощности 0,98; КПД 0,91; напряжение на лампе в режиме предварительного разогрева электродов 150 В (т.е. аппарат обеспечивает ждущее зажигание ЛЛ).

Еще один пример одноступенчатого ЭПРА, но выполненного уже только на одном ключе, представлен на рис. 4.26.

Корректор коэффициента мощности, собранный по схеме Кука, выполняет здесь одновременно и функции инвертора (работает в классе «Е»). Параметры аппарата в этом примере следующие: номинальное напряжение сети 110 В; коэффициент мощности 0,972; мощность лампы 40 Вт; частота тока через лампу 50 кГц.

Однако, несмотря на очевидную привлекательность одноступенчатых ЭПРА, информации об их промышленном выпуске пока нет, что связано, по-видимому, с проблемами оптимального совмещения в одном блоке нескольких функций.

4.1.2.10. Принципы расчета пускорегулирующих аппаратов для разрядных ламп

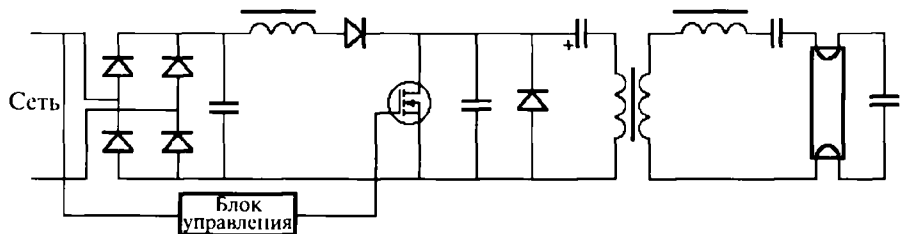
Расчету схем и конструкций ПРА посвящена обширная литература [4.3–4.5]. Схемы рассчитываются, в основном, с использованием алгебраической аппроксимации вольт-секундных характеристик РЛ, а конструкции — с применением графических построений области допустимых значений индукции в магнитопроводе и плотности тока в катушке дросселя. Выполнение всех расчетов предполагалось с использованием калькулятора. Были сделаны попытки создания расчетных программ для ЭВМ [4.17], но они были не гибкими, не позволяли вмешиваться в процесс расчета и учитывать параметры разрядных ламп в непопулярных и аномальных режимах.

Современные методы расчета ПРА для массового производства должны быть интерактивными, наглядными, допускать простое изменение исходных условий для производства многовариантных расчетов и поиска оптимального варианта. Такие программы в настоящее время созданы в системе компьютерной математики MATLAB, которая имеет мощные средства диалога, графики и комплексной визуализации [4.18, 4.19]. Система MATLAB широко используется на персональных ЭВМ.

Расчет схем ПРА

Расчет схем ПРА на промышленной и повышенной частотах, при импульсном питании и в схемах с динамической стабилизацией тока целесообразно производить с использованием математических моделей в подсистеме визуального моделирования SIMULINK, входящей в систему MATLAB. Для пользователя это конструктор, с помощью которого можно соединять блоки, соответствующие отдельным элементам, в единую систему и изучать поведение системы во времени, из-

Рис. 4.26. ЭПРА с одноступенчатым преобразованием энергии (на базе схемы Кука)



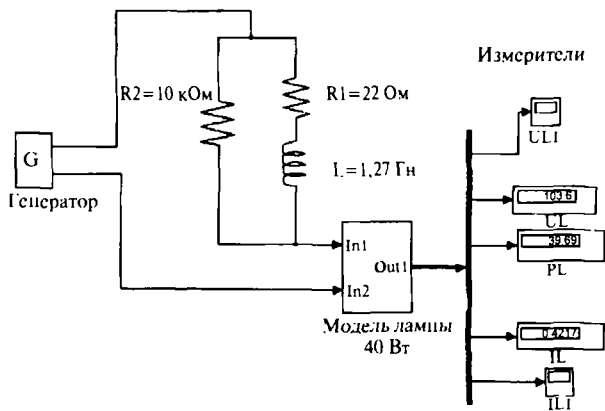


Рис. 4.27. Модель индуктивного ПРА с ЛЛ мощностью 40 Вт

мерять электрические режимы элементов и частей системы [4.20]. Большое количество блоков имеется в библиотеках SIMULINK, блоки, моделирующие электрические характеристики РЛ, приведены в [4.21–4.23].

В качестве примера рассмотрим модель индуктивного ПРА к ЛЛ мощностью 40 Вт, которая показана на рис. 4.27. На этом рисунке модель ЛЛ включена последовательно с дросселем, параметры которого L — индуктивность, $R1$ — активное сопротивление обмотки, $R2$ — сопротивление, учитывающее потери в стали. Модель лампы реализует дифференциальную аппроксимацию ее электрических характеристик и, как принято в SIMULINK, включает измерительные блоки. Измеряемые величины с выхода $Out1$ подаются на дисплей и осциллоскопы. Дисплей индицирует: напряжение на лампе $U1$, мощность $P1$ и ток $I1$ лампы. На осциллоскопах можно наблюдать напряжение $U11$ и ток $I11$ лампы. Питающее напряжение подается в схему с выхода генератора G . Это напряжение может быть любой величины, частоты и формы. Для измерения напряжения и тока дросселя к нему так же легко могут подключаться измерители с дисплеями и осциллоскопы. Расчеты по этой модели заключаются в подборе параметров дросселя, обеспечивающих заданный режим лампы, или в измерении параметров лампы при заданных параметрах дросселя.

Возможен учет нелинейной характеристики дросселя, которая может быть получена кусочно-линейной аппроксимацией его вебер-амперной характеристики. Приведенная модель позволяет рассчитывать как индуктивные, так и индуктивно-емкостные ПРА, а так же резистивные, полупроводниковые и др. При этом элементы схемы ПРА включаются вместо балластного дросселя, и их режимы так же легко могут быть измерены.

Для работы с лампами другой мощности и с лампами НЛВД надо применять модели соответствующих ламп из библиотеки моделей РЛ, сообщение о которых имеется в [4.23]. В библиотеке имеются также модели аномальных режимов: односторонней проводимости, повышенного и несимметричного напряжения горения и перезажигания. Такие модели могут включаться в

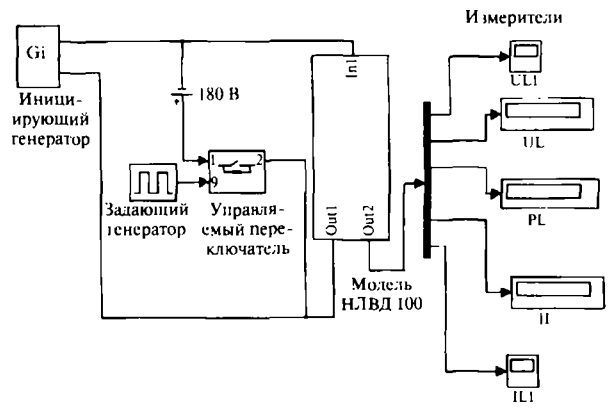


Рис. 4.28. Модель импульсного ПРА с НЛВД мощностью 100 Вт

схему ПРА так же, как это показано на рис. 4.27 для модели ЛЛ мощностью 40 Вт.

На рис. 4.28 приведена более сложная схема импульсного ПРА с инициирующим генератором для НЛВД мощностью 100 Вт. Здесь маломощный инициирующий генератор высокочастотного тока G_i поддерживает дежурный разряд в лампе. Импульсы напряжения подаются на лампу через управляемый переключатель от источника постоянного напряжения 180 В. Подключенные измерители позволяют фиксировать электрические режимы и наблюдать осциллограммы напряжения и тока лампы.

Модель, приведенная на рис. 4.28, показывает широкие возможности моделирования схем ПРА в среде MATLAB-SIMULINK. Такие модели обеспечивают хорошую точность расчетов. Погрешности при анализе «простых» схем не превышают $2 \pm 3\%$, и даже «сложные» схемы обеспечивают хорошее соответствие с опытными данными.

Конструктивный расчет дросселей ПРА

Конструктивный расчет ПРА практически сводится к расчету дросселя, так как остальные элементы (конденсаторы, резисторы, стартеры) являются покупными. Трансформаторы в современных ПРА, работающих на промышленной частоте, применяются редко.

Конструктивный расчет дросселя основан на методике, изложенной в [4.4]. Серия программ DROSL M позволяет автоматизировать все ручные операции, и расчет одного варианта дросселя занимает несколько минут. На рис. 4.29 приведен эскиз современного Ш-образного магнитопровода дросселя ПРА, на котором указаны все его размеры.

В качестве исходных данных для расчета используются три безразмерных коэффициента, которые могут выбираться весьма произвольно:

- $m = \Delta / a$,
- $n = \Delta a / \{ 2t(h - \Delta) \}$,
- $\epsilon = b / \Delta$.

Далее в соответствии с этими коэффициентами, технологическими коэффициентами (заполнения, теп-

должны приводиться к параметрам эквивалентного дросселя.

Специализированная программа автоматизированного проектирования ЭПРА ВЧ

Для упрощения процедуры создания наиболее распространенного в настоящее время ЭПРА ВЧ фирма *International Rectifier* разработала программу автоматизированного проектирования, получившую название *Ballast Design* [4.24].

Программа автоматизирует процесс проектирования ЭПРА на базе новейших 600-вольтовых контроллеров IR2167, IR2166, IR2159, IR2157, IR2156, обладающих высокой степенью интеграции функций управления режимами работы и защиты. Программа поддерживает проектирование регулируемых ЭПРА, аппаратов с постоянной мощностью на лампе, аппаратов для линейных и компактных ЛЛ как однопочных, так и групповых с параллельным и последовательным соединением ламп. Последний вариант программы поддерживает 39 типов ЛЛ и 7 конфигураций ЭПРА и, кроме того, позволяет дополнять библиотеку новыми типами ламп. Пользователю доступен выбор из более чем 20-ти параметров, включая частоту, напряжение, ток и параметры компонентов.

4.1.3. Пускорегулирующие аппараты для галогенных ламп накаливания низкого напряжения

Одной из разновидностей ПРА, используемых в светотехнике, являются понижающие трансформаторы для питания ГЛН НН, рассчитанных на напряжения 6, 12 и 24 В. Роль таких трансформаторов — согласование рабочего напряжения лампы с напряжением сети. Используются 2 вида таких трансформаторов — электромагнитные и электронные, представляющие собой полупроводниковые преобразователи напряжения.

Электромагнитные трансформаторы просты, дешевы, но имеют значительные массу и габариты и могут обеспечить регулирование и стабилизацию тока лампы только путем установки на их входе регулятора сетевого напряжения.

Электронные трансформаторы (ЭТ) сложнее, дороже, но имеют существенно лучшие массо-габаритные показатели и более высокий КПД. Кроме того, ЭТ обеспечивают ограничение пускового и стабилизацию рабочего тока лампы, что положительно сказывается на сроке службы ламп. Структурная схема ЭТ представляет собой упрощенный вариант структурной схемы ЭПРА для ЛЛ (рис. 4.15), в которой отсутствуют корректор коэффициента мощности и выходной каскад.

Большинство ЭТ снабжено элементами защиты от перегрузок по току, к.з. и перегревов. При к.з. на выходе ЭТ в течение нескольких миллисекунд отключается. После устранения к.з. ЭТ, как правило, автоматически возвращается в рабочее состояние. Электронный элемент защиты автоматически снижает выходную мощность при перегрузке. Так же автоматически происходит снижение выходной мощности ЭТ и при превышении допустимой температуры корпуса или окружающего воздуха.

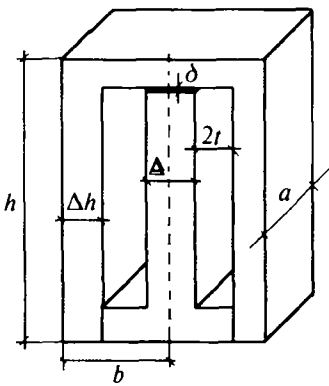


Рис. 4.29. Конструкция Ш-образного магнитопровода

лоотдачи, удельных потерь в обмотке и стали магнитопровода и др.) и ограничениями по температуре перегрева в рабочем и аварийном режимах, допустимым потерям и допустимой нелинейности вольт-амперной характеристики дросселя программа определяет область допустимых значений максимальной индукции и плотности тока (рис. 4.30).

Плотность тока j , А/мм²

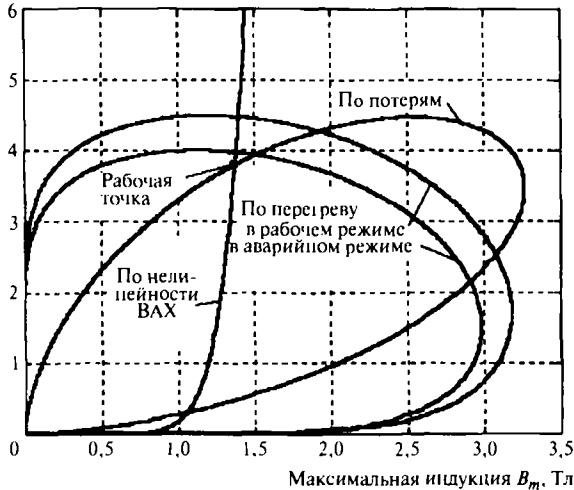


Рис. 4.30. Выбор B_m и j с учетом всех ограничений

В рабочей точке значения индукции B_m и плотности тока j являются максимально возможными, при которых выполняются все ограничения. Из рисунка видно, что критическими ограничениями являются ограничения по потерям и нелинейности ВАХ. Ограничения по перегреву в рабочем и аварийном режимах выполняются с некоторым запасом.

Значения индукции B_m и плотности тока j вводятся в программу, которая рассчитывает все параметры дросселя. Программа DROSL_M позволяет рассчитывать дроссели на Ш-образном, П-образном и разомкнутом магнитопроводе при различном расположении катушек. При расчете дросселя на заданном формате пластин магнитопровода варьируется коэффициент m . Программа DROSL_M позволяет производить и расчеты трансформаторов. при этом их параметры

4.1.4. Пускорегулирующие аппараты для электролюминесцентных панелей

В связи с тем, что оптимальное соотношение яркости и срока службы ЭЛП достигается в диапазоне частот 200–1000 Гц, подключение их к источнику питания осуществляется с помощью ЭПРА [4.25]. Структурная схема ЭПРА для ЭЛП имеет такой же вид, как схема для ЛЛ (рис. 4.15), по конкретному исполнению блоков, в частности, высокочастотного и выходного имеет свою специфику, обусловленную особенностью нагрузки. ЭЛП как элемент электрической цепи имеет емкостный характер и может быть представлена эквивалентной схемой в виде последовательно или параллельно соединенных конденсатора и резистора. Наиболее просто питание такой нагрузки осуществлять от инвертора через дополнительный дроссель. При этом схема управления должна обеспечивать автоматическое поддержание частоты инвертора равной резонансной частоте нагрузочного последовательного контура, образованного дросселем и конденсатором ЭЛП (рис. 4.31). Достоинство такой схемы — практическое отсутствие динамических потерь в транзисторах инвертора, по-

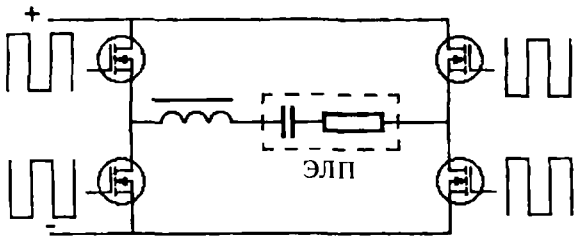


Рис. 4.31. Подключение ЭЛП к выходу инвертора через дроссель

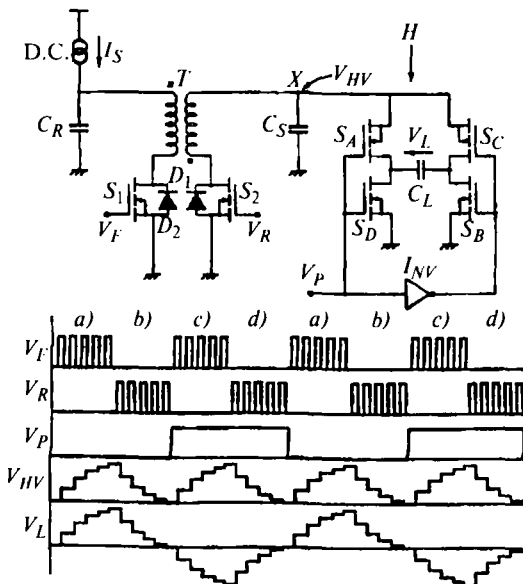


Рис. 4.32. Схема с непосредственным подключением ЭЛП к выходу инвертора

скольку переключаются они при нулевом токе, а недостатки — наличие дополнительного дросселя, габариты и масса которого на частотах 200–1000 Гц могут быть соизмеримы с габаритами и массой остальной части схемы. Более сложным, но обеспечивающим большую компактность и меньшую массу аппарата, является вариант схемы с непосредственным подключением ЭЛП к выходу инвертора (рис. 4.32). Необходимая форма тока нагрузки обеспечивается здесь управлением транзисторов импульсами с высокой частотой повторения.

4.1.5. Пускорегулирующие аппараты для светодиодающих диодов

4.1.5.1. Введение

Вольт-амперные характеристики СД такие же, как у обычных выпрямительных диодов, но прямое напряжение на них от 1 В до 4,2 В. Воздействие обратного напряжения на СД нежелательно. В связи с низким прямым напряжением и малой единичной мощностью используется, как правило, групповое включение СД [4.14]. При этом возможны 2 варианта: последовательное включение (рис. 4.33, а) и последовательно-параллельное (рис. 4.33, б).

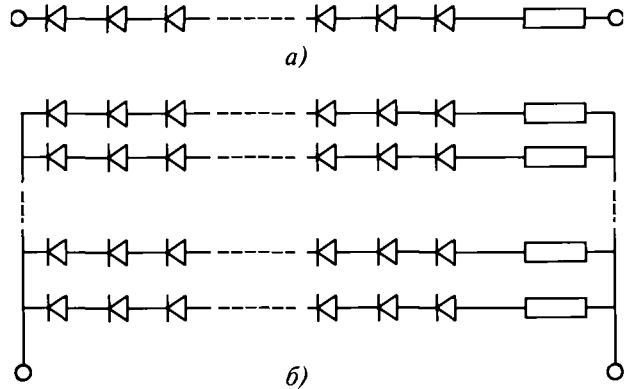


Рис. 4.33. Варианты группового включения СД: а — последовательное; б — последовательно-параллельное

Во втором случае с целью снижения неравномерности распределения токов между параллельными цепями, которая может иметь место из-за температурной нестабильности ВАХ СД и их технологического разброса, в каждую последовательную цепь включается резистор R . Обычно для этой цели достаточно, чтобы падение напряжения на резисторе составляло приблизительно 10% от напряжения на всей цепи. В дальнейшем на рисунках группа СД для упрощения будет обозначаться одним диодом.

Из анализа ВАХ СД следует: 1) питание СД должно осуществляться током одной полярности; 2) для подключения СД к источнику питания необходим ПРА. Его функциями являются: а) получение выпрямленного напряжения заданной величины от сети переменного

го тока; б) стабилизация тока через СД при изменениях температуры и колебаниях напряжения источника питания; в) при необходимости, регулирование тока СД.

4.1.5.2. Схемы пускорегулирующих аппаратов при питании от источников постоянного тока

В простейшем случае для подключения СД к источнику постоянного тока используется токоограничивающий резистор (рис. 4.34). Недостатком этой схемы являются большие потери мощности в резисторе. Кроме того, в зависимости от числа включенных СД необходимо изменять сопротивление R , чтобы обеспечить требуемое значение тока нагрузки. При этом колебания сетевого напряжения вызывают соответствующие колебания тока через СД. В связи с этим простейшая схема применяется только в случаях, когда энергетические показатели светового прибора не имеют существенного значения (например, светосигнальные приборы с небольшим количеством СД).

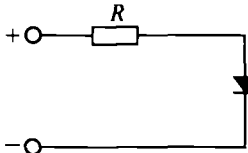


Рис. 4.34. Простейшая схема включения СД в сеть постоянного тока

В случаях, когда требуется высокий КПД, используется **электронный узел стабилизации тока** (рис. 4.35), в качестве которого могут быть использованы импульсные регуляторы.



Рис. 4.35. Схема включения СД в сеть постоянного тока через электронный стабилизатор

Помимо высокого КПД, схемы с электронным узлом стабилизации обеспечивают возможность регулирования светового потока СД.

4.1.5.3. Схемы пускорегулирующих аппаратов при питании от источников переменного тока

Схемы ПРА при питании от источника переменного тока могут быть построены на базе схем, представленных на рис. 4.34 и 4.35, путем включения на их входе сетевого выпрямителя. При этом сохраняются сделанные выше выводы о достоинствах и недостатках этих схем.

Помимо перечисленных выше специальных схем, для питания СД могут быть применены уже существующие источники стабилизированного переменного тока, предназначенные, например, для питания рекламных неоновых трубок [4.14]. Они представляют собой трансформаторы с рассеиванием и являются источниками стабилизированного переменного тока около 30 мА. При подключении СД к этому источнику по схеме рис. 4.36 каждая цепочка светодиодов питается пульсирующим током одного направления с действующим значением примерно 20 мА.

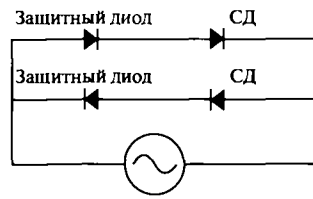


Рис. 4.36. Схема питания двух цепей СД от стабилизированного источника переменного тока

Так как трансформатор имеет напряжение холостого хода от 1000 до 8000 В, то существует возможность подключения к нему от нескольких сотен до нескольких тысяч СД.

4.1.6. Особенности конструкции пускорегулирующих аппаратов

4.1.6.1. Особенности конструкции ЭМПРА

Основным элементом ЭМПРА является балластный дроссель, трансформатор или автотрансформатор с рассеиванием [4.4]. Магнитная система всех этих элементов состоит из магнитопровода и катушек. При этом магнитопровод должен иметь воздушный зазор для обеспечения рабочего тока определенного значения и требуемой кратности пускового тока.

В зависимости от назначения, к ПРА предъявляется комплекс требований, в том числе по массо-габаритным показателям, уровню шума и т.п., которые существенно ограничивают выбор типа конструкции. Например, ПРА для ЛЛ обычно должны иметь минимальное поперечное сечение, в то время как к ПРА для ламп ВД такое требование не предъявляется. ПРА, рассчитанные на массовый выпуск, должны обеспечивать возможность использования высокой степени механизации и автоматизации производства.

Предъявляемым к ПРА требованиям в наибольшей степени удовлетворяет традиционная Ш-образная система (рис. 4.37). Эта система имеет высокую теплопроводность, жесткую конструкцию, улучшающую акустические характеристики ПРА, и является оптимальной с точки зрения автоматизации производства.

Форма пластин может быть самой разнообразной (см. рис. 4.38) и определяется, в основном, технологическими особенностями предприятий-изготовителей

Задачу создания ПРА с малым поперечным сечением оказалось возможным решить с помощью той же Ш-образной магнитной системы, но с удлиненной ка-

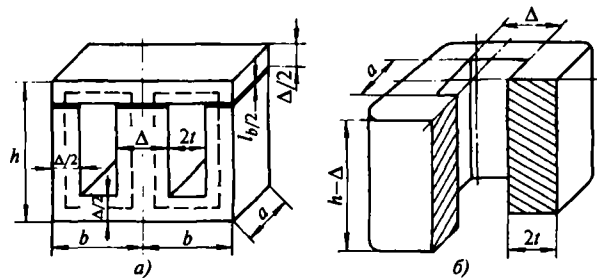


Рис. 4.37. Ш-образный магнитопровод (а) и катушка дросселя (б)

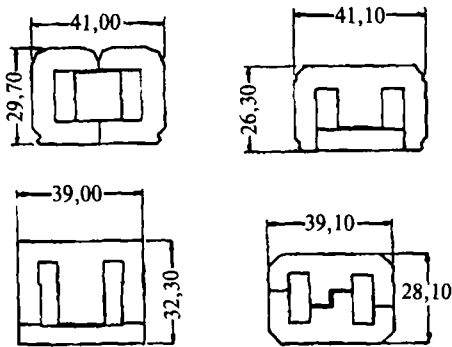
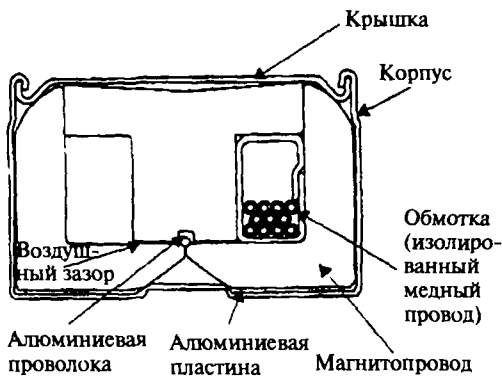


Рис. 4.38. Разновидности Ш-образных магнитопроводов

тушкой. Эта система имеет катушку с отношением длины к ширине примерно 5:1, и поперечное сечение магнитопровода в 4–5 раз больше, чем у обычной магнитной системы.

Типичные конструкции Ш-образных ПРА с удлиненной катушкой представлены на рис. 4.39 и рис. 4.40.

Помимо перечисленных выше преимуществ, ПРА на Ш-образном магнитопроводе допускают высокую степень унификации по поперечному сечению. Так,

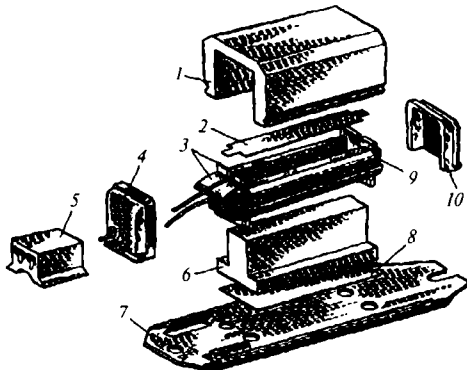


Рис. 4.39. Сборочные элементы ПРА на Ш-образном магнитопроводе: 1 — П-образные пластины магнитопровода; 2 — изоляционная прокладка для настройки воздушного зазора; 3 — каркасы; 4 — монтажная крышка; 5 — клеммная колодка; 6 — Т-образные пластины магнитопровода; 7 — основание; 8 — прокладка; 9 — обмотка; 10 — крышка

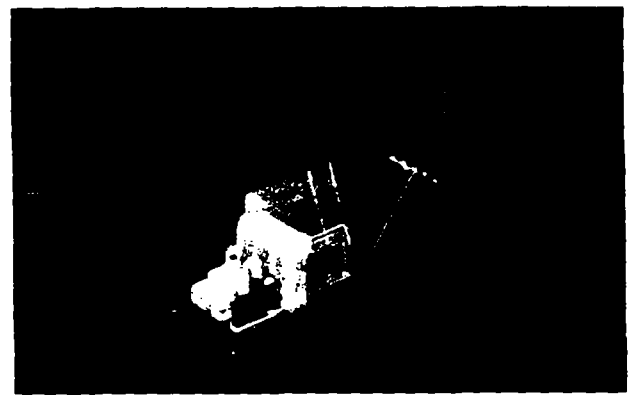


Рис. 4.40. Вариант конструкции ЭмПРА на Ш-образном магнитопроводе

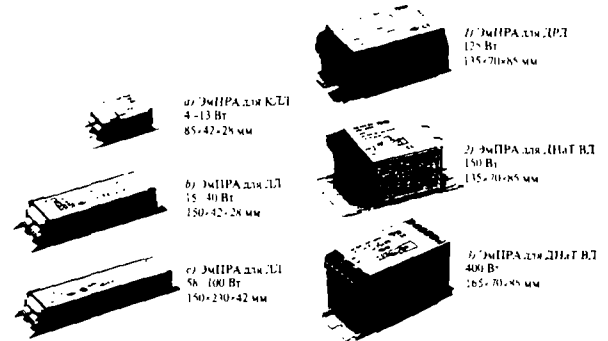


Рис. 4.41. ЭмПРА, выпускаемые фирмой Helvar для ЛЛ 4–100 Вт и РЛВД 125–400 Вт

например, фирма Helvar выпускает всю гамму ПРА для ЛЛ и РЛВД всего на двух типоразмерах пластин, в результате чего ПРА для ЛЛ 4–100 Вт имеют одинаковое поперечное сечение 42×28 мм, а ПРА для РЛВД 125–400 Вт — 70×85 мм (см. рис. 4.41), и отличаются только длиной.

4.1.6.2. Особенности конструкции ЭПРА

ЭПРА содержит печатную плату с расположенными на ней электрорадиоэлементами и корпус (металлический или пластмассовый). В зависимости от сложности схемы печатная плата может быть односторонней или двухсторонней. Для подключения к схеме светильника аппарат снабжен клеммной колодкой.

Форма ЭПРА может быть различной.

ЭПРА для линейных ЛЛ имеют минимальное поперечное сечение и относительно большую длину. Типичный вид печатной платы с расположенными на ней элементами и общий вид аппарата с такой платой представлены, соответственно, на рис. 4.42 и рис. 4.43.

ЭПРА для КЛЛ, не предназначенные для встраивания в адаптер лампы, имеют форму, приближающуюся к прямоугольной (рис. 4.44).

ЭПРА, встраиваемые в адаптер КЛЛ, монтируются на круглых или квадратных печатных платах (рис. 4.45).

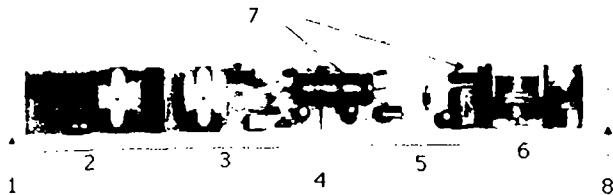


Рис. 4.42. Типичный вид печатной платы для линейных ЛЛ: 1 — клеммы для подключения сети; 2 — фильтр радиопомех; 3 — активный корректор коэффициента мощности на базе повышающего импульсного регулятора; 4 — сглаживающий энергозасажающий конденсатор; 5 — полумостовой инвертор; 6 — балластный ВЧ-дроссель; 7 — транзисторы корректора и инвертора; 8 — клеммы для подключения лампы

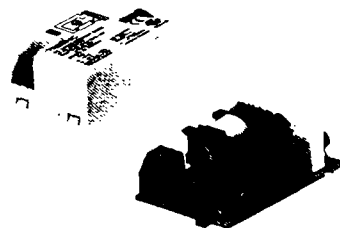


Рис. 4.44. Типичная конструкция выносного ЭПРА для КЛЛ

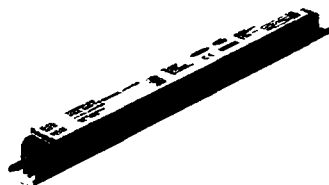


Рис. 4.43. Типичная конструкция ЭПРА для линейной ЛЛ

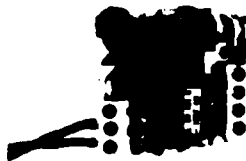


Рис. 4.45. Типичный вид печатной платы ЭПРА, встраиваемого в адаптер КЛЛ

4.1.6.3. Акустический шум ПРА

Основной причиной акустического шума ПРА являются электромеханические напряжения, возникающие между обмотками и магнитопроводом при смене полярности тока. Результатом этого является вибрация аппарата, передающаяся через узлы крепления на светильник. Поэтому шум излучается не только аппаратом, но и светильником. В связи с этим основные меры борьбы с акустическим шумом следующие.

1. Уменьшение полей рассеяния и повышение жесткости конструкции ПРА с целью снижения уровня его вибрации.

2. Установка аппарата в светильнике через амортизирующие прокладки, гасящие вибрацию, передаваемую от ПРА к светильнику.

3. Переход на повышенные частоты питания (>20 кГц), не слышимые человеческим ухом. Последнее успешно реализуется в ЭПРА.

4.1.7. Государственные и международные стандарты, устанавливающие требования к ПРА

Общие требования, требования безопасности и рабочие характеристики ПРА устанавливаются следующими стандартами:

ГОСТ 8799-90	Стартеры для трубчатых люминесцентных ламп. Технические требования
ГОСТ 16809-88	Аппараты пускорегулирующие для разрядных ламп. Общие технические требования
ГОСТ Р МЭК 920-97	Аппараты пускорегулирующие для трубчатых люминесцентных ламп. Общие требования и требования безопасности
ГОСТ Р МЭК 921-97	Аппараты пускорегулирующие для трубчатых люминесцентных ламп. Требования к рабочим характеристикам
ГОСТ Р МЭК 60922-98	Устройства для ламп. Аппараты пускорегулирующие для разрядных ламп (кроме трубчатых люминесцентных ламп). Общие требования и требования безопасности
ГОСТ Р МЭК 923-98	Устройства для ламп. Аппараты пускорегулирующие для разрядных ламп (кроме трубчатых люминесцентных ламп). Требования к рабочим характеристикам
ГОСТ Р МЭК 924-98	Аппараты пускорегулирующие электронные, питаемые от источников постоянного тока, для трубчатых люминесцентных ламп. Общие требования и требования безопасности
ГОСТ Р МЭК 925-98	Аппараты пускорегулирующие электронные, питаемые от источников постоянного тока, для трубчатых люминесцентных ламп. Требования к рабочим характеристикам
ГОСТ Р МЭК 926-98 Изм. № 1 (2003)	Устройства вспомогательные для ламп. Зажигающие устройства (кроме стартеров тлеющего разряда). Общие требования и требования безопасности
ГОСТ Р МЭК 927-98	Устройства вспомогательные для ламп. Зажигающие устройства (кроме стартеров тлеющего разряда). Требования к рабочим характеристикам

ГОСТ Р МЭК 928-98 Изм. № 1 (2003)	Устройства для ламп. Аппараты пускорегулирующие электронные, питаемые от источников переменного тока, для трубчатых люминесцентных ламп. Общие требования и требования безопасности
ГОСТ Р МЭК 929-98	Устройства для ламп. Аппараты пускорегулирующие электронные, питаемые от источников переменного тока, для трубчатых люминесцентных ламп. Требования к рабочим характеристикам
ГОСТ Р МЭК 1046-98	Устройства вспомогательные для ламп. Преобразователи электронные понижающие, питаемые от источников постоянного или переменного тока, для ламп накаливания. Общие требования и требования безопасности
ГОСТ Р МЭК 1047-98	Устройства вспомогательные для ламп. Преобразователи электронные понижающие, питаемые от источников постоянного или переменного тока, для ламп накаливания. Требования к рабочим характеристикам
ГОСТ Р МЭК 1048-94	Конденсаторы для цепей трубчатых люминесцентных ламп и других разрядных ламп. Общие требования и требования безопасности
ГОСТ Р МЭК 61050-99	Трансформаторы для трубчатых разрядных ламп с напряжением холостого хода, превышающим 1000 В (прежнее название – Неоновые трансформаторы). Общие требования и требования безопасности
ГОСТ Р МЭК 60155-99	Стартеры тлеющего разряда для люминесцентных ламп

Следует отметить, что ГОСТ 16809 и ГОСТ 8799 с 1991 года приняты в качестве межгосударственных стандартов стран СНГ, а стандарты вида ГОСТ Р МЭК ... приняты в качестве национальных государственных стандартов России. Последние аутентичны по содержанию соответствующим стандартам МЭК и разработаны по схеме, принятой в подкомитете (ПК) 34 С МЭК «Устройства вспомогательные для ламп» технического комитета (ТК) 34 МЭК «Светотехнические изделия» и действующей до 2000 г.

В настоящее время в ПК 34 С МЭК принята схема, которая предусматривает наличие общего стандарта МЭК 61347-1, устанавливающего общие требования и требования безопасности ко всем устройствам управления лампами, а также комплекса частных стандартов,

устанавливающих специальные частные требования для конкретных групп устройств.

Принятая схема отменила ряд стандартов: МЭК 60920, МЭК 60922, МЭК 60924, МЭК 60926, МЭК 60928, МЭК 61048, устанавливающих общие требования и требования безопасности конкретных групп устройств управления лампами, заменив их частными стандартами, действующими совместно с МЭК 61347-1, оставив при этом действовать стандарты, устанавливающие требования к рабочим характеристикам: МЭК 60921, МЭК 60923, МЭК 60925, МЭК 60927, МЭК 60929, МЭК 61047.

В итоге новая схема стандартов МЭК на устройства управления лампами построена следующим образом:

МЭК 61347-1 (2000-10)	Устройства для ламп. Часть 1. Общие требования и требования безопасности
МЭК 61347-2-1 (2000-10)	Устройства для ламп. Часть 2-1. Частные требования для зажигающих устройств (кроме стартеров тлеющего разряда)
МЭК 61347-2-2 (2000-10)	Устройства для ламп. Часть 2-2. Частные требования для преобразователей электронных понижающих, питаемых от источников постоянного или переменного тока, для ламп накаливания
МЭК 61347-2-3 (2000-10)	Устройства для ламп. Часть 2-3. Частные требования к аппаратам пускорегулирующим электронным, питаемым от источников переменного тока, для трубчатых люминесцентных ламп
МЭК 61347-2-4 (2000-10)	Устройства для ламп. Часть 2-4. Частные требования к электронным аппаратам, питаемым от источников постоянного тока, для общего освещения
МЭК 61347-2-5 (2000-10)	Устройства для ламп. Часть 2-2. Частные требования к электронным аппаратам, питаемым от источников постоянного тока, для освещения общественного транспорта
МЭК 61347-2-6 (2000-10)	Устройства для ламп. Часть 2-6. Частные требования к электронным аппаратам, питаемым от источников постоянного тока, для освещения самолетов
МЭК 61347-2-7 (2000-10)	Устройства для ламп. Часть 2-7. Частные требования к аппаратам электронным, питаемым от источников постоянного тока, для аварийного освещения
МЭК 61347-2-8 (2000-10)	Устройства для ламп. Часть 2-8. Частные требования к пускорегулирующим аппаратам для люминесцентных ламп

МЭК 61347-2-9 (2000-10)	Устройства для ламп. Часть 2-9. Частные требования к пускорегулирующим аппаратам для разрядных ламп (кроме трубчатых люминесцентных ламп)
МЭК 61347-2-10 (2000-10)	Устройства для ламп. Часть 2-10. Частные требования к электронным трансформаторам и преобразователям для трубчатых разрядных ламп, работающих на высокой частоте (неоновые трубки)
МЭК 61347-2-11 (2001-04)	Устройства для ламп. Часть 2-11. Частные требования для разнообразных электронных сетей, применяемых в светильниках
МЭК 60921	Аппараты пускорегулирующие для трубчатых люминесцентных ламп. Требования к рабочим характеристикам
МЭК 60923	Устройства для ламп. Аппараты пускорегулирующие для разрядных ламп (кроме трубчатых люминесцентных ламп). Требования к рабочим характеристикам
МЭК 60925	Аппараты пускорегулирующие электронные, питаемые от источников постоянного тока, для трубчатых люминесцентных ламп. Требования к рабочим характеристикам
МЭК 60927	Устройства вспомогательные для ламп. Зажигающие устройства (кроме стартеров тлеющего разряда). Требования к рабочим характеристикам
МЭК 60929	Устройства для ламп. Аппараты пускорегулирующие электронные, питаемые от источников переменного тока, для трубчатых люминесцентных ламп. Требования к рабочим характеристикам
МЭК 61047	Устройства вспомогательные для ламп. Преобразователи электронные понижающие, питаемые от источников постоянного или переменного тока, для ламп накаливания. Требования к рабочим характеристикам

4.1.8. Требования безопасности, особенности эксплуатации и срок службы ПРА

С целью обеспечения безопасности и срока службы ПРА к ним предъявляются следующие требования: к заземлению, к защите от случайного прикосновения, к сопротивлению и электрической прочности изоляции, к нагреву, теплостойкости и огнестойкости. Перечисленные требования не отличаются принципиально от аналогичных требований, предъявляемых к другим изделиям электротехники и электроники. Однако некоторая специфика, определяемая особенностями эксплуатации и ламповой нагрузкой, есть, и в первую очередь это относится к тепловым характеристикам.

Тепловые характеристики ЭмПРА

Надежность ЭмПРА зависит, в основном, от нагревостойкости изоляции обмоточного провода, т.е. от класса изоляции, и от реального нагрева аппарата в процессе эксплуатации. Для каждого класса изоляции установлена максимальная нормируемая рабочая температура t_w (температурная маркировка), при которой ожидается, что дроссель в светильнике будет иметь срок службы не менее 10 лет. Отступление от значения t_w , например, на 10°C в большую (или меньшую) сторону приводит к снижению (или увеличению) срока службы аппарата в 2 раза.

Реальная температура обмотки при эксплуатации определяется температурой окружающей среды t_a (температура в светильнике) и превышением температуры обмотки Δt (определяется собственным нагревом аппарата, зависящим от потерь мощности, конструкции и габаритов) над температурой окружающей среды. Таким образом, для того чтобы гарантировать заданный

срок службы ПРА, в процессе его эксплуатации должны обеспечиваться 2 условия:

в рабочем режиме:

$$t_{\text{раб}} = t_a + \Delta t_{\text{раб}} \leq t_w,$$

где $t_{\text{раб}}$ — температура обмотки дросселя в рабочем режиме; $\Delta t_{\text{раб}}$ — превышение температуры обмотки над температурой окружающей среды;

в аномальном режиме:

$$t_{\text{ан}} = t_a + \Delta t_{\text{ан}} \leq t_{w\text{ан}}.$$

где $t_{\text{ан}}$ — температура обмотки дросселя в аномальном режиме; $\Delta t_{\text{ан}}$ — превышение температуры обмотки над температурой окружающей среды; $t_{w\text{ан}}$ — предельная температура обмотки в аномальном режиме (определяется классом изоляции).

С целью обеспечения правильной эксплуатации ПРА изготовители указывают в маркировке значения t_w , $\Delta t_{\text{раб}}$ и $\Delta t_{\text{ан}}$. Превышение температуры в аномальном режиме не указывается, если ПРА предназначен для схем, не создающих аномальные режимы.

Превышение температуры обмотки (Δt) над температурой окружающей среды определяют методом «изменения сопротивления» и вычисляют по формуле:

$$\Delta t = t_r - t_{ar} = \frac{R_r - R_x}{R_x} (235 + t_{ax}) + t_{ax} - t_{ar},$$

где t_r — температура обмотки в нагретом состоянии, °C; t_{ar} — температура окружающей среды при измерении сопротивления обмотки в нагретом состоянии, °C; R_r — сопротивление обмотки в нагретом состоянии, Ом; R_x — сопротивление обмотки в холодном состоянии, Ом; t_{ax} — температура окружающей среды при измерении сопротивления обмотки в холодном состоянии, °C.

Срок службы ЭмПРА подтверждается ускоренными тепловыми испытаниями аппаратов. Рекомендуемая продолжительность испытаний 30, 60, 90, 120 суток. Температура испытаний зависит от значения $t_{\text{н}}$ и от выбранной продолжительности испытаний. При наличии в составе ПРА конденсаторов недопустимо превышать верхний предел их разрешенного температурного диапазона. Повышение температуры конденсаторов всего на 5°C сокращает срок их службы в 2 раза.

Срок службы ЭПРА определяется надежностью входящих в его состав электрорадиоэлементов (транзисторы, диоды, конденсаторы, микросхемы, трансформаторы, дроссели), а также качеством конструкции (печатная плата, корпус, клеммные колодки) и технологии. Надежность электрорадиоэлементов обеспечивается путем задания их режимов, не превышающих предельно допустимые как по электрическим, так и по тепловым параметрам. Производственные дефекты выявляются в ходе технологических отбраковочных испытаний, порядок и режимы проведения которых являются обычно ноу-хау изготовителей. Проверке эффективности этих испытаний и качества конструкции ЭПРА способствует проведение ресурсных испытаний, порядок и режимы которых указаны в ГОСТ Р МЭК 925-98 и ГОСТ Р МЭК 929-98.

Однако эксплуатационная надежность ЭПРА может существенно ухудшаться из-за возможных возмущений в питающих цепях (отклонения от номинального значения, искажения формы, импульсные перенапряжения и т.п.) и вследствие влияния некоторых особенностей РЛ, приводящих к возникновению так называемых аномальных режимов (отсутствие лампы в светильнике, обрыв одного из электродов лампы, незажигание лампы вследствие дезактивации электродов или нарушения газового состава в разрядной трубке, выпрямляющий эффект вследствие дезактивации одного из электродов). Защита ЭПРА от воздействия аномальных режимов осуществляется путем автоматического отключения инвертора специальными цепями при выходе за установленные разработчиками нормы токовых перегрузок по их величине и длительности. В случае отсутствия эффективных цепей защиты необходимо вводить в конструкцию ЭПРА элементы, способные выдерживать воздействия, создаваемые в аномальных режимах. Очевидно, что любые возможные возмущения в сети питания ЭПРА не должны приводить к их повреждению.

4.2. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ

4.2.1. Введение

Системы управления освещением (СУО) решают одновременно следующие важнейшие задачи: экономия электроэнергии, улучшение комфортности освещения, повышение безопасности дорожного движения (для установок наружного освещения), увеличение срока службы ИС (благодаря меньшему времени их использования и исключению токовых перегрузок). Дополнительно эти системы могут взять на себя функции мо-

нитинга, диагностики ОУ и устранения неисправностей за счет резервных ОП.

4.2.2. Основные функции автоматизированных систем управления освещением

1. Контроль состояния ОУ, а именно: контроль количественных и качественных характеристик искусственного освещения; контроль уровня естественного освещения; контроль состояния органов ручного управления ОУ; контроль исправности светильников и режима их работы; контроль напряжения, тока, энергопотребления, а также характеристик качества электроэнергии. Для ОУ внутреннего освещения к перечисленным функциям добавляется контроль наличия людей в помещении.

2. Управление освещением.

Для внутренних ОУ управление освещением предполагает:

- ручное регулирование освещенности на рабочих местах. Для этого ОУ снабжаются переносными дистанционными пультами управления с инфракрасными излучателями (по типу телевизионных) или потенциометрами, устанавливаемыми рядом с выключателями;
- автоматический учет присутствия людей в освещаемом помещении. При оборудовании СУО датчиком присутствия освещение автоматически включается или выключается в зависимости от наличия людей в данном помещении;
- автоматическое обеспечение постоянной освещенности на рабочих местах с учетом интенсивности естественного света. Достигается это введением в СУО фотозадающих, контролирующих освещенность на рабочем месте;
- заданный программой учет времени суток, времени года, дней недели. Для этого СУО должна быть оборудована контроллером с часами реального времени.

Благодаря автоматизации управления освещением в ОУ возможна экономия электроэнергии до 75% по сравнению с нерегулируемым освещением (рис. 4.46).

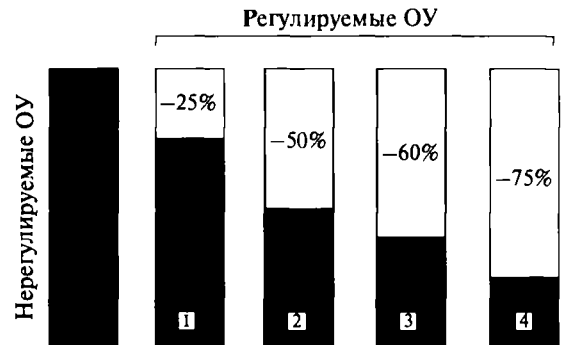


Рис. 4.46. Экономия электроэнергии в осветительной установке при различных вариантах управления: 1 — ручное управление; 2 — ручное управление + датчики присутствия; 3 — автоматическое регулирование светового потока ламп в зависимости от интенсивности естественного света; 4 — комбинация вариантов 2+3+контроллер с часами реального времени

Для наружных ОУ управление освещением предполагает включение и выключение светильников полностью или по группам, дискретное или плавное регулирование их светового потока. Основные факторы, определяющие режим управления, — это уровень естественной освещенности, интенсивность дорожного движения (обычно связывается с временем суток) и обеспечение максимальной зрительной адаптации при проезде через тоннели.

4.2.3. Принципы автоматизированного управления осветительными установками

Принцип одноуровневого управления

Иллюстрация принципа одноуровневого управления дана на рис. 4.47, а [4.26].

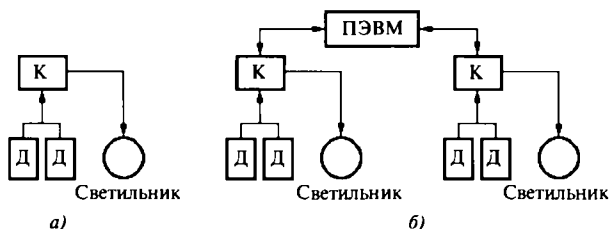


Рис. 4.47. Принципы построения автоматизированного управления освещением: а — одноуровневый, б — двухуровневый

Информационные сигналы (данные об освещенности, присутствии людей, сигналы ручного управления и т.д.) вырабатываются соответствующими датчиками Д. После чего поступают в контроллер К. В соответствии с заложенным в него алгоритмом контроллер вырабатывает управляющий сигнал (команда на регулирование, включение или отключение), поступающий на исполнительные блоки, определяющие режим ИС. Данная СУО является одноуровневой, так как обработка информационного сигнала осуществляется на единственном уровне контроллера К. Ввиду практически полной незащищенности от сбоев в контроллере, при которых происходит нарушение работы всей СУО, одноуровневые СУО целесообразно использовать для одной или нескольких групп близко расположенных светильников, т.е. для реализации локальных СУО.

Принцип двухуровневого управления

Для централизованного управления целесообразно использовать двухуровневые СУО (рис. 4.47, б). При этом система содержит некоторое количество контроллеров первого уровня К, размещенных вблизи управляемых ОУ. Эти устройства в совокупности с датчиками Д образуют первый уровень управления (т.е. фактически являются локальными СУО). Централизованное управление второго уровня осуществляется с центрального поста персональной ЭВМ, взаимодействующей уже не с отдельными датчиками и светильниками, а с контроллерами первого уровня. ЭВМ, в основном, выполняет функции контроля состояния ОУ и задания режимов работы системы, а локальные контроллеры — учет требований индивидуальных пользователей и непосредственное управление освещением. Двухуровневая СУО сохраняет частичную работоспособность при отказе любых ее элементов и предоставляет большие возможности по интеграции управления освещением с другими информационными системами.

4.2.4. Структурная схема системы управления освещением

Структурная схема СУО изображена на рис. 4.48.

В состав системы входят следующие блоки: ПЭВМ центрального поста, контроллеры локальных систем управления освещением (КЛС), датчики и исполнительные устройства.

ПЭВМ центрального поста задает сценарии освещения для локальных систем, собирает и хранит информацию о функционировании локальных систем.

Контроллеры локальных систем управления освещением содержат в оперативной памяти сценарий работы ОУ и обеспечивают его реализацию. Сценарий можно выбирать на пульте управления или на центральном посту. Приоритет в выборе сценария имеет центральный пост.

Датчики

Датчики освещенности предназначены для контроля освещенности на рабочем месте (для ОУ внутреннего освещения) или естественной освещенности (для наружных ОУ). В качестве датчика освещенности может быть использован, в принципе, любой светочувствительный прибор; обычно это фотодиод или фоторезистор.

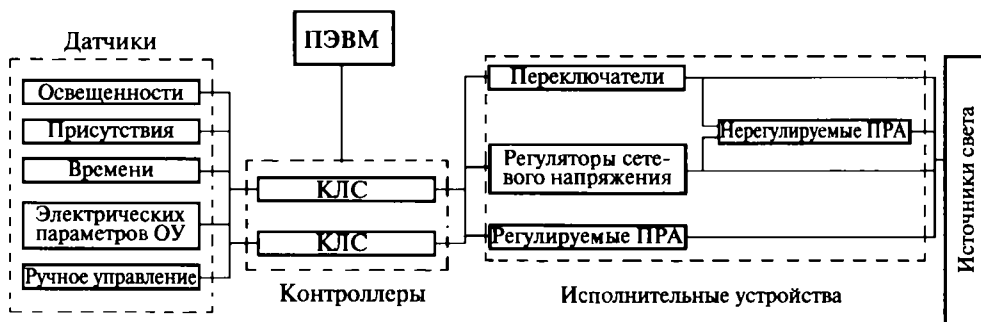


Рис. 4.48. Структурная схема автоматизированной системы управления освещением

Датчики присутствия (используются только в системах управления внутренними ОУ) предназначены для отключения светильников при отсутствии людей в помещении (с заданной временной задержкой). Датчики присутствия могут быть активными и пассивными. Активные датчики содержат узконаправленные излучатели (от световых до ультразвуковых) и соответствующие приемники, расположенные в противоположном конце помещения. Принцип действия датчиков основан на регистрации прерывания луча движущимися объектами. Пассивные датчики содержат приемники инфракрасного излучения, регистрирующие картину теплового поля, создаваемого людьми в помещении. В случае, если эта картина в течение определенного времени не изменяется, датчики посылают сигнал на отключение освещения.

Датчики электрических параметров ОУ снимают информацию о величине напряжения, тока и потребляемой мощности в каждой фазе, об обрывах и замыканиях в питающих сетях и т.п.

Ручное управление осуществляется переносными дистанционными пультами управления с радиочастотными, инфракрасными или ультразвуковыми излучателями, а также выключателями или потенциометрами, устанавливаемыми рядом с выключателями.

Исполнительные устройства

В зависимости от выполняемой функции и вида нагрузки исполнительные устройства можно разделить на 3 группы: переключатели, регуляторы сетевого напряжения и регулируемые ПРА.

Переключатели предназначены для полного или частичного включения или отключения ламповой нагрузки от сети. Переключатели могут быть электромеханическими (реле, контакторы), статическими (на базе тиристоров и транзисторов) и «гибридными».

Регуляторы сетевого напряжения предназначены для плавного или дискретного регулирования светового потока ИС. Они могут быть как индивидуальными, так и групповыми. К ЛЛ регуляторы подключаются непосредственно, а к РЛ через ПРА, как правило электромагнитные. Для подключения РЛВД используются стандартные ПРА. При этом, из-за особенностей регулировочных характеристик РЛВД и с целью сохранения их срока службы рекомендуемый нижний предел регулирования напряжения составляет 50–80% от номинального значения. ЛЛ можно регулировать в гораздо большем диапазоне (до 100%), но для этого должны использоваться специальные ПРА, обеспечивающие необходимый температурный режим электродов и перезажигание разряда каждый полупериод сети во всем диапазоне регулирования. Функциональная схема такого ПРА приведена на рис. 4.49 [4.3].

Она построена на базе бесстартерного ЭмПРА (дроссель Др и накальный трансформатор НТ) и мощного иницирующего генератора ВЧ (его мощность по крайней мере на порядок меньше мощности лампы), подключенного к лампе через разделительный конденсатор С. Бесстартерный ЭмПРА в данной схеме обеспечивает стабилизацию тока лампы и постоянный

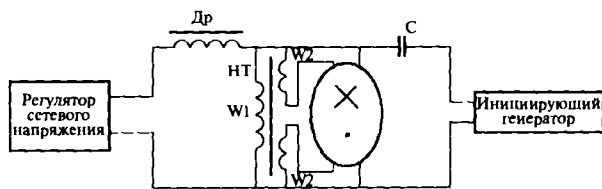


Рис. 4.49. Функциональная схема бесстартерного ПРА с иницирующим генератором

подогрев ее электродов, а иницирующий генератор поддерживает ионизацию плазмы в столбе разряда во время пауз основного тока и тем самым улучшает условия перезажигания разряда. Необходимо отметить, что схема с иницирующим генератором представляет и самостоятельный интерес (безотносительно к регулируемым системам) для разработчиков ПРА, поскольку может использоваться для включения РЛ при пониженном напряжении питания, для улучшения условий зажигания и перезажигания, снижения пульсаций светового потока, использования конденсаторов в качестве токоограничивающих элементов и т.д.

Регуляторы сетевого напряжения могут быть трансформаторными, фазовыми и широтно-импульсными [4.27].

Трансформаторные регуляторы выполнены, как правило, на базе автотрансформаторов с регулируемым коэффициентом трансформации. Изменение последнего может осуществляться либо путем механического перемещения контактного движка, либо путем переключения отводов обмотки. Первый способ, хотя и обеспечивает плавное регулирование напряжения от 0 до $1,1 U_N$ с сохранением синусоидальной формы, в настоящее время не находит широкого применения из-за низкой эксплуатационной надежности. В случаях, когда допускается дискретное регулирование напряжения на нагрузке, находят применение трансформаторы с бесконтактным переключением обмоток с помощью тиристоров. Такие регуляторы имеют высокую эксплуатационную надежность и сохраняют синусоидальность формы напряжения во всем диапазоне регулирования.

В **фазовых и широтно-импульсных регуляторах** управление поступлением энергии из сети в нагрузку осуществляется с помощью полупроводникового ключа (рис. 4.50, а), соединенного последовательно с нагрузкой [4.28]. Напряжение на нагрузке регулируется изменением соотношения времен включенного и выключенного состояний ключа. В фазовых регуляторах ключ, как правило тиристор, отпирается 1 раз за полупериод сетевого напряжения (рис. 4.50, б). Путем изменения фазы отпираания достигается возможность плавного и в широком диапазоне изменять напряжение на нагрузке, однако при этом существенно искажается форма напряжения, что приводит к уменьшению коэффициента мощности, росту процентного содержания высших гармоник в сетевом токе и увеличению пульсаций светового потока ИС. Недостатки фазовых регуляторов можно устранить путем многократной коммутации полупроводникового ключа за полупериод питающего напряжения, т.е. путем его широтно-импульсной

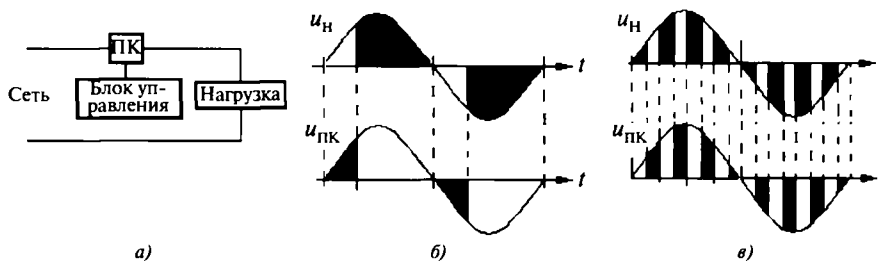


Рис. 4.50. Фазовые и широтно-импульсные регуляторы: *а* — структурная схема регулятора; *б* — напряжение на нагрузке $u_{\text{н}}$ и полупроводниковом ключе $u_{\text{ПК}}$ при фазовом регулировании; *в* — напряжение на нагрузке $u_{\text{н}}$ и полупроводниковом ключе $u_{\text{ПК}}$ при широтно-импульсном регулировании

модуляции (рис. 4.50, *в*). Широтно-импульсные регуляторы обладают высоким быстродействием, повышающим точность стабилизации и регулирования, и позволяют приблизить форму напряжения на нагрузке к синусоидальной, а коэффициент мощности — к 1. В качестве полупроводникового ключа в этих регуляторах должны быть использованы полностью управляемые приборы, такие как запираемые тиристоры или мощные транзисторы.

Регулируемые ПРА. Принцип действия регулируемых ПРА основан на изменении их внутреннего импеданса, поэтому при использовании таких ПРА регуляторы сетевого напряжения не требуются.

Регулируемые ЭмПРА. Известны два вида регулируемых ЭмПРА: аппараты, выполненные на базе магнитного усилителя, и балластные дроссели с отводами. В первом случае аппараты обеспечивают глубокое плавное регулирование ИС, но из-за неудовлетворительных массо-габаритных показателей в настоящее время почти не используются. Несмотря на то, что во втором случае возможно только ступенчатое регулирование путем переключения обмоток, балластные дроссели с отводами находят применение благодаря простоте и экономичности.

Регулируемые ЭПРА [4.7]. Функция преобразователя, лежащего в основе любого ЭПРА, — формирование проходящего через лампу тока. Поэтому все ЭПРА потенциально имеют возможность управления током, а следовательно и световым потоком ламп.

Ток лампы с помощью ЭПРА можно изменять несколькими путями:

- изменением параметров балластного дросселя;
- изменением амплитуды выходного напряжения инвертора (амплитудное регулирование);
- изменением частоты выходного напряжения инвертора (частотное регулирование);
- изменением формы выходного напряжения инвертора (широтно-импульсное регулирование).

Для обеспечения стабильного горения во всем диапазоне регулирования при любом из перечисленных способов необходимо, чтобы термоэмиссия электронов из электродов лампы была достаточной для поддержания разряда с любым заданным значением среднего тока.

Первый способ регулирования — путем изменения параметров балластного дросселя — исторически появился раньше других. В качестве регулируемого дроссе-

ля ВЧ здесь использовались магнитные усилители. Этот способ позволяет изменять световой поток лампы в широких пределах (до 30–50 раз). В настоящее время такой способ регулирования применяется редко из-за относительной сложности и дороговизны магнитных усилителей.

Амплитудный способ регулирования также используется редко и только в случаях, когда не требуется большая глубина регулирования. Дело в том, что для устойчивого горения лампы необходимо, чтобы падение напряжения на балластном дросселе было не менее 20% от суммарного напряжения. Напряжение на ЛЛ при изменении тока почти не изменяется (точнее — слабо растет при уменьшении тока), поэтому выходное напряжение инвертора можно снижать лишь в очень небольших пределах, в результате чего диапазон регулирования светового потока ЛЛ при таком способе обычно не превышает 50%.

Частотный способ регулирования довольно распространен, так как прост в реализации и позволяет изменять световой поток лампы в широких пределах. Однако при его использовании особо следует обращать внимание на защиту от радиомех.

Способ широтно-импульсного регулирования является наиболее перспективным и в настоящее время самым распространенным. Созданы и выпускаются интегральные микросхемы, позволяющие изменять скважность (отношение длительности импульсов к периоду их следования) напряжения инверторов в любых пределах. За счет изменения формы тока достигается стократное регулирование светового потока ЛЛ, а применение этого способа для НЛВД позволяет управлять не только интенсивностью светового потока, но и его цветом [4.13]. Однако массовое внедрение ЭПРА, реализующих этот способ регулирования, должно сопровождаться тщательным исследованием его влияния на характеристики ламп, поскольку есть настораживающие сообщения [4.29] о том, что при коэффициенте заполнения < 0.5 в разряде имеет место катафорез даже при отсутствии постоянной составляющей в токе лампы. Автор сообщения объясняет это нелинейной зависимостью перемещения ионов ртути от амплитуды тока и называет обнаруженное явление «нелинейным электрофорезом».

Регулируемые ЭПРА, так же, как и нерегулируемые, выполняются в соответствии со структурной схемой рис. 4.15. Характерной чертой регулируемых ЭПРА является свойство управляющего блока «понимать» ин-

формацию, поступающую на его вход по внешним каналам связи, а также передавать по этим же каналам информацию о состоянии ИС и самого аппарата.

4.2.5. Управляющие сигналы

Передача информации по каналам связи может осуществляться двумя видами сигналов — аналоговыми и цифровыми.

Аналоговое управление может быть двух видов: управление напряжением постоянного тока и управление широтно модулированными импульсами (ШИМ).

Управление напряжением постоянного тока

Управляющий сигнал — стандартное регулируемое постоянное напряжение 0–10 В. В соответствии с МЭК 60929, регулировочная характеристика исполнительного устройства при воздействии на него управляющего напряжения должна соответствовать рис. 4.51.

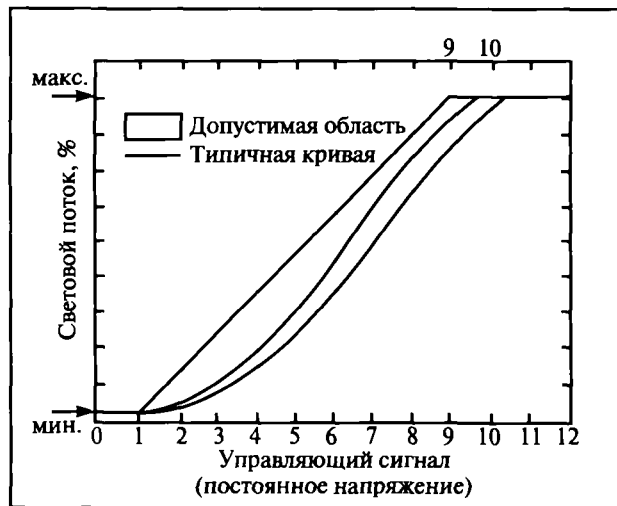


Рис. 4.51. Стандартная регулировочная характеристика ЭПРА с аналоговым управлением

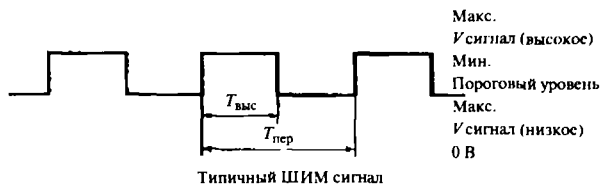
Напряжение ≤ 0 В соответствует полностью выключенной ОУ, а напряжение ≥ 10 В — полностью включенной ОУ. В силу исторических причин преобладающим в настоящее время является аналоговое управление, однако имеется устойчивая тенденция по вытеснению его цифровым.

Управление широтно модулированными импульсами

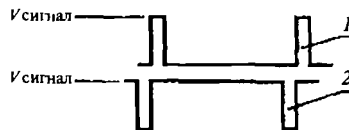
Управляющий сигнал — широтно модулированные импульсы напряжения со следующими параметрами в соответствии с МЭК 60929 (см. рис. 4.52):

- напряжение сигнала изменяется между V сигнала (низкое) и V сигнала (высокое), где V сигнала (низкое) минимальное — 0 В; V сигнала (низкое) максимальное — 1,5 В; V сигнала (высокое) минимальное — 10 В; V сигнала (высокое) максимальное — 25 В; T (длительность периода) — 1 мс (минимальная) и 10 мс (максимальная);

- полный световой поток, излучаемый при ширине сигнала T (максимальная) — от 0 до 5% с погрешностью $\pm 1\%$;



Типичный ШИМ сигнал



1 — максимальный световой поток;
2 — минимальный световой поток

ШИМ сигналы для минимального и максимального светового потока

Рис. 4.52. Параметры широтно модулированных импульсов напряжения

- минимальный световой поток при ширине сигнала T (минимальная) — 95% с погрешностью 1%;
- выключение при ширине сигнала T (минимальная) более 95%;
- регулировочная характеристика ПРА при воздействии на него широтно модулированных импульсов напряжения управления имеет вид (в соответствии с МЭК60929), представленный на рис. 4.53.



Рис. 4.53. Регулировочная характеристика ПРА при ШИМ управлении

Цифровое управление

Управляющий сигнал представляет собой последовательность импульсов напряжения, закодированную в цифровой форме. Цифровое управление более перспективно, поскольку обладает существенно большими функциональными возможностями, а его реализация, благодаря достижениям микроэлектроники, не вызывает сомнения. В качестве блока управления при этом целесообразно использовать микроконтроллеры, в частности недорогие микроконтроллеры с флэш-памятью [4.30]. Привлекательность такого решения состоит в том, что при программировании микроконтроллера можно не только обеспечивать свободу выбора протокола обмена данными с управляющей станцией, но и адаптировать ЭПРА для работы с разными типами ламп, управлять процессом зажигания и выхода на рабочий режим.

Следует отметить совместимость обоих способов, которая достигается использованием согласующих аналого-цифровых и цифроаналоговых преобразователей.

Большое влияние на функциональные возможности всей системы оказывает выбор интерфейса [4.31]. Сегодня нет единого подхода к решению этой задачи. Если система предполагает использование серийно выпускаемых ЭПРА, то выбор во многом определен тем интерфейсом, который уже заложен в ЭПРА. Удачной попыткой решения этой проблемы было создание рядом ведущих европейских производителей в середине 90-х годов нового промышленного стандарта на интерфейсы связи между цифровыми компонентами регулируемых ОУ. Этот стандарт получил название DALI (Digital Addressable Lighting Interface — цифровой адресуемый осветительный интерфейс). С внедрением стандарта DALI возник единый, понятный всем «язык общения» компонентов ОУ вне зависимости от их изготовителя [4.32]. Нормированный цифровой сигнал позволяет проводить адресацию до 64 светильников, причем каждый из них может регулироваться независимо от других; управлять 16-ю группами светильников, программировать или воспроизводить 16 осветительных режимов («сценариев»), осуществлять сообщения об отказах ламп и ЭПРА.

Командный сигнал DALI имеет длину 19 бит и содержит 1 стартовый бит, 8 адресных бит, 8 бит данных и 2 бита остановки. Адресные биты позволяют обратиться к одному конкретному ПРА или группе ПРА, причем каждый аппарат должен содержать микроконтроллер со своим индивидуальным адресом для получения и обработки сигналов DALI. В этом случае он может управляться независимо от других аппаратов. Может использоваться и групповое управление путем присваивания группового адреса.

Адрес имеет 8-и битовый формат вида: УААААААS. Первый бит У определяет тип адреса. «0» определяет индивидуальный адрес, известный как короткий. «1» определяет групповой адрес. В коротком адресе следующие 6 бит АААААА задают адрес светильника с номерами от 0 до 63. Групповой адрес имеет вид 100АААА и задает группы светильников с номерами от 0 до 15. Адрес «11111» резервируется.

Последний бит «S» определяет тип последующей команды данных. «0» означает, что команда данных будет задавать уровень регулирования. «1» означает другие виды команды данных.

Сигнал 0АААААА0XXXXXXX задает уровень регулирования одного светильника. Уровни регулирования имеют 254 ступени. Минимальный уровень составляет примерно 0,1% от максимума. Поскольку глаз человека реагирует на изменения яркости по логарифмическому закону, регулировочная характеристика сигнала DALI выбрана соответствующей именно этому закону (см. рис. 4.54.).

Протокол DALI предполагает дуплексную связь, когда ЭПРА сообщает информацию на запрос блока управления. Например, может быть послан запрос об уровне света от светильника. ЭПРА снимает эту информацию и посылает ее в блок управления, используя следующий формат: 1 стартовый бит, 8 бит данных, 2 бита остановки. Т.е. если прямое сообщение содер-

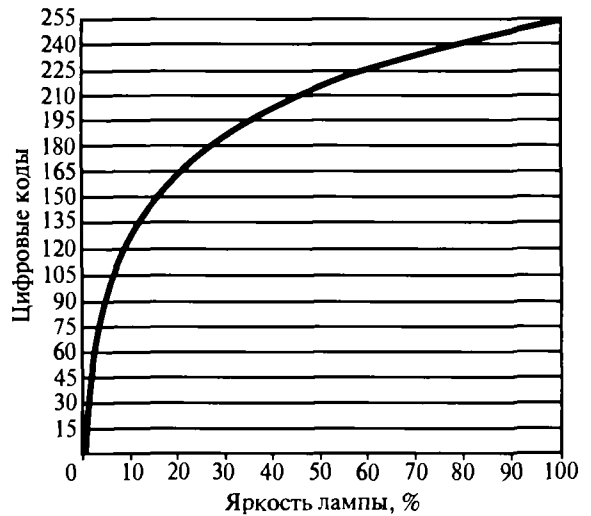


Рис. 4.54. Регулировочная характеристика сигнала DALI

жит 19 бит, то обратное — 11. Скорость передачи информации в обе стороны — 1200 бит/с.

На базе стандарта DALI возможно создание систем регулирования более высокого уровня, предназначенных для крупных ОУ. Так, например, фирма Tridonic разработала систему comfotDIM, работающую с цифровыми ЭПРА для ЛЛ, ГЛН и СД [4.32]. В систему входит модуль DALI DSI, позволяющий практически неограниченно увеличивать количество управляемых светильников. В ассортимент comfotDIM входят несколько миниатюрных модульных блоков (DALI GC, DALI SC, DALI RD, DALI PS), а также winDIM — программное обеспечение, позволяющее управлять светильниками простыми «щелчками мыши». Существует возможность и дистанционного управления с помощью пульта радиоуправления — DALI RD.

С точки зрения функциональных возможностей и цены интерфейс DALI занимает промежуточную область между дешевым, но относительно неэффективным аналоговым интерфейсом 1...10 В, и системами высокого уровня на базе цифровых высокопроизводительных шин (EIB — European Installation Bus, LON — Local Operating Network и др.) с большим количеством разнообразных периферийных устройств (см. рис. 4.55).

Каналы связи обеспечивают обмен информацией между ПЭВМ, контроллерами, датчиками и исполнительными блоками. Обмен информацией может быть реализован с использованием различных каналов связи (по проводным линиям, радиоканалам, по телефонным линиям и т.д.). Наиболее перспективным способом организации обмена информацией является использование электросети в качестве канала связи. При этом отпадает необходимость в прокладывании отдельных линий управления, что особенно важно для наружных ОУ.

4.2.6. Рекомендации по применению систем управления освещением помещений

Для помещений площадью более 50 м² следует применять автоматические устройства регулирования ис-

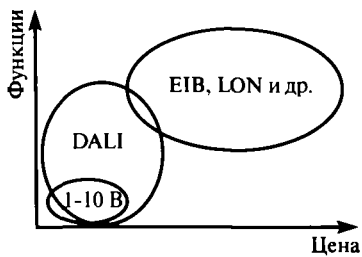


Рис. 4.55. Соотношение между различными интерфейсами в области цена-функции

кусственного освещения в зависимости от естественной освещенности помещения [4.33].

В учебных классах, спортивных и актовых залах, в конструкторских бюро, а также рабочих кабинетах поликлиник и других учреждениях здравоохранения следует предусматривать либо отключение светильников рядами, параллельными световым проемам, либо плавное или ступенчатое регулирование в зависимости от естественного освещения.

Освещение лестниц, холлов, коридоров общественных зданий должно иметь автоматическое или дистанционное управление, обеспечивающее отключение части светильников или ламп в ночное время.

Управление рабочим освещением в торговых залах площадью 300 кв. м и более, в актовых залах, конференц-залах, обеденных залах столовых и ресторанов с числом рабочих мест свыше 100, вестибюлях и холлах гостиниц должно быть централизованно дистанционным.

Для управления освещением лестниц, лифтовых холлов поэтажных коридоров, вестибюлей и других вспомогательных помещений, местного управления рабочим освещением проходов и лестничных клеток в общественных зданиях рекомендуется использовать СУО, в том числе с датчиками присутствия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 4.1. Клыков М.Е., Логунова О.Н., Розенталь Э.С. Классификация и анализ схем импульсных зажигающих устройств. Светотехника. 1980. № 11.
- 4.2. Варфоломеев Л.П. Электронные пускорегулирующие аппараты и системы управления освещением. Новости светотехники. М.: Знак. 2002. Вып. 1 (36).
- 4.3. Георгобиани С.А., Клыков М.Е., Краснополяский А.Е., Шапаруняц А.Г. Методы обеспечения электромагнитной совместимости электронного пускорегулирующего аппарата с питающей сетью. Светотехника. 1993. № 5.
- 4.4. Электротехнический справочник. Т. 3. М.: Энергоатомиздат. 1988.
- 4.5. Троицкий А.М. Графический метод расчета пускового режима резонансных схем быстрого зажигания на повышенной частоте. Светотехника. 1964. № 7.
- 4.6. Особенности работы ЛЛ с предварительным подогревом электродов с электронными балластами. Illum. Eng. Soc. 1994. 23. № 1.
- 4.7. Клыков М.Е., Медвидь В.Р., Тарасенко Н.Г. и др. Пьезоэлектричество в светотехнике. Светотехника. 1986. № 4.

4.8. Рохлин Г.И. Дуговым источникам света 200 лет. М.: ВИГМА. 2001.

4.9. Маркс П. Интересный симбиоз: электронные устройства для светорегулирования. Светотехника. 2003. № 6.

4.10. Moo C.S., Lin T.F., Hsich Y.C. Одноступенчатый стабилизированный ЭПРА с высоким коэффициентом мощности для питания ЛЛ. IEE Proc. Elec. Power Appl. 2001. 148. № 5.

4.11. [Электронный ПРА на одном ключе с высоким коэффициентом мощности]. IEE Proc. Elec. Power Appl. 1998. 145. № 4.

4.12. Краснополяский А.Е., Митин А.И., Соколов В.Б., Сморгонский В.И. Пакет прикладных программ для расчета электромагнитных ПРА для разрядных ламп. Светотехника. 1985. № 11.

4.13. Дьяконов В.П. MATLAB 6. М.: Издательский дом «ПИТЕР». 2001.

4.14. Гулятьев А.А. Визуальное моделирование в среде MATLAB. С.-Пб.: Издательский дом «ПИТЕР». 2000.

4.15. Черных И.В. SIMULINK — среда создания инженерных приложений. М.: «ДИАЛОГ-МИФИ». 2004.

4.16. Клыков М.Е., Краснополяский А.Е., Соколов В.Б. Расчеты электрических цепей с разрядными лампами. Светотехника. 2002. № 2.

4.17. Клыков М.Е., Корягин О.Г., Краснополяский А.Е. Моделирование электрических цепей с натриевыми лампами высокого давления. Светотехника. 2003. № 4.

4.18. Краснополяский А.Е., Соколов В.Б. Библиотека моделей люминесцентных ламп для расчета схем ПРА. Тезисы V Международной светотехнической конференции. С.-Пб. 2003.

4.19. Лавиденко Ю. Проектирование электроопных балластов для люминесцентных ламп. Схемотехника. 2003. № 8-9.

4.20. Долгополова Л.Н., Петрова Н.Г. О наиболее эффективном режиме питания электролюминесцентных устройств. Светотехника. 1973. № 10.

4.21. Гребенко Ю.А., Елисеев Н.П., Петров В.И., Фомин А.Г. Концепция построения автоматизированных систем управления освещением общественных зданий. Светотехника. 1999. № 4.

4.22. Клыков М.Е., Квашин Г.Н. Направления и перспективы использования силовой электроники для управления источниками света. Электротехника. 1991. № 6.

4.23. Краснополяский А.Е., Краснополяский Е.А., Соколов В.Б. Автоматизация управления освещением — насущная проблема светотехники. Светотехника. 1997. № 5.

4.24. Raiser F. Проблемы широтно-импульсного регулирования тока лампы. IE Ind. Appl. Mag. 2002. 8. № 6.

4.25. Панфилов Д.И., Поляков В.Д., Чепурич И.Н., Обжерин Е.А. Управляемые электронные пускорегулирующие аппараты для натриевых ламп высокого давления. Практическая силовая электроника. 2003. № 10.

4.26. Панфилов Д., Поляков В., Поляков Ю. и др. Управление внутренним освещением помещений. «Chip News», 2004. 2 (85).

4.27. Хайнрих М. Возможности светорегулирования по стандарту DALI. Система Comfort DIM. Тезисы докладов V Международной светотехнической конференции «Свет и прогресс». С.-Пб. 2003.

4.28. Энергосбережение в освещении. Под ред. Ю.Б. Айзенберга. М.: Знак. 1999.

СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЕ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА

Электроустановочные устройства (ЭУ) — это детали (узлы) конструкции осветительных приборов (ОП), выполняющие различные вспомогательные функции: крепление источников света (ИС), подвод тока, коммутация.

ЭУ являются пассивными компонентами, т.к. не изменяют характеристик проходящего через них электрического тока. Все электрические компоненты, в т.ч. и ЭУ, должны соответствовать правилам техники безопасности для предотвращения несчастных случаев и защиты окружающей среды. В странах Европейского Союза (ЕС) действуют директивы, в частности, 72/23/СЕЕ от 19.02.73 г. с дополнением 93/68 от 22.06.93 г., согласно которым для появления изделия в ЕС электрические материалы должны быть произведены в соответствии с правилами техники безопасности. Вводятся также обязательные для выполнения основные требования и акцентируется внимание на ответственности производителя за нанесение маркировки СЕ на всех изделиях.

Можно утверждать, что надежность светотехнического изделия зависит от надежности его компонентов. Иногда при выборе компонентов уделяется недостаточное внимание характеристикам изделия, в котором будут установлены эти компоненты, полагая, что компоненты обеспечат характеристики выше их возможностей, особенно в отношении теплоустойчивости.

5.1. ПАТРОНЫ

Патрон — это изделие, выполняющее две функции: фиксация ИС и электрическое соединение ИС с сетью. Патрон должен обеспечивать достаточное контактное давление при установке ИС, пропустить электрический ток к ИС с наименьшим сопротивлением, обеспечить легкую заменяемость ИС. Для достижения этого ИС снабжены стандартными цоколями (по определению: цоколь — это конечная часть ИС с электрическими контактами, входящими в патрон). Очевидно, что патрон снабжен стандартной ответной частью, обеспечивающей установку цоколя. Поэтому патрон маркируется тем же кодом, что и цоколь. Часть патрона, сопряженная с ИС, является единственной стандартизированной частью. Стандартизация этой части патрона оговорена международными нормами ИЕС (МЭК) 60061-2, а калибры, используемые для контроля патрона и контактного давления, которое он должен обеспечивать, установлены международными нормами ИЕС (МЭК) 60061-3. Остальные части патрона, включая устройство фиксации его в ОП, не оговорены стандартами, и про-

изводитель свободен в выборе модификации патрона для достижения соответствия с требованиями осветительной арматуры, частью которой он является. Все размеры, необходимые для сборки, оговариваются в каталогах производителей. Производитель обязан изготавливать патроны в соответствии с требованиями техники безопасности, включая следующие: номинальные электрические параметры (напряжение и эффективное значение тока), уровни защиты от влаги и пыли, механическая устойчивость, изоляционные расстояния, теплоустойчивость и огнеустойчивость, устойчивость к коррозии токопроводящих частей.

Таким образом, основными параметрами патрона являются: номинальное напряжение и ток, номинальная рабочая температура T , степень защиты от влаги и пыли, сечение подводимых проводов.

Значения номинального тока и напряжения для патронов, стартеродержателей и клеммных колодок должны соответствовать значениям, указанным на светильниках. Все провода должны быть соответствующего типа, а их сечение совместимо с зажимами патронов, стартеродержателей и клеммных колодок. Патроны и стартеродержатели должны быть установлены в светильнике так, чтобы выдерживать механические нагрузки, определенные стандартами. Расположение парных патронов (например, для ЛЛ, линейных ГЛН) должно соответствовать значениям, требуемым производителем ИС, и обеспечивать хороший электрический контакт. Расстояния между гнездами и допуски должны соответствовать размерам ИС и ОП. Угол между двумя патронами не должен превышать 1° . При этих условиях патроны обеспечивают механическое крепление ИС в рамках стандартов, но в некоторых случаях (например, ГЛН НН, длинные КЛЛ, U-образные ЛЛ) лампам требуются специальные кронштейны, клипсы, зажимы.

Ни в одном месте патрона, стартеродержателя или клеммной колодки не должна возникать температура, превышающая значение, определенное стандартами или оговоренное производителем ЭУ. Эта температура, как правило, максимальна в месте контакта с ИС и стартером. Патроны и стартеродержатели, для которых не оговорена предельная температура, должны работать при температуре не выше 80°C . Для ЛЛ с цоколями G5 и G13 могут быть предусмотрены температуры T на контакте с цоколем и T_m (ниже T) на тыльной стороне. Патрон для ЛЛ, установленный в светильнике, работает при температурах, создаваемых не только ИС, но и ПРА и проходящим током. В этой связи важно учитывать теплоотводящую способность светильника.

Производитель ОП должен выбирать наиболее подходящие патроны в отношении конструкции, номинальных характеристик, рабочей температуры. Необходимо, чтобы температура патрона не превышала максимально допустимую. Согласно установленным правилам, температура следует замерять в точке контакта с поколем, поскольку это место является самой горячей точкой патрона.

Патроны, стартеродержатели и клеммные колодки — это компоненты, предназначенные для установки в ОП и сконструированные с использованием основной изоляции. Если они установлены в светильниках с классом электробезопасности II, пути утечки и воздушные зазоры между частями, находящимися под напряжением, и доступными деталями ОП должны соответствовать значениям, определенным стандартами, и проверяться после сборки. Таким образом, производитель ОП ответственен за выбор компонентов, их точную установку и контроль путей утечки и воздушных зазоров.

5.1.1. Международные стандарты для патронов

В международном стандарте IEC (MЭК) 60400, озаглавленном «Патроны для трубчатых люминесцентных ламп и стартеродержатели», содержится обзор основных требований для обеспечения производства. Ниже дано изложение некоторых требований и методы испытаний на соответствие им.

Защита от поражения электрическим током

Для проверки патрона на степень обеспечения защиты от поражения электрическим током при установке ИС применяют стандартный испытательный щуп (рис. 5.1); его прижимают к патрону со всех сторон с усилием 10 Н. Срабатывание индикатора на щупе означает контакт с активными частями патрона. Такое испытание проводится на передней части патрона, когда лампа еще не установлена. Важно также предотвратить возможность ввода в патрон одного штыря лампы, т.к. испытатель может случайно коснуться второго штыря.

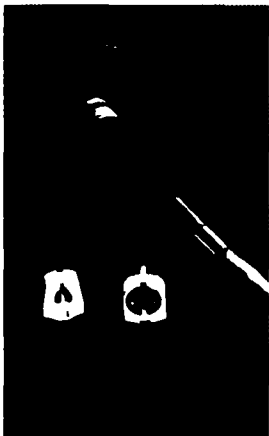


Рис. 5.1. Испытательный щуп для контроля электрической безопасности патронов



Рис. 5.2. Устройство для измерения крутящего момента при установке ЛЛ в патрон

Контактные устройства

Очевидно, что патрон должен иметь средства соединения или контактные устройства. Имеются различные типы контактных устройств: резьбовые, автоматические, захватные, пружинные, паяные и т.д. Стандарт IEC (MЭК) 60400 «Патроны для трубчатых люминесцентных ламп и стартеродержатели» ссылается на стандарт IEC (MЭК) 60598-1 «Светильники. Общие рекомендации и тесты», который предписывает механическую проверку резьбовых зажимов, а для контактных устройств без винтов — как механическую, так и электрическую. Наиболее важна проверка на старение, состоящая из 25 температурных циклов (30 мин нагрева в печи при температуре, указанной в п. 17 стандарта IEC (MЭК) 60400, с последующим охлаждением до 15–30°C) с последующим измерением падения напряжения на контактном устройстве патрона.

Конструкция

Первое испытание предназначено для проверки контактного усилия между токоведущим контактом поколя ИС и контактом патрона и проводится с использованием соответствующих калибров (IEC 60061-3; 7006-47В, III и V). Для обеспечения хорошего электрического контакта максимальное усилие при установке лампы должно быть от 2 до 35 Н. Затем проверяется максимальный крутящий момент при установке лампы в рабочее положение (калибры IEC 60061-3; 7006-47В, V и V модифицированный) и извлечения ее из патрона (рис. 5.2). Крутящий момент, требуемый для удаления калибров из патрона, должен находиться в диапазоне 0,02–0,03 Нм. Это обеспечивает нормальное расположение лампы во время обычных операций, а также подтверждает, что извлечение лампы из патрона не создает механических напряжений, способных повлиять на ее целостность. У парных патронов с помощью приспособления проверяют, что осевое усилие, требуемое для установки калибров (IEC 60061-3; 7006-47С), не превышает 15 Н. Затем проверяется наличие контакта с помощью предельных калибров взаимного расположения патронов (IEC 60061-3; 7006-47В) с приложением вертикального усилия 0,5 Н. Этим подтверждается, что расположение патронов, указанное в каталоге, гарантирует оптимальное функционирование комплекта лампы-патрон с электрической и механической точек зрения.

Пыле- и влагоустойчивость

Если на патроне нет маркировки IP, то проводится следующее испытание: в течение 48 ч патроны выдерживаются при температуре 20–30°C при относительной влажности 91–95%, после чего проверяется сопротивление изоляции и электрическая прочность.

Сопротивление изоляции и электрическая прочность

Сопротивление изоляции между токоведущими частями с различной полярностью и между токоведущими частями и металлическими деталями (например, крошечными) должно быть не менее 2 МОм. Величину со-

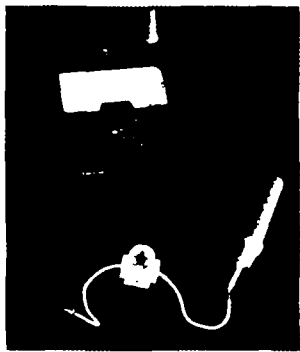


Рис. 5.3. Измерение сопротивления изоляции

противления измеряют омметром с напряжением 500 В в течение 1 мин (рис. 5.3). Электрическую прочность проверяют сразу же после измерения сопротивления изоляции. В течение 1 мин между контактами патрона подается переменное синусоидальное напряжение с эффективной величиной 500 В и частотой 50–60 Гц. Прочность изоляции между токоведущими частями патрона и металлическими деталями ОП измеряется при эффективном напряжении 1000 В плюс двойное номинальное напряжение патрона (2U + 1000).

Износоустойчивость

Калибр поколя с короткозамкнутыми контактами (рис. 5.4) 30 раз вставляется и удаляется из патрона при номинальном напряжении и токе индуктивного типа ($\cos \varphi = 0,6$). Патрон со вставленным калибром в течение 1 ч подключается к сети при максимальном напряжении 6 В и номинальном токе, после чего измеряют сопротивление между проводниками на расстоянии 75 мм от клеммного зажима патрона. Это сопротивление не должно превышать:

$$R_{\max} = 0,045 + (An),$$

где $A = 0,01$ при $n = 2$; $A = 0,015$ при $n > 2$; n — количество контактных точек между поколем и патроном.



Рис. 5.4. Калибр для проверки износоустойчивости патронов

Механическая прочность

Патроны должны обладать соответствующей механической прочностью. Для проверки прочности используется маятник, показанный на рис. 5.5. После установки патрона в специальный металлический кронштейн по самой слабой точке патрона наносится три удара с высоты 100 мм, считая от воображаемой горизонтальной линии, проходящей через центр ударного элемента. После испытания в образце не должно быть никаких повреждений, которые могли бы поставить под сомнение его дальнейшее использование. В част-

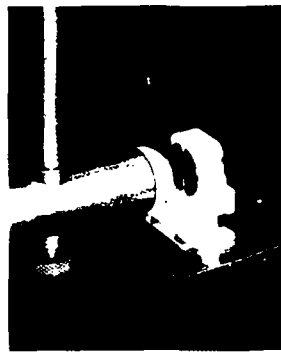


Рис. 5.5. Устройство для проверки механической прочности патронов

ности, не должны быть обнажены токоведущие детали, а образец должен оставаться в кронштейне.

Винты, токоведущие детали и соединения

Контактное давление не должно создаваться за счет деформации изолирующих материалов, если только их некоторая усушка не компенсируется эластичностью металлических частей. Токоведущие детали (рис. 5.6) должны быть изготовлены из материалов, содержащих не менее 50% меди или эквивалентных материалов.

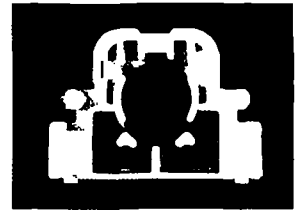


Рис. 5.6. Вид патрона для ДЛ с тыльной стороны

Существует также серия механических проверок винтовых соединений и их способности противостоять механическим нагрузкам, неизбежным в рабочем режиме.

Пути утечки и воздушные зазоры

Токоведущие и смежные металлические детали должны быть отделены друг от друга и от внешнего окружения патрона на соответствующее расстояние. Пути утечки и воздушные зазоры не должны быть меньше значений, определенных стандартом. Соответствие стандарту проверяется непосредственно на патроне штангенциркулем, микрометром или другими подобными инструментами (рис. 5.7).



Рис. 5.7. Измерение путей утечки и воздушных зазоров

Теплоустойчивость, огнестойкость и устойчивость к токам поверхностного разряда

Для оценки теплоустойчивости применяют два вида испытаний: нагрев (тип «а» или «б») и давление шариком.

Нагрев в печи (тип «а») (рис. 5.8): патрон выдерживают в течение 168 часов (7 суток) при температуре, на 20°C выше номинальной для патрона ($T + 20^{\circ}\text{C}$), но не ниже 100°C .



Рис. 5.8. Испытание на теплоустойчивость нагревом в печи (тип «а»)

Испытание с применением внутреннего нагрева (тип «б»): в патрон вставляется поколь (рис. 5.9) со встроенным источником тепла, который поднимает температуру на 25°C выше номинальной ($T + 25^{\circ}\text{C}$). Во время испытания (168 часов) измеряется максимальная температура на тыльной стороне патрона, которая затем указывается в каталоге, и на зажиме, используемом в автоматических клеммных колодках. Результаты испытаний признаются положительными, если не будут выявлены какие-либо изменения, влияющие на работоспособность патрона.

Испытание на теплоустойчивость с применением шарика (рис. 5.10) проводится для внешних частей из изолирующих материалов, обеспечивающих защиту от поражения током и удерживающих токоведущие детали



Рис. 5.9. Испытание на теплоустойчивость нагревом контрольного покколя



Рис. 5.10. Испытание на теплоустойчивость вдавливанием шарика



Рис. 5.11. Испытание на огнестойкость раскаленной проволокой



Рис. 5.12. Испытание на огнестойкость игольчатым пламенем

в заданном положении. Измеряется диаметр отпечатка шарика, оставленного на изделии после нагрева в печи в течение 1 ч до температуры, на 25°C выше номинальной ($T + 25^{\circ}\text{C}$), после предварительного нагрева в течение 1 ч при номинальной температуре. Диаметр отпечатка не должен увеличиться более чем на 2 мм.

Испытания на огнестойкость проводятся одним из двух методов: раскаленной проволокой (рис. 5.11) или игольчатым пламенем (рис. 5.12). Испытываются внешние детали из изолирующих материалов, обеспечивающие защиту от поражения током. Проволока нагревается до 650°C и проникает в изделие в течение 30 с. Изделие должно соответствовать требованиям, изложенным в стандарте ИЕС (МЭК) 695-2-1. (Испытание на огнестойкость. Часть 2: Методы испытаний).

Испытание на устойчивость к токам поверхностного разряда проводится лишь на патронах со степенью защиты выше IP 20. 50 капель раствора хлорида аммония в дистиллированной воде вводят между двумя платиновыми электродами, контактирующими с изолирующей поверхностью патрона (рис. 5.13). Между электродами прикладывается напряжение 175 В, при этом ток между электродами должен быть не более 0,5 А в течение не более 2 с.

Классификация патронов дана в таблице.

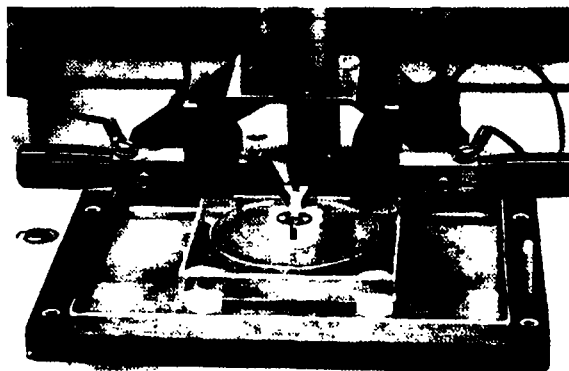


Рис. 5.13. Испытание на устойчивость к токам поверхностного разряда

Классификация патронов

	Люминесцентные															Цвет	Лампы	
	Одноцокольные										Двухцокольные							
	Компактные										Кольцевые	U-обр.	Линейные					
С электромагнитным балластом	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
С внешним стартером		X	X	X		X	X		X	X			X	X		X	X	
Со встроенным стартером						X			X	X	X							
С электронным балластом (без стартера)		X	X	X		X	X	X					X			X	X	
Сетевое напряжение (встроенный балласт)	X				X	X												
Цвет	GW3	2G11	2G10	2G7 2GX7	GR2104	GR2104	GR10q-3	GR10q	GR8	GR8	G32q-1	G24q-1-7 GX24q-1-7	G24q-1-3 GX24q-1-3	G23	G23	G23-2	G23	
Количество выводов	2	4	4	4	2	2	4	4	2	2	4	2	2	2	2	2	2	

	Разрядные										Накаливания					Цвет	Лампы	
	Натриевые высокого давления	Металлогалогенные										Галогенные						
С импульсным зажигающим устройством	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X							
С трансформатором															X	X	X	
Одноцокольные	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X	
Двухцокольные										X	X	X	X	X				
Цвет	GW12-1	PG12-1 PG12-3	GX10	Q8.5	E27 E40	PGX12-2	PG12-2	PG12-2	G12	K12 GX7s	F02	RX7s RX7s-21 RX7s-24	B22d	E12 E14 E17 E26 E27	R7s RX7s	G8	GZ10	
Количество выводов	2	2	2	2	0	2	2	2	2	2	2	2	2	0	2	2	2	

5.1.2. Патроны для люминесцентных ламп

Патроны для двухцокольных ЛЛ показаны на рис. 5.14, для одноцокольных ЛЛ — на рис. 5.15.

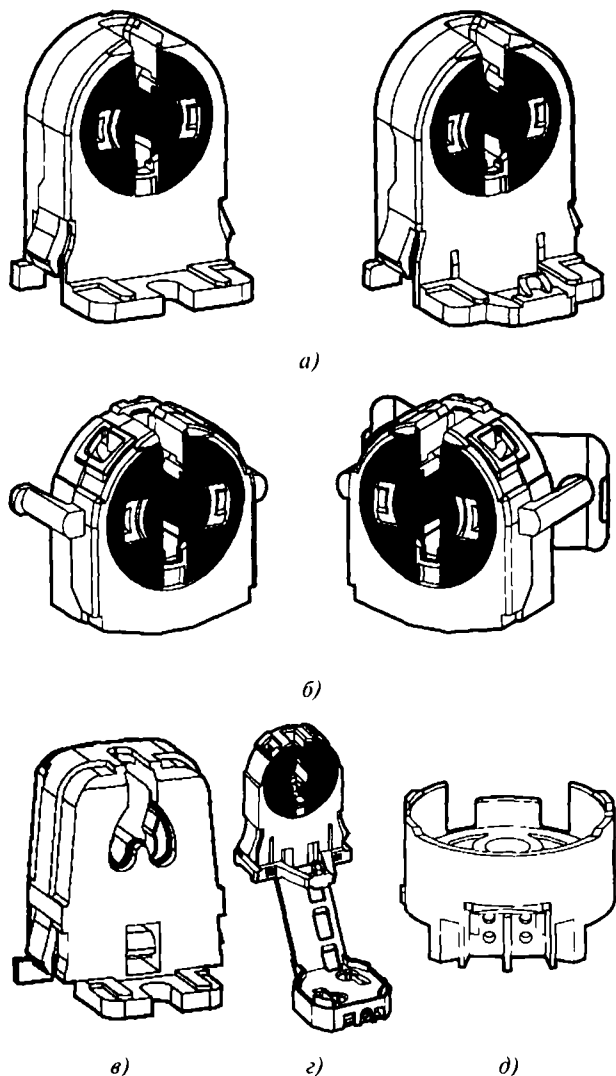


Рис. 5.14. Патроны для двухцокольных ЛЛ: *а* — стоечный с поворотным узлом, устанавливаемый с тыльной стороны ОП; *б* — торцевой с поворотным узлом; *в* — стоечный без поворотного узла, устанавливаемый с тыльной стороны; *г* — стоечный с поворотным узлом и стартеродержателем; *д* — навесной

Патроны для ЛЛ должны соответствовать стандарту ИЕС (МЭК) 60061-2. В течение десятилетий неизменным атрибутом патронов для ЛЛ было наличие безвинтовых зажимов, которые выдерживали многочисленные температурные циклы и обеспечивали быструю замену ламп. Размеры патронов постоянно уменьшаются; конструкция их обеспечивает автоматический монтаж при изготовлении светильников.

В качестве конструкционных изолирующих материалов в настоящее время используются, в основном,

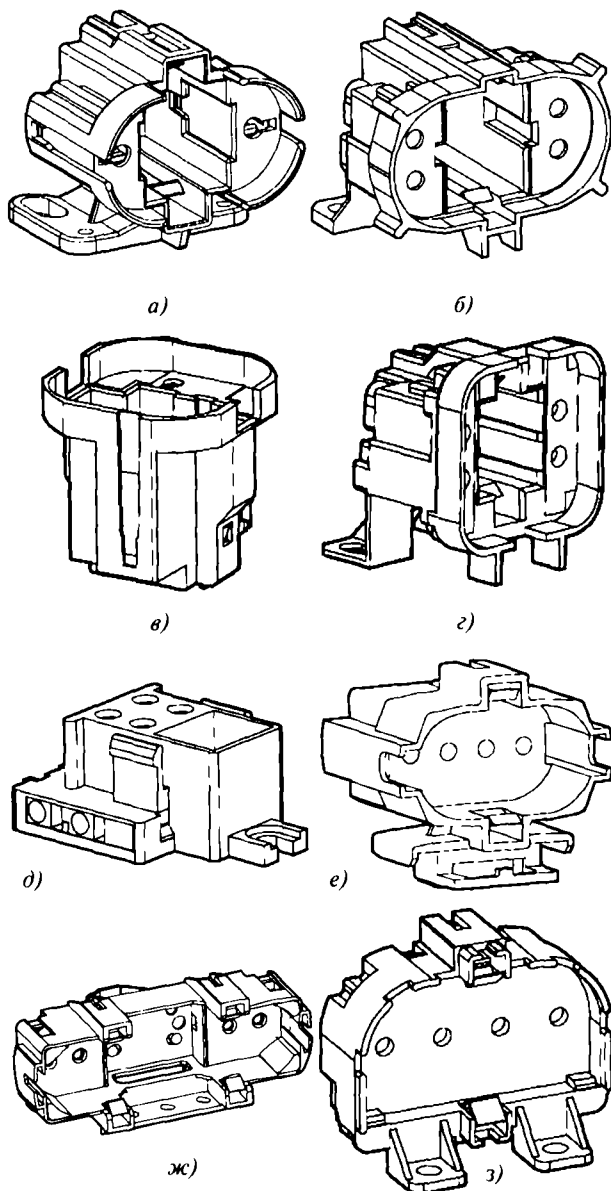


Рис. 5.15. Патроны для одноцокольных ЛЛ: *а* — для КЛЛ с цоколем G23, GX23; *б* — для КЛЛ с цоколем G32; *в* — для КЛЛ с цоколем G24-d, GX24-d; *г* — для КЛЛ с цоколем G24-q; *д* — для КЛЛ типа 2D с цоколем GR10q; *е* — для КЛЛ с цоколем 2G7; *ж* — для КЛЛ с цоколем 2G11; *з* — для КЛЛ с цоколем 2G10

поликарбонат и полибутилснтерефталат, иногда со специальными добавками, повышающими устойчивость к воздействию УФ-излучения.

По способу установки патроны для линейных ЛЛ можно разделить на стоечные, устанавливаемые в светильнике с лицевой или тыльной стороны (рис. 5.14, *а*, *в*, *г*), торцевые (рис. 5.14, *б*) и навесные (рис. 5.14, *д*). Фиксация ламп в рабочем положении и обеспечение надежных электрических контактов осуществляется с помощью поворотного узла (рис. 5.14, *а*, *б*, *г*) или путем

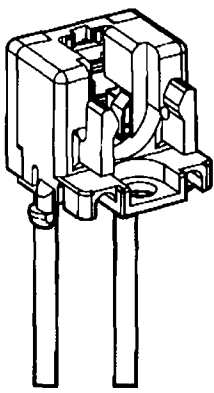
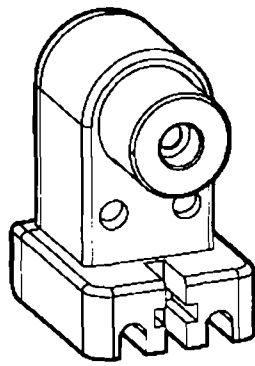
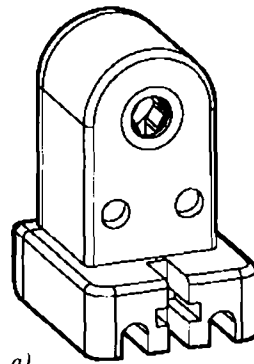


Рис. 5.16. Патрон для миниатюрных ЛЛ с цоколем W 4,3×8,5d



а)



б)

Рис. 17. Патрон для ЛЛ с холодными электродами с цоколем Fa 8

вывода контактных штырей цоколя через один паз и последующего поворота лампы вокруг оси на 90° (рис. 5.14, в). Контактные пластины делаются, как правило, из листовой латуни с высокой упругостью. По гину цоколя патроны для линейных ЛЛ делятся на 5 типов: G5, G13, W4,3×8,5d (рис. 5.16), Fa 8 (рис. 5.17) и R17d. Для кольцевых и U-образных ламп делаются двойные патроны 2G13 (рис. 5.18), 2GX13, G10q. Для светильников со степенью защиты выше IP 20 выпускаются специальные патроны с муфтами и уплотнительными прокладками (рис. 5.19); для проклад-

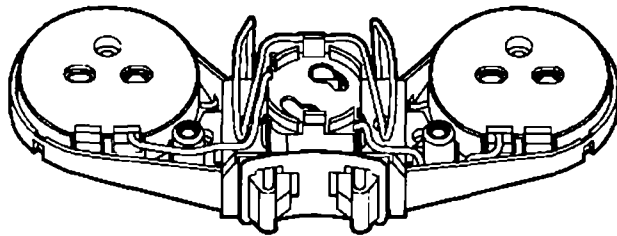
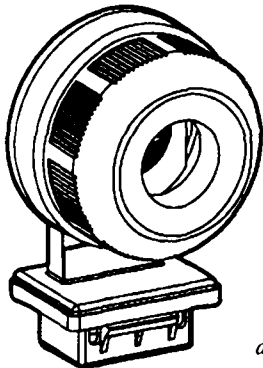
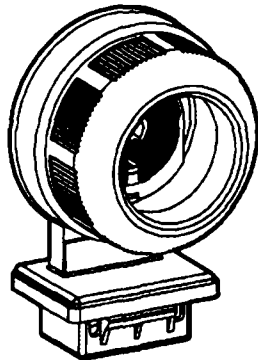


Рис. 5.18. Двойной патрон для U-образных ЛЛ с цоколем 2G13



а)



б)

Рис. 5.19. Стоечные патроны с уплотнительной муфтой, устанавливаемые с лицевой стороны ОП, для ЛЛ с цоколями G5 (а) и G13 (б)

ка чаще всего используется кремнийорганическая резина и пористый каучук.

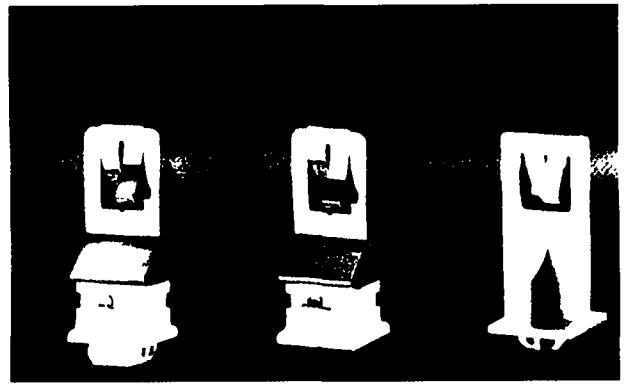
Патроны для КЛЛ (рис. 5.15) чаще делаются из полибутилентерефталата, имеющего более высокую рабочую температуру, чем поликарбонат. Эти патроны различаются числом контактных гнезд (2 или 4), расстоянием между гнездами (7, 2×7, 2×10, 2×11 мм), возможностью включения КЛЛ со встроенным стартером или без него. Патроны одного типа (например, G24) выпускаются в нескольких модификациях, исключая возможность включения в один патрон ламп разной мощности. Защита обеспечивается введением в конструкцию патрона и цоколя специального ключа. Номинальное напряжение патронов для линейных и компактных ЛЛ — 250 В (некоторые типы — 500 В), номинальный ток — 2 А.

Для сокращения времени сборки ОП в настоящее время практически не используется установка патронов на винты или болты с гайками. Стоечные и торцевые патроны вставляются в специальные вырезы в корпусе ОП и фиксируются в них лапками (рис. 5.19), цапфами (рис. 5.14, б) или защелками (рис. 5.14, а, в, г). Такое крепление патронов позволяет автоматизировать процесс сборки ОП и проводить его с помощью роботов. В ОП с линейными ЛЛ один из патронов фиксируется жестко, а другой должен иметь некоторую степень свободы в направлении оси лампы, позволяющую компенсировать допуски на длину ламп. Патроны стоечного типа обеспечивают частичную компенсацию допусков за счет эластичности конструкционных материалов. В патронах торцевого типа компенсация допусков осуществляется за счет пружинных прокладок между тыльной стороной патрона и стенкой ОП (рис. 5.14, б). При установке пар патронов на винты в лапках патронов крепежные отверстия делаются овальной формы или незамкнутыми (рис. 5.14, а, в).

Для надежной фиксации длинных однополюсных ЛЛ (КЛЛ) кроме патронов применяются клипсы и защитные скобы (рис. 5.20); кольцевые ЛЛ фиксируются откидными пружинами (рис. 5.21). Для изготовления таких вспомогательных устройств используют поликарбонат или латунь.



a)



б)

Рис. 5.20. Клипсы для фиксации КЛЛ: *a* — наружная фиксация; *б* — внутренняя фиксация

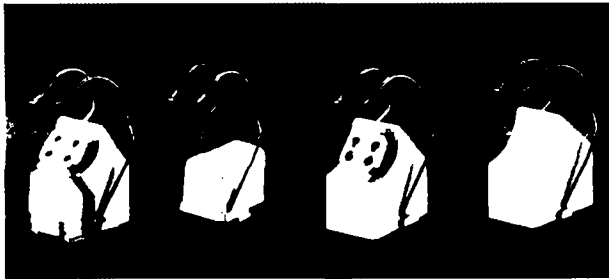
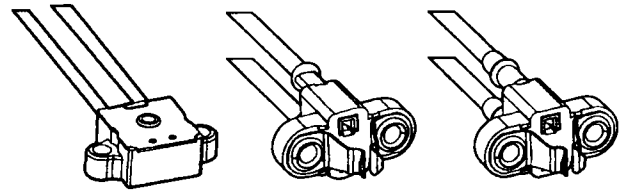


Рис. 5.21. Откидные пружины для фиксации кольцевых ЛЛ

5.1.3. Патроны для разрядных ламп высокой интенсивности и ламп накаливания

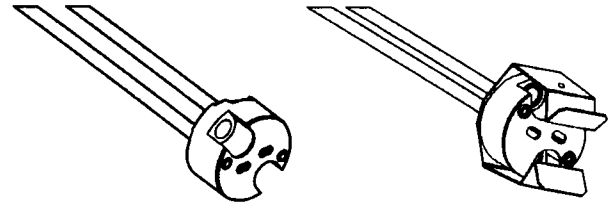
Патроны для ЛОН, ГЛН ВН и НН, НЛВД и МГЛ соответствуют одному стандарту — IEC (МЭК) 60838-1, а цоколь — IEC (МЭК) 60061-2.

Все эти лампы при работе имеют очень высокую температуру: до 300°C на цоколях и до 650°C на колбах ламп. Поэтому патроны и провода должны быть тщательно подобраны, чтобы выдерживать такие температуры. Высокая температура предопределяет выбор материалов для корпусов и контактов патронов. Основным материалом корпусов патронов для ГЛН НН является полифениленсульфид (ПФС), для ГЛН ВН и разрядных ламп — керамика и реже — стеклонаполненный жидкокристаллический полимер LSP. В патронах для ЛОН в России до сих пор широко применяется карболит — терморезистивная смола на основе фенолформальдегида, являющаяся экологически вредным материалом. Для контактов используется серебряная или никелированная медь, хромоникелевый сплав, в патронах для ЛОН — луженая или непокрытая латунь. Ряд патронов выпускается с заправленными гибкими проводами, как правило — с изоляцией из фторопласта (политетрафторэтилена, ПТФЭ). Патроны для разрядных ламп (МГЛ и НЛВД) рассчитаны на работу с импульсными зажигающими устройствами (ИЗУ) и во время зажигания ламп выдерживают напряжение до 5 кВ. На рис. 5.22–5.30 показаны образцы современных патронов для ГЛН НН, ГЛН ВН, МГЛ и НЛВД.



a)

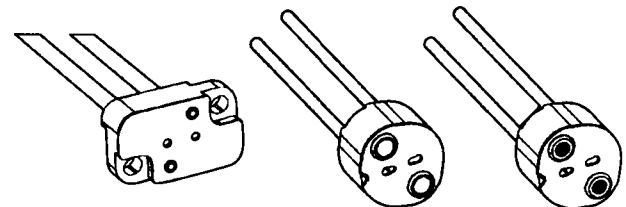
б)



в)

г)

Рис. 5.22. Патроны для ГЛН НН: *a* — цоколь G4; *б* — цоколь GY4; *в* — цоколь GZ4; *г* — цоколь GU4



a)

б)

Рис. 5.23. Патроны для ГЛН НН: *a* — цоколь G6.35; *б* — цоколь GY6.35

Номинальное напряжение — от 50 В (патроны G4, G5.3, G6.35) до 1000 В (R7s), номинальный ток — от 2 до 18 А.

Для ЛОН производится стандартные резьбовые патроны для цоколей E14, E27, E40, а также штифтовые патроны с байонетным креплением ламп с цоколем B22.

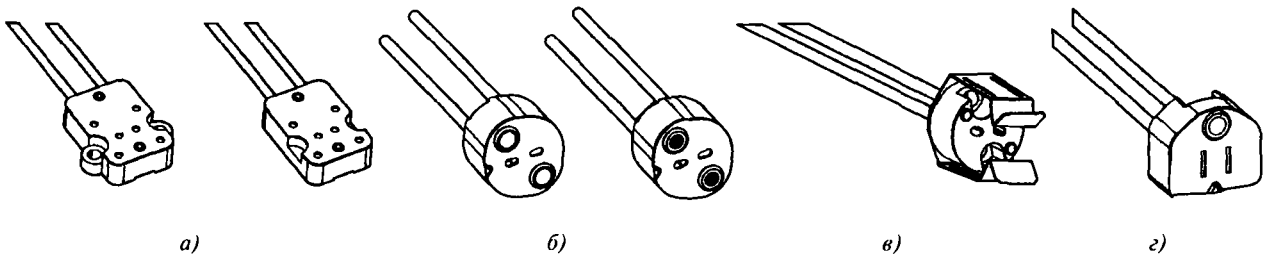


Рис. 5.24. Патроны для ГЛН НН: а — цоколь G5,3; б — цоколь GX5,3; в — цоколь GU5,3; з — цоколь G5,3-4,8

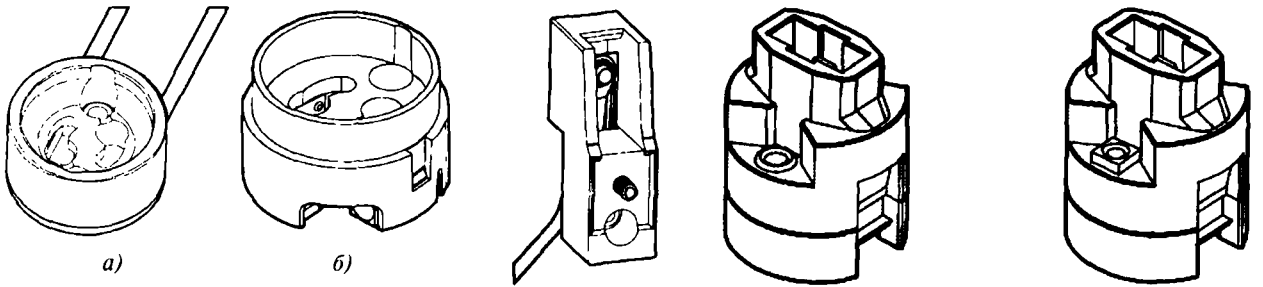


Рис. 5.25. Патроны для ГЛН ВН: а — цоколь GU10; б — цоколь GZ10

Рис. 5.26. Патрон для двухцокольных ГЛН и МГЛ с цоколем R7s

Рис. 5.27. Патрон для ГЛН и МГЛ с цоколем G9

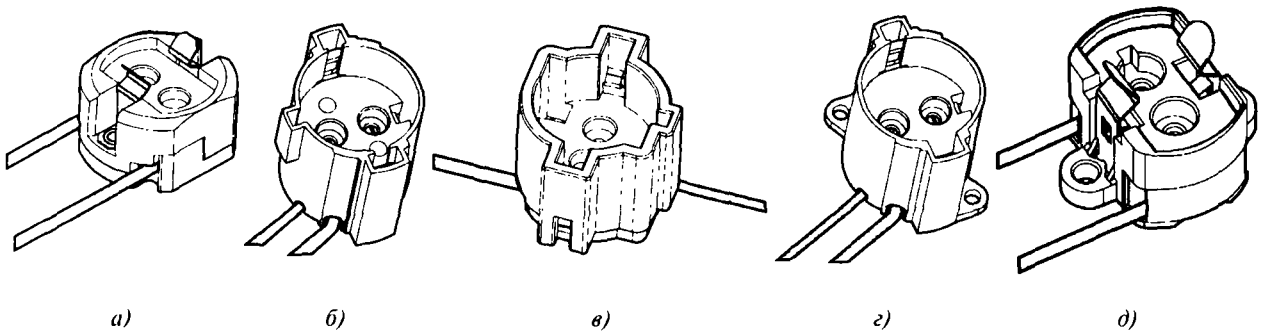


Рис. 5.28. Патроны для МГЛ и НЛВД: а — с цоколем G12; б — с цоколем PG12-2; в — с цоколем PGX12-2; г — с цоколем PG12-1; д — с цоколем GX12-1

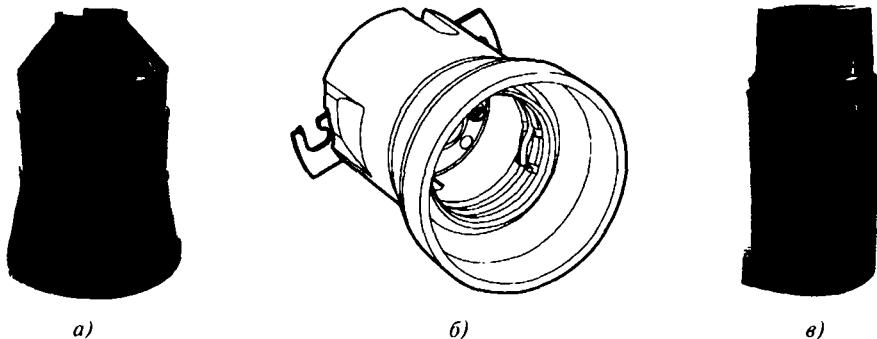


Рис. 5.29. Патрон для ламп с резьбовыми цоколями: а — E27; б — E40; в — E14



Рис. 5.30. Патрон B22 для ламп с байонетным цоколем

5.2. КЛЕММНЫЕ КОЛОДКИ

Соединительное устройство, или клеммная колодка, (рис. 5.31) — узел, состоящий из металлического зажима для проводов и изолирующей части, закрывающей металлические детали. Этот узел должен просто и быстро устанавливаться на металлический корпус ОП и выполнять роль соединителя проводов при минимальном падении напряжения. Большое значение в этих изделиях придается конструкции зажимных устройств, в значительной степени определяющей время монтажа ОП.

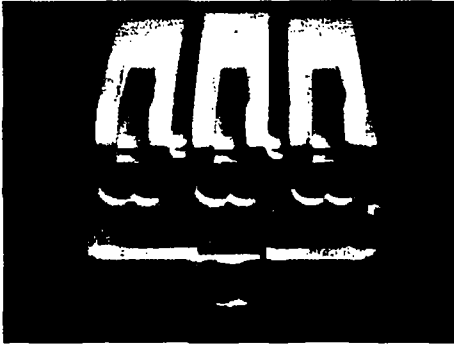


Рис. 5.31. Трехполюсное 12-контактное соединительное устройство, устанавливаемое в ОП на цапфы

Соединительные устройства проходят обязательные испытания на нагрев, состоящие из 192 температурных циклов: нагрев до заданной температуры с последующим охлаждением до комнатной температуры. По окончании испытания падение напряжения на зажиме не должно превышать падения напряжения, замеренное после 24-го цикла, больше чем на 50%, а максимальное падение напряжения должно быть не больше 25 мВ.

Немаркированные соединительные устройства допускают работу при температуре не выше 45°C, и испытывать их следует при этой температуре. Если соединительные устройства работают при более высоких температурах, их маркируют заданной температурой T и испытывают при этой температуре. Правила конструирования и испытаний соединительных устройств изложены в международных стандартах, составляющих часть серии IEC (МЭК) 60998.

5.2.1. Требования международных стандартов к клеммным колодкам и методы их испытаний

Для получения сертификата качества клеммные колодки подвергаются испытаниям. С расширением применения роботов для автоматического монтажа ОП наиболее функциональными и надежными оказались самозажимные клеммные колодки. По сравнению с клеммными колодками резьбового типа они не требуют применения какого-либо инструмента для фиксации проводов, а скорость их подключения намного выше.

Международный стандарт IEC (МЭК) 60998-1 («Соединительные устройства для цепей низкого напряже-

ния. Часть 1: Общие требования») касается устройств для соединения двух или более медных электрических проводов. Для резьбовых клеммных колодок этот стандарт дополнен стандартом IEC (МЭК) 60998-2 («Соединительные устройства для цепей низкого напряжения. Часть 2-2: Специальные требования к соединительным устройствам с зажимами резьбового типа»), в котором представлены общие и специальные методы испытаний.

Защита от поражения электрическим током

Соединительные устройства должны быть сконструированы так, чтобы после их установки не было доступа к токопроводящим частям. При испытании стандартизованный шуп (рис. 5.32) с усилием 10 Н прикладывается ко всем отверстиям клеммной колодки во всевозможных положениях. При контакте с токопроводящими деталями срабатывает световой индикатор или раздается звуковой сигнал. Испытание проводится дважды: с проводами максимального и минимального сечения, вставляемыми в зажим.

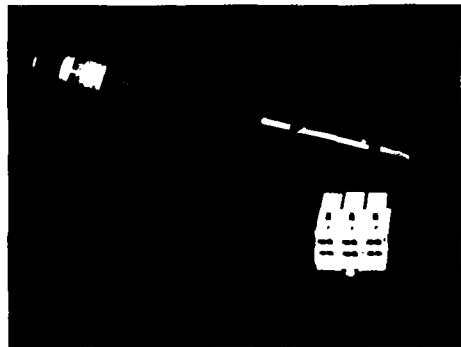


Рис. 5.32. Шуп для проверки электрической безопасности клеммных колодок

Соединение провода и изделия

Каждый зажим, кроме провода номинального сечения, должен зажимать по крайней мере провода двух последующих меньших сечений, обеспечивая надежное соединение. Например, если номинальное сечение провода для зажима — 1 мм², он должен зажимать провода и сечением 0,75 и 0,5 мм².

Токоведущие детали должны изготавливаться из сплава, содержащего по крайней мере 58% меди для деталей из холоднокатаного металла и 50% меди для остальных деталей. Допускается применение других материалов с характеристиками и свойствами, идентичными меди.

Испытание на старение, влажность, защиту от проникновения твердых частиц и воды

Все клеммные колодки с изолирующими частями не из фарфора или термопластичного материала должны пройти испытание на старение. Образцы помещают в печь и оставляют на 7 суток (168 ч) при температуре 70°C, если на них нет маркировки T , или при темпера-

туре $T + 30^{\circ}\text{C}$ для изделий с маркировкой T . Через 4 ч после извлечения из печи на образцах не должно быть никаких трещин, видимых невооруженным глазом, а поверхность образцов не должна повреждаться, если к ней прикладывают специальный штифт (обернутый грубой тканью) с усилием 500 г.

Испытание на влагоустойчивость: клеммную колодку помещают в камеру влаги с температурой воздуха $20\text{--}30^{\circ}\text{C}$. Время пребывания в камере зависит от степени защиты IP: 168 ч для изделий с уровнем защиты выше IPX2, и 48 ч для остальных изделий. Результаты испытания считаются положительными, если на образцах не видно никаких повреждений.

Проверка сопротивления изоляции и электрической прочности

Эта проверка должна производиться после испытания на влагоустойчивость.

Для проверки сопротивления между токоведущими деталями различной полярности, а также между токоведущими деталями и любыми внешними металлическими частями в течение 1 мин прикладывается постоянное напряжение 500 В. Сопротивление измеряется мегомметром. Величина сопротивления должна быть не менее 5 МОм.

Для проверки электрической прочности в течение 1 мин прикладывается синусоидальное напряжение с частотой 50–60 Гц. Значения испытательного напряжения указаны в табл. 1 части 13.4 стандарта IEC (МЭК) 60998-1. После испытания не должно быть видно никаких следов поверхностных разрядов или пробоя.

Испытания механической прочности

Для испытания механической прочности используют различные методы. Один из них — растяжение. Три клеммных колодки, не использовавшиеся в других испытаниях, оснащаются проводами максимального и минимального сечений. Каждый провод подвергается растягивающему усилию вдоль оси, пропорциональному сечению и равному значению, указанному в табл. 103 стандарта IEC (МЭК) 60998-2-2. Растягивающее усилие прикладывается в течение 1 мин без разрыва провода. Ни один провод не должен выйти из зажима.

Испытанию на *воздействие повышенной температуры* подвергаются лишь самозажимные клеммные колодки. Проводится 192 часовых цикла при температуре T , маркированной на изделии. Испытуемые клеммные колодки оснащены проводами, как при обычном использовании. По завершении 192-го цикла допустимое падение напряжения не должно превышать меньшего из следующих двух значений: 22,5 мВ или полуторакратного значения напряжения после 24-го цикла.

Существует два вида испытаний на *теплоустойчивость*:

1. Нагрев в печи: клеммную колодку помещают в печь на 1 ч при температуре на 45°C выше номинальной (но не менее 85°C). После охлаждения материалы не должны деформироваться, а стандартизованный штифт при усилии до 5 Н не должен касаться токоведущих частей.

2. Вдавливание шарика: образец изоляционного материала толщиной не менее 2 мм кладут на стальную пластину и прижимают шариком диаметром 50 мм с усилием 20 Н. Испытание проводится при температуре 125°C . Спустя 1 ч образцы удаляют и в течение 10 с охлаждают в холодной воде до температуры окружающей среды. Диаметр отпечатка должен быть не более 2 мм.

Измерение путей утечки и воздушных зазоров

Эти параметры определяются с помощью точных инструментов (штангенциркуль и микрометр). Измеряются расстояния между токоведущими деталями различной полярности и между этими деталями и смежными с ними металлическими частями.

Испытание на теплоустойчивость изоляционных материалов и огнеустойчивость проводится лишь на изоляционных материалах, в которых размещены токоведущие детали, или которые соприкасаются с этими деталями. Проволока накаляется до 850 или 650°C (соответственно деталям, подлежащим испытанию) и прикладывается к детали однократно в течение 5 с. В стандарте IEC (МЭК) 60998-1 часть 18 описаны критерии оценки результатов.

Сопровождение токам поверхностного разряда проверяется следующим образом: 50 капель раствора хлорида аммония в дистиллированной воде наносят на два платиновых электрода, соприкасающихся с испытуемой поверхностью. Напряжение между электродами — 175 В, максимально допустимый ток — 0,5 А в течение не более 2 с.

Образцы клеммных колодок с самозажимными контактами для подключения различного количества проводов показаны на рис. 5.33, с резьбовыми зажимами — на рис. 5.34. Номинальное напряжение клеммных колодок, как правило, 400 В, номинальный ток — до 16 А на контакт.

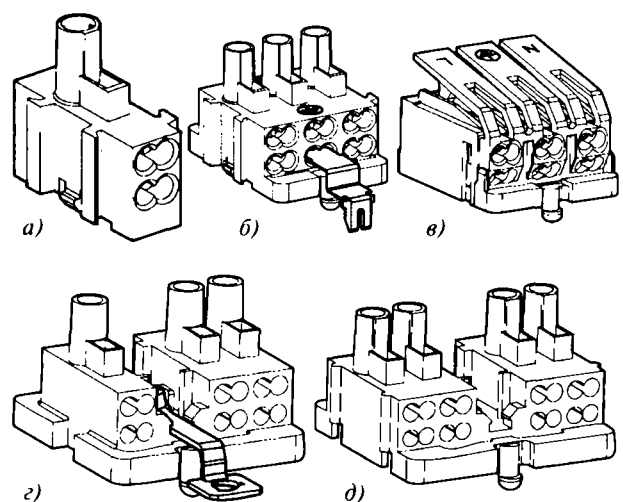


Рис. 5.33. Клеммные колодки с пружинными зажимами проводов: *a* — однополюсная; *b* — двухполюсная с заземляющей ламелью; *v* — двухполюсная с заземляющим контактом; *d* — четырехполюсная

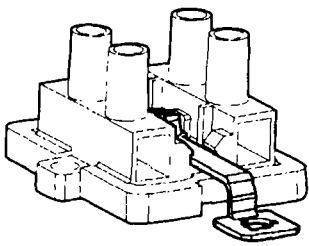


Рис. 5.34. Клеммная колодка с резьбовыми зажимами проводов, двухполюсная с заземляющей ламелью

5.3. ШТЕПСЕЛЬНЫЕ СОЕДИНИТЕЛИ

Эта группа электроизделий уже в течение нескольких лет присутствует на международном рынке, и в настоящее время назрела необходимость разработки специального стандарта, чтобы отличить их от классических клеммных колодок, с одной стороны, и от розеточных систем, с другой. Задача соединителей — заменить традиционные зажимы в ситуациях, где требуется определенная модульность, например, на выставочных стендах, в офисах с передвижными секциями, плавающими полами и подвесными потолками. Главные преимущества этих устройств заключаются в быстром соединении, не требующем никаких инструментов, и, прежде всего, в возможности повторного использования этих же изделий при изменении ситуации. Следует сказать, что в радиотехнике такие соединители (ранее называвшиеся «штепсельными разъемами») очень широко используются уже многие десятки лет.

Соединительные устройства допускают простые и быстрые соединения между светильниками и сетью с использованием кабеля, несколькими светильниками (рис. 5.36), корпусом светильника и независимым ПРА (в котором может находиться балласт и стартер — рис. 5.35).

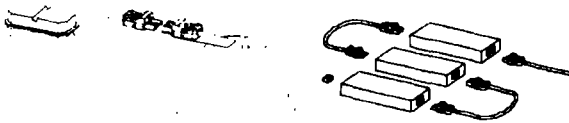


Рис. 5.35. Светильник со штепсельным соединителем

Рис. 5.36. Примеры использования штепсельных соединителей

Соединители применимы в очень небольших пространствах, где невозможно использование инструментов для соединения проводов. Они исключают ошибку в любом типе соединения и незаменимы, когда требуется демонтаж и частичная замена приборов.

Штепсельные соединители можно устанавливать внутри и снаружи светильника. При установке внутри светильника соединители можно использовать без крышки и фиксатора кабеля. При установке соединителей вне светильника должны применяться фиксаторы кабеля и крышка для концевых выводов, зачищенных для соединения с зажимами. В проекте стандарта IEC (МЭК) 60598 фиксатор кабеля требуется в передвижных светильниках, подвергаемых частой перестановке, при которой концы кабелей могут скручиваться. Фиксация кабеля предотвращает нарушение контактов в зажимах.

Штепсельные соединители могут снабжаться блокировочными приспособлениями, предотвращающими случайный выход вилки из гнезда. Так называемый «крючок безопасности» — это приспособление, гарантирующее надежное соединение гнезда и вилки (рис. 5.37).

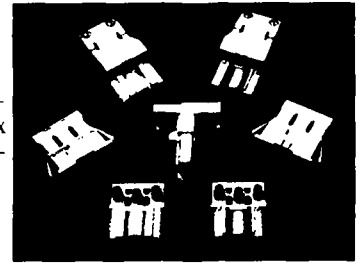


Рис. 5.37. Варианты конструкции штепсельных соединителей с блокировочными защелками

На рис. 5.38 показан пример применения штепсельных соединителей в осветительной арматуре, на рис. 5.39 — варианты соединителей с защитными крышками.

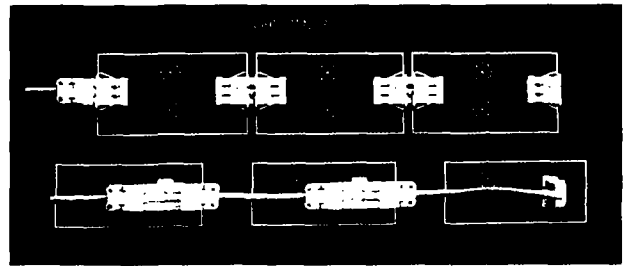


Рис. 5.38. Варианты применения штепсельных соединителей в ОП

Номинальное напряжение штепсельных соединителей — 250–400 В, номинальный ток — до 16 А.

Материал корпуса, как правило, — полибутилен-рефталат, контакты — никелированная, облуженная или посеребренная латунь.

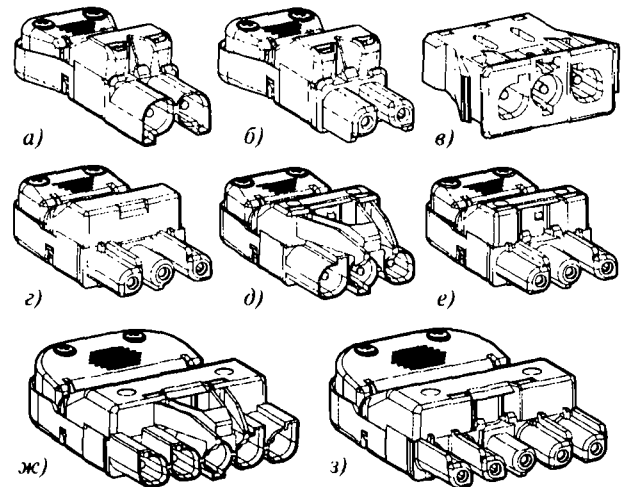


Рис. 5.39. Штепсельные соединители с защитными крышками: а, б — двухполюсные без заземления; в, г, д, е — двухполюсные с контактами для заземления; ж, з — четырехполюсные с контактами для заземления; а, в, д, ж — вилки; б, г, е, з — розетки

СВЕТОВЫЕ ПРИБОРЫ

Световые приборы — исключительно широкая группа светотехнических изделий, имеющих огромное народнохозяйственное значение [36—38, 40]. Без современных СП невозможно рационально и высококачественно выполнить ОУ. Они являются основным техническим средством, обеспечивающим создание требуемых условий освещения и сигнализации во всех сферах народного хозяйства и быта. Без специальных СП невозможны освещение многих помещений (в частности, взрыво- и пожароопасных) и удаленных объектов, световая сигнализация на больших расстояниях, концентрация светового потока на малых поверхностях или в малых объемах, а также создание комфортных ОУ с мощными ИС повышенной яркости.

Эффективность использования электрической энергии в значительной степени определяется номенклатурой и параметрами СП. Выпуском СП заняты десятки тысяч человек, работающих на сотнях предприятий; на изготовление СП расходуются огромные материальные ресурсы.

В светотехнических установках страны используется более 1,0 млрд. различных СП. Для монтажа и систематической эксплуатации такого парка изделий требуется многочисленный обслуживающий персонал. Разработка СП с повышенной надежностью работы и уменьшенной трудоемкостью монтажа и эксплуатации имеет важное значение.

Световые приборы — электротехнические изделия, которые должны отвечать комплексу сложных требований [50—53, 1—41 П1; П2], в числе которых не только специальные светотехнические требования, но и требования безопасности и надежности, монтажно-эксплуатационные требования, требования отсутствия различного рода помех, требования технической эстетики. Наряду с этими требованиями СП должны отвечать общим технико-экономическим требованиям. Световые приборы являются не только функциональными изделиями, обеспечивающими возможность труда и отдыха, но и архитектурными элементами, создающими значительное эмоциональное воздействие на людей.

6.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ. ОБЩАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ СП

Световым прибором называется устройство, содержащее ИС (лампу) и светотехническую арматуру (светотехническая арматура обычно называется *осветительной арматурой*) и предназначенное для освещения или световой сигнализации. Светотехническая арматура перераспределяет свет ИС в пространстве или пре-

образует его свойства (изменяет спектральный состав излучения или поляризует его). Наряду с этим СП выполняет функции защиты лампы от воздействия окружающей среды, механических повреждений, обеспечивает крепление лампы и подключение к источнику питания.

Классификация СП осуществляется по главным и дополнительным признакам. К главным признакам относятся: основная светотехническая функция, характер светораспределения, условия эксплуатации и основное назначение.

По основной светотехнической функции СП разделены на приборы для освещения — осветительные приборы и приборы для световой сигнализации — светосигнальные приборы (СП могут совмещать обе эти функции); по характеру светораспределения все СП принципиально подразделяются на светильники, прожекторы и проекторы; по условиям эксплуатации — на СП для помещений, открытых пространств и для экстремальных сред. По основному назначению СП классифицируются в соответствии с рис. 6.1 и по дополнительным важным признакам — рис. 6.2.

Светильник — это СП, перераспределяющий свет лампы (ламп) внутри больших телесных углов (до 4π) и обеспечивающий угловую концентрацию светового потока с коэффициентом усиления не более 30 для осесимметричных и не более 15 для симметричных приборов. Светильники предназначены, как правило, для освещения относительно близко расположенных объектов (находящихся на расстояниях, обычно меньших, чем 20-кратные максимальные размеры светильников) или световой сигнализации на небольших расстояниях.

В светильниках могут устанавливаться две или более ламп (в многоламповых люстрах, например, число ламп может исчисляться сотнями и даже тысячами). Светотехническая арматура для РЛ включает обычно аппаратуру для зажигания и стабилизации работы ламп. Светильники для освещения (в отличие от сигнальных светильников), как правило, сокращенно называют светильниками.

Прожектор — СП, перераспределяющий свет лампы внутри малых телесных углов и обеспечивающий угловую концентрацию светового потока с коэффициентом усиления более 30 для осесимметричных и более 15 для симметричных приборов. Прожекторы служат для освещения удаленных объектов, находящихся на расстояниях, в десятки, сотни и даже тысячи раз превышающих размер прожектора, или для передачи световых сигналов на большие дистанции. В группе прожекторов необходимо выделить прожекторы общего

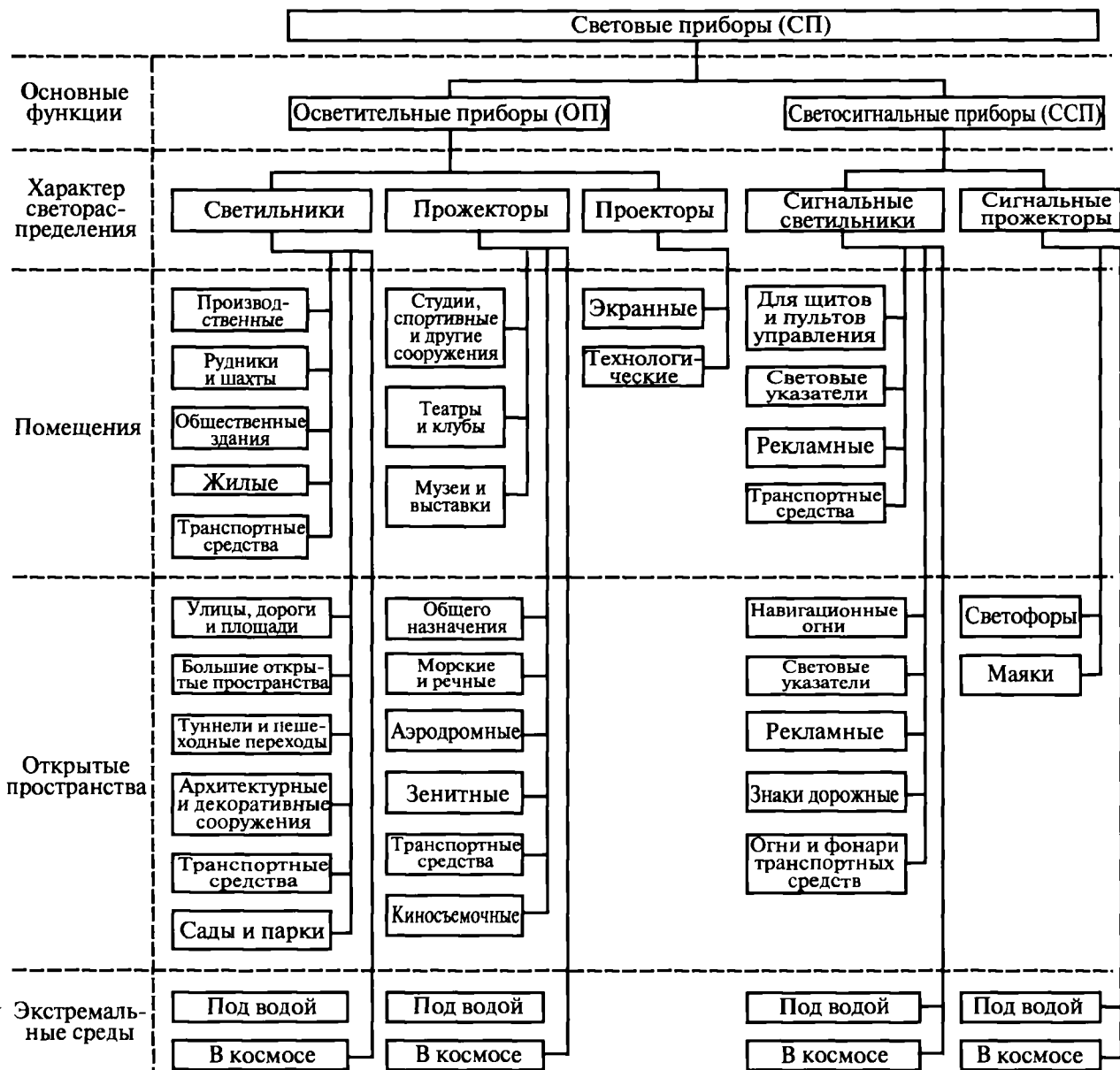


Рис. 6.1. Классификация СП по основному назначению

назначения, поисковые прожекторы, маяки, светофоры и фары.

Прожекторы общего назначения предназначены для длительного освещения рабочих поверхностей и используются для освещения открытых пространств, фасадов зданий, архитектурных памятников и т.д.; распространённым для этой группы является название *прожекторы заливающего света*. *Поисковые прожекторы* являются прожекторами дальнего действия, предназначенными для кратковременного освещения очень удалённых объектов с целью их обнаружения, они могут использоваться в качестве зенитных, морских и других прожекторов.

Световые маяки (аэродромные, морские, речные, навигационные и др.) осуществляют световую сигнализацию о расположении маяка, фарватере или направлении движения.

Светофоры используются для передачи световых сигналов, регулирующих движение транспорта и людей. *Фары* — СП прожекторного типа, устанавливаемые на транспортных средствах для освещения дороги.

Проектор — СП, перераспределяющий свет лампы с концентрацией светового потока на поверхности малого размера или в малом объёме. Проекторы являются в основном осветительной частью светопроjectionных приборов, концентрирующей световой поток на кадро-

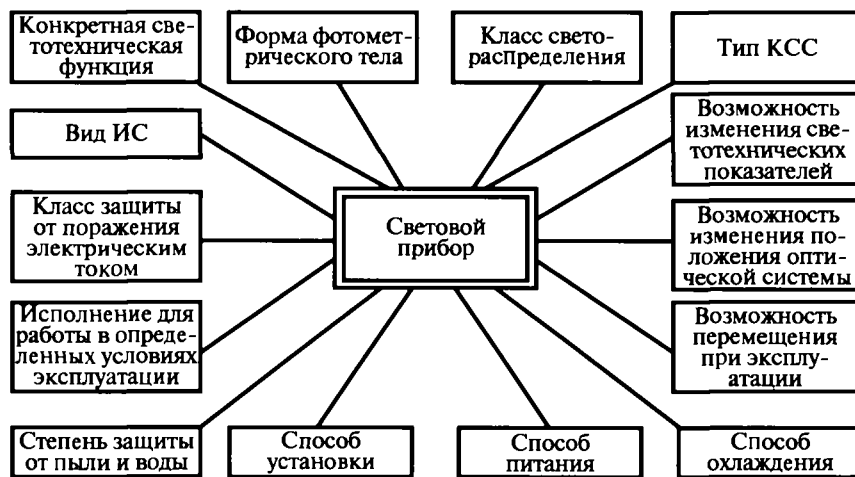


Рис. 6.2. Классификация СП по дополнительным признакам

вом окне, в котором расположен рисунок или диапозитив, отображаемый объективом на экране (экранные проекторы). В настоящее время все более широкое распространение находят технологические проекторы (концентраторы), предназначенные для лучистого нагрева объектов, например для испарения жидкостей, плавки металла, накачки лазеров. *Экранные проекторы* подразделяются на *эпископы*, *диаскопы* и *эпидиаскопы*. Эпископы предназначены для проецирования на экран поверхностей, посылающих в объектив отраженный световой поток (рисунок, чертежей и др.). В диаскопах проецируемая поверхность (диапозитив, кинокадр) посылает в объектив прошедший через нее световой поток. Эпидиаскопы могут работать и как эпископы, и как диаскопы.

Дополнительными признаками классификации СП (рис. 6.2) являются:

- вид источника света (ЛН, РЛ, лампы сменного света, светодиоды, радиоизотонные и электролюминесцентные ИС, электрические дуговые угольные лампы);
- конкретная светотехническая функция (табл. 6.1 для ОП);
- форма фотометрического тела (симметричные, осесимметричные и несимметричные СП);
- класс светораспределения [51];
- тип КСС [51];
- возможность перемещения при эксплуатации (стационарные, переносные и передвижные);
- способ установки СП (в соответствии с ГОСТ N37П1, см. рис. 6.3) [52];
- класс защиты от поражения электрическим током (в соответствии с ГОСТ 12.2.007.0-75) [6.1];
- исполнение для работы в определенных условиях эксплуатации;
- степень защиты от пыли и воды (для светильников в соответствии с [51] и для прожекторов и проекторов [6.2, 50];
- способ питания лампы (сетевые, с индивидуальным источником питания, комбинированного питания);
- возможность изменения положения оптической системы (подвижные, неподвижные);

- возможность изменения светотехнических характеристик (регулируемые, нерегулируемые);
- способ охлаждения (с естественным охлаждением, с принудительным охлаждением).

Таблица 6.1

Классификация ОП (светильников и прожекторов) в зависимости от конкретной светотехнической функции

Светильники	Прожекторы
Общего освещения Местного освещения	Заливающего освещения Акцентирующего освещения
Комбинированного освещения Декоративного освещения	Для поиска и обнаружения объектов Для освещения направления движения транспортных средств
Освещения для ориентирования Экспозиционного освещения	

По исполнению для работы в определенных условиях эксплуатации СП подразделяются с учетом следующих признаков:

- а) по климатическому исполнению и категории размещения [6.3];
- б) по доминирующему воздействию фактору: температуре и относительной влажности воздуха [6.4]; механическим воздействиям [6.4]; особым факторам среды (применительно к каждому конкретному случаю) [6.3]; наличию заметных концентраций химически активных веществ (применительно к каждому конкретному случаю); взрывоопасности среды [6.5].

Световыми комплексами называются устройства, состоящие из набора СП, отдельных оптических элементов, конструктивных, электротехнических или других деталей, сборочных единиц или блоков, собираемых у потребителя, выполняющие свои функции только в со-

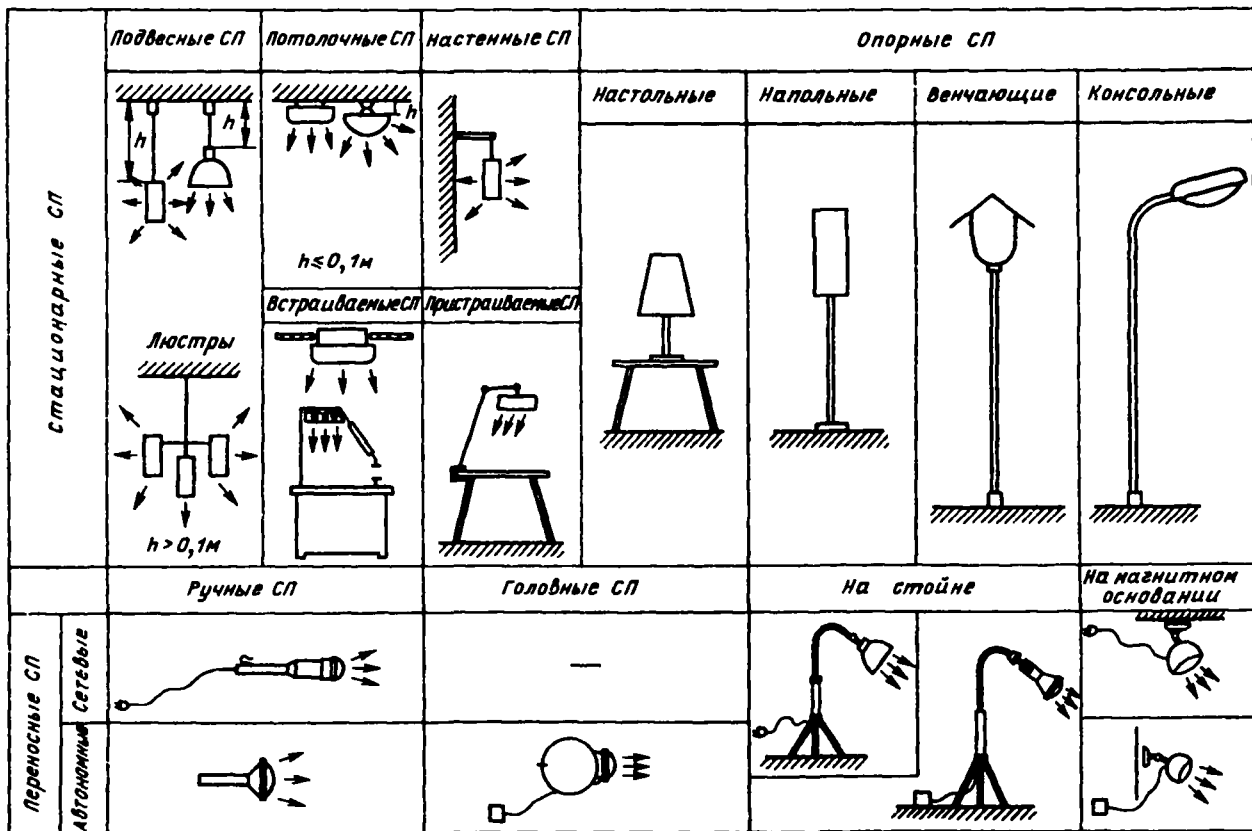


Рис. 6.3. Классификация СП по способу установки

бранном виде и предназначенные для освещения или сигнализации.

Подобно классификации СП, световые комплексы подразделяются по основной светотехнической функции, по общим условиям эксплуатации и по основному назначению (внутренние — рекламно-информационные, для транспортных средств, светящиеся потолки, мнемосхемы, с полыми или волоконными световодами, гирлянды; наружные — рекламно-информационные, для транспортных средств, аэродромные, гирлянды и др.).

Необходимо особо подчеркнуть, что главные признаки классификации СП являются самостоятельными и независимыми. Таким образом, могут существовать как светильники, так и прожекторы и для освещения, и для световой сигнализации, при этом указанные приборы могут быть предназначены как для применения внутри зданий, так и для использования на открытых пространствах или на транспортных средствах.

Выше был использован ряд терминов, требующих дополнительных разъяснений [52]. *Светильниками общего освещения* называются светильники, предназначенные для общего освещения помещений и открытых пространств; *светильниками местного освещения* — светильники, рассчитанные, в основном, на освещение рабочих поверхностей; *светильниками комбинированного*

освещения — приборы, создающие (поочередно или одновременно) как общее, так и местное освещение.

Стационарный СП — прибор, закрепленный на месте установки, для снятия которого требуется применение инструмента. *Нестационарный СП* может быть снят с места эксплуатации без применения инструмента и перемещен с одного места на другое. *Переносный СП* — нестационарный прибор с индивидуальным источником питания или отключаемый при перемещении СП.

Необходимо отметить, что использованные ранее термины «бра» (синоним настенного светильника), «торшер» (напольный светильник), «плафон» (потолочный светильник) являются недопустимыми к применению. Под встречающимся в светотехнической литературе термином «декоративный светильник» понимается светильник, являющийся в основном декоративным элементом интерьера или экстерьера и играющий ограниченную роль в создании необходимых условий освещения, а «ночник» принято называть светильник, обеспечивающий возможность ориентации в помещении в темное время суток.

Под экстремальными условиями среды понимаются такие, когда одна или несколько характеристик среды имеют значения, резко превышающие значения для других условий (например, температура существенно

выше $+40$ или ниже -60°C , имеет место абсолютный вакуум или СП погружен в воду).

6.2. СВОТТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СП

Светораспределение СП, светотехническая классификация. Светораспределение — важнейшая светотехническая характеристика СП, определяющая распределение его светового потока в пространстве, окружающем СП. Прожекторы и светильники, используемые на относительно больших расстояниях от освещаемых объектов, во много раз превышающих размеры самих приборов, характеризуются распределением силы света — пространственной плотностью потока. Светильники же местного освещения, работающие на относительно небольших расстояниях, соизмеримых с размерами этих приборов, характеризуются распределением освещенности — плотностью светового потока по поверхности.

Светораспределение прожекторов и светильников общего освещения обуславливается формой фотометрического тела СП и описывается *кривыми силы света*.

При этом под *фотометрическим телом* СП понимается геометрическое место концов радиусов-векторов, выходящих из светового центра прибора, длина которых пропорциональна силе света прибора в соответствующем направлении. Кривой силы света (КСС) называется кривая зависимости силы света СП от меридиональных и экваториальных углов, получаемая сечением фотометрического тела СП плоскостями.

Наиболее полное представление о светораспределении СП дает семейство КСС, образуемое при сечении фотометрического тела плоскостями, имеющими общую линию пересечения, которая является осью вращения этих плоскостей. При этом в зависимости от ориентации этой линии относительно оптической оси СП различают меридиональную и продольную системы секущих плоскостей [6.6].

В меридиональной системе С ось вращения плоскостей совмещена с оптической осью, при этом плоскости рассекают условную сферу, центр которой совмещен со световым центром СП, по меридианам (рис. 6.4, а). Произвольное направление относительно центра системы определяется двумя углами: экватори-

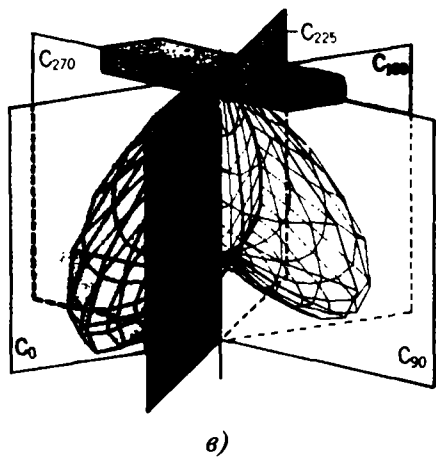
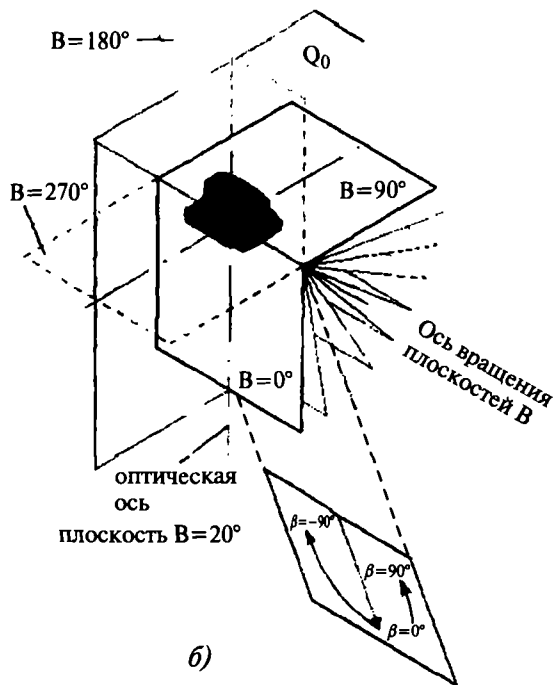
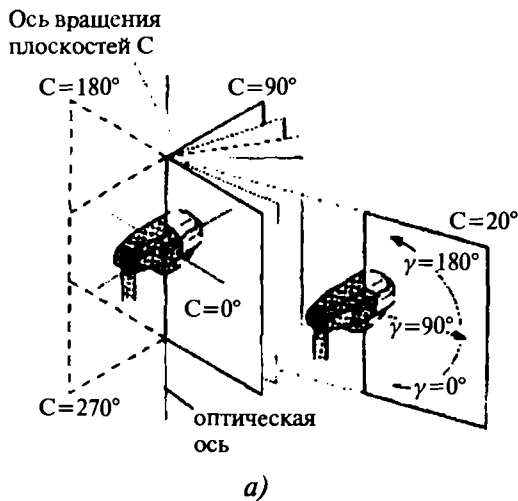


Рис. 6.4. Системы секущих плоскостей: а — меридиональная С- γ ; б — продольная В- β ; в — КСС ОП в основных плоскостях

альным углом C относительно выбранного нулевого направления $C_0 = 0$ и меридиональным углом γ , отсчитываемым в меридиональной плоскости C от положительного направления оптической оси. В международной практике вместо привычного для меридиональной системы обозначения углов (α, β) используется обозначение (C, γ) , при этом угол α соответствует углу γ , а угол β — углу C . То же относится и к продольной системе (B, β) . Ориентация СП в этой системе такова, что для неосесимметричных СП главная поперечная и главная продольная плоскости совпадают с плоскостями $C_0 - C_{180}$ и $C_{90} - C_{270}$ соответственно. Для прожекторов с лирой плоскость C_{180} перескает лиру при наиболее характерном расположении. Координатные углы в этой системе изменяются в следующих диапазонах: $C = [0^\circ \div 360^\circ]$ или $[-180^\circ \div 180^\circ]$, $\gamma = [0^\circ \div 180^\circ]$.

В продольной системе B ось вращения плоскостей лежит в главной продольной плоскости, проходит через световой центр СП и перпендикулярна оптической оси СП (рис. 6.4, б). Для такой системы произвольное направление в пространстве также определяется двумя углами: углом B , ориентирующим продольную плоскость, в которой лежит данное направление, относительно главной продольной плоскости $B_0 = 0$, и углом β , отсчитываемым от линии пересечения этой плоскости B с главной поперечной плоскостью Q_0 . Ориентация неосесимметричных СП в этой системе обусловлена главной продольной плоскостью B_0 , с которой совмещена оптическая ось СП. Для СП с лирой последняя совмещается с плоскостью B_{270} . Координатные углы в этой системе изменяются в следующих диапазонах: $B = [0^\circ \div 360^\circ]$ или $[-180^\circ \div 180^\circ]$, $\beta = [-90^\circ \div 90^\circ]$.

Между углами обеих систем существует однозначная связь [6.6], позволяющая переходить из одной системы в другую.

Для осесимметричных СП бесспорное преимущество имеет меридиональная система, для других типов СП обе системы равноправны, и выбор определяется удобством фотометрирования.

Представление КСС СП для компьютерных программ расчета ОУ подробно рассмотрено в разделе 8 и [6.6]. Существует еще третья система (A, α) , отличающаяся от системы (B, β) только тем, что ось вращения плоскостей перпендикулярна главной продольной плоскости. Эта система практически не применяется.

В зависимости от формы фотометрического тела СП подразделяются на симметричные (рис. 6.5, а), фотометрическое тело которых имеет ось или плоскость симметрии, и несимметричные (рис. 6.5, б), отличающиеся отсутствием элементов симметрии фотометрического тела. К первой группе СП относятся широко распространенные осесимметричные прожекторы и светильники, фотометрическое тело которых имеет ось симметрии, концентрирующие поток в конусе (рис. 6.6, а), а также различные светильники, направляющие световой поток достаточно равномерно в пределах всей нижней полусферы (рис. 6.6, в, г). К симметричным приборам относятся, например, имеющие две плоскости симметрии светильники с линейными лампами (ЛЛ, ксеноновыми, ГЛН и др.) и прожекторы

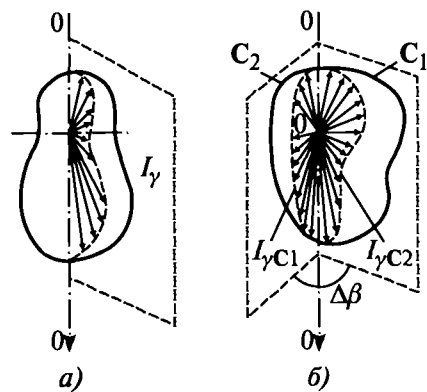


Рис. 6.5. Симметричные (а) и несимметричные (б) фотометрические тела СП

с линейными лампами, концентрирующие поток в веере, а также имеющие одну плоскость симметрии светильники типа «кососвет» (рис. 6.6, б, д, ж).

Для характеристики светораспределения СП, особенно светильников, имеющих КСС с четким максимумом, часто применяют понятие «коэффициент усиления» $K_{\gamma\gamma}$, под которым понимают величину, характеризующую усиление светильником силы света лампы в данном направлении. При этом для осесимметричных приборов $K_{\gamma\gamma}$ определяется отношением силы света СП в данном направлении к среднесферической силе света $I_{\Delta\theta}$ осесимметричной лампы:

$$K_{\gamma\gamma} = I_{\gamma} / I_{\Delta\theta} = I_{\gamma} \cdot 4\pi / \Phi_{\text{л}} \quad (6.1)$$

Для симметричных СП с линейными лампами коэффициент усиления определяется отношением силы света СП в данном направлении к силе света лампы (лампы) в этом же направлении:

$$K_{\gamma\gamma} = I_{\gamma} / I_{\text{л}\gamma} \quad (6.2)$$

Как правило, под коэффициентами усиления понимают их максимальные значения для СП, т.е. $K_{\gamma\gamma \text{ max}} = I_{\text{max}} / I_{\text{л max}}$ для СП с двумя плоскостями симметрии; $K_{\gamma\gamma \text{ max}} = I_{\text{max}} 4\pi / \Phi_{\text{л}}$ для симметричных СП.

Для того, чтобы иметь возможность сравнивать КСС СП, имеющих различные число, мощность и цветность ламп, а также для многоламповых СП эти кривые строят обычно для условного светового потока, равного 1000 лм (суммарный световой поток n ламп). Значения силы света СП с лампами, работающими в условиях данного СП, получают умножением значений силы света, найденных из КСС (для СП с лампами с потоком 1000 лм), на фактический световой поток установленных в СП ламп (в килолюменах).

Для описания светораспределения любого осесимметричного СП достаточно одной меридиональной КСС, для симметричных — семейства меридиональных КСС для различных меридиональных плоскостей, число которых выбирается исходя из формы фотометрического тела. Для СП с двумя плоскостями симметрии (прежде всего для СП и прожекторов с линейными

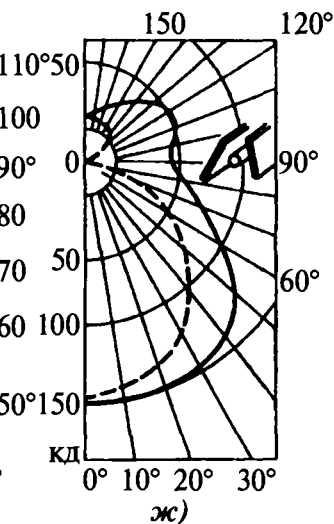
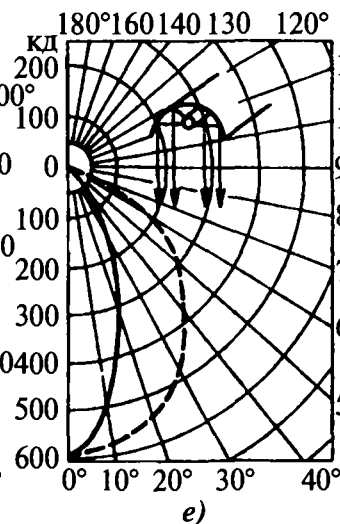
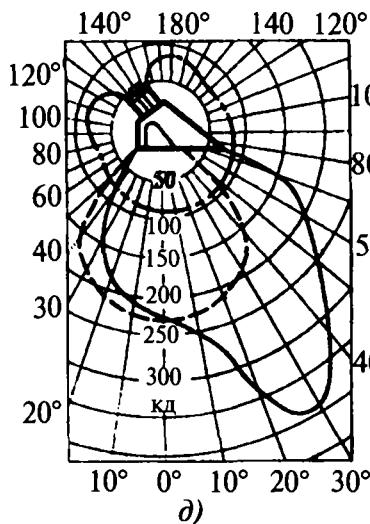
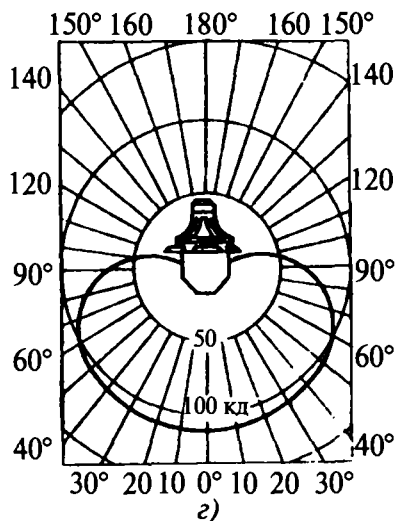
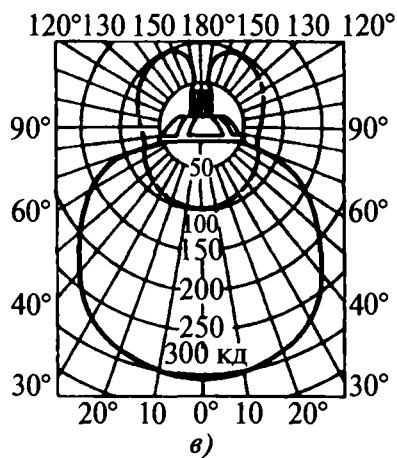
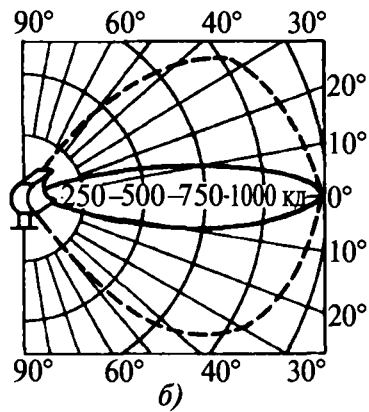
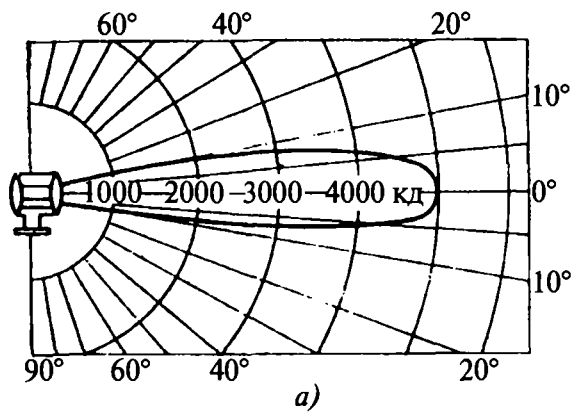


Рис. 6.6. Кривые силы света СП: а — осесимметричных прожекторов; б — симметричных прожекторов с двумя плоскостями симметрии с верхним пучком; в — осесимметричных светильников; г — осесимметричных светильников, равномерно рассеивающих поток в нижней полусфере; д — светильников типа «космос» с одной плоскостью симметрии; е, ж — симметричных светильников с двумя плоскостями симметрии; — — — в главной меридиональной плоскости; - - - - в главной продольной плоскости

Классы светильников по светораспределению

Обозначение класса светильника по светораспределению	Наименование класса светильника по светораспределению	Доля светового потока, направляемая в нижнюю полусферу, $\Phi_n / \Phi_{св}$, %
П	Прямого света	Свыше 80
Н	Преимущественно прямого света	60–80
Р	Рассеянного света	40–60
В	Преимущественно отраженного света	20–40
О	Отраженного света	20 и менее

лампами) обычно ограничиваются КСС только в двух главных плоскостях — меридиональной и продольной (см. рис. 6.4). Для большого числа случаев применения СП необходимо знать их КСС не только в нижней, но и в верхней полусфере пространства.

Многообразие КСС симметричных СП охватывается светотехнической классификацией этой самой крупной группы СП [51]. В основу классификации положены два независимых признака светораспределения СП: соотношение световых потоков, направляемых в разные полусферы пространства, и форма КСС.

По светораспределению СП в зависимости от соотношения светового потока Φ_n , направляемого в нижнюю полусферу, и полного светового потока светильника $\Phi_{св}$ подразделяются на 5 классов, указанных в табл. 6.2.

Кривые силы света светильников указанных классов (в любых меридиональных плоскостях в верхней и нижней полусферах) в зависимости от формы КСС подразделяются на 7 типов в соответствии с табл. 6.3,

Таблица 6.3

Типы КСС светильников

Обозначение типа КСС	Наименование типа КСС в верхней и нижней полусферах	Зона возможных направлений максимальной силы света, град	Значения коэффициентов формы КСС	Приближенное математическое выражение КСС (см. табл. 6.5)
К	Концентрированная	0–15	$K_\phi \geq 3$	$I_\gamma = I_0 \cos m\gamma$
Г	Глубокая	0–30; 180–150	$2 \leq K_\phi < 3$	
Д	Косинусная	0–35; 180–145	$1,3 \leq K_\phi < 2$	$I_\gamma = I_0 \cos \gamma$
Л	Полуширокая	35–55; 145–125	$1,3 \leq K_\phi$	$I_\gamma = I_0 \left[\frac{\cos \gamma}{\cos(\theta \sin^n C\gamma)} \right]$
Ш	Широкая	55–85; 125–95	$1,3 \leq K_\phi$	
М	Равномерная	0–90; 180–90	$K_\phi \leq 1,3$ при этом $I_{\min} > 0,7I_{\max}$	$I_\gamma = I_0$
С	Синусная	70–90; 110–90	$K_\phi < 1,3$ при этом $I_0 < 0,7I_{\max}$	$I_\gamma = I_0 \sin \gamma$

рис. 6.7 и 6.8, а, б. Форма КСС в табл. 6.3 является независимой характеристикой светораспределения, а не подклассом соответствующего класса, указанного в табл. 6.2. В табл. 6.4 даны значения параметров, приведенных в табл. 6.3.

Под коэффициентом формы K_ϕ понимается отношение максимальной силы света I_{\max} в меридиональной плоскости к условному среднелогарифмическому значению силы света $I_{ср}$, определенному для той же плоскости по формулам

$$I_{ср} = 1/9 \sum_5^{85} I_\gamma \quad \text{или} \quad I_{ср} = 1/9 \sum_{175}^{95} I_\gamma. \quad (6.3)$$

Значения силы света I_γ находятся для углов 5, 15, 25, ..., 85° для нижней полусферы и 175, 165, 155, ...,

95° для верхней. Под I_0 и I_{\min} понимаются соответственно значения силы света по оси светильника под углом $\alpha=0$ и минимальное значение силы света.

Таблица 6.4

Значения параметров в формулах таблицы 6.3

Параметр, ед. изм.	Тип КСС			
	К	Г	Л	Ш
I_0 , кл	2400	800	155	90
m	2,91	1,65	—	—
θ , град	—	—	70	85
n	—	—	1,2	1,5
C	—	—	1,7	1,2

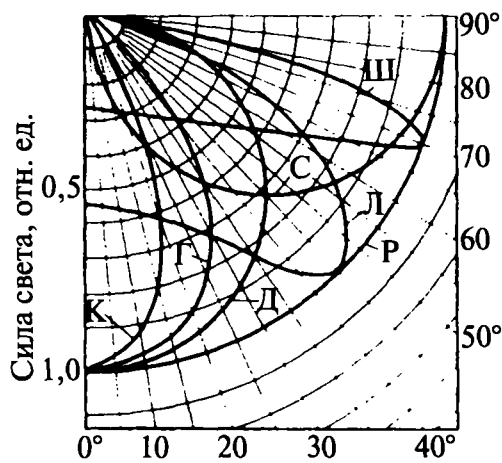


Рис. 6.7. Типы КСС (в относительных единицах)

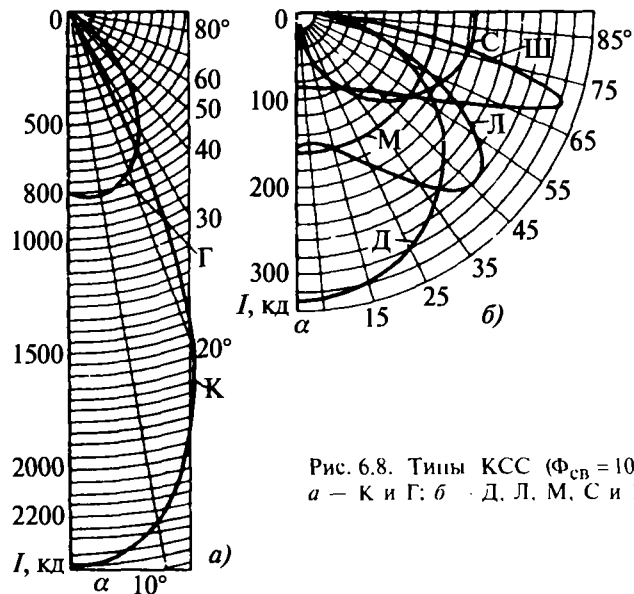


Рис. 6.8. Типы КСС ($\Phi_{св} = 1000 \text{ лм}$): а - К и Г; б - Д, Л, М, С и Ш

Таблица 6.5

Значения типовых КСС осесимметричного ОИ ($\Phi_{оп} = 1000 \text{ лм}$)

$\gamma, \text{ град}$	$I_\gamma = \text{const}$	$I_\gamma = I_0 \cos(m\gamma)$								$I_\gamma = I_0 \{\cos \gamma / \cos [0 \sin^n(C)\gamma]\}$			
		$m=0,7841$	$m=1,0374$	$m=1,1038$	$m=1,2928$	$m=1,5109$	$m=1,7582$	$m=2,0402$	$m=2,3683$	$m=2,7471$	$\theta=70^\circ$ $n=1,2$ $C=1,66$	$\theta=78,3^\circ$ $n=1,4$ $C=1,39$	$\theta=84,4^\circ$ $n=1,5$ $C=1,2$
Типовые КСС круглосимметричного ОИ													
	М	Д1	Д2	Д3	Г1	Г2	Г3	К1	К2	К3	Ш1	Ш2	Ш3
0	159,2	233,4	295,0	377,3	503,0	670,7	894,2	1192	1583	2120	154,8	119,6	78,3
5	159,2	232,9	294,0	375,5	499,8	664,8	883,8	1173	1549	2062	155,5	19,0	78,6
10	159,2	229,2	290,5	370,3	490,2	647,5	852,5	118	1449	1893	158,2	118,6	79,4
15	159,2	228,5	286,5	361,6	474,4	618,5	801,1	1026	188	1595	164,5	120,2	81,4
20	159,2	224,7	277,2	349,8	452,7	579,5	731,2	902	1052	1261	75,5	126,0	81,7
25	159,2	220,0	269,6	334,3	425,1	530,2	643,8	750	810	832	190,7	134,0	83,3
30	159,2	214,1	255,5	316,0	392,1	471,4	541,3	574	515	249	210,8	145,0	87,2
35	159,2	207,1	246,0	294,7	354,1	404,7	439,9	380	196	0	235,1	159,6	94,8
40	159,2	199,3	226,0	270,7	311,7	330,9	301,0	74	0		261,8	180,4	105,4
45	159,2	190,6	215,5	244,2	265,3	251,4	168,8	0			281,6	209,7	121,3
50	159,2	180,0	189,6	215,4	215,5	167,3	32,6				282,1	243,3	137,1
55	159,2	170,5	179,0	184,6	162,9	81,8	0				257,2	269,7	162,0
60	159,2	159,2	147,5	152,0	108,3	0					212,9	275,0	199,0
65	159,2	147,1	137,6	118,2	52,6						161,7	247,6	230,0
70	159,2	134,3	100,9	8,01	0						13,6	194,0	252,0
72	159,2										95,9	167,0	243,2
74	159,2										79,4	39,0	225,0
75	159,2	121,0	92,3	47,4							71,5	125,2	212,3
76	159,2										63,8	111,1	199,0
78	159,2										49,1	84,5	165,5
80	159,2	106,9	51,2	11,1							35,8	60,4	127,7
82	159,2										23,8	39,5	89,1
84	159,2										13,8	22,5	53,6
85	159,2	92,5	44,4	0							10,0	16,2	39,0
86	159,2										6,2	10,1	25,0
88	159,2										1,6	2,5	6,4
90	159,2	77,7	19,9								0	0	0

Примечание. Значения коэффициента m приведены с повышенной точностью для расчетов с использованием ПК.

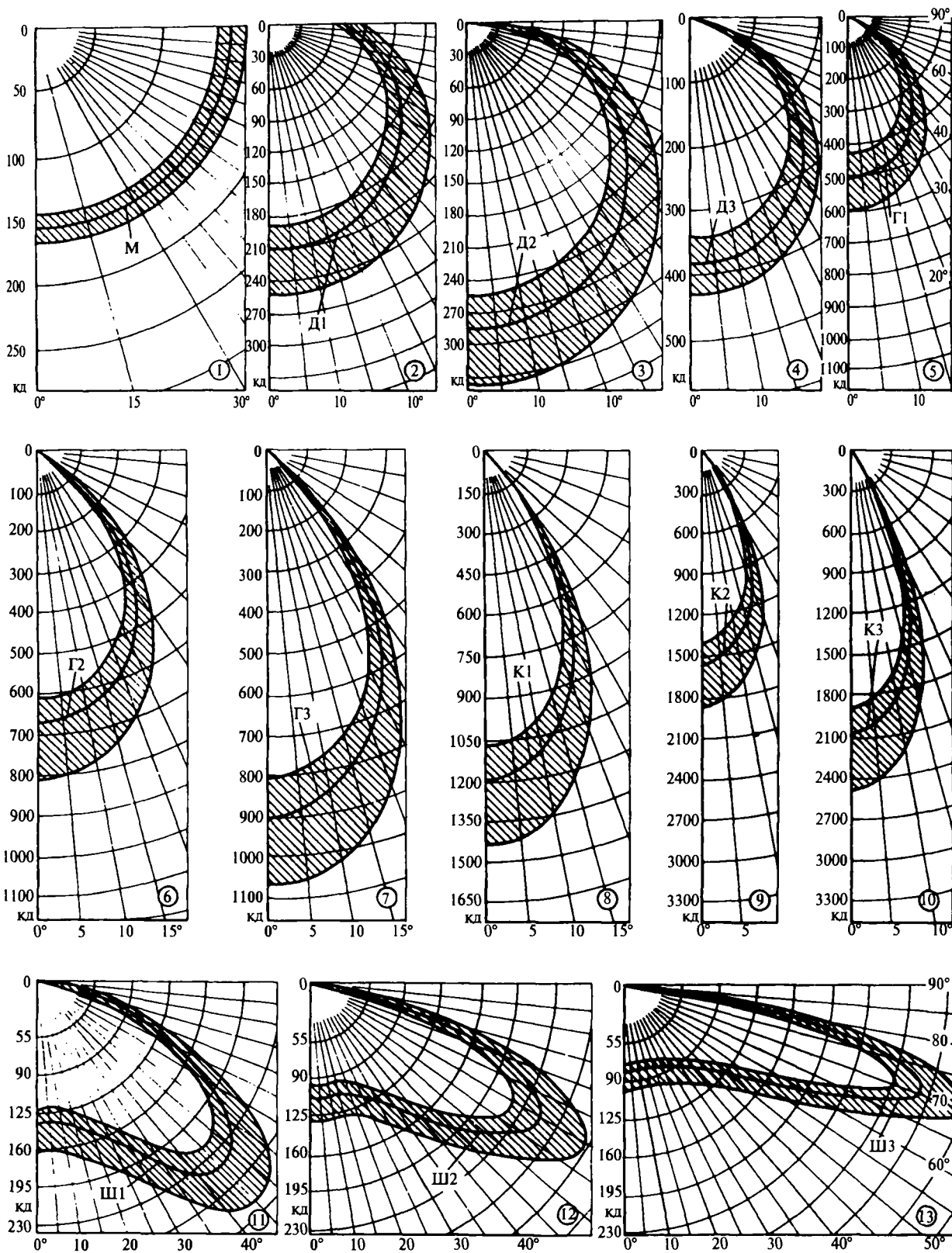


Рис. 6.9. Детализированные типовые КСС светильников и поля допусков на значения силы света ($\Phi_{св} = 1000 \text{ лм}$)

В соответствии с классификацией каждому СП присваивается светотехническое наименование, которое образуется из наименований его класса по светораспределению и типа КСС. При этом в наименовании СП, как правило, указывается, какой полусфере или меридиональной плоскости свойственна данная типовая КСС. В наименовании не указывается, какой полусфере свойственна типовая КСС, если основной светотехнической характеристикой СП является его КСС в нижней полусфере. В наименовании СП с линейными лампами может приводиться только название типовой КСС в поперечной плоскости без указания на это в том случае, если КСС в продольной плоскости является косинусной. Для СП с круглосимметричным светораспределением в наименовании не указывается меридиональная плоскость, для которой дана КСС. Допускается классификация СП только по классам светораспределения, если указание типа КСС непелесообразно (например, для светильников местного освещения, декоративных, бытовых).

На рис. 6.9 и в табл. 6.5 приведены детализированные типовые КСС светильников и поля допусков на значения силы света, равные +20 — -10% [6.7]. Ис-

пользование 14 типовых КСС, описывающих практически все встречающиеся КСС симметричных СП, позволило рассчитать вспомогательные материалы для проектирования ОУ [84]. (На рис. 6.9 не приведена типовая синусная КСС № 14).

6.3. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

При проектировании зданий и сооружений во многих случаях необходимо знать распределение в пространстве энергии, выделяемой осветительной установкой. В частности, при проектировании инженерных систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха эта информация является обязательной.

В табл. 6.6 приведены данные из [86] о распределении энергии, излучаемой основными группами ИС.

Вся подведенная к СП энергия распределяется в пространстве путем светового, УФ- и ИК-излучений в нижнюю и верхнюю полусферы, конвекционного распределения энергии в те же полусферы пространства и теплопередачей. В табл. 6.7 приведены доли распределяемой энергии, а на рис. 6.10 — схемы этого распределения при различных способах установки СП и типах потолков [86].

Таблица 6.6

Распределение энергии источников света, % [85]

Вид энергии	ЛЛ			ЛЛ***		РЛВД			
	100 Вт**	500 Вт	ГЛЛ 400 Вт	40 Вт Т12	40 Т8 F32	400 Вт ДРЛ	400 Вт МГЛ	400 Вт НЛВД	180 Вт НЛНД
Свет	10	12	13,7	19	23,4	14,6	20,6	25,5	29,0
ИК	72*	70*	67,2*	30,7	29	46,4	31,9	37,2	37
УФ				0,4	0,4	1,9	2,7	0,2	0
Конвекция	18	17,7	19,1	36,1	34,2	27	31,1	22,2	49,1
ЭМ балласт	—			13,8	13	10,1	13,7	14,9	18,2

* — ИК от 700 до 5000 нм

** — биспираль

*** — холодно-белого света, T_{cp} на колбе ЛЛ 41 и 37°C соответственно.

Таблица 6.7

Распределение энергии, выделяемой светильниками с ЛЛ в пространстве, % [85]

Способ установки	Подвесной	Потолочный	Встраиваемый	Приточный	Вытяжной
Пленум*, воздухообмен	нет	нет	статичный	вентилируемый	вентилируемый
Свет. помещение	18	18	18	18	18
ИК. помещение	32	72	30	25	15
ИК. пленум	0	0	4	9	5
Конвекция. помещение	40	10	42	39	0
Конвекция. пленум	0	0	3	6	59

* Пленум — пространство над подвесным потолком в помещениях.

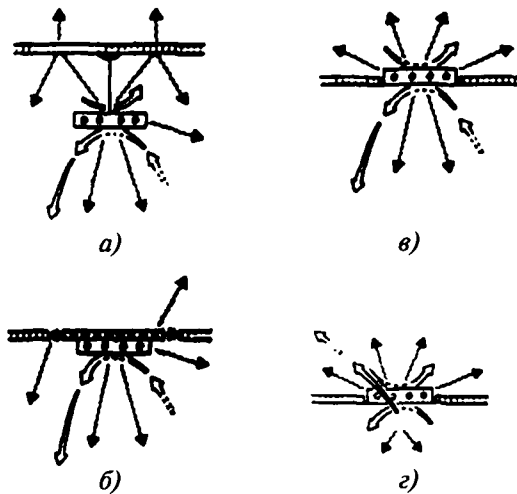


Рис. 6.10. Распределение энергии, выделяемой СП в пространстве: *а* — подвесные СП; *б* — потолочные СП; *в* — встраиваемые СП; *г* — то же, но с вентилируемыми подвесными потолками. → излучение, ⇒ конвекция

6.4. ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

Электрическая безопасность определяется классом защиты от поражения электрическим током (или видом приборов по электрической изоляции), степенью защиты от соприкосновения с токоведущими частями, напряжением, сопротивлением и электрической прочностью электрической изоляции, путями утечки и воздушными зазорами.

Существуют 4 класса защиты СП от поражения электрическим током: 0, I, II и III (табл. 6.8).

Под малым напряжением понимается номинальное напряжение СП, не превышающее 42 В между проводом и землей (при напряжении холостого хода до 50 В). Безопасным считается также напряжение до 110 В постоянного тока.

Электрическая безопасность СП характеризуется сопротивлением изоляции между различными частями, находящимися под напряжением, как при нахождении СП в нормальных условиях окружающей среды, так и после определенного периода нахождения в условиях повышенной влажности, причем длительность этого

Таблица 6.8

Классы защиты СП от поражения электрическим током

Класс защиты	Вид электрической изоляции СП*	Наличие в СП зажима для присоединения заземляющего провода	Характеристика постоянно присоединенных внешних проводов	Особенности СП
0	Рабочая изоляция на всех частях	Отсутствует	Отсутствует	Металлические корпуса, изолированные рабочей изоляцией от находящихся под напряжением частей СП, корпус из изоляционных материалов, обеспечивающих рабочую изоляцию (частично или полностью)
I	То же	Имеется	В случае присоединения к системе питания с помощью гибкого провода или шнура они имеют на конце специальный заземляющий контакт (возможна вилка с заземляющим контактом)	Могут иметь части с двойной или усиленной изоляцией или части, работающие при малом напряжении
II	Двойная или усиленная изоляция	Отсутствует	Отсутствует	Механически прочные корпуса из изоляционного материала, покрывающего все металлические части (за исключением мелких деталей, отделенных от частей СП, находящихся под напряжением, с изоляцией не хуже усиленной); металлические корпуса, в которых везде применена двойная или усиленная изоляция; комбинированные СП (сочетание указанных выше)
III	Рабочая изоляция для работы только в системе питания малым напряжением	То же	Имеются только для присоединения к системе питания малым напряжением	Только для работы в системах питания малым напряжением

* Рабочая изоляция обеспечивает нормальную работу СП и основную защиту от поражения электрическим током; *дополнительная (или защитная) изоляция* — независимая изоляция, предусмотренная дополнительно к рабочей изоляции для защиты от поражения электрическим током в случае нарушения рабочей изоляции; *двойная изоляция* — изоляция, включающая как рабочую, так и дополнительную изоляцию; *усиленная изоляция* — улучшенная рабочая изоляция с такими электрическими и механическими свойствами, при которых она обеспечивает ту же степень защиты от поражения электрическим током, что и двойная.

периода зависит от основного назначения СП. Электрическая прочность изоляции определяется значениями испытательного напряжения частотой 50 Гц, которое должно выдерживаться без пробоя или перекрытия токоведущих частей.

Взрывозащищенность. В зависимости от области применения взрывозащищенные СП условно разделяются на следующие группы: I — рудничные взрывозащищенные СП для подземных выработок, шахт и рудников, опасных по газу и пыли, и II — взрывозащищенные СП для внутренней и наружной установки на предприятиях химической, нефтяной, газовой и других отраслей промышленности, где возможно образование взрывоопасных смесей.

В зависимости от уровня взрывозащиты все СП подразделяются [6.5, 45] на СП повышенной надежности против взрыва, взрывобезопасные СП и особовзрывобезопасные СП. Под взрывозащитой понимаются специальные конструктивные средства и меры, которые обеспечивают невозможность окружающей взрывоопасной газо-, паро- и пылевоздушной смеси от электрических искр, дуг, пламени и нагретых частей СП. Световыми приборами повышенной надежности против взрыва называются такие, в которых предусмотрены меры, затрудняющие возникновение опасных искр, электрических дуг и нагрева, а также обеспечивающие взрывозащиту СП только в режиме их нормальной работы. Взрывобезопасными называют такие СП, в которых предусмотрены меры защиты от взрыва окружающей взрывоопасной смеси в результате действия искр, электрических дуг или нагретых поверхностей как при нормальной работе, так и при вероятных повреждениях СП, определяемых условиями эксплуатации (кроме повреждения средств взрывозащиты). Под особовзрывобезопасными понимают СП, в которых приняты специальные дополнительные средства взрывозащиты.

Классификация взрывозащищенных СП в зависимости от области применения, уровня и вида взрывозащиты, а также от температурного класса СП приведена на рис. 6.11.

Взрывонепроницаемая оболочка — вид взрывозащиты СП, имеющих оболочку, выдерживающую давление взрыва внутри нее и предотвращающую распространение взрыва из оболочки в окружающую взрывоопасную среду. Защитный светопропускающий элемент при этом является составной частью оболочки, а все детали, на которых могут возникнуть опасные искрения или температуры, как в рабочем, так и в аварийном состояниях, заключены во взрывонепроницаемую оболочку.

Одним из важнейших средств обеспечения взрывонепроницаемости является создание взрывонепроницаемых соединений элементов оболочек с помощью взрывонепроницаемых щелей, образуемых взрывозащитными поверхностями. **Взрывонепроницаемыми щелями** называются просветы между прилегающими частями оболочки, через которые могут прорываться продукты взрыва или дугового короткого замыкания, не вызывая воспламенения окружающей СП взрывоопас-

ной смеси. **Взрывонепроницаемая щель** характеризуется длиной, конфигурацией и чистотой обработки поверхностей.

Искробезопасная электрическая цепь — вид взрывозащиты, при которой электрическая цепь СП выполнена так, что электрический разряд или нагрев не может воспламенить взрывоопасную среду.

Защита вида «е» — вид взрывозащиты, заключающейся в том, что в СП (или его части), не имеющих нормально искрящих частей, принят ряд мер (дополнительно к используемым в СП общего назначения), затрудняющих появление опасного нагрева, электрических искр и дуг.

Заполнение или продувка оболочки под избыточным давлением — вид взрывозащиты, при которой СП заполняется прозрачной жидкостью и имеет отключающие устройства, обеспечивающие снятие напряжения при снижении уровня жидкости ниже допустимого, или внутренняя полость СП продувается чистым воздухом или инертным газом. В СП с масляным заполнением оболочка заполняется маслом, негорючим диэлектриком.

Автоматическим защитным отключением называется вид взрывозащиты, при которой СП автоматически отключается от источника тока при разрушении светопропускающего элемента или колбы лампы, устраняя при этом опасность возникновения условий, при которых возможен взрыв взрывоопасной смеси, окружающей СП.

При эксплуатации взрывозащищенных приборов запрещается использовать лампы большей мощности, чем указано на светильнике. Недопустимо также заменять лампы одного типа на лампы другого.

Замена перегоревших ламп должна выполняться только после отключения светильника от сети, остывания светильника на протяжении времени, при котором температура всех частей лампы и осветительной арматуры станет меньше той, при которой возможно поджигание окружающей взрывоопасной смеси. Включение лампы должно осуществляться только после полной сборки и установки в рабочее положение всего светильника.

В соответствии с классификацией ПУЭ [45] взрывоопасных газо- и паровоздушных смесей на 6 групп (от Т1 до Т6), в зависимости от минимальной температуры самовоспламенения смеси, допустимая температура на поверхностях любых элементов светильников для смесей этих групп не должна превышать соответственно 450, 300, 200, 135, 100 и 80°C.

Пожарная безопасность. Пожарная безопасность СП означает практическую невозможность загорания как самого прибора, так и окружающей его среды, что обеспечивается конструкцией СП, выбором комплектующих изделий и материалов с температурными характеристиками, соответствующими тепловому режиму работы СП. При этом характеристикой пожаробезопасности является соответствие температуры на основных элементах СП допустимым значениям как в рабочем, так и в аварийном режиме работы.

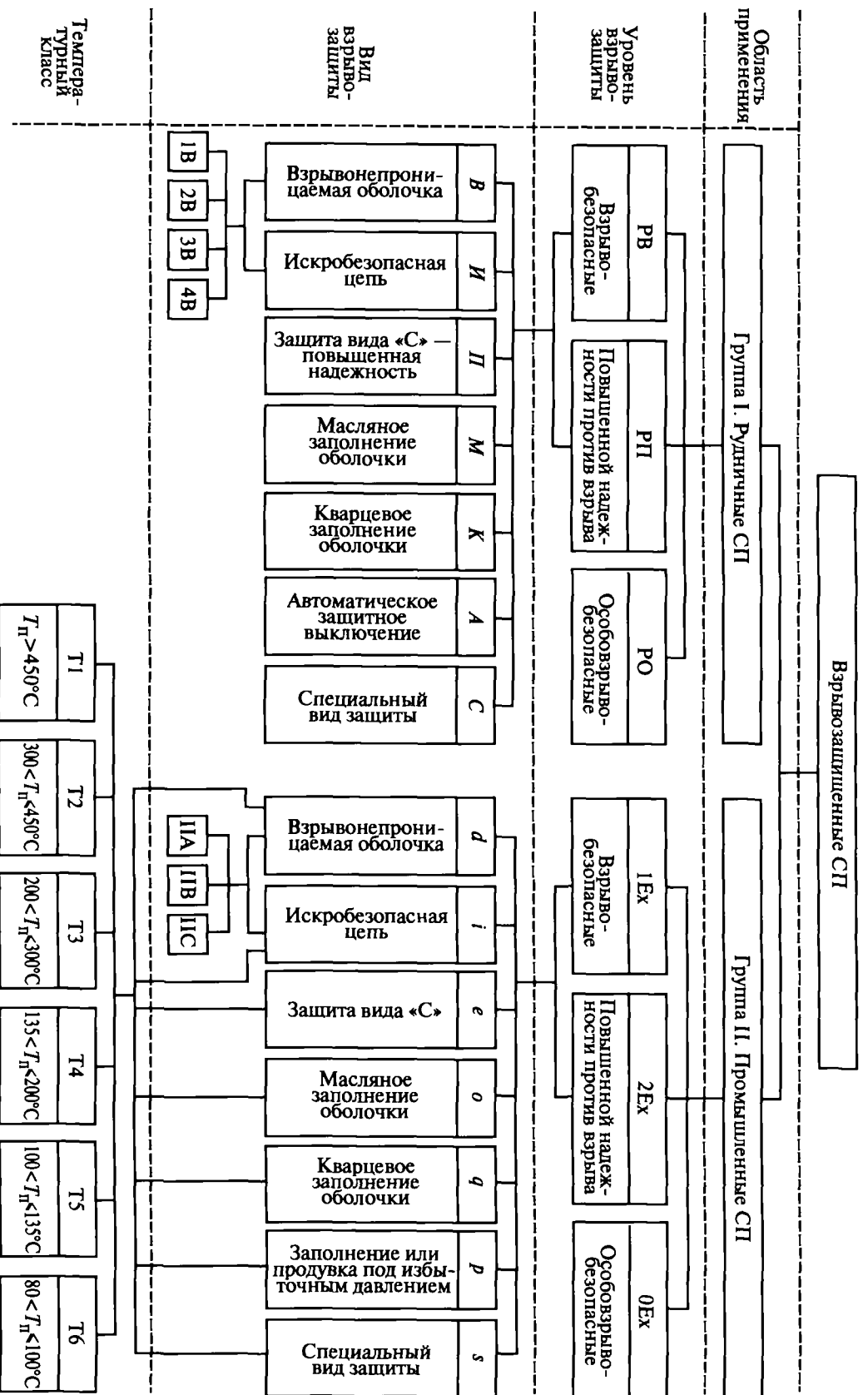


Рис. 6.11. Классификация взрывозащищенных СП

Для потолочных, встраиваемых и опорных СП существенными с точки зрения пожарной опасности являются параметры возгораемости материалов, из которых изготовлены опорные поверхности. Эти материалы могут быть условно разделены на 3 группы: нормально возгораемые (горючие) материалы, температура воспламенения которых менее 200°C и которые не деформируются при этой температуре (например, дерево или материалы на его основе толщиной свыше 2 мм); негорючие материалы, т.е. те, которые не способны поддерживать горение (например, металл, бетон, штукатурка); легко возгораемые материалы, которые не могут быть классифицированы как нормально возгораемые (например, фанера или другие материалы, содержащие дерево, толщиной менее 2 мм).

Предназначенные для установки непосредственно на опорные поверхности из нормально возгораемых материалов СП в международной практике получили символ F в треугольнике (см. § 6.6). Легко возгораемые материалы непригодны для непосредственной установки на них СП.

Механическая безопасность. Механическая безопасность различных СП характеризуется: вибрационными или ударными нагрузками (многократными или однократными), определяемыми соответственно диапазоном частот вибрации и максимальным ускорением или максимальным ускорением и длительностью удара; усилиями, прикладываемыми к узлам подвеса в целях определения их механической прочности, причем эти усилия или направлены перпендикулярно к опорной поверхности или приложены в виде крутящего момента: крутящими моментами, выдерживаемыми резьбовыми и другими жесткими механическими соединениями частей СП, а также креплением патронов для ламп; устойчивостью опорных СП, определяемой углом опрокидывания СП, находящегося в наиболее неблагоприятном положении.

В табл. 6.9 приведены значения характеристик механических факторов (степени жесткости), которые должны выдерживать СП соответствующей группы.

Защита от воздействия среды. Защита от пыли, воды и агрессивных сред обеспечивается, как правило, выбором соответствующих конструктивных и светотехнических материалов, а также различной степенью герметизации внутреннего объема СП или его отдельных полостей (прежде всего полости расположения электрических контактов).

В соответствии с классификацией электрического оборудования установлены одновременно степени защиты оборудования от попадания внутрь него твердых посторонних тел (в частности, пыли) и степени защиты персонала от соприкосновения с находящимися под напряжением частями, расположенными внутри оболочки изделий (табл. 6.10). Степени защиты СП от воды также приведены в табл. 6.10. Степень защиты СП характеризуется двумя цифрами, обозначающими сочетание классов и подклассов конструкций СП. Первая цифра означает подкласс СП по степени защиты от пыли и от соприкосновения с находящимися под напряжением частями, а вторая — степень защиты СП от проникновения воды. Для обозначения степени защиты перед двумя цифрами ставятся буквы IP (Ingress Protection — защита от прикосновения) во всех случаях, когда степени защиты СП соответствуют степени защиты всего остального электрооборудования.









Общей классификацией предусматривается в основном одинаковая степень защиты для всех частей каждого вида электрооборудования. Вместе с тем нашли широкое применение СП, имеющие не защищенные от окружающей среды открытые лампы (рис. 6.12) или лампы, закрытые неуплотненными светопропускающими оболочками, при этом корпуса СП с расположенными в них электрическими контактами могут иметь пылезащитное или пыленепроницаемое исполнение (т.е. СП, различные части которых имеют различные

Таблица 6.9

Степени жесткости механических факторов, действующих на СП

Воздействующий фактор	Значение характеристики			Степень жесткости
	Диапазон частот, Гц	Максимальное ускорение, м/с ²	Длительность удара, мс	
Вибрационная нагрузка	1-35	5	—	I
	1-60	10	—	II
	1-60	20	—	III
	1-80	50	—	IV
	1-5000	400	—	XIX
	100-5000	400	—	XX
Ударная нагрузка: многократная	—	150	2-15	I
	—	1000	1-3	IV
	—	40	40-60	I
	—	200	20-50	II
	—	30000	0,2-0,5	VIII

Степени защиты СП

Степень защиты от пыли и соприкосновения с токоведущими частями				Степень защиты от воды		
Защита от попадания твердых тел	Защита от прикосновения с токоведущими частями	Условное графическое обозначение	Цифровое обозначение (первая цифра из двух)	Наименование степени защиты	Условное графическое обозначение	Цифровое обозначение (вторая цифра)
Незащищенные	Нет специальной защиты		0	Водонезащищенное (защита отсутствует)		0
защита от попадания твердого тела диаметром > 50 мм	Нет защиты от прикосновения к контактам	-	1	Капельзащищенное (защита от попадания капель, падающих сверху под углом до 15° к вертикали)		2
защита от попадания твердых внешних тел диаметром более 12 мм	Палец или другое тело длиной более 80 мм или внешний предмет диаметром более 12 мм	-	2	Дождезащищенное (защита от попадания капель или струй, падающих сверху под углом до 60° к вертикали)		3
защита от попадания внешних твердых тел диаметром более 2,5 мм	Инструмент или проволока или любой другой внешний жесткий предмет диаметром более 2,5 мм	-	3	Брызгозащищенное (защита от капель или брызг, падающих под любым углом)		4
защита от попадания внешних твердых тел диаметром более 1 мм	Проволока или полоса твердого материала или другое твердое тело размером более 1 мм	-	4	Струезащищенное (защита от струй воды, падающих под любым углом)		5
Пылезащищенные	Токосоведущие части защищены от попадания пыли в количествах, препятствующих нормальной работе		5	Водонепроницаемое (защита от попадания воды при погружении на определенные глубины и время)		7
Пыленепроницаемые	Проникновение пыли отсутствует		6	Герметичное (защита от попадания воды при неограниченно долгом погружении на заданную глубину)		8

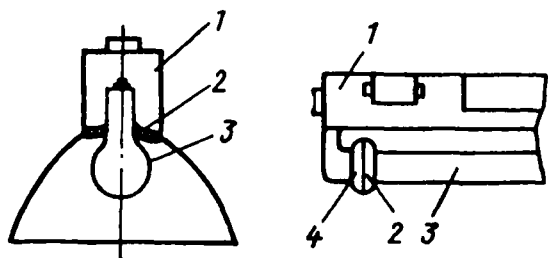


Рис. 6.12. Принципиальные конструктивные схемы некоторых СП со степенями частичной защиты от пыли 5' и 6': 1 — защищенная зона (уплотненный корпус); 2 — эластичный уплотняющий элемент (по колбе лампы); 3 — колба лампы; 4 — специальный уплотненный патрон

степени защиты). С учетом этого, а также того, что основной функциональной частью СП является ИС, на характеристики которого сильно влияет запыление, в отечественную классификацию СП введены подклассы конструкций по степени защиты от пыли, обозначаемые цифрами со штрихами (в этих случаях буквы IP не ставятся).

Наиболее распространенные степени защиты СП от воздействия пыли и воды приведены в табл. 6.10. Если для СП нет необходимости в одной из предусмотренных цифр в обозначении защиты, допускается использовать в обозначении букву X вместо цифры, соответствующей тому виду защиты, который в данном СП не требуется или испытание которого не производится.

Значения температуры воздуха при эксплуатации СИ в различных климатических условиях

Исполнение изделия	Категория изделия	Нормальные значения температуры воздуха при эксплуатации СИ, °С				
		Рабочие			Предельные	
		Верхнее значение	Нижнее значение	Среднее значение	Верхнее значение	Нижнее значение
У	4	+35	+1	+20	+40	+1
	4.1	+25	+10	+20	+40	+1
	4.2	+35	+10	+20	+40	+1
	5	+35	-5	+10	+35	-5
	1; 2; 3	+40	-40	+10	+45	-50
ХЛ	4	+35 (25)	+1	+20	+40	+1
	4.1 (4.2)	+35	-10	+10	+35	-10
	5 1; 2; 3	+40	-60	+10	+45	-60
Т	4	+45	+1	+27	+55	+1
	4.1	+25	+10	+20	+40	+1
	4.2	+45	+10	+27	+45	+10
	5	+35	+1	+10	+35	+1
	1; 2; 3	+45	-10	+27	+55	-20
О	4	+45	+1	+27	+55	+1
	4.1	+25	+10	+20	+40	+10
	4.2	+45	+10	+27	+45	+1
	5	+35	-10	+10	+35	-10
	1; 2; 3	+45	-60	+27	+55	-60

Световые приборы выпускаются в различных климатических исполнениях и предназначаются для эксплуатации в соответствующем климатическом районе. Примеры климатического исполнения СП приведены в табл. 6.11. Световые приборы, имеющие указанные климатические исполнения, изготавливают по различным категориям в зависимости от места размещения при эксплуатации.

Значения некоторых климатических факторов внешней среды принимают равными значениям, приведенным для примера в табл. 6.11 и 6.12. В число климатических факторов внешней среды, влияющих на выбор исполнений СП и определение их категорий в зависимости от условий их эксплуатации (табл. 6.13), хранения и транспортирования, входит также совокуп-

ность данных о давлении воздуха или газа, солнечной радиации, дожде, пыли, резких сменах температуры, соляном тумане, действии плесневых грибов, содержании в воздухе коррозионно-активных агентов, определяемых в [6.3]:

Климатическое исполнение изделия, предназначенного для эксплуатации на суше, реках, озерах, в макроклиматических районах с умеренным климатом	Буквенное обозначение
с холодным климатом	У
с влажным тропическим климатом	ХЛ
с сухим тропическим климатом	ТВ
как с сухим, так и с влажным тропическим климатом	ТС
любых на суше (общеклиматическое исполнение)	Т
	О

Таблица 6.12

Значения относительной влажности воздуха (для исполнений изделий У и ХЛ)

Категория изделия	Относительная влажность, %			Степень жесткости
	Среднемесячное значение в наиболее теплый и влажный период и продолжительность его воздействия		Верхнее значение при 25°С и ниже	
	Значение при 20°С	Продолжительность, мес.		
4, 4.1, 4.2 3,1	65	12	80 без конденсации влаги	I II
	80	2	98 без конденсации влаги	
2		6		III IV V
1	80	6	100 с конденсацией влаги	
5	90	12	100 с конденсацией влаги	

Примечание. Действующими стандартами предусматривается 8 степеней жесткости.

Категории изделий в зависимости от места размещения при эксплуатации

Место и условия эксплуатации изделий	Категория изделий
Для работы на открытом воздухе	1
Для работы в помещениях, где колебания температуры и влажность воздуха несущественно отличаются от колебаний на открытом воздухе и имеется сравнительно свободный доступ наружного воздуха, например, в палатках, кузовах, прицепах, металлических помещениях без теплоизоляции, а также в кожухе комплектного устройства изделия категории I или под навесом (отсутствие прямого воздействия солнечной радиации и атмосферных осадков на изделие)	2
Для работы в закрытых помещениях с естественной вентиляцией без искусственно регулируемых климатических условий, где колебания температуры и влажности воздуха и воздействие песка и пыли существенно меньше, чем на открытом воздухе, например, в металлических с теплоизоляцией, каменных, бетонных, деревянных помещениях (существенное уменьшение воздействия солнечной радиации, ветра, атмосферных осадков, отсутствие росы)	3
Для работы в помещениях с искусственно регулируемыми климатическими условиями, например, в закрытых отапливаемых производственных и других, в том числе хорошо вентилируемых помещениях (отсутствие прямого воздействия солнечной радиации и отсутствие воздействия атмосферных осадков, ветра, а также воздействий песка и пыли наружного воздуха) в том числе в помещениях с кондиционированным или частично кондиционированным воздухом в лабораторных, капитальных жилых и других помещениях подобного типа	4 4.1 4.2
Для работы в помещениях с повышенной влажностью (например, в неотопляемых и невентилируемых подземных, в том числе шахтах, подвалах, в почве, в таких судовых, корабельных и других помещениях, в которых возможно длительное наличие воды или частичная конденсация влаги на стенах и потолке, в частности, в некоторых цехах текстильных, гидрометаллургических производств и т.п.)	5

Предусмотрено также исполнение изделий, предназначенных для установки на морских судах, а также для всех макроклиматических районов на суше и на море.

6.5. ХАРАКТЕРИСТИКИ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ

Под надежностью понимается свойство изделий выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в определенных пределах в течение требуемого промежутка времени. *Световые приборы являются восстанавливаемой (ремонтируемой) системой с невозстанавливаемыми элементами.* При этом элементами системы СП являются узлы и детали конструкции, выполненные из определенных материалов, комплектующие изделия (лампы, ПРА, стартеры, ЭУ и др.), электрическая проводка и т.д. Для СП основным показателем надежности является долговечность, которая характеризуется либо сроком службы, либо ресурсом. Для большинства СП стандартами и техническими условиями нормируются значения срока службы, которые для промышленных СП составляют 8–10 лет, для бытовых — 5, для уличных — 8. Срок службы СП как ремонтнопригодных изделий определяется, главным образом, сроком службы тех основных элементов, которые нельзя заменить в процессе эксплуатации, т.е. прежде всего отражателей и рассеивателей (такие комплектующие элементы, как ПРА и ЭУ, являются покупными и заменяемыми изделиями).

Под долговечностью понимается свойство изделий сохранять работоспособность до предельного состояния (с необходимыми перерывами для технического

обслуживания и ремонта). Предельное состояние наступает тогда, когда происходит отказ. Под отказом СП понимается наступление такого состояния, которое характеризуется следующими признаками или их совокупностью: а) световой поток СП, проработавшего определенное время после чистки и замены ИС данного типа на новый, становится ниже заданного значения, минимально необходимого для создания нормируемой освещенности в конкретной ОУ; б) в результате длительной эксплуатации КСС прибора деформирована таким образом, что СП не обеспечивает требуемых условий освещения (в наибольшей степени это относится к зеркальным и призматическим СП); в) сопротивление изоляции СП снижается до значений, недопустимых по правилам электробезопасности; г) механическая прочность узлов крепления защитных стекол, рассеивателей, отражателей, узлов подвеса уменьшается до предела, представляющего опасность для работающих или обслуживающего персонала.

Ко всем светильникам общего назначения предъявляется требование, чтобы после 120 ч работы при температуре $35 \pm 5^\circ\text{C}$, напряжении, равном 110% номинального для светильников с РЛ, или мощности, равной 115% номинальной для светильников с ЛН, КПД (или освещенность) снижались не более чем на 10% от первоначального значения, цвет и форма поверхностей не подвергались изменениям.

На такой важнейший показатель СП, как снижение светового потока при эксплуатации, влияет ряд взаимосвязанных факторов, определяющих старение и загрязнение ИС в СП, выход ИС из строя, загрязнение СП и старение их материалов.

В табл. 6.14 дана классификация основных конструктивно-светотехнических схем СП по их эксплуатационным характеристикам. В зависимости от схемы, степени защиты от пыли, твердости светотехнических материалов и покрытий (табл. 6.15) все СП разделены на 7 эксплуатационных групп; при этом чем больше номер группы, тем менее подвержены СП воздействию среды и тем в более тяжелых условиях целесообразно их использование. При использовании ламп-светильников эксплуатационная группа СП повышается на одну ступень (кроме СП класса VII), при использовании экранирующих решеток или колпачков эксплуатационная группа снижается на одну ступень (кроме СП с продуваемыми конструктивными исполнениями).

В процессе эксплуатации в результате многократных загрязнений и чисток происходит необратимое снижение КПД СП из-за старения светотехнических материалов, которое тем меньше, чем тверже материал. Все материалы и покрытия разделены на три группы по твердости: твердые — Т (твердость по шкале Мооса более 6), средней твердости — СТ (2,5–6) и мягкие — М (менее

2,5). К твердым относятся силикатная эмаль и силикатное стекло, практически полностью восстанавливающие свои свойства после чистки, к материалам и покрытиям средней твердости — алъзакированный алюминий, покрытия, полученные методом вакуумного распыления алюминия с последующей защитой зеркального слоя жидким стеклом, химически обжаренный алюминий. К этой же группе условно отнесены такие материалы, как поликарбонат, полиметилметакрилат, жесткий поливинилхлорид, а также эмали на основе алкидных и меламино-формальдегидных смол и др. К мягким материалам, практически непригодным для эксплуатации в тяжелых условиях среды, относятся такие органические эмали, как МЛ-242, АС-72, АС-81, пудры ПАКЗ, а также полиэтилен и полистирол.

Необратимое изменение КПД СП со схемами классов IA и VA (табл. 6.14), отражатели которых покрыты твердой силикатной эмалью, после 10 циклов длительных испытаний в тяжелых условиях среды составляет 2%, в то время как для СП с химически обжаренным алюминием средней твердости оно равно 14–19%, а

Таблица 6.14

Эксплуатационные группы светильников

Конструктивно-светотехническая схема светильников		I			II			III			IV		V		VI		VII*
С лампами накаливания и РЛВД	A																
С люминесцентными лампами	B1																—
	B2												—		—		
Степень защиты от пыли		2; 5'; 6'			2; 5'; 6'			2'			5; 6		5; 6		5; 6		5'; 6'
Группа твердости светотехнических материалов (покрытий)		T	CT	M	T	CT	M	T	CT	M	T	CT	T	CT	T	CT	T
Эксплуатационная группа светильников		5	4	3	6	5	4	2	2	1	7	6	5	4	6	5	7

* Не относится к высокотемпературным лампам, к наружной поверхности пыль может пригореть.

Таблица 6.15

Группы твердости светотехнических материалов

Вид материала или покрытия	Материалы (или покрытия) отражателей или рассеивателей	
	отражающие свет	пропускающие свет
T — твердые	Покрытие силикатной эмалью	
CT — средней твердости	1. Эпоксидно-порошковое покрытие 2. Покрытие нитрозмалью НЦ-25 3. Эмалевое покрытие МЛ-12 4. Алъзак-алюминий, защищенный слоем жидкого стекла	1. Поликарбонат 2. Полиметилметакрилат 3. Поливинилхлоридная жесткая пленка типа «Санлоид»
M — мягкие	1. Эмалевое покрытие МЛ-242 2. Эмалевое покрытие АК-11022 3. Покрытие акриловой эмалью 4. Алюминий, распыленный в вакууме, с защитой лаком УВЛ-3	1. Полиэтилен высокого давления 2. Полистирол

для СП с мягкими покрытиями — 40–50%. Наименьшее старение покрытий отражателей, естественно, имеет место в СП классов IV и VII.

Влияние окружающей среды помещений на светотехнические характеристики ламп-светильников мало. Значение эксплуатационных КПД промышленных СП с ЛЛ с внутренним отражающим слоем выше, чем с обычными. При этом увеличение КПД СП с ЛЛ с внутренним отражающим слоем становится все более заметным с увеличением запыленности СП. Сказанное не относится к СП с высокотемпературными ИС с внутренним отражателем, к наружной поверхности выходных отверстий которых пыль может пригореть.

Открытые СП класса I (см. табл. 6.14), имеющие наибольшие начальные КПД, характеризуются и наибольшим его снижением из-за загрязнения ламп и оптических элементов (снижение КПД в 1,5–2 раза больше, чем для СП класса IV). Наибольшая стабильность параметров при работе в тяжелых условиях среды также свойственна СП класса IV.

Наличие верхних вентиляционных отверстий в отражателях светильников для внутреннего освещения способствует улучшению теплового режима СП и уменьшению как запыляемости, так и пригорания пыли, что облегчает чистку. Доля снижения КПД за счет загрязнения колб ламп относительно невелика (меньше 3% даже для открытых СП). Основное снижение КПД происходит за счет загрязнения оптических элементов СП (от 8 до 16% за цикл испытаний), причем наиболее загрязняются открытые отражатели СП классов I и V. В СП классов IV и VI (при отсутствии отражателя) снижение КПД связано в основном с загрязнением защитных стекол, но степень восстанавливаемости КПД весьма велика.

Большое значение имеет правильный учет условий эксплуатации при выборе конструкций СП для улиц. В [6.8] приведены данные об изменении основных характеристик СП с лампами типа ДРЛ при длительной работе на улицах промышленных районов с загрязненной атмосферой. Характеристики закрытых СП более стабильны и значительно лучше восстанавливаются после чистки. Из рис. 6.13 видно, что использование открытых СП на улицах допустимо только в хороших атмосферных условиях.

При запылении СП происходит не только снижение КПД, но и изменение формы КСС, причем тем в

большей степени, чем ближе отражающие поверхности к зеркальным. По мере запыления зеркального СП его КСС все больше приближается к КСС диффузного СП, коэффициент отражения которого равен интегральному коэффициенту отражения запыленной зеркальной поверхности. В связи с этим плохая эксплуатация зеркальных СП приводит к снижению не только КПД, но и коэффициентов использования ОУ, т.е. резко сказывается на их технико-экономических характеристиках. Для работы в тяжелых условиях среды зеркальные СП должны применяться только в полностью пылезащитном или пыленепроницаемом исполнении (класс IV по табл. 6.14); открытое исполнение (классы I и II) зеркальных СП допустимо в этих условиях только при использовании специальных твердых защитных пылеотталкивающих покрытий.

Тепловой режим СП. Одной из важных групп требований к СП является обеспечение длительной и безреборной работы в условиях напряженного теплового режима, характерного для СП многих типов. Решение проблемы теплового режима для большинства СП лежит на пути применения более нагревостойких материалов и покрытий, а также ИС, ПРА, ЭУ, проводов, конденсаторов, рассчитанных на длительную работу при существующих в СП температурах.

Для объективной оценки и сопоставления теплонапряженности различных СП вне зависимости от типа и мощности ламп, габаритов, формы, примененных материалов было предложено [40] ввести коэффициент превышения температуры $K_{\Delta t, i}$, показывающий, во сколько раз значения Δt_{ci} комплектующих изделий (ламп, ПРА, ЭУ, зажигающих устройств, конденсаторов, проводов) при работе в СП превышают значения Δt_{oi} этих же комплектующих изделий при работе на открытом воздухе:

$$K_{\Delta t, i} = \Delta t_{ci} / \Delta t_{oi}.$$

С учетом большой роли в происходящих тепловых процессах степени концентрации мощности, связанной с соотношением мощности ламп P_{λ} и суммарной площади теплоотдающей оболочки СП $S_{\text{СП}}$, был введен [40] параметр удельной мощности p , характеризующий тепловой режим конструкций СП:

$$p = P_{\lambda} / S_{\text{СП}}.$$

Классификация СП с различными конструктивно-светотехническими схемами по теплотехническим характеристикам приведена в табл. 6.16. В ней даны значения $K_{\Delta t, \lambda}$ на колбе ламп (лк), цоколях (лц) и ПРА.

Как хорошо видно из табл. 6.16, значения $K_{\Delta t, \lambda}$ на колбе ЛЛ в закрытых светильниках классов II и IV (и особенно уплотненных СП класса IV), имеют средние максимальные значения 2,2–2,4.

В табл. 6.17 приведены для ориентировки усредненные количественные данные о превышении температуры на колбах ЛЛ с диаметром 26 мм типа Т8 в некоторых группах СП [86].

Вместе с тем, значение $K_{\Delta t, \lambda}$ для СП с ЛЛ особенно важно, т.к. световая отдача ЛЛ зависит от температуры, устанавливающейся внутри приборов, а, следовательно, влияющей на их КПД (рис. 6.14). Как видно из этого



Рис. 6.13. Потери светового потока от запыления в открытых (—) и закрытых (---) СП для улиц

Классификация светильников с различными конструктивно-светотехническими схемами
(по табл. 6.14) по теплотехническим характеристикам

Класс		Класс конструктивно-светотехнических схем						
		I	II	III	IV	V	VI	VII
Группа	К _{Δt} , лщ	1,5 (1,3-1,6)	1,2 (1,1-1,3)	1,4 (1,2- 1,6)	1,5 (1,2 -1,9)	1,6 (1,3 2,0)	1,5 (1,2 1,8)	1,1
	К _{Δt} , лк	1,4 (1,2 -1,6)	1,3 (1,-1,5)	1,6 (1,3- 2,0)	1,5 (1,3 2,2)	1,7 (1,2 2,1)	1,5 (1,2- 1,9)	1,2
Б	К _{Δt} , лк	1,38/2,0 (1,6 -2,2)	1,4 (1,3 1,5)	2,2	2,4 (2,1-3,1)			
	К _{Δt} , ПРА	1,8 (1,3 -2,5)	1,5 (1,3-2,3)	2,2	2,5 (2,2 3,4)			

Таблица 6.17

Превышение t°С на ЛЛ

Число ЛЛ	Мощность ЛЛ, Вт	Особенности конструкции	Класс СП (по табл. 6.14)	Превышение T _л °С
4	40	с рассеивателем из ПММА	IV	26 -28
4	40	с зеркальной параболической экранирующей решеткой (ЗЭР)	I	20- 22
2	40	с рассеивателем	IV	21-24
2	40	с ЗЭР	I	10-16
1	40	с рассеивателем	IV	15-18

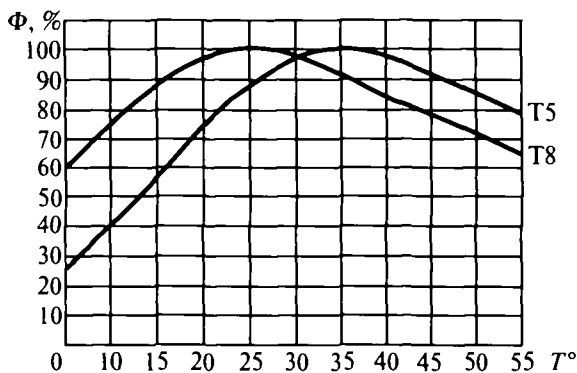


Рис. 6.14. Зависимость светового потока ЛЛ типа T8 и T5 от температуры на колбе лампы

графика, для прямых ЛЛ с диаметром трубки 38 мм (лампа T12), спад светового потока при превышении оптимальной температуры составляет около 1% на 1°С (правая ветвь кривой), а при снижении температуры — 3% на 1°С. Таким образом, при температуре воздуха внутри СП $T = 55^\circ\text{C}$ спад светового потока $\Phi_{л}$ составляет 30%, а при понижении $T^\circ\text{C}$ до нуля спад $\Phi_{л}$ равен 75%.

Превышение температуры отдельных частей СП (при расчетной температуре окружающей среды 25°C) в нормальном и аварийном (дано в скобках) режимах работы не должно быть более приведенных ниже значений (табл. 6.18 и 6.19).

В табл. 6.20 приведены данные о коррозионной стойкости основных материалов, применяемых в СП, к воздействию кислот, щелочей, неочищенных газов, растворителей, масел [6.16], которые важно знать для правильного применения СП и обеспечения их надежной и длительной работы.

Дополнительные характеристики СП

Монтажно-эксплуатационные характеристики. Так как масштаб применения современных ОУ исключительно велик, значимость монтажно-эксплуатационных характеристик СП непрерывно возрастает. Такими характеристиками являются трудоемкости операций по установке и подключению СП, замене ламп и комплектующих изделий, чистке отражателей и рассеивателей СП как в начале эксплуатации, так и на ее протяжении. К этой группе параметров может быть отнесена наработка на отказ, под которой понимается длительность периода между чистками СП в данных условиях эксплуатации. Подробные сведения об эксплуатационных характеристиках ОУ и СП приведены в разделе 11 и в [40].

Уровень создаваемых помех. Помехи (радиопомехи и акустические) создаются СП с РЛ. Световые приборы с ЛЛ генерируют радиопомехи при нормальной работе ламп, и особенно в момент включения СП со стартерными схемами, когда при недостаточном прогреве электродов ламп происходит многократное срабатывание стартеров. Помехи, аналогичные пусковым, часто создаются в конце срока службы ЛЛ, когда напряжение

Допустимые превышения температуры частей СП, °С

Комплекующие изделия и детали СП	ΔT_{\max} , °С
Лампа (на цоколе у колбы): накаливания люминесцентная	185 155
ПРА (на обмотке): с температурной маркировкой: $t_w = 105^\circ\text{C}$ $t_w = 120^\circ\text{C}$ $t_w = 130^\circ\text{C}$ без температурной маркировки: при наличии межслоевой изоляции при ее отсутствии	$t_w - 25$ (168) $t_w - 25$ (191) $t_w - 25$ (205) 70(145) 60(145)
Конденсатор (на корпусе): с температурной маркировкой t_c без температурной маркировки	$t_c - 25$ $t_c - 25$ (35)
Выключатели: с температурной маркировкой Т без температурной маркировки	Т-25 30
Патроны из изоляционных материалов (кроме керамики): типов Е14 и В15 типов Е40, Е27, В22	110 140
Провода с резиновой или ПВХ изоляцией, не подвергающейся механическим нагрузкам	65
Провода с изоляцией: резиновой ПВХ бутилкаучуковой кремнийорганической	40 45 70 150
Опорная поверхность светильников со знаком F в треугольнике	60 (125)
Ручки, кнопки, а также паружные поверхности, за которые берутся руками: металлические из других материалов	35 50
Контактные зажимы и детали из металла, работающие как пружины: из меди из фосфористой бронзы из бериллиевой бронзы из углеродистой стали	50 80 125 95
Пластмасса на основе фенольных смол для изоляции (но не для изоляции проводов и патронов): с древесным наполнением с минеральным наполнением пластмасса на основе мочевиных смол пластмасса на основе меламина резина	85 120 65 75 45

Таблица 6.19

Теплостойкость светотехнических пластмасс

Наименование материала	Температура размягчения по Вика, °С
Органическое стекло матовое ПММА	90–105
Поликарбонат ПК	140–155
Полистиролакрилонитрил (ПС)	95–100
Полистирол светотехнический (ПС-УФ)	90
Полиэтилентерефталат (ПЭТФ)	130–140

Коррозионная стойкость материалов СП

Материал	Коррозионная стойкость материала к воздействию				
	кислот	щелочей	солей	газов (неочищенных)	растворителей
<i>Материалы отражателей</i>					
Алюминий	муравьиной (-) соляной (-) плавиковой (-) серной (-) всех остальных от (x) до +	нашатырного спирта × поташа или ед- кого натра (-)	хлористого аммония () сульфата меди (-) хлорида железа (-) хлористого магния (-) хлорида ртути (-) хлорида никеля (-) сульфата никеля (-) хлористокислого натрия (-) фосфата натрия (-) хлорида цинка (-) хлорида кальция (-) всех остальных от (x) до +	хлора (-) всех остальных от (x) до +	от × до +
Альзакиро- ванный алюминий	жирных × хромовой (-) плавиковой (-) соляной (-) азотной (-) фосфорной (-) серной (-) всех остальных (x)	нашатырного спирта (x) поташа или ед- кого натра (-)	(x)	углекислого газа × дисульфида углерода + всех остальных (x)	+
Силикатное стекло, по- крытое алю- минием	плавиковой (-) хромовой от (x) до × всех остальных от × до +	нашатырного спирта × поташа или ед- кого натра (x)	буры × солей натрия от × до + всех остальных +	+	+
<i>Материалы преломлятелей, рассеивателей или защитных светопропускающих элементов</i>					
Силикатное стекло	плавиковой от (x) до (-) всех остальных +	поташа или ед- кого натра (x) нашатырного спирта +	+	+	+
Органиче- ское стекло (акрилат)	борной + лимонной + жирных + уксусной × формалиновой × соляной × пикриновой × всех остальных (x)	×	+	хлора (x) всех остальных от × до +	от (-) до (x)
Поликарбо- нат	борной + лимонной + жирных + уксусной × формалиновой × соляной × пикриновой × всех остальных (x)	(-)	солей натрия (x) всех остальных +	аммиака (-) хлора (x) всех остальных от × до +	от (-) до (x)
<i>Эмали</i>					
На основе акрилата	борной × лимонной × соляной × всех остальных (x)	нашатырного спирта × поташа или ед- кого натра (x)	×	от × до +	хлорида метилена (-) метилэтилкетона (x) перхлорэтилена (x) трихлорэтилена (x) всех остальных от × до +
На основе эпоксидных смол	борной + уксусной + жирных × соляной × азотной × фосфорной × пикриновой × серной × всех остальных (x)	нашатырного спирта × поташа или ед- кого натра +	+	+	от × до +

Примечание. В таблице приняты следующие обозначения коррозионной стойкости: + — отличная (воздействия на материал не наблюдается); × — хорошая (легкое воздействие на материал, который остается пригодным до конца срока службы изделия); (-) — достаточная (умеренное воздействие на материал, не приводящее к заметному ухудшению характеристик изделий); (-) — низкая (сильное воздействие на материал, значительно сокращающее срок службы изделия).

на ней возрастает, начинает периодически срабатывать стартер и ЛЛ мигает.

Радиопомехи подразделяются на распространяющиеся в пространстве в виде электромагнитных излучений и по проводам питания. Уровень первого вида радиопомех, излучаемых ЛЛ, велик (сказывается на расстоянии не более 1,5 м) и эффективно снижается с помощью конденсатора, подключенного параллельно лампе и расположенного в корпусе стартера. Напряжение же радиопомех, распространяющихся по проводам питания, может значительно превышать регламентированное нормами допускаемых промышленных радиопомех. Наиболее высокие значения уровня радиопомех (80–90 дБ) имеют место в диапазоне длинных и средних радиоволн. Поэтому в СП применяются специальные помехоподавляющие конденсаторные фильтры, снижающие напряжение радиопомех до нормируемых значений (см. разд. 4).

Акустические помехи — шумовой фон — создаются СП с РЛ в связи с наличием источника шума — ПРА. При работе ПРА генерируется определенная звуковая мощность в результате вибрации пластины (элементов) магнитопровода с частотой, равной удвоенной частоте тока. Выпускаемые ПРА подразделяются по создаваемой звуковой мощности на ПРА с нормальным (класса (Н), пониженным (П), низким (А) и особо низким уровнем шума (С) (см. разд. 4). В СП для жилых и общественных зданий должны применяться ПРА только двух последних групп.

6.6. НОВЫЕ СВОТТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Подробно традиционные светотехнические материалы рассмотрены в [41–42, 78]. Ниже даны краткие сведения о новых, появившихся за последние годы и получивших международное признание отражающих и преломляющих свет материалах.

Светоотражающие материалы. Наиболее распространенным листовым материалом для изготовления отражателей и экранирующих решеток светильников, в особенности ОП с ЛЛ, является алязакрированный алюминий. Обработанный электрохимическим методом с применением постоянного тока высокой плотности и серной кислоты, мягкий и быстро корродирующий чистый алюминий приобретает высокую твердость (благодаря оксидной пленке) и коррозиоустойчивость. Однако коэффициент отражения алязакрированных поверхностей не превышает 0,87 и является различным для излучения разных спектральных линий (рис. 6.15).

Новые отражающие покрытия на основе алюминия (фирмы Alanod, Германия) получают методом осаждения из газообразной фазы. На лепту алязакрированного алюминия в вакууме последовательно наносятся слой химически чистого алюминия (99,99%) (для материала *Miro*) или серебра (для *Miro-Silver*), а затем — оптические интерференционные слои из оксида кремния (SiO_2) с низким коэффициентом преломления и оксида титана (TiO_2) с высоким коэффициентом преломления (рис. 6.16). Интерференционные слои повышают

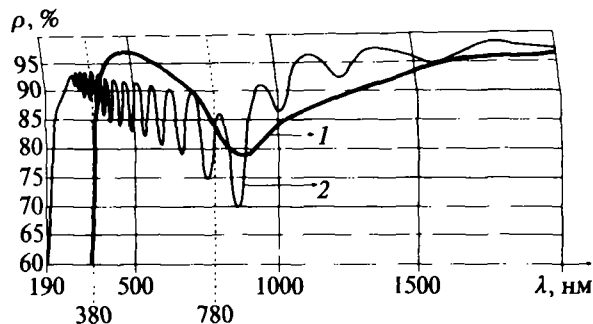


Рис. 6.15. Спектральный коэффициент отражения анодированного алюминия и материала типа *Miro*: 1 — *Miro*; 2 — анодированный алюминий

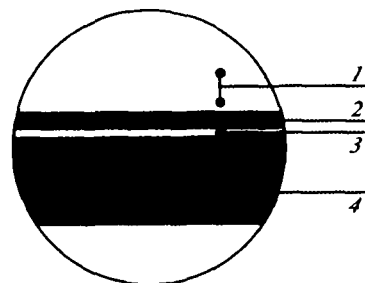


Рис. 6.16. Структура материала типа *Miro*: 1 — система оксидных слоев, усиливающая отражение; 2 — чистый алюминий (99,99%) или серебро; 3 — пограничный слой; 4 — основа материала-Al

коэффициент отражения до 0,95 (*Miro*) и до 0,98 (*Miro-Silver*). Материалы имеют достаточно постоянное значение коэффициента отражения в видимой части спектра, поэтому исключено возникновение так называемых «цветов побежалости». Это особенно важно при использовании в светильниках ЛЛ с трех- или пятиполюстным люминофором, в частности, в ОП с ЛЛ в колбах диаметром 16 мм (Т5).

Материалы *Miro* и *Miro-Silver* выпускаются шириной 1250 мм и толщиной 0,2–0,8 мм. Материал с индексом 2 имеет чисто зеркальную поверхность (диффузная составляющая 5%).

При многократных отражениях (в частности, в полах световодах) параметры светового потока изменяются в соответствии с рис. 6.17 (N — число отражений).

Весьма прогрессивным светоотражающим материалом является рулонный *Silverflux* (компании 3М, США) получаемый методом осаждения тончайшего слоя химически чистого серебра из газообразной фазы на органическую основу (полиэтилентерефталат). Материал имеет зеркальную поверхность с коэффициентом отражения 0,95. Толщина — 1÷3 мм, ширина рулона — 1200 мм.

Многослойная полимерная зеркальная пленка на основе полиэтилентерфалата (PEN) имеет коэффициент отражения более 0,98 (фирменное название *Radiant Mirror Film VM2000* компании 3М, США). Не содер-

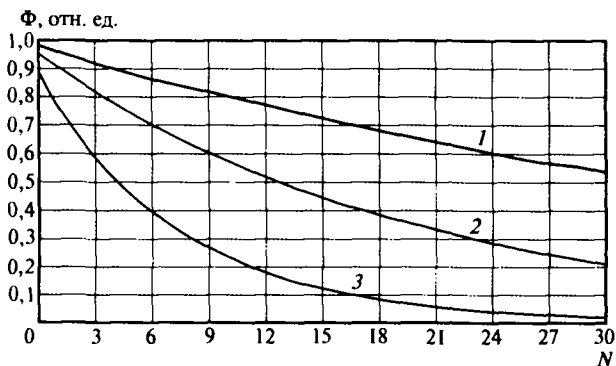


Рис. 6.17. Потери светового потока после многократных отражений: 1 – Miro Silver LCD; 2 – Miro LCD; 3 – анодированный алюминий

жит металлических включений, не корродирует, термостойкость – 125°C при длительной работе. Пропускает ИК и поглощает УФ-излучения. Материал покрыт слоем, стойким к УФ- и абразивному воздействию. Толщина многослойной пленки – 61–68 мкм (или 0,06–0,07 мм).

Материал может быть ламинирован на алюминиевый лист (название в этом случае Vegalux™) и имеет $\rho > 0,99$. Пленка RMF VM2000 имеет многослойную (до

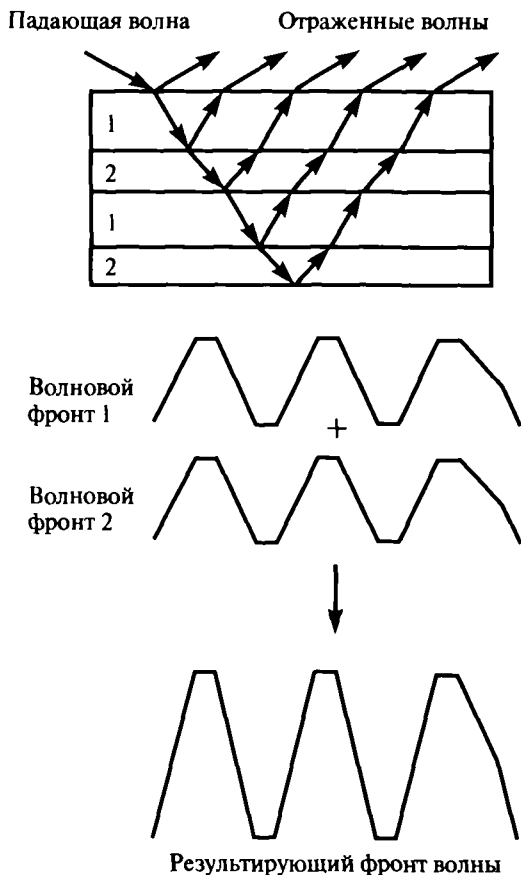


Рис. 6.18. Действие многослойной структуры пленки MRF

сотен слоев) интерференционно действующую структуру (рис. 6.18) и может при разном числе слоев обеспечивать высокий уровень отражения и поляризации света, иметь различный цвет, успешно действовать в ближнем ИК участке спектра.

Сравнительные данные о потерях светового потока при многократных отражениях от нового материала и традиционных металлов даны на рис. 6.19.

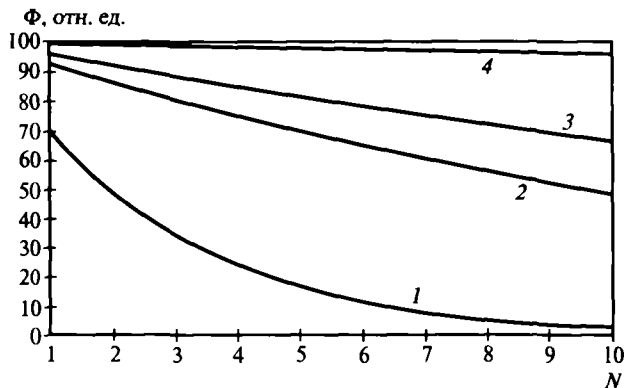


Рис. 6.19. Потери интенсивности излучения при многократных отражениях от материала RMF: 1 – хром; 2 – алюминий; 3 – серебро; 4 – visible mirror

Призматические материалы. Призматическая пленка SOLF (Scotch Optical Lighting Film) компании 3М, США изготавливается из прозрачного полиметилметакрилата (ПММА) или поликарбоната (ПК) в виде листов мерной длины шириной 37,5" (дюйма) (952 мм) и толщиной 0,02" (0,5 мм). Одна сторона листа – гладкая, а другая имеет продольные, равномерно расположенные борозды, представляющие собой призмы треугольного сечения с углом 90° при вершине (рис. 6.20).

Основная особенность такой пленки состоит в том, что в зависимости от направления падающего на гладкую поверхность излучения, пленка является либо отражающим, либо пропускающим материалом [6.12].

Указанные выше свойства пленки базируются на явлении полного внутреннего отражения (ПВО) светового излучения в диэлектриках. Показанная на рис. 6.21 траектория луча, прошедшего внутрь материала

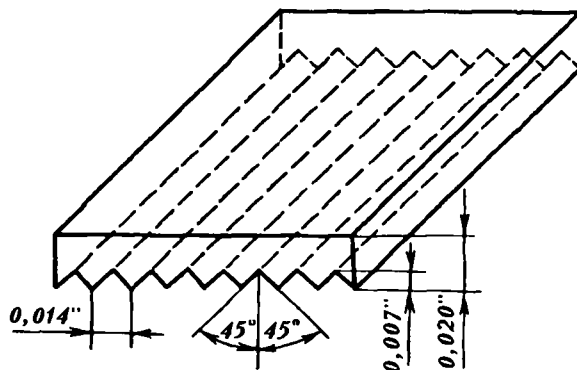


Рис. 6.20. Призматическая пленка типа SOLF

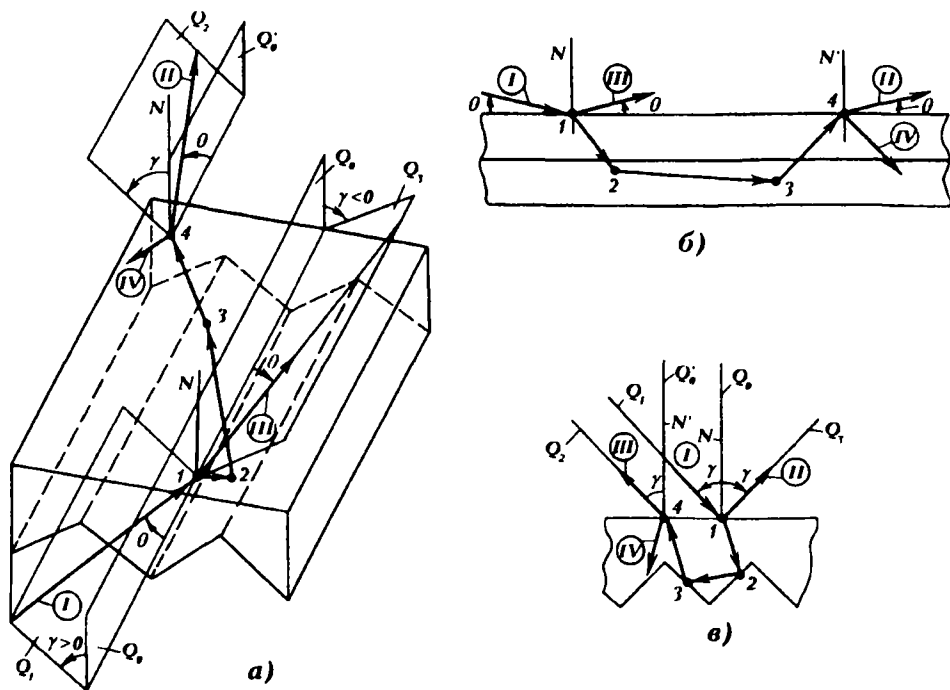


Рис. 6.21. Траектория луча в призматической пленке SOLF в случае ПВО [6.13]: а — в 3-мерном изображении; б — в продольном сечении; в — в поперечном сечении. I — падающий луч; II — луч, отраженный в результате ПВО; III — луч, зеркально отраженный (в результате френелевского отражения) при входе луча в пленку; IV — то же, при выходе луча из пленки

ла, иллюстрирует действие пленки в качестве отражателя. Интересно отметить, что падающий (I) и отраженный в результате ПВО (II) лучи лежат в параллельных продольных плоскостях Q_1 и Q_2 , в отличие от зеркально отраженного (в результате френелевского отражения) луча (III), лежащего в продольной плоскости Q_3 , зеркально симметричной относительно главной продольной плоскости Q_0 , проходящей через нормаль N к гладкой стороне пленки в точке I падения луча. Следовательно, в случае выполнения условий ПВО пленка ведет себя в поперечном сечении подобно световозвращателю, а в продольном — плоскому зеркалу.

Луч претерпит ПВО от пленки только в том случае, если углы γ и θ , определяющие направление падения луча, связаны отношением:

$$\sin 0 \leq \frac{\sqrt{n^2 - 1}}{1 - \sqrt{2} \cdot \sin |\gamma|},$$

где γ — угол отклонения продольной плоскости, содержащей падающий луч, относительно нормали N в точке падения; θ — угол отклонения падающего луча от продольной оси; n — показатель преломления материала пленки.

Область ПВО ограничивается предельным углом $\theta_{пр}$, равным $27,6^\circ$ и $29,5^\circ$ соответственно для ПММА и ПК [6.12, 6.13] для призм с углом 90° при вершине.

Наряду с тонкой гибкой призматической пленкой SOLF выпускаются жесткие плоские пластмассовые френелевские преломлятели (на основе ПММА) толщи-

ной $3 \pm 0,2$ мм и с размерами апертуры (внешним диаметром концентрической призмы) от 508 до 1702 мм (в листах с размерами до 1060×1400 мм), которые имеют фирменный шифр SC (фирма Fresnel Optics, Германия).

Концентрические преломлятели имеют фокусные расстояния от 471 мм для малых изделий и до 1200 мм для больших. Высота призм, получаемых методом микрорепликации, — 0,112 мм.

Позитивные асферические линзы из ПММА типа SC имеют фокусные расстояния от 11 до 127 мм и от 40 до 762 мм, при этом размеры линз составляют от 6,35 до 203 мм и от 152 до 463 мм.

Преломлятели (концентрические — Radial Lens Film, и линейные — Linear Lens Film, рис. 6.22) фирмы 3M, США имеют толщину 0,6 мм, а при ламинировании на поверхность прозрачного ПММА — 3 мм.

Преломлятели поставляются в виде листов или рулонов шириной 533 мм. Первоначальное назначение этих призматических материалов — для использования в концентраторах солнечной энергии с целью нагрева (в частности, воды) или генерирования ЭЭ в фотоэлектрических устройствах. В последующем нашли применение в системах ввода и распределения солнечной энергии для естественного освещения внутри зданий (см. § 18.10).

Особую группу преломлятелей представляют собой световозвращатели (или катафоты), используемые в основном в знаках дорожного движения [6.14]. Световоз-

Концентрические преломлятели

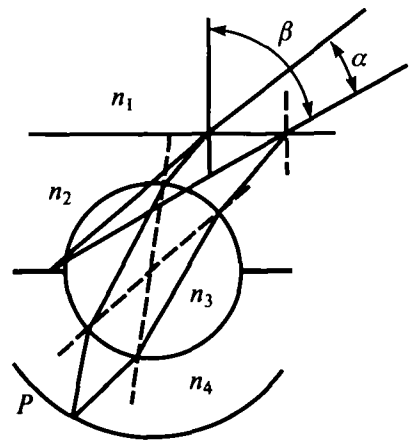
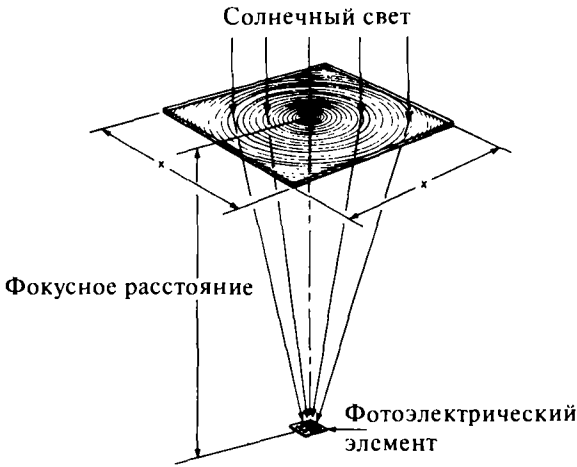


Рис. 6.23. Световозвращающее отражение на стеклянном шарике

Линейные преломлятели

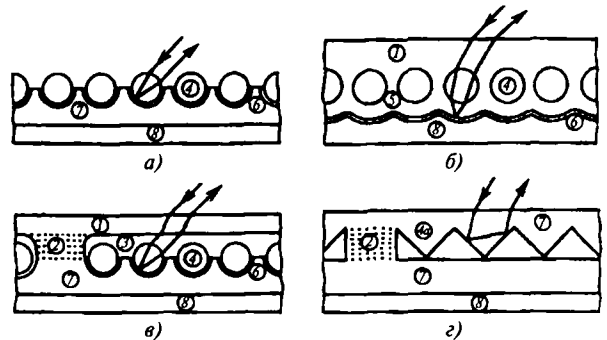
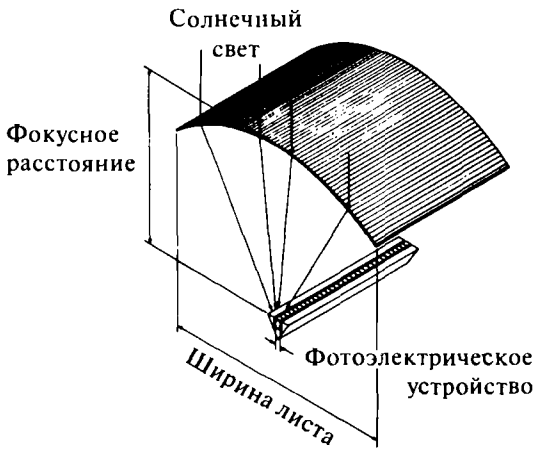


Рис. 6.24. Принципиальные схемы световозвращающих тонкопленочных материалов: *а* — лежащие открыто микроскопические стеклянные шарики (открытые бусинки); *б* — микроскопические стеклянные шарики, смонтированные в защитный слой; *в* — микроскопические стеклянные шарики, встроенные в воздушную камеру; *г* — световозвращающая пластина на основе микропризм. 1 — защитный слой, предохраняющий от воздействия погодных факторов; 2 — зона сварки; 3 — воздушный зазор; 4 — микроскопические бусинки; 4а — микроскопические призмы; 5 — разделяющий слой; 6 — слой напыленного алюминия; 7 — подложка; 8 — слой клея

Рис. 6.22. Призматические листы типа SOLF

вращающее отражение характеризуется тем, что поверхность знака отражает падающий на нее свет назад, в направлении источника света. При изготовлении этих знаков световозвращающая фольга (в виде соответствующих надписей или символов) наклеивается на листы алюминия. Широко известны световозвращатели, которые изготавливаются с использованием микроскопических стеклянных шариков или микроскопических призм. Световозвращающие материалы на основе микропризм используют принцип полного внутреннего отражения на граничной поверхности. В их основе лежит использование тройных зеркал. Если три поверхности расположены перпендикулярно одна к другой, то упавший на первую поверхность световой поток отражается на обе расположенные рядом поверхности и затем отражается практически в обратном направлении. На рис. 6.23, 6.24 показаны схемы прохождения лучей в существующих световозвращателях.

Толщина таких световозвращателей составляет, в зависимости от формы и исполнения, от 100 до 500 мкм.

Во многих случаях использования новых и существующих светотехнических материалов нужно знать их спектральные характеристики отражения и пропускания. Имеющиеся данные [85] приведены в табл. 6.21.

Для разработки СП и их успешного применения представляет значительный интерес поведение основных видов пластмасс при длительном воздействии окружающей среды и излучения ИС. В табл. 6.22 по данным [6.15, 6.16] приведены коэффициенты пропускания и индексы пожелтения (ИЖ) основных групп пластмасс.

Таблица 6.21

Спектральные характеристики материалов, применяемых в СП [85]
(τ — коэффициент пропускания излучения, % и ρ — коэффициент отражения излучения, %)

Материал	Видимое излучение						Ближнее ИК-излучение						Дальнее ИК-излучение							
	400 нм		500 нм		600 нм		1000 нм		2000 нм		4000 нм		7000 нм		10000 нм		12000 нм		15000 нм	
	ρ	τ	ρ	τ	ρ	τ	ρ	τ	ρ	τ	ρ	τ	ρ	τ	ρ	τ	ρ	τ	ρ	τ
Зеркальный алязакированный алюминий	87	0	82	0	86	0	97	0	94	0	88	0	84	0	27	0	16	0	14	0
Диффузный алюминий	79	0	75	0	84	0	86	0	95	0	88	0	81	0	68	0	49	0	44	0
Белые синтетические эмали	48	0	85	0	84	0	90	0	45	0	8	0	4	0	4	0	2	0	9	0
Белые силикатные эмали	56	0	84	0	84	0	76	0	38	0	4	0	2	0	22	0	8	0	9	0
Прозрачное стекло 3,2 мм	8	91	8	92	7	92	5	92	23	90	2	0	0	24	0	6	0	5	0	
Опаловое стекло 3,9 мм	28	36	26	39	24	42	12	59	16	71	2	0	0	24	0	6	0	5	0	
Прозрачный ПММА 3,1 мм	7	92	7	92	7	92	4	90	8	53	3	0	2	0	2	0	3	0	3	0
Прозрачный ПС 3,1 мм	9	87	9	89	8	90	6	90	11	61	4	0	4	0	4	0	4	0	5	0
Белый ПММА 3,2 мм	18	15	34	32	30	34	13	59	6	40	2	0	3	0	3	0	3	0	3	0
Белый ПС 3,1 мм	26	18	32	29	30	30	22	48	9	35	3	0	3	0	3	0	3	0	4	0
Белый ПВХ 0,76 мм	8	72	8	78	8	76	6	85	17	75	3	0	2	0	3	0	3	0	3	0

Таблица 6.22

Изменение оптических свойств листовых пластмасс под воздействием УФ-облучения, влажности и температуры среды

Наименование материала	Показатель	Исходный	Результаты испытаний					
			После воздействия					
			УФ-облучение		Камера влажности — 96%, температура — 70°C		УФ + камера влажности	
3 ч	12 ч	21 ч	63 ч	3–15 ч	12–30 ч			
Светотехническое блочное матовое органическое стекло (ПММА), СБ, Толщина — 3 мм	Коэффициент пропускания, % от исходного ИЖ	100				96	100	96
		33		31,8	30,9	32,6	27,8	30,7
Стекло органическое экструзионное СЭ, (ПММА) Толщина — 2,5 мм	Коэффициент пропускания ИЖ	100 12,6		10,2	100 5,2		64 2,6	94 3,9
Поликарбонат «Paltuf PC Clear» Толщина — 4 мм	Коэффициент пропускания ИЖ	100 1,5	100	100	98 2,8	99 1,6	99 1,1	100 1,1
Поликарбонат «Palgard Clear» Толщина — 4 мм	Коэффициент пропускания ИЖ	100 0,3	100	97	100 1,9	95 1,9	97 1,6	97
Поликарбонат «Lexan» Толщина — 4 мм	Коэффициент пропускания ИЖ	100 5,84	100	98 3,8	99 4,7	98 6,7	100 6,1	97 6,0
Поликарбонат «Карбохим» Толщина — 2 мм	Коэффициент пропускания ИЖ	100 8,2	100	100 9,1	98 8,3	100 6,37	98 10,2	96 12,7
Поливинилхлорид Palgam «Palclear + K» Толщина — 3 мм	Коэффициент пропускания ИЖ Изменение формы	100 4,3	100	100 2,6	91 24,1	83 22,3	92 24,6	86 18,8
Полистиролакрилонитрил Plazit «SAN-UV Clear» Толщина — 2 мм	Коэффициент пропускания ИЖ	100 0,1	100	100	98 1,2	97 1,2	100 0,3	99
Полистирол светотехнический ПС-УФ Senosan «HP-13U» Толщина — 3 мм	Коэффициент пропускания ИЖ	100 10,7		11	18,2	100 19,5	100 11,1	100 19,5
Полистирол ПСМ-151С, (рифленый лист) Толщина — 2 мм	Коэффициент пропускания ИЖ	100 8,0		12–10	11,5		100 14	13
Полиэтилтерефталатгликоль «VIVAK» Толщина — 3 мм	Коэффициент пропускания ИЖ Изменение формы	100 1,59	100	100 1,0	100 1,2		100 3,0	100 4,1
Полипропилен 01030 (рифленый лист) Толщина — 2 мм	Коэффициент пропускания, % от исходного Индекс желтизны (ИЖ) Изменение формы	100 20,4		19,8	100 20,6		88 21,5	93 22,1

6.7. ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА СО СВЕТОВОДАМИ

Основные группы и типы традиционных световых приборов различного назначения показаны в разделах 12÷17. Ниже рассмотрены осветительные устройства со световодами.

В технике освещения известны и все более широко применяются две группы современных осветительных устройств:

- с полыми протяженными световодами;
- с гибкими волоконными световодами.

6.7.1. Полые протяженные световоды

Осветительные устройства с полыми протяженными световодами ППС (Hollow Light Guides) [6.17–6.22], представляют собой полые цилиндрические (или другой формы) трубы большой протяженности, часть внутренней поверхности (или вся поверхность) которых по всей длине покрыта зеркально отражающим слоем или призматической пленкой полного внутреннего отражения, при этом световой поток ИС (или группы ламп) вводится в торцы ППС с помощью специальных оптических систем, а выходит из труб либо по всей длине через всю поверхность труб или её часть, либо через противоположный торец. В последнем случае речь идет о торцевых ППС, транспортирующих свет из конца ППС в другой его конец. В случае выхода света по всей длине через «оптическую щель», которая не покрыта отражающим слоем, ППС называются «щелевыми». Известны также варианты диффузных ППС малой длины без специальных покрытий, а также устройства с ППС, в которые вводится только солнечный свет или интегральные осветительные устройства, в ко-

торых в ППС вводится как естественный свет, так и искусственное излучение ламп.

Типовые принципиальные схемы самих ППС показаны на рис. 6.25.

Принципиальные схемы осветительных устройств с ППС показаны на рисунках 6.26 и 6.27, а варианты ОУ с этими устройствами — на рис. 6.27. Например, на рис. 6.26, б приведен вариант ППС, в который свет вводится через торцы. На рис. 6.26, в показан вариант, при котором вводное устройство с двумя противоположно направленными оптическими системами расположено между двумя разными щелевыми световодами, установленными в линию. На рис. 6.26, г дана принципиальная схема, показывающая возможность направления светового потока от одного вводного устройства в n каналов. На рис. 6.26, д и е показана возможность создания и использования криволинейных (вылоть до тороидальных) щелевых световодов.

Приведенные на рис. 6.26 и 6.27 варианты расположения ППС и размещения вводных устройств (ВУ) позволяют классифицировать такие ОУ: 1) с ВУ и ППС, расположенными непосредственно в помещениях с взрывоопасной средой (рис. 6.27, а); 2) с ВУ, вынесенными за пределы освещаемого помещения (со взрывоопасной средой, в которой находятся ППС (а также из помещения с особо тяжелой или особо чистой средой), при этом световой поток попадает в световоды через специальные иллюминаторы (окна) в ограждающих конструкциях помещений (рис. 6.27, б); 3) с ВУ, оптически связанными с концентраторами солнечной энергии, при этом в освещаемое помещение может направляться как естественное, так и искусственное излучение, а также то и другое излучение одновременно (рис. 6.26, л).

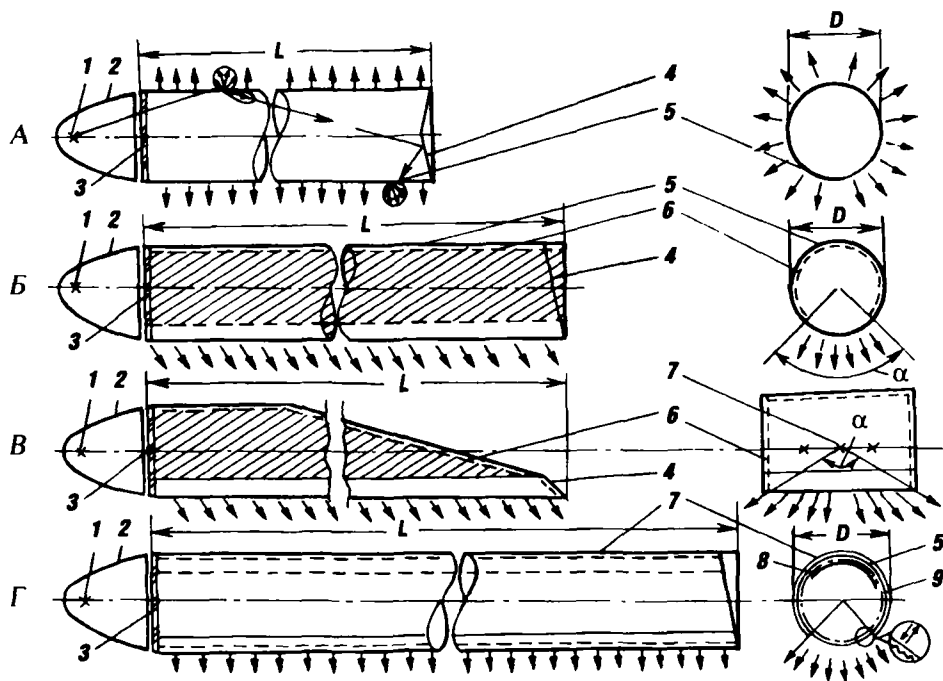
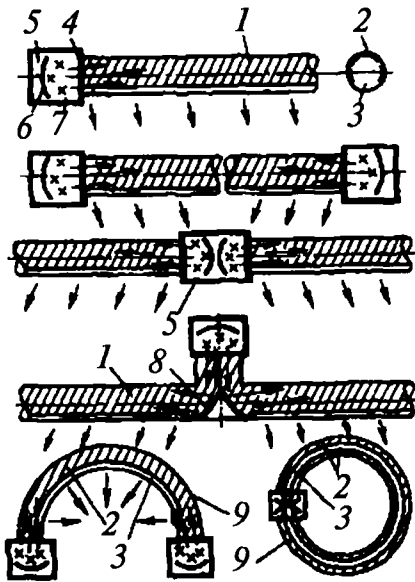
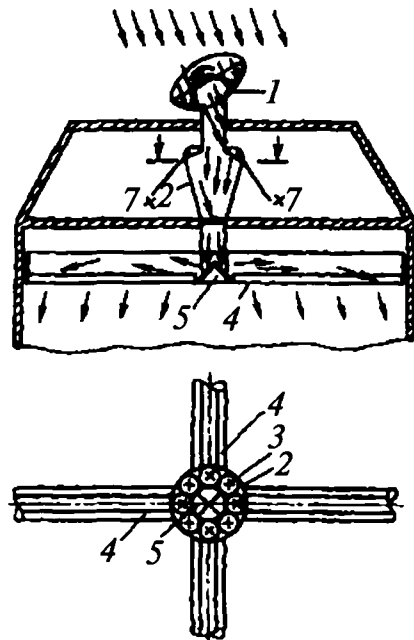


Рис. 6.25. Типовые принципиальные схемы полых протяженных световодов: 1 — источник света; 2 — отражатель; 3 — светопропускающий защитный элемент; 4 — торцевой зеркальный элемент; 5 — внешняя оболочка; 6 — внутренний зеркальный отражатель; 7 — внешний отражатель; 8 — экстрактор; 9 — призматическая пленка SOLF; А — короткие диффузные ППС; Б, В — цилиндрические и плоские клиновидные «щелевые» ППС; Г — цилиндрические призматические ППС



I



II

Рис. 6.26. Принципиальные схемы осветительных устройств со щелевыми ППС: I — с искусственным ИС: 1 — прямолинейный цилиндрический канал щелевого световода; 2 — зеркально отражающая часть внутренней поверхности канала щелевого световода; 3 — светопропускающая часть (оптическая щель) щелевого световода; 4 — прозрачный торцевой щелевой световода; 5 — вводное устройство; 6 — оптическая система вводного устройства; 7 — источник света; 8 — устройство, перераспределяющее световой поток от одного вводного устройства в n каналов; 9 — криволинейный канал щелевого световода; II — интегральные ОУ с вводом естественного и искусственного света: 1 — концентратор солнечной энергии; 2 — вводное устройство; 3 — искусственные ИС; 4 — каналы щелевых световодов; 5 — устройство, перераспределяющее световую энергию в 4 канала щелевых световодов

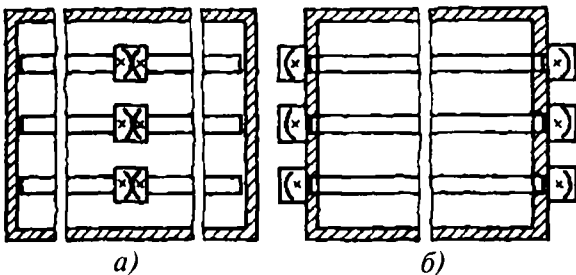


Рис. 6.27. Принципиальные схемы осветительных установок помещений с ППС

Во всех указанных случаях внутренний объем ППС герметично изолирован от окружающей среды благодаря наличию светопрозрачных или светоотражающих элементов в торцах канала.

В ВУ (инжекторах) может использоваться ИС большой единичной мощности (или группы мощных ИС), при этом могут применяться как однотипные, так и различные лампы, а ППС могут использоваться в качестве интегрирующих устройств для разноспектральных излучений. ППС практически не подвержены воздействию окружающей среды, не несут электрического потенциала и могут иметь большую длину между двумя

соседними ВУ (до 100 м). Поверхность ППС практически не нагревается и поэтому полностью пожаро- и взрывобезопасна.

Использование устройств с ППС для внутреннего освещения помещений промышленных и общественных зданий позволяет: многократно сократить как число ИС и ОП, так и протяженность электрических питающих сетей; резко снизить затраты материалов и труда на изготовление ОП, ПРА и ЭУ; передавать одновременно или поочередно естественное и искусственное излучение, при этом возможно применение фотоэлектрической системы контроля и управления освещением и использование одних и тех же ППС для создания в одном и том же помещении различных уровней освещенности с разным спектральным составом излучения [6.23] (подробнее см. раздел 18, § 18.10); повысить качество освещения путем обеспечения большей равномерности освещенности, исключения пульсации светового потока и создания лучшего соотношения освещенности в вертикальной и горизонтальной плоскостях; повысить надежность работы систем освещения благодаря резервированию ИС при многоламповых устройствах; обеспечить использование одних и тех же световодов для рабочего и аварийного освещения; изменять и улучшать внешний вид ОУ, поскольку при

выходе из строя одной лампы в групповом источнике вид установки практически не изменяется; снизить поступление тепла в освещаемое помещение в несколько раз (при расположении ВУ вне помещений).

Эти свойства определили достаточно широкую область использования осветительных устройств с ППС.

В 1992 г. по инициативе ВНИСИ в рамках МКО была организована репортерская группа R-3.07 «Hollow Light Guides» — «Полые световоды», преобразованная в 1995 г. в Технический Комитет МКО ТС3.30 с этим же названием. Тем самым было официально признано новое направление светотехнической науки и техники — полые протяженные световоды, первые работы по которому были начаты и успешно проводились в СССР с 1965 г. [6.22].

За последние 20 лет достигнут значительный прогресс в развитии осветительных устройств и установок с ППС. По ориентировочной оценке, 35 фирм в 12 странах занимаются разработкой, производством и применением таких устройств.

Сравнение параметров различных групп ППС (рис. 6.25) приведено в табл. 6.23 (по весьма ориентировочной оценке, т.к. параметры световодов сильно зависят от сочетания многих физических характеристик ИС, ВУ и материалов). Из табл. 6.23 хорошо видно, что будучи наиболее сложными и дорогими, призматические световоды (с пленкой SOLF) вне конкуренции при необходимости транспортировать свет на большие расстояния от входного до выходного торца, а также

при необходимости иметь весьма протяженное устройство, светящее во все стороны равномерно. Во всех этих случаях не нужен дополнительный отражатель вдоль световода для направления светового потока в одну сторону и не всегда необходим клиновидный экстрактор для обеспечения равномерного выхода потока по длине световода. Таким образом, в этих случаях конструкция призматического световода резко упрощается и удешевляется, свойства призматической пленки используются максимально в соответствии с ее основным назначением — транспортировать свет на максимальное расстояние с минимальными потерями. Идеальный вариант применения таких световодов — световые указатели направления движения транспорта на дорогах, световые ограждения и др., где требуются малые яркости на большой длине при малом диаметре световода. Важно отметить, что из-за того, что продольные призмы таких световодов всегда расположены вершиной наружу, для исключения их загрязнения или увлажнения, приводящих к потере светопроводящих свойств, призматическая поверхность всегда должна быть заключена внутрь дополнительной защитной светопрозрачной оболочки (например, трубы или пленки).

Стремление использовать призматический световод для общего равномерного освещения помещений и создания высоких уровней освещенности сталкивается с рядом трудностей [6.21].

В зависимости от назначения освещаемого помещения, могут играть роль не только технико-экономиче-

Таблица 6.23

Сравнительные характеристики различных групп полых световодов

Основные характеристики	Группа световодов		
	Зеркальные щелевые	Призматические	Диффузные
1. Степень сложности конструкции световода, в т.ч. количество составляющих элементов	Простая. 1 элемент — при оболочке из частично металлизированной светорассеивающей пленки; 2 элемента — при жесткой экструдированной светопропускающей оболочке и отдельном отражателе	Сложная. 3-4 элемента, 3 элемента - защитная светопрозрачная оболочка, призматическая пленка и экстрактор; 4 элемента — то же, плюс отражатель	Простейшая. 1 элемент — диффузно светопропускающая труба
2. Приведенная длина* L/D , в т.ч. эффективная для большинства случаев	20-40 30	40-100 40	10-15 15
3. КПД системы**, %	30-42	35-45	20-25
4. Соотношение яркостей (I_n/I_k) при одностороннем вводе света в начале и в конце световода**	4-6	2	2-3
5. Архитектурно-эстетические свойства	Недостаточная равномерность яркости для архитектурных объектов, вполне достаточная для функциональных установок и промышленных объектов	Практически равномерное распределение яркости по длине; эстетические недостатки — поперечные полосы через каждый метр	Практически идеальное распределение яркости для декоративных световодов и для архитектурных объектов

* Приведенная длина L/D , где L — длина световода, а D — его диаметр.

** По ориентировочной оценке.

ские характеристики световодов, по и их эстетические свойства, определяемые внешним видом. Призматические световоды имеют значительно лучшую равномерность яркости при наибольших относительных длинах. С уменьшением длины при тех же диаметрах это преимущество нивелируется. Относительно короткие (4–5 м при условном диаметре 0,3 м) зеркальные или даже диффузные световоды имеют практически равномерную яркость.

Высокая равномерность яркости по длине — это весьма существенное преимущество призматических световодов в случае применения их в архитектурных установках при размещении на значительной высоте (6–10 м и более).

Зеркальные щелевые световоды, для которых при малых угловых размерах и направленно-рассеянном пропускании материала оптической щели характерен главный сдвиг яркости по длине световода, обеспечивают высокую равномерность распределения освещенности на освещаемой поверхности при отсутствии неприятного воздействия неравномерности яркости на глаз наблюдателя именно благодаря незаметному и постепенно ослаблению яркости на большой длине. Дополнительное выравнивание распределения яркости происходит при двухстороннем вводе света, при уменьшении углового размера оптической щели, при введении более остро коллимированных световых пучков, при экранировании ближней зоны оптической щели от прямого света лампы.

Относительно короткие диффузно-пропускающие световоды ($L/D \leq 15$) при остро коллимированном световом пучке (с двойным углом $4-5^\circ$) и с зеркальным противоположным торцом обеспечивают высокий уровень равномерности яркости при относительно малом КПД, не играющем важной роли в уникальных и декоративных ОУ. Сказанное особенно относится к различного типа световым колоннам (с нижним расположением входных устройств), все шире применяемым архитекторами. Такие световые колонны при диаметре 400 мм могут иметь высоту 6 м и более.

Сами цилиндрические ППС в абсолютном большинстве случаев базируются на использовании жестких экструдированных труб различного диаметра (от 130 до 300 мм) из пластмассы, как правило ударопрочного полиметилметакрилата (ПММА) или поликарбоната (ПК) (рис. 6.28)*. При использовании прозрачной или очень слабо замутненной пластмассы труба служит, в основном, защитной и песушей оболочкой, в то время как элементы оптической схемы (отражатели, пленки полного внутреннего отражения, экстракторы), определяющие светотехнические характеристики, наносятся на внутреннюю оболочку труб или располагаются внутри них (например, объемные экстракторы) [6.23].

Первые отечественные осветительные устройства, разработанные в 70–80-х годах, имели только пленочную эластичную оболочку из полиэтилентерефталата (ПЭТФ) толщиной 25–50 мкм, разные части которой

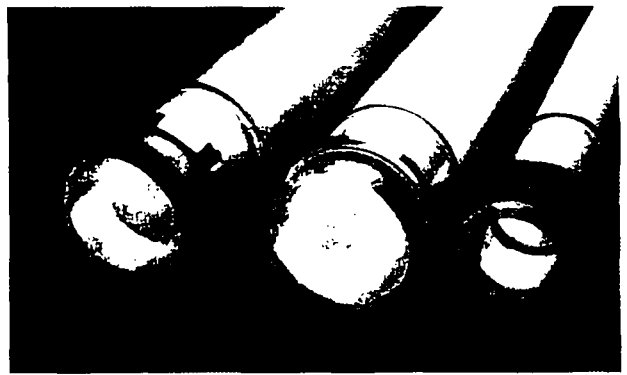


Рис. 6.28. Цилиндрические жесткие световоды различного диаметра

служили одновременно или отражателем, или рассеивателем [6.20]. Такие легкие, дешевые и прочные натяжные конструкции лежали в основе почти 50000 комплектов осветительных устройств, серийно выпущенных в нашей стране в 80-е годы прошлого столетия. При этом сами световоды имели диаметры 275 и 650 мм при длине соответственно 6 и 18 м. Определенным минусом таких конструкций для архитектурных или других репрезентативных установок была недостаточная строгость формы (слабая волнистость каналов в поперечных плоскостях) и сложность монтажа установок (при натяге световодов большого диаметра и длины).

Объяснком стоят световоды для введения в здания и нераспределения в них как солнечного света, так и света искусственных источников [6.25]. В некоторых из этих установок использованы или сборные жесткие световоды квадратной в сечении (установка Heliobus) или эллиптической формы с размерами 600×600 мм² и соответственно 650×520 мм. Для защитных оболочек в этих световодах использованы толстые 10-миллиметровые листы из прозрачного ударопрочного ПММА, к внутренней поверхности которых прикреплена призматическая пленка. В них впервые в мировой практике применены объемные трубчатые экстракторы. В проекте «Arthelio» были использованы стандартные цилиндрические трубы диаметром 300 мм из ПК. В редких случаях применяются толстостенные трубы из силикатного стекла [6.23] (подробнее см. § 18.10).

Важнейшим узлом осветительных устройств с ППС является ВУ с ИС и оптической системой, концентрирующей световой поток требуемым образом, и ПРА. Первые ВУ, серийно применявшиеся в России в 60–80-е годы, базировались на специально разработанных зеркальных МГЛ типа ДРИЗ, мощность которых составляла от 250 до 700 Вт. Лампы устанавливались только в односторонних ВУ (по одной или по 3–4 лампы). Таким образом, при диаметре световода 650 мм в него вводился с одной стороны световой поток МГЛ мощностью до 2,8 кВт.

* Здесь и далее используются примеры конструкций ППС, выпускаемых фирмами Se'lux (Германия), TIR System (Канада), Siless (Германия), 3M (США, Италия), AEF3 Illuminazione (Италия), Socolec (Испания).

Вместе с тем, как показали последующие исследования, в ВУ экономически выгодно применять более простые и дешёвые серийные лампы, имеющие больший срок службы, в сочетании с самостоятельными отражателями, которые не сменяются со сменой ламп после их выхода из строя. В настоящее время в абсолютном большинстве осветительных устройств применяются стандартные одно-двухцокольные МГЛ; НЛВД используются весьма редко и лишь для не ответственных случаев. Последние имеют слишком большую длину светящей части (горелки), перераспределение излучения которой в продольной плоскости весьма затруднительно.

В практике встречаются три вида ВУ одностороннего и двухстороннего действия (рис. 6.29 и 6.30), а также их модификация с поворотом на 90° вводимого в световод светового пучка [6.31]. Односторонние ВУ (рис. 6.29) базируются, как правило, на использовании глубоких алюминиевых параболических отражателей, формирующих концентрированную КСС. Двухсторон-

ние ВУ (рис. 6.30) содержат комбинированные параболические «X-отражатели», в центре которых располагается светящее тело лампы МГЛ, вставляемой в ВУ сбоку, перпендикулярно оси световода. При необходимости выноса ВУ за освещаемое пространство или расположения его вне светящей линии световодов применяется ВУ типа тройникового фитинга, обеспечивающего поворот светового пучка (рис. 6.31). Особенно важно упомянуть об имеющихся переходных устройствах (рис. 6.32), которые позволяют транспортировать свет от ВУ, расположенного вне освещаемого пространства (взрыво- или пожароопасных помещений, холодильных или вакуумных камер, особо чистых помещений или объемов с повышенным давлением газообразной или жидкой среды), через ограждающие конструкции в световод, освещающий эти помещения или объемы.

Как правило, ВУ изготавливаются из силуминового литья, имеют ребренную цилиндрическую конструкцию, способствующую улучшению напряженного теплового режима, с торца (или торцов при двухсторонних

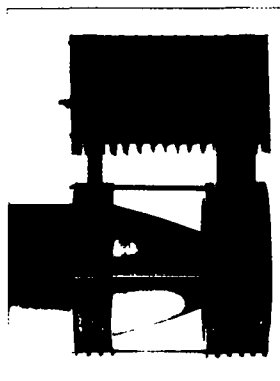
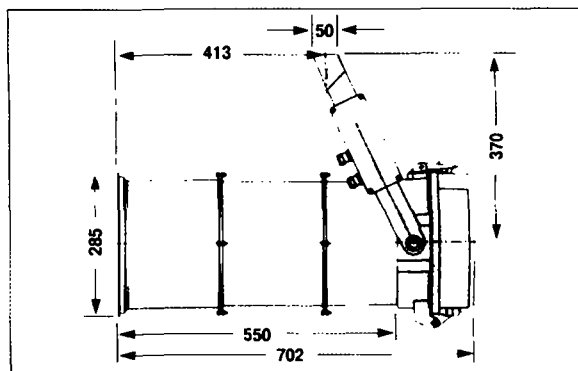
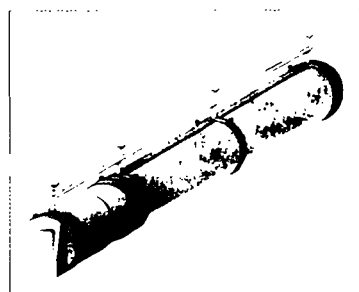
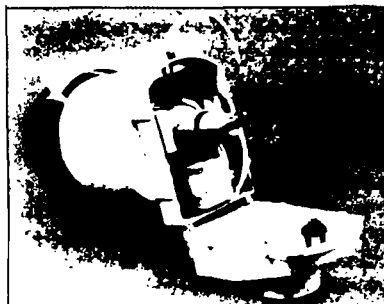
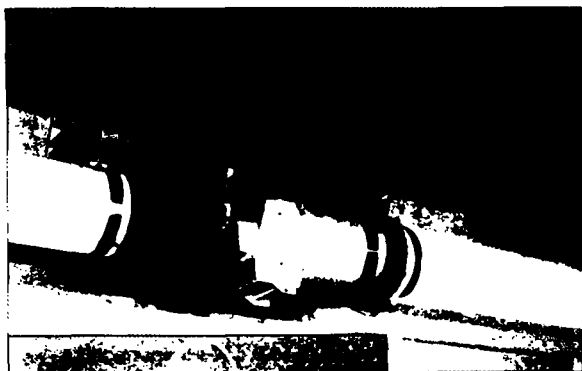


Рис. 6.29. Односторонние вводные устройства

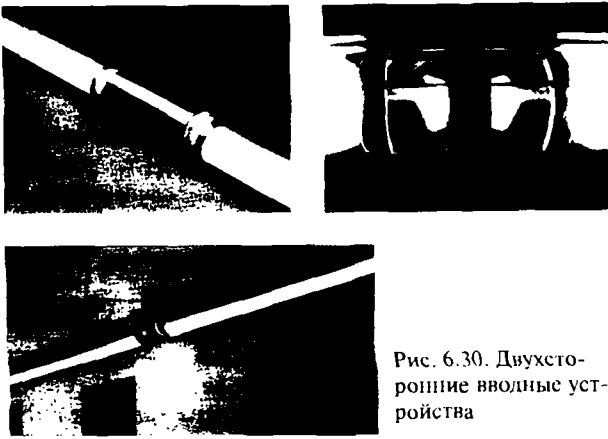


Рис. 6.30. Двухсторонние вводные устройства

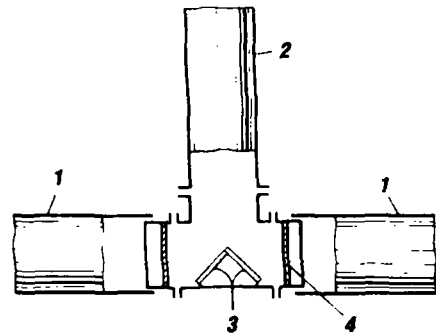


Рис. 6.31. Вводные устройства типа «тройного фитинга»: 1 — световод; 2 — вводное устройство; 3 — зеркальный распределитель; 4 — светопропускающий защитный элемент

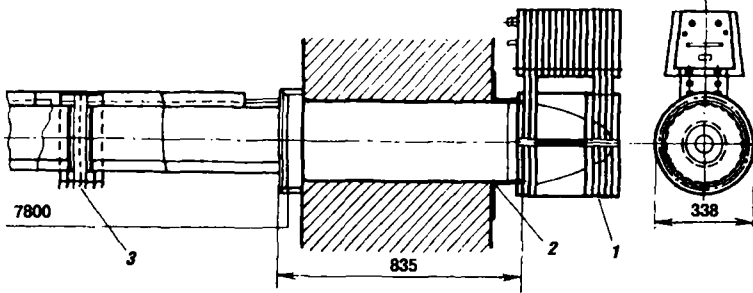


Рис. 6.32. Переходные устройства через ограждающие конструкции: 1 — вводное устройство; 2 — переходное устройство; 3 — узел сочленения



Рис. 6.33. Световоды с цветными светодиодами

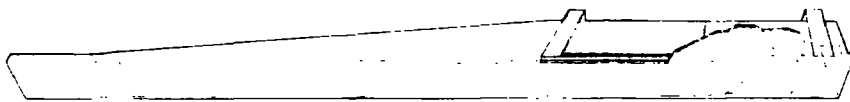
ВУ) закрываются герметизированными термостойкими прозрачными силикатными стеклами; степень защиты большинства ВУ — IP54, в то время как для самих световодов — IP65. Один из блоков ВУ, содержащий балласт и зажигающее устройство, как правило, является выносным и устанавливается отдельно, но не дальше, чем на 1 м от лампы, или конструктивно связан с основной частью ВУ, содержащей лампу и оптическую систему (рис. 6.29). Блок с ПРА, как правило, имеет исполнение IP65.

Существенным конструктивным ограничением для дальнейшего увеличения единичной (или суммарной) мощности лампы в ВУ без значительного увеличения его размера и, соответственно, самого световода, является напряженный тепловой режим ВУ.

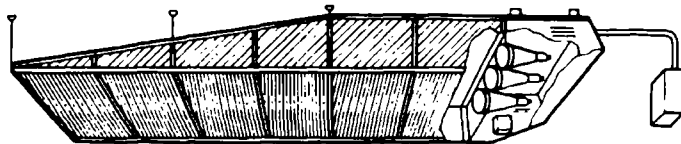
Проблема теплового режима ВУ полностью отсутствует при использовании модулей со светодиодами (рис. 6.33). Суммарная мощность ИС в этих ВУ составляет не более 30 Вт для вариантов с цветными светодиодами и не более 50 Вт — с белыми. Важнейшей особенностью таких изделий, учитывая большой срок службы светодиодов (до 100 т. ч.), является цельная неразборная конструкция и возможность полной герметизации ВУ в связи с отсутствием необходимости замены ИС на протяжении всего периода эксплуатации, а

также малый диаметр самих световодов (100 или 150 мм).

По сравнению с протяженными круглоцилиндрическими световодами, плоские клиновидные конструкции [6.24] имеют целый ряд особенностей, а в ряде случаев и преимуществ. Осветительные устройства с клиновидными световодами, имеющие длину, как правило, не более 5–6 м при одностороннем вводе света, базируются не на экструдированной трубе из пластмассы и не на пленочных каналах, а на использовании коробчатых конструкций из тонколистового алюминия с высоким коэффициентом зеркального отражения. Эти конструкции перекрыты с одной стороны (выходное отверстие световода — оптическая щель) светорассеивающей или прозрачной призматической пластмассой (рис. 6.34). Клиновидные световоды имеют более высокий КПД и при серийном производстве более дешевы. При этом с помощью клиновидных световодов с прямоугольным поперечным сечением могут пабираться светящие поверхности большой площади, например, светящие потолки, может легко варьироваться форма и архитектурное решение светящей поверхности. Серийно выпускаемые клиновидные световоды имеют размер «оптической щели» от 3,3 до 5,1 м (по длине) и 0,274 м (по ширине). При этом наибольшая высота световода всего 0,305 м, а длина ВУ 0,6 м. В этой серии светово-



а)



б)

Рис. 6.34. Плоский клиновидный световод: а — одноламповый; б — многоламповый модульный

дов используются или МГЛ 250, 400 Вт или НЛВД 150 Вт (рис. 6.34). Как правило, клиновидные световоды применяются для внутреннего освещения (спортивные залы, бассейны и др.). Единственным известным нам случаем применения клиновидных световодов для наружного освещения явилась крупная осветительная установка (около 500 устройств) на одном из центральных проспектов Барселоны (рис. 6.35).

В целом ряде случаев возможно успешное сочетание цилиндрических и клиновидных световодов, особенно в установках ввода и перераспределения в зданиях солнечного и искусственного света.



Рис. 6.35. Осветительные устройства с клиновидными световодами для уличного освещения

В отдельную группу можно выделить опорные осветительные устройства с полыми ППС. Как правило, устройства такого типа предназначены для наружного освещения. При этом сама опора выполняет функции транспортирующего свет полого световода с низко расположенным и удобным для эксплуатации ВУ, а требуемое светораспределение обеспечивается с помощью отдельного отражателя, положение которого может регулироваться. При этом отражатель может иметь гладкую или фаяшетную зеркальную поверхность или быть диффузным (рис. 6.36), рассеивающим свет, выходящий из опоры-световода в виде узкого коллимированного пучка.



Рис. 6.36. Осветительное устройство для наружных установок опоры с горцевым ППС

Все большее применение находят простейшие диффузные, относительно короткие световоды в виде вертикально или наклонно установленных светильников. Такие устройства уже широко применяются как для наружного, так и для внутреннего освещения, в том числе декоративного (рис. 6.37, 6.38), в виде различных пространственных композиций, с использованием в ВУ управляемых кассет с различными цветными фильтрами.

Декоративные вертикальные светящиеся колонны, столбики и торшеры с призматической пленкой SOLF и МГЛ малой мощности в ВУ также находят все большее распространение. Во многих случаях они применяются с внутренними объемными экстракторами (рис. 6.39).

Некоторые примеры ОУ с ППС приведены на рисунках 6.40 и 6.41.

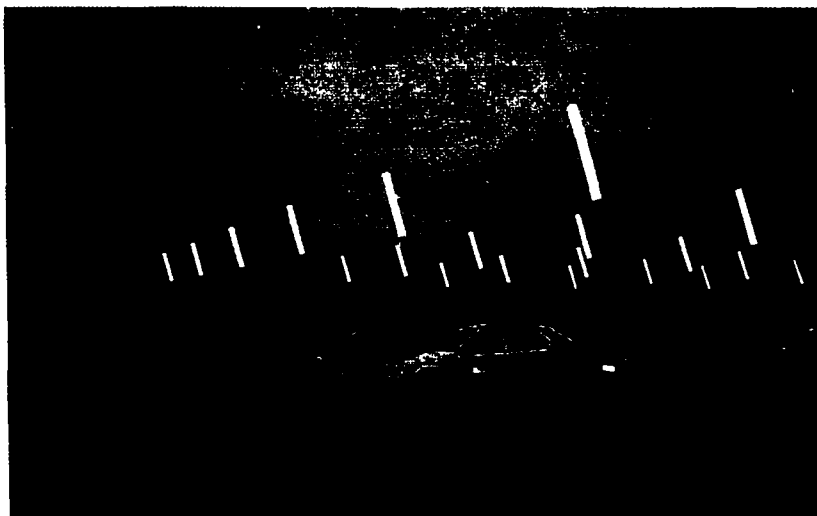


Рис. 6.37. Паркинг с наклонными диффузными световодами



Рис. 6.38. Диффузные ППС с регулируемой цветностью



Рис. 6.39. Декоративные световоды с объемными экстракторами

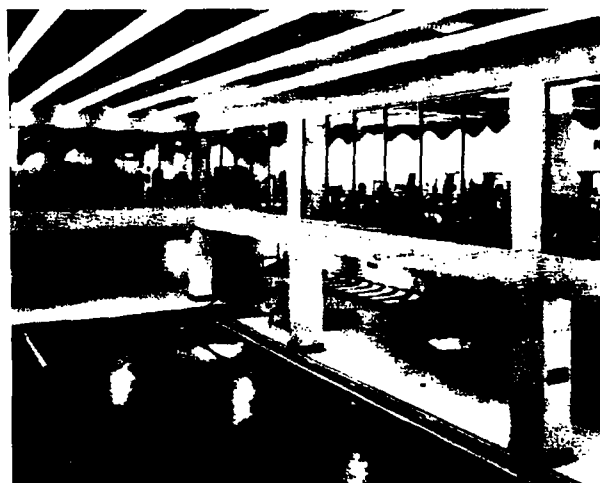
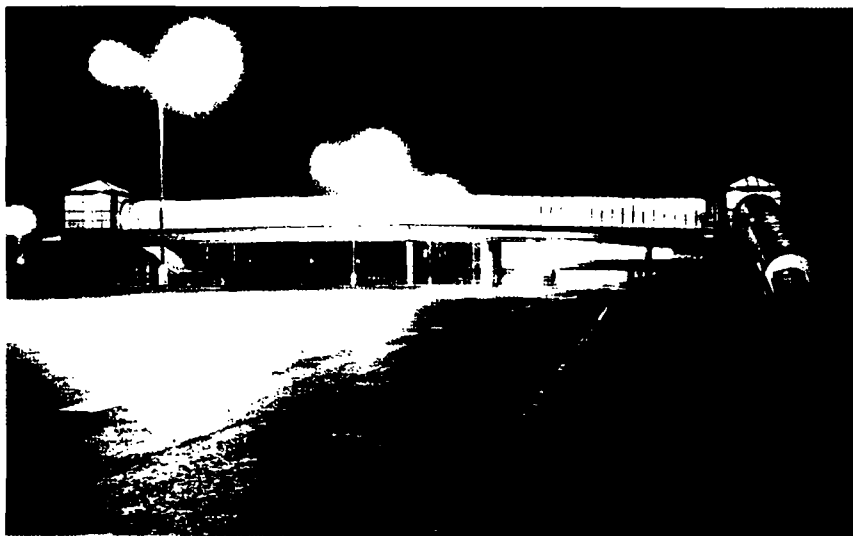


Рис. 6.40. Освещение бассейна световодами (длина 32 м, вводные устройства для МГЛ 400 Вт с каждой стороны)



С учетом технико-экономических и эстетических свойств, каждая из известных групп полых световодов имеет свою обоснованную область применения. При этом необходимо подчеркнуть не универсальность систем со световодами, их особую область применения, которая, впрочем, весьма широка.

Рис. 6.41. Освещение наземного перехода с помощью ППС (четыре правых ППС с длиной по 15 м и диаметром 250 мм с МГЛ 400 Вт)

6.7.2. Осветительные устройства с гибкими волоконными световодами

Гибкие волоконные световоды (ГВС) — fiber optics — представляют собой пучок (жилу) тонких волокон, вытянутых из прозрачного материала и состоящих из сердцевины (с показателем преломления n_1), покрытой оболочкой (показатель преломления которой $n_2 < n_1$) [6.26–6.28]. При прохождении по такому волокну световые лучи, угол падения которых меньше критического (пределного) угла, испытывают полное внутреннее отражение на поверхности раздела сердцевина/оболочка и, многократно отражаясь от этой поверхности, распространяются только по сердцевине волокна (рис. 6.42). Современные ГВС различаются конструкцией, материалами и количеством светопроводящих волокон* [6.26–6.29].

Волоконные световоды с очень тонкими волокнами (диаметром 50–150 мкм) из хрустального (свинцового) стекла используются для декоративного, акцентированного и реже для местного освещения. Более дешевые световоды с волокнами диаметром 1 мм, вытянутыми из полиметилметакрилата (ПММА), используются в

осветительных и светорекламных установках, а также в различных медицинских (эндоскопах) и других приборах для освещения труднодоступных мест. Они имеют пропускание 30–70% на 1 м длины и допускают изгиб по радиусу более 25 мм.

Более поздние по времени разработки моноволоконные световоды с одним гибким стержнем большого диаметра (15–20 мм), вытянутым из прозрачного эластичного материала (например, на основе кремнийорганической смолы), отличаются большим пропусканием света, но и большим значением минимального допустимого радиуса изгиба, чем световоды с множеством тонких пластмассовых волокон.

Осветительные установки с использованием гибких волоконных световодов состоят из трех основных компонентов (рис. 6.43): собственно световода — light guide; вводного устройства (ВУ) или оптического порта — optical port; оптических насадок — end fitting, termination («светильников»), к которым присоединяется выходной конец каждого одножильного световода.

Световоды заключены в защитную трубку из непрозрачающей пластмассы. Специальные ВУ, содержа-

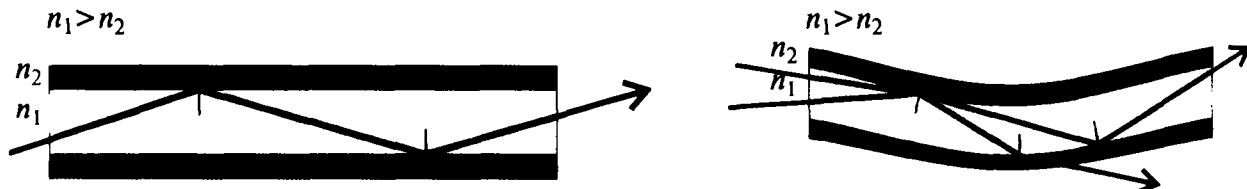


Рис. 6.42. Гибкий волоконный световод с коэффициентами преломления: n_1 — сердцевины; n_2 — оболочки

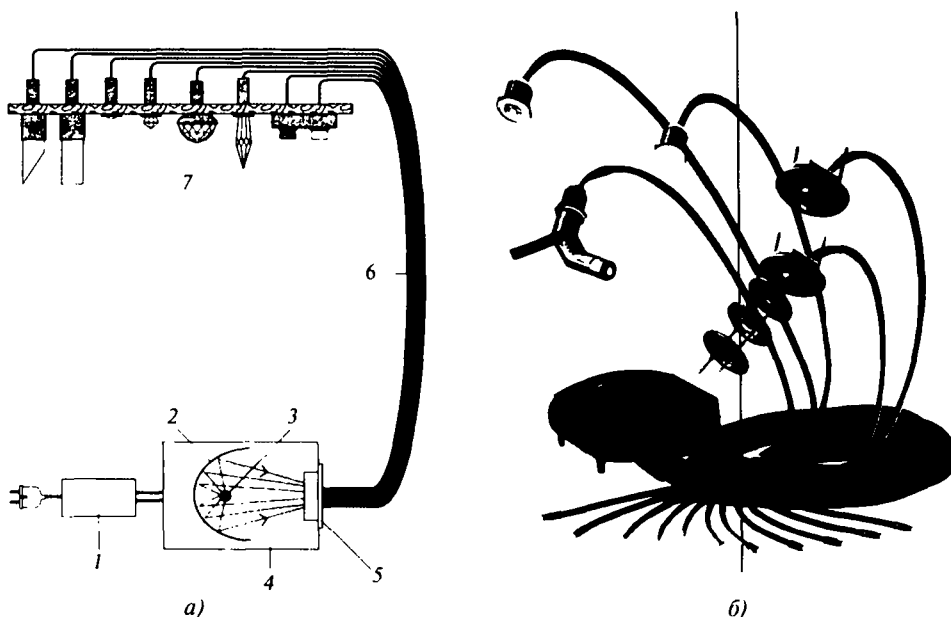


Рис. 6.43. Схема осветительного устройства с гибкими волоконными световодами (а): 1 — трансформатор или ПРА; 2 — отражатель; 3 — источник света; 4 — вводное устройство; 5 — выходное отверстие для пучка световодов; 6 — пучок гибких световодов; 7 — оптические насадки (светильники), и вид такого устройства с различными насадками (б)

* В качестве примеров ГВС использованы разработки фирм Mazda (Франция), Philips (Нидерланды), Siemens (Германия).

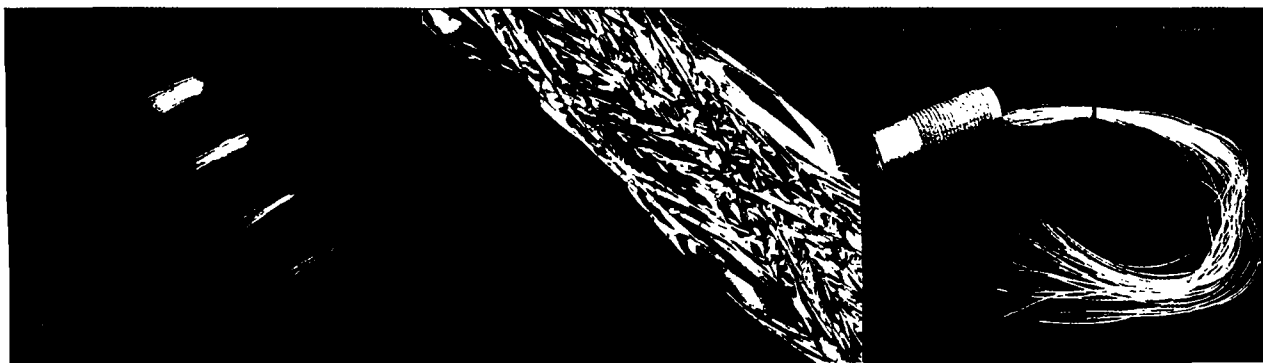


Рис. 6.44. Различные виды многожильных световодов [6.29]

щие ИС, отражатель, светофильтры и некоторые другие оптические элементы, концентрируют световой поток на входном конце световода, прикрепляемом к корпусу ВУ. Выходной конец световода присоединяется к оптической насадке, перераспределяющей световой поток в пространстве или направляющей его на освещаемый объект.

Необходимость индивидуального ВУ делает *одножильные световоды* относительно громоздкими и дорогими, что ограничивает области их применения (преимущественно медицинские и некоторые другие приборы, в которых нет необходимости использования одновременно нескольких световодов). Поэтому в последние годы в технике освещения получили широкое распространение многожильные световоды. Вводные торцы составляющих их одножильных световодов плотно собраны в один общий узел, присоединяемый к корпусу ВУ. Сразу за общим вводным торцом *многожильный световод* разделяется на множество (от единиц до сотен штук) одножильных световодов, которые могут иметь различные диаметры и длину, и каждый из которых присоединяется выходным торцом к предназначенной для него оптической насадке (рис. 6.43).

Ряд известных многожильных световодов состоит из шести отдельных жил с общим вводным торцом. Каждая жила содержит 50 светопроводящих волокон диаметром 1 мм из ПММА и заключена в защитную трубку из черного поливинилхлорида, имеющую наружный диаметр 8 мм и минимальный радиус изгиба 25 мм. Стандартная длина жил (одножильных световодов) 2 м. Вводный торец световода, объединяющий 300 волокон шести жил, снабжен резьбовой гильзой для присоединения к корпусу ВУ. Масса световода 1 кг.

В других случаях светопроводящие жилы одножильных световодов, служащие для комплектования многожильных световодов, состоят из тончайших волокон хрустального стекла. Товарной продукцией являются многожильные световоды, состоящие из десятков более толстых или сотен более тонких одножильных световодов. Наружные диаметры всех многожильных световодов лежат в пределах 22 мм, что позволяет использовать их с одним и тем же ВУ и соединительного узла к нему. Благодаря высокому качеству стекла, из которого изготовлены светопроводящие волокна, эти

световоды выдерживают воздействие агрессивной среды, могут работать в погруженном состоянии и температурном диапазоне от -15°C до $+100^{\circ}\text{C}$.

Световоды бывают двух типов — торцевого и бокового свечения. Оптоволоконные кабели торцевого свечения работают по классической схеме передачи света с минимальными потерями в заданную точку пространства (рис. 6.42). Принцип действия кабелей бокового свечения, наоборот, основан на «побочном эффекте» свечения оптоволокон, возникающем из-за потерь при внутреннем отражении, когда часть света проходит наружу (это происходит при изгибе волокна, когда угол падения лучей меньше предельного и фактически внутреннее отражение становится не полным, а частичным, рис. 6.42, б). В световодах бокового свечения используются такие же волокна, как и в кабелях торцевого свечения, только они особым образом скручены (twisted fibers) или переплетены (braided fibers). При этом применяется прозрачная гибкая оболочка, и свет становится хорошо видимым, создавая боковое свечение вдоль световода (рис. 6.44).

Стеклянные световоды могут выдерживать нагрев до 300°C , но такую температуру не выдерживает пластиковая оболочка и адгезив, объединяющий волокна с обоих концов световода (для полимерных волокон использовать адгезив нет необходимости при применении современной технологии fusion — сращивания волокон путем многократного нагрева и охлаждения).

Осветительные устройства на основе полимерных волокон проще при монтаже, световоды в 6 раз легче, не столь хрупки и ломки, влвое дешевле. Световоды бокового свечения могут быть только из полимеров (рис. 6.45).

Вводные осветительные устройства. Для ввода светового излучения в световод используются специальные ВУ (рис. 6.46), содержащие в металлическом корпусе ИС, отражатель и различные светофильтры (в т.ч. задерживающие ИК и УФ-составляющие излучения ИС), а также переходной интерфейс. Для повышения декоративного эффекта, создаваемого ОУ с волоконными световодами, ВУ может быть снабжено стационарными и вращающимися цветными светофильтрами.

Для снижения температуры ВУ и вводного торца световода (предельно допустимая температура свето-

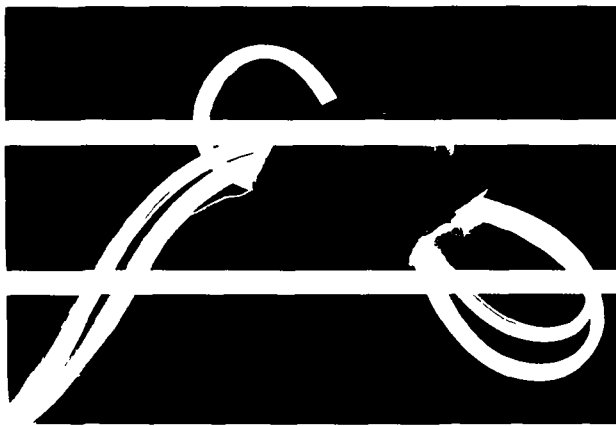


Рис. 6.45. Гибкие волоконные световоды с излучающей боковой поверхностью по всей длине световода [6.29]

проводящих волокон из ПММА 65–70°С) в корпусе ВУ предусматриваются теплофильтры и интерференционные покрытия оптических элементов, снижающие ИК-составляющую спектра излучения ИС до допустимой величины. В отдельных случаях в ВУ устанавливаются миниатюрные вентиляторы. Пускорегулирующие аппараты для РЛ и понижающие трансформаторы для ГЛН размещают внутри ВУ, а иногда вне его, что существенно влияет как на массу, так и на габаритные размеры самого ВУ.

Первоначально в качестве ИС в ВУ применялись широко распространенные ГЛН (12 В, 50 Вт), снабженные жестко закрепленным на них интерференционным эллипсоидным отражателем. Эти лампы эффективно концентрируют световой поток на вводном торце световода и снижают тепловую нагрузку на него. Вводные устройства с такими лампами получают достаточно простыми, компактными и недорогими.

Однако с развитием ОУ с ГВС и освоением производства многожильных световодов малые световой поток, срок службы и низкая световая отдача этих ламп привели к необходимости применения более мощных и эффективных ИС. Для этих целей была разработана и применяется компактная короткодуговая одноцокольная МГЛ мощностью 200 Вт (13500 лм, 5900 К, 2000 ч, $R_{\text{д}} = 80$, цоколь G12) или стандартная компактная МГЛ HQ1-T мощностью 150 Вт (12000 лм, диаметр колбы 25 мм, полная длина 84 мм, цоколь G12).

Существует широкая номенклатура вводных устройств со следующими параметрами:

- с ГЛН 12 В, мощностью 50 Вт, отличающиеся характеристиками интерференционных отражателей, с которыми они работают (габаритные размеры корпуса 110×84×152 мм), и возможностью установки цветных светофильтров;

- с ГЛН 12 В, 100 Вт, с интерференционным отражателем, с термореле и вентилятором; (160×128×225 мм);

- с ГЛН 12 В, 100 Вт, интерференционным отражателем, со сменными цветными светофильтрами и вентилятором, различающихся наличием или отсутствием реле времени; (160×128×225 мм);

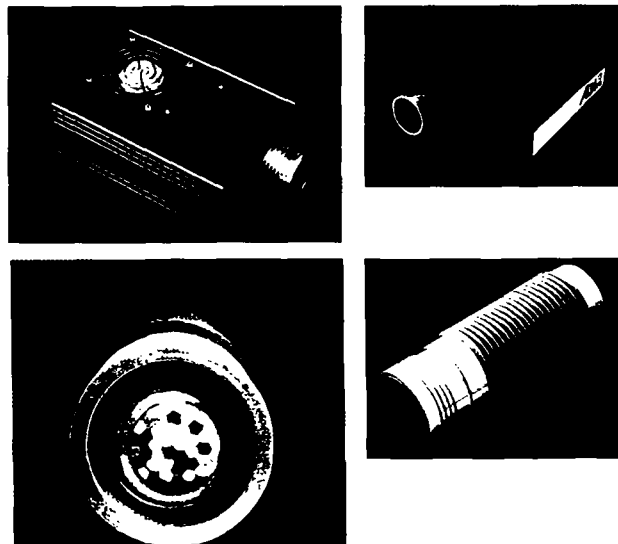


Рис. 6.46. Вводные устройства ГВС и интерфейс (оптический порт) между ВУ и световодом

- с МГЛ типа HQ1-T мощностью 150 Вт, интерференционным отражателем, с вентилятором, термореле и выносным ПРА; (205×160×298 мм).

Оптические насадки. Для перераспределения в пространстве выходящего из световода потока служат оптические насадки (рис. 6.43 и 6.47), подобные миниатюрным светильникам разных типов. Эти насадки изготавливаются (за исключением монтажных деталей) из оптического (или хрустального) стекла или прозрачной бесцветной пластмассы (преимущественно ПММА). В зависимости от поставленной светотехнической задачи, насадки встраиваются или полувстраиваются в подвесные потолки, перегородки, в стенки мебели, музейных стеллажей и торгового оборудования. Оптические насадки имеют на тыльной стороне цилиндрическое углубление, подобное гнезду штепсельной розетки. После того, как насадка закреплена на месте установки, в это углубление вставляется выходной торец световода, подобный штепсельной вилке. Возможны также и другие способы соединения конца световода с оптическими насадками [6.29].

Оптические насадки бывают неподвижными, поворотными, угловыми («кососветы»), с регулируемым по ширине световым пучком, а также чисто декоративными. Некоторые из них — с линзой Френеля, другие имеют более сложную оптическую систему и позволяют сужать и расширять световой пучок. Поворотные насадки дают возможность изменять направление светового пучка. Существуют также варианты с выходом излучения в сторону по отношению к оси самой насадки.

Примеры применения световодов для декоративной подсветки деревьев, кустов и фонтана, а также создания художественных световых приборов даны на рисунках 6.48–6.50.

Кроме осветительных и светорекламных установок, ГВС находят широкое применение в различных декоративных светильниках и сувенирах, а также для освеще-

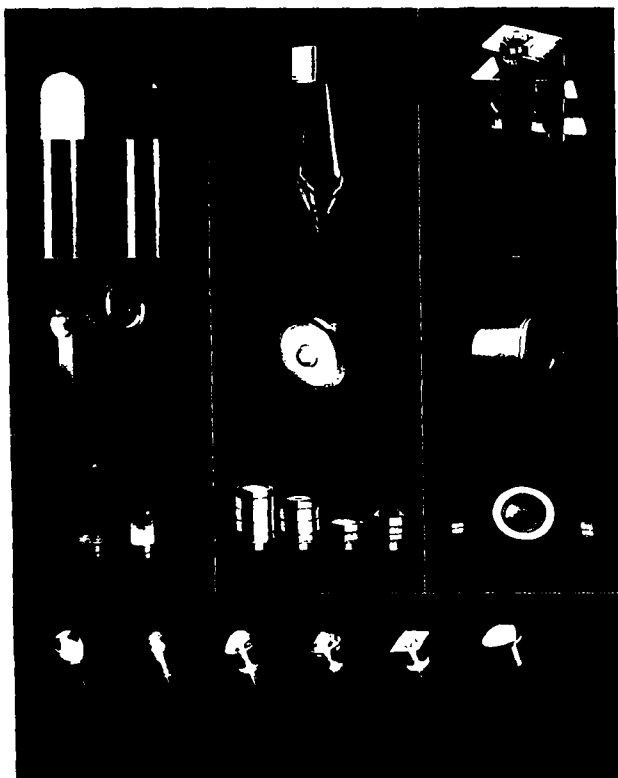


Рис. 6.47. Оптические насадки ГВС [6.29]

щения швейных машин, микроскопов, контрольно-измерительных, медицинских и некоторых других приборов.

В заключение сформулируем основные преимущества ОУ с ГВС:

1. Существенное расширение возможностей проектирования и монтажа установок внутреннего и наружного освещения, в частности, установок архитектурного освещения с дискретным расположением множества светящихся элементов (например, «звездное небо»), так как неключается жесткая связь между местом расположения ИС (вводного устройства) и оптических насадок.

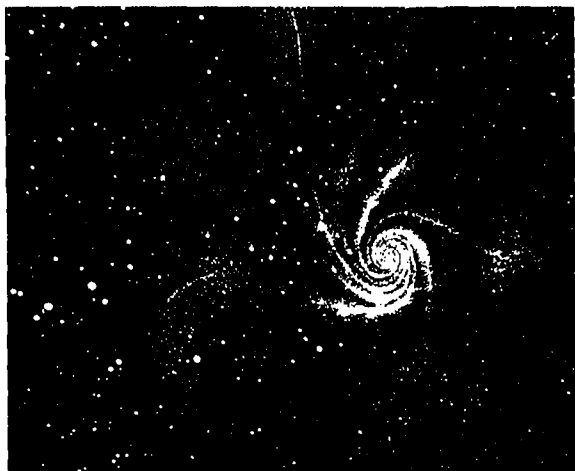


Рис. 6.48. Сент-Джеймский парк в Лондоне, освещенный с помощью ГВС



Рис. 6.49. Применение световодов с излучающей боковой поверхностью для освещения прогулочной дорожки

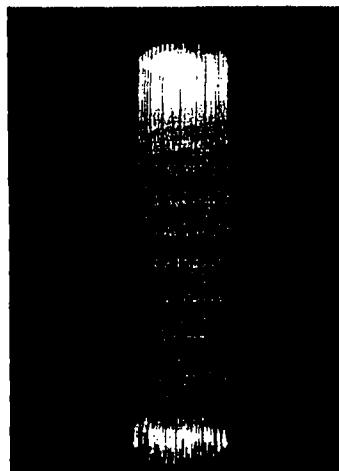


Рис. 6.50. Примеры использования ГВС для декоративного освещения звездного неба и создания художественного интерьера

лок, через которые это излучение направляется на освещаемые объекты.

2. Обеспечение требуемого светораспределения с помощью компактных и недорогих насадок вместо более громоздких и материалоемких светильников.

3. Полная пожаро- и электробезопасность насадок, так как к ним не подводится электропитание.

4. Исключение нагревания, обесцвечивания и других видов повреждений экспонатов, образцов товаров и других освещаемых объектов, чувствительных к ИК и УФ лучам, в частности, благодаря применению соответствующих светофильтров в ВУ.

5. Значительная экономия материальных и трудовых ресурсов за счет экономии проводов и меди, малой материалоемкости изготовления оптических насадок.

6. Возможность разработки легких и гибких насадок для переносных фонарей, позволяющих производить ремонт оборудования в труднодоступных местах.

7. Возможность осуществления динамического и цветного освещения.

Перспективными областями применения ГВС являются:

— безопасное и скрытое освещение витрин в музеях, на выставках и в магазинах, в том числе наружных витрин магазинов;

— индивидуальное освещение пассажирских мест (для чтения) в салонах любых общественных средств транспорта;

— безопасные елочные гирлянды;

— акцентирующее освещение без шинопроводов и специальных светильников;

— безламповые декоративные светильники, люстры, канделябры;

— труднодоступные для обслуживания помещения, например, закрытые плавательные бассейны;

— устройства для группового местного освещения промышленных швейных машин, на сборке мелких и точных изделий;

— наружное декоративное контурное освещение световодами длиной 10–15 м;

— подводное освещение фонтанов и открытых бассейнов;

— световое оформление наружных рекламных щитов

6.8. СИСТЕМА ОБОЗНАЧЕНИЙ И МАРКИРОВКА

Система обозначений разработана и утверждена [П1-1] лишь для самой широкой группы СП — светильников для помещений промышленных, общественных и жилых зданий, рудников и шахт, светильников для НО. В соответствии с ней каждому новому СП присваивается шифр, структура которого (по ГОСТ 13828-74) такова:

□1.□2.□3. 4-5 × 6-7-8,

□1 — тип ИС (одна буква на первом месте в шифре);
□2 — основной способ установки СП (одна буква); □3 — основное назначение СП (одна буква); 4 — номер се-

рии, к которой принадлежит СП (две цифры); 5 — число ламп в СП (одно- или двузначное число, при этом цифра 1 не указывается); 6 — мощность ламп, Вт, обозначаемая одно-, двух-, трех-, четырех- или пятизначным числом; 7 — номер модификации СП (трехзначное число); 8 — обозначение климатического исполнения и категории размещения (одна или две буквы и одна-две цифры).

Номер модификации позволяет учесть индивидуальные отличительные признаки СП, например класс светораспределения и тип КСС, степень защиты от воздействия окружающей среды, особенности оптической системы, форму защитных стекол и рассеивателей, наличие или отсутствие экранирующих решеток, способ ввода проводов, особенности электрической схемы, материал, форму и цвет СП и ряд других характеристик.

В шифре СП после номера серии ставится тирс, между числом ламп и цифрой, указывающей их мощность, — знак умножения. При отсутствии цифры, обозначающей число ламп в СП, после номера серии перед цифрой, указывающей мощность ламп, должен стоять знак умножения. Система условных обозначений СП иллюстрируется табл. 6.24.

Стандарт сохраняет за организациями, разрабатывающими СП, право давать новым изделиям *наряду с шифрами* и собственные имена или другие обозначения.

Примеры обозначений светильников.

1. Светильник с ЛН мощностью 500 Вт, подвесной, для промышленных предприятий, серии 05, модификации 016, климатического исполнения У, категории размещения 3: НСП05×500- 016-У3.

2. Светильник с РЛ типа ДРЛ мощностью 400 Вт, консольный, уличный, серии 08, модификации 014, климатического исполнения ХЛ, категории размещения 1: РКУ08×400-014-ХЛ1.

3. Светильник с двумя ЛН мощностью по 40 Вт, общего назначения, настольный, для жилых (бытовых) помещений, серии 02, модификации 005, климатического исполнения У, категории размещения 4: ННБ02-2×40-005-У4 («Орфей»).

4. Светильник с двумя ЛЛ мощностью по 36 Вт и одной эритемной ЛЛ мощностью 30 Вт, подвесной, для общественных зданий, серии 02, модификации 005, климатического исполнения У, категории размещения 4: ЛСО2-2×36(1×30)-005-У4.

На корпусе СП или на одной из не съемных в процессе эксплуатации деталей наносится несмываемая, прочная и хорошо видная маркировка, содержащая товарный знак предприятия-изготовителя, шифр светильника, номинальное напряжение, В, и мощность ламп, или суммарная потребляемая мощность для ОП с РЛ, Вт, степень защиты по ГОСТ 17677-82, климатическое исполнение и категорию размещения по ГОСТ 15150-69, месяц и год выпуска светильника, обозначение стандарта или технических условий, по которым выпускается светильник.

Для взрывозащищенных СП в маркировке дополнительно указывается уровень и вид взрывозащиты.

Система условных обозначений светильников

Место в шифре								
1	2	3	4; 5	6 (7)	7-11 (8-12)	12-15 (13-16)	16-17 (17-18)	18-19 (19-20)
Источник света, обозначение	Способ установки, обозначение	Основное назначение, обозначение	Номер серии	Число ламп в светильнике	Мощность ламп, Вт	Номер модификации	Климатическое исполнение	Категория размещения
Лампы накаливания: П Лампы-светильники, С Галогенные, И Люминесцентные лампы: прямые трубчатые, Л фигурные, Ф эрмитные, Э Ртутные лампы, Р Металлогалогенные лампы, Г Натриевые лампы, Ж Бактерицидные, Б Ксеноновые трубчатые, К	Подвесные, С Потолочные, П Настенные, Б Настольные, Н Напольные и встраиваемые, Т Встраиваемые, В Консольные, К Ручные сетевые, Р Ручные аккумуляторные, Ф Головные, Г Пристраиваемые, Д	Для промышленных предприятий, П Для рудников и шахт, Р Для общественных зданий, О Для жилых (бытовых) помещений, Б Для наружного освещения, У Для кинематографических и телевизионных студий, Т	01-99	1-99		01-999		

Маркировка взрывозащищенных рудничных СП содержит знак Ex и знак вида взрывозащиты, требующий для СП, а также знак I, обозначающий рудничное взрывозащищенное электрооборудование.

Важно отметить, что маркировка взрывозащиты СП группы II должна выполняться в виде цельного, не разделенного на части знака, который рекомендуется располагать в прямоугольнике. Маркировка рудничных СП должна состоять из двух частей, в первой из которых указывается уровень взрывозащиты, во второй, располагаемой правее или ниже первой, — остальная часть маркировки. При этом знак взрывозащиты располагается в окружности, остальная часть — в прямоугольнике.

Примеры маркировки взрывозащиты СП:

2ExeIIT6 — СП повышенной надежности против взрыва, с видом взрывозащиты «е», температурного класса Т6;

2ExdiIIBT5 — СП повышенной надежности против взрыва, с видом взрывозащиты «взрывонепроницаемая оболочка и искробезопасная цепь», подгруппы ИВ, температурного класса Т5;

1ExdIIAT3 — взрывобезопасный СП с видом взрывозащиты «взрывонепроницаемая оболочка», подгруппы ИА, температурного класса ТЗ;

РП ПИВ — рудничный СП повышенной надежности против взрыва, с видами взрывозащиты «е» и «взрывонепроницаемая оболочка»;

РВ ЗВ — рудничный взрывобезопасный СП с видом защиты «взрывонепроницаемая оболочка», подгруппа ЗВ;

ExdI

— рудничный СП со взрывонепроницаемой оболочкой;

ExeI

— рудничный СП с видом взрывозащиты «е».

В международной практике приняты следующие обозначения, включаемые в маркировку СП:



заземляющий контакт;

A

— сила тока;

Hz

— частота питающего тока;

V

— напряжение сети;

W

— суммарная потребляемая мощность;



— световые приборы класса II защиты от поражения электрическим током;



— световые приборы класса III;

t_a-----°C

— установленная наибольшая температура окружающей среды;



— запрет использования в СП ламп-светильников с «холодным пучком»;



— минимальное расстояние установки СП от освещаемой поверхности;



— обозначение СП со встроеными ПРА, пригодных для установки на основания из нормально сгораемых материалов.

Обозначения степеней защиты СП от пыли и воды были приведены в табл. 6.10. Более подробно обозначения и графические знаки, применяемые в международной практике, приведены в приложении П4.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

6.1. *ГОСТ 12.2.007.0-75*. Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности.

6.2. *ГОСТ 14254-80*. Изделия электротехнические. Оболочки. Стенени защиты. Обозначения. Методы испытаний.

6.3. *ГОСТ 15150-69*. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды.

6.4. *ГОСТ 15543.1-89*. Изделия электротехнические. Общие требования в части стойкости к климатическим внешним воздействующим факторам. *ГОСТ 17516.1-90*. Изделия электротехнические. Общие требования в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам.

6.5. *ГОСТ 12.27.20-76*. ССБТ. Электрооборудование взрывозащищенное. Классификация. Маркировка.

6.6. *Коробко А.А.* О некоторых аспектах представления светораспределения световых приборов. *Светотехника*. 2001. № 6.

6.7. *Айзенберг Ю.Б., Бухман Г.Б.* О классификации и допусках на кривые силы света. *Светотехника*. 1978. № 6.

6.8. *Островский М.А.* Техника наружного освещения городов. *Итоги науки и техники. Светотехника и инфракрасная техника*. Т. 3. М.: ВИНТИ. 1973.

6.9. *Frier J.P., Frier M.E.G.* *Industrial Lighting Systems*. McGraw-Hill Book Co. 1980.

6.10. *Кюстер Г.* Оптические свойства поверхности алюминия с покрытием, выполненным методом осаждения из газообразной фазы. *Светотехника*. 2002. № 4.

6.11. *Кюстер Г.* Избирательно поглощающие солнечное излучение покрытия для алюминия. *Светотехника*. 2002. № 6.

6.12. *Whitehead L.A., Nodwell R.A., Cuzzon F.L.* New efficient light guide for interior illumination. *Applied Optics*. vol. 21. № 15. Aug 82.

6.13. *Айзенберг Ю.Б., Коробко А.А.* Полые световоды на основе призматической пленки полного внутреннего отражения. *Светотехника*. 1994. № 4.

- 6.14. *Эвальд Ю.* Световозвращающие материалы и их применение в знаках дорожного движения. Светотехника. 2000. № 2.
- 6.15. *Гальченко А.Г.* Влияние внешних воздействий на эксплуатационные характеристики светотехнических полимерных материалов. Светотехника. 2000. № 3.
- 6.16. *Гальченко А.Г., Лихачев С.К.* Листовые полимерные светотехнические материалы. Светотехника. 1998. № 6.
- 6.17. *Бухман Г.Б.* Щелевой световод. Авторское свидетельство. СССР, № 181023. 1965.
- 6.18. *Aizenberg J.B., Bukhman G.B.* «Interior lighting fixture». United States Patent, N 3.902.056,26, 1975.
- 6.19. *Айзенберг Ю.Б., Бухман Г.Б., Шефтель Е.Б.* Взрывобезопасный электрический светильник-световод. Авторское свидетельство. СССР, № 269302, опубли. в Б.И. 1970. № 5.
- 6.20. *Айзенберг Ю.Б., Бухман Г.Б., Пятигорский В.М.* Новый принцип внутреннего освещения осветительными устройствами со щелевыми световодами. Светотехника. 1976. № 2.
- 6.21. *Айзенберг Ю.Б.* О истории развития и области эффективного использования полых световодов. Светотехника. 2002.
- 6.22. *Hollow Light Guides Technology and Application.* CIE 164-2005 Technical Report.
- 6.23. *Айзенберг Ю.Б.* Интегральные системы освещения помещений без достаточного естественного света. Светотехника. 2003. № 1.
- 6.24. *Айзенберг Ю.Б., Бухман Г.Б., Пятигорский В.М.* Lighting installation based on light guide. United States Patent № 4.105.293.
- 6.25. *Tubular daylight guidance systems.* CIE 173: 2006. Technical Report.
- 6.26. *Сатаров Д.К.* Волоконная оптика. М. Машиностроение. 1973.
- 6.27. *Кулаков И.А., Рожкова Н.В.* Осветительные устройства с гибкими световодами. Светотехника. 1996. № 9.
- 6.28. *Борисов К.* Волоконная оптика: конструктор света. Иллюминатор. 2002. № 2.
- 6.29. *Волоконные световоды.* Иллюминатор. 2002. № 2.
- 6.30. *Gutes Licht für Gewerbe, Handwerk und Industrie Vordergemeinschaft.* Gutes Licht. № 5.

НОРМИРОВАНИЕ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

7.1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ НОРМИРОВАНИЯ ОСВЕЩЕНИЯ

Осветительная установка — комплексное светотехническое устройство, предназначенное для искусственного и (или) естественного освещения и состоящая из источника оптического излучения, осветительного прибора или светопропускающего устройства, освещаемого объекта или группы объектов, приемника излучения и вспомогательных элементов, обеспечивающих работу установки (проводов и кабелей, пускорегулирующих и управляющих устройств, конструктивных узлов, средств обслуживания).

Целями нормирования искусственного и естественного освещения является создание световой среды, обеспечивающей комфортные и безопасные условия труда, безопасное передвижение пешеходов и транспорта, эффективное функционирование систем видеонаблюдения и видеосъемки, осуществление технологических процессов, выращивание растений, содержание животных и т.д.

Кроме того, целью нормирования естественного и искусственного освещения является эффективное использование ресурсов электрической и тепловой энергии, а также ресурсов светового климата района строительства.

Нормирование освещения заключается в законодательном установлении норм и правил выполнения систем искусственного и естественного освещения, обеспечивающих необходимые значения количественных и качественных параметров освещения.

В промышленном освещении эффективность систем освещения определяется производительностью труда, зрительной работоспособностью, заданной вероятностью правильного решения зрительной задачи, видимостью различаемых объектов.

В общественных помещениях эффективность систем освещения, кроме производительности труда и зрительной работоспособности, может определяться архитектурно-художественным восприятием окружающего пространства.

Эффективность систем искусственного наружного освещения может оцениваться по видимости препятствий водителями транспорта и пешеходами или по безаварийности их работы.

В основе нормирования лежат результаты научных исследований в областях физиологии зрения, гигиены человека и экологии окружающей среды, техники, эстетики и экономики освещения, учитываются национальные материальные и энергетические ресурсы. Нор-

мативные документы отражают текущий уровень развития светотехнической науки и промышленности.

В задачи нормирования освещения входят:

- классификация зрительных работ по точности и сложности;
- выбор критериев нормирования в соответствии с функциональным назначением освещения;
- выбор параметров освещения, подлежащих нормированию;
- установление значений нормируемых параметров для работ разной точности и сложности.

7.2. НОРМИРОВАНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ И КАЧЕСТВЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ОСВЕЩЕНИЯ

Критерием нормирования является показатель светотехнической эффективности освещения, на основании которого выбираются нормируемые количественные и качественные параметры. Критерием нормирования может быть такая характеристика, для которой установлена ее зависимость от параметров освещения. Выбор критерия зависит от функционального назначения освещения с учетом материальных, трудовых и энергетических затрат. В мировой практике принято раздельное нормирование освещения промышленных, общественных, жилых зданий и селитебных территорий.

Нормирование освещения начинается с параметров, определяющих его эффективность, при этом нормирование может быть прямым или косвенным. При прямом нормировании регламентируют величины, непосредственно определяющие эффективность освещения:

- видимость или различимость, обеспечивающие решение зрительной задачи с заданной вероятностью;
- вероятность создания аварийной или травмоопасной ситуации;
- зрительная работоспособность;
- производительность труда;
- светлота окружающего пространства, определяющая насыщенность помещения светом и т.д.

Прямое нормирование является наиболее совершенным способом определения регламентируемых показателей. Отсутствие достаточных данных, которые позволили бы перейти от видимости, зрительной работоспособности, производительности труда, светлоты к фотометрическим характеристикам освещения, измеряемым инструментально, затрудняет применение прямых методов. Развитие исследований в области техни-

ки освещения в дальнейшем позволит перейти на прямое нормирование освещения.

Косвенное нормирование осветительных установок основано на регламентации фотометрических характеристик, рассчитываемых и инструментально измеряемых, а также распределений фотометрических величин во времени и пространстве. Данный способ нормирования более приемлем для практики проектирования и эксплуатации освещения.

В качестве количественной характеристики искусственного освещения помещений в мировой практике используют освещенность, которая рассчитывается или измеряется люксметрами с датчиками, скорректированными под спектральную кривую чувствительности человеческого глаза [86] (см. раздел 2).

В некоторых общественных помещениях, где основной зрительной задачей является зрительное восприятие пространства, дополнительно нормируется одна из интегральных характеристик светового поля — цилиндрическая освещенность, характеризующая насыщенность помещения светом.

В наружном освещении улиц, дорог и площадей, когда индикатриса отражения света дорожным покрытием хорошо известна и стандартизована, наряду с освещенностью в качестве количественной характеристики используется яркость, которая рассчитывается или измеряется яркомерами с датчиками, скорректированными под спектральную кривую чувствительности человеческого глаза [87].

При естественном освещении помещений освещенность в помещении и на рабочих местах зависит от погоды и непрерывно изменяется во времени. Здесь количественным показателем является относительная величина — коэффициент естественной освещенности. Коэффициент естественной освещенности (КЕО) — отношение естественной освещенности, создаваемой в некоторой точке заданной плоскости внутри помещения прямым светом неба, отраженным светом от прилегающих зданий и земли, а также отраженным светом от внутренних поверхностей помещений, к одновременному значению наружной горизонтальной освещенности, создаваемой светом полностью открытого небосвода. КЕО выражается в процентах. Освещенность в какой либо точке помещения равна произведению наружной освещенности горизонтальной плоскости на значение КЕО в этой точке. КЕО может быть определен путем расчета или экспериментально [44].

Снижение освещенности при эксплуатации систем естественного и искусственного освещения в результате старения источников света, загрязнения и старения светопронускающих элементов систем в российских нормах учитывается коэффициентом запаса K_3 ($K_3 > 1$). В зарубежных странах для этих целей используется коэффициент эксплуатации *maintenance factor* — величина, обратная коэффициенту запаса $MF = 1 / K_3$ ($MF < 1$).

В связи с ростом стоимости энергоносителей важное значение приобретают показатели энергоэкономичности освещения. Показателем энергоэкономичности искусственного освещения является удельная установленная мощность w_0 (Вт/м²), то есть мощность искус-

ственного освещения, потребляемая на 1 м² освещаемой площади. В некоторых случаях используют удельную установленную мощность, потребляемую на создание освещенности в 100 лк, w (Вт/м²/100 лк). Энергоэкономичность систем естественного и совмещенного освещения оценивается по суммарным затратам на электрическую и тепловую энергию, отнесенным к единице освещаемой площади.

Нормируемые качественные параметры освещения различаются в зависимости от назначения помещения.

К качественным характеристикам освещения относятся показатели, влияющие на комфортность условий для работы зрения. К ним относятся параметры, характеризующие прямое слепящее действие ОУ (показатель ослепленности, показатель дискомфорта, обобщенный показатель дискомфорта), отраженное слепящее действие (яркость освещаемых поверхностей в направлении глаз работающего), глубина пульсации светового потока, пространственное распределение светового потока в рабочей зоне (равномерность распределения освещенности, коэффициент передачи контраста), спектральные характеристики оптического излучения.

7.2.1. Нормирование промышленного освещения

Освещенность. Искусственное освещение подразделяется по видам на рабочее освещение, аварийное освещение безопасности, аварийное эвакуационное освещение, охранное освещение и дежурное освещение. В международной практике для каждого вида освещения существуют свои нормированные значения освещенности и правила проектирования осветительных установок.

Нормативные значения искусственной освещенности при рабочем освещении устанавливаются в зависимости от точности и сложности зрительной работы. Точность зрительной работы определяется размером α и контрастом с фоном k тест-объекта (объекта различения). Размер объекта различения в национальных нормативах развитых стран определяется в угловых единицах (в градусах или стерadians) [44, 79, 82, 83, 86, 7.1–7.5].

Контраст плоского объекта различения с фоном определяется соотношением:

$$k = \frac{|L_o - L_\phi|}{L_\phi}, \quad (7.1)$$

где L_o , L_ϕ — яркость объекта различения и фона.

При равномерно-диффузном характере отражения, когда яркость пропорциональна освещенности $L = \rho E / \pi$, соотношение (7.1) преобразуется к виду:

$$k = \frac{|\rho_o - \rho_\phi|}{\rho_\phi}, \quad (7.2)$$

где ρ_o , ρ_ϕ — интегральные коэффициенты отражения объекта и фона.

При зеркальном отражении яркость отраженного света L пропорциональна яркости излучателя L_n (источника света или выходного отверстия светового прибора) $L = \rho^r L_n$, где ρ^r — коэффициент зеркального отражения.

Контраст плоского объекта с зеркальным отражением на фоне с равномерно-диффузным отражением при зеркальном отражении в направлении глаз работающего определяется соотношением:

$$k = \left| 1 - \frac{\rho_0^r L_n}{\rho_\Phi^d E_\Phi} \right|, \quad (7.3)$$

где ρ_0^r — коэффициент зеркального отражения объекта; ρ_Φ^d — коэффициент диффузного отражения фона; E_Φ — освещенность фона; L_n — яркость излучателя.

Контраст плоского объекта с равномерно-диффузным отражением на фоне с зеркальным отражением при зеркальном отражении в направлении глаз работающего определяется соотношением:

$$k = \left| \frac{\rho_0^d E_\Phi}{\rho_\Phi^r L_n} - 1 \right|, \quad (7.4)$$

где ρ_0^d — коэффициент диффузного отражения объекта; ρ_Φ^r — коэффициент зеркального отражения фона; E_Φ — освещенность фона; L_n — яркость излучателя.

Сложность зрительной работы при одинаковой точности определяется ее продолжительностью, степенью разрешения зрительной задачи (обнаружение или различение), количеством объектов различения в поле зрения, необходимостью их поиска, ограничением времени обнаружения, а также возрастом работающих.

В основе американских и российских норм лежит видимость тест-объекта (объекта различения) — равнояркого круга на равноярком фоне [7.6, 7.7], с учетом вероятностного характера различения тест-объекта.

Видимость объектов принято оценивать количеством пороговых значений контраста k_n в контрасте объекта с фоном k при данных условиях освещения и наблюдения, как это предложил А.А. Гершун [1].

$$V_p = k / k_{n,p}, \quad V_0 = k / k_{n,p=0,7}, \quad (7.5)$$

где V_p и $k_{n,p}$ — видимость и пороговый контраст объекта различения при вероятности обнаружения p .

Известно, что переход к пороговому контрасту при вероятности $p=0,5$ — $k_{n,p=0,5}$ осуществляется по формуле:

$$k_{n,p} = k_{n,p=0,5} f_1(p), \quad (7.6)$$

где функция вероятностного распределения $f_1(p)$ определяется по таблицам [11].

В основу английских норм положена относительная зрительная работоспособность (по Вестону) η_0 [7.8], которая определяется произведением времени обнаружения тест-объекта (объекта различения) на вероятность опознания. Вестоном на основе экспериментальных исследований найдена зависимость зрительной работоспособности от яркости фона, размера и контраста с фоном объекта различения (кольца Ландольфа) (α , k), которая с ростом яркости стремится к насыщению, соответствующему максимально возможной зрительной работоспособности.

Зависимость порогового контраста равнояркого круга на равноярком фоне подробно исследовалась американскими и российскими учеными [7.6, 7.7]. Когда объект темнее фона, пороговый контраст равнояркого круга на равноярком фоне, согласно исследованиям Блекуэлла, при вероятности обнаружения $p=0,5$ описывается формулой:

$$k_{n,p} = \frac{1}{b(\alpha) L_\Phi^{1-a(\alpha)}}, \quad L_0 < L_\Phi, \quad (7.7)$$

в которой параметры $a(\alpha)$, $b(\alpha)$ — коэффициенты, зависящие от углового размера круга α , приведены в [11], а L_0 , L_Φ — яркости объекта и фона.

Когда объект светлее фона, контраст равнояркого круга на равноярком фоне при вероятности обнаружения $p=0,5$ описывается формулами Никитиной [7.7]:

$$k_{n,p=0,5} = f(\alpha) f(L_\Phi) =$$

$$= \begin{cases} k_{n,p=0,5} / \alpha^2 & \alpha < 1' \\ \alpha^{-1'} & \\ k_{ш} (10^{1/0,9\alpha} - 1) & 1' < \alpha < 16', \quad L_0 > L_\Phi, \\ k_{n,p=0,5} \sqrt{16/\alpha} & \alpha > 16' \\ \alpha^{-16'} & \end{cases} \quad (7.8)$$

где

$$k_{ш} = 0,2 / (1 + \lg L_\Phi) \quad (7.9)$$

— коэффициент, зависящий от яркости фона, α — угловой размер круга, L_0 , L_Φ — яркости объекта и фона.

В нормативных документах развитых стран принят принцип классификации зрительных работ по точности, определяемой угловым размером и яркостным контрастом объекта различения с фоном. Объектом различения принято называть деталь рассматриваемого предмета, которую требуется различать в процессе работы, например элемент резьбового соединения, нить ткани, волос человека, отрезок проволоки, риску прибора или инструмента, раковину или трещину на обрабатываемой поверхности, точку на печатном листе, линию на чертеже и пр.

Угловые размеры объектов наблюдения, выраженные в угловых минутах, группируют по их линейным размерам, принимая расстояние от объекта до глаза наблюдателя равным 0,35–0,5 м, что позволяет линейный размер 0,1 мм принять эквивалентным угловому размеру — угловой минуте.

Объекты различения классифицируются по размерам на разряды, каждый из которых характеризует точность зрительной работы. К разряду наивысшей точности относятся все работы, при которых эквивалентный размер объектов различения менее 0,1–0,15 мм, что соответствует угловому размеру объекта наблюдения $\alpha < 1'$ при расстоянии его от глаза наблюдателя $l=0,33$ м. При классификации зрительных работ для больших расстояний от объекта различения до глаз работающего пользуются перерасчетом [44, 86].

Объекты различения, обладающие протяженностью, различаются зрением человека легче, чем ком-

пактные объекты. Так, возможность различения отрезка тонкой проволоки, тонкой нити ткани или волоса человека обеспечивает их длина. Поэтому при нормировании освещения следует учитывать и протяженность различаемых объектов. Для определения разряда зрительных работ в отраслевом нормировании освещения пользуются значением эквивалентного размера протяженного объекта, равного угловому размеру круга, имеющего то же значение порогового контраста при данной яркости фона.

Пороговый контраст объекта прямоугольной формы $k_n^{a,b}$ согласно [7.9] вычисляется как среднее геометрическое пороговых значений контрастов кругов с диаметрами, равными сторонам прямоугольника, $k_n^a k_n^b$:

$$k_n^{a,b} = \sqrt{k_n^a k_n^b}. \quad (7.10)$$

Математическая обработка экспериментальных зависимостей пороговых контрастов прямоугольных объектов (7.10) и равнорядного круга (7.8) от яркости фона позволила получить простой графический метод определения эквивалентного размера протяженных объектов [44], представленный на рис. 7.1.

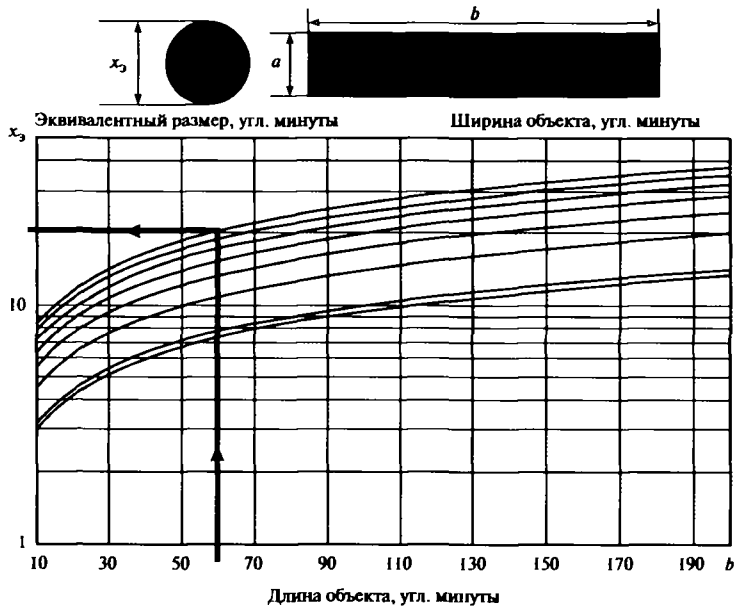


Рис. 7.1. Учет протяженности различных объектов при нормировании освещенности

Контраст объекта различения с фоном принято считать малым при $k < 0,2$, средним при $0,2 \leq k \leq 0,5$ и большим при $k > 0,5$.

Существующая градация российских норм освещенности зрительных работ в помещениях по угловому размеру и контрасту различаемого объекта с фоном построена, исходя из обеспечения относительной видимости 0,7. Кроме того, при составлении норм априорно была задана вероятность обнаружения объектов зрительной задачи, равная 0,7, поскольку более высокие уровни вероятности приводили к высоким нормам ос-

вещенности, превышающим экономические возможности страны.

Характеристики точности зрительной работы α и k определяют яркость, обеспечивающую выбранное значение относительной видимости $V_0 = 0,7$. Поскольку для равномерно-диффузного отражения яркость пропорциональна освещенности $L = \rho E / \pi$, при нормировании освещенности дополнительно к α и k в характеристику зрительной работы вводится коэффициент отражения рабочей поверхности (фона). Рабочие поверхности, являющиеся фоном, на котором объект зрительной обнаруживается и опознается, классифицируются по коэффициенту отражения на три группы: темные ($\rho < 0,2$), средние ($0,2 \leq \rho \leq 0,4$) и светлые ($\rho > 0,4$).

Значения освещенности в таблице российских норм подобраны так, чтобы яркость рабочих поверхностей при соответствующих значениях коэффициентов отражения и контрастов объектов с фоном обеспечивала одинаковые значения относительной видимости. Кроме того, в нормах освещенности зрительных работ учтены дополнительные данные по зрительной работоспособности, зрительному утомлению и производительности труда за счет повышения нормируемых значений освещенности для отдельных разрядов.

Изменение вероятности обнаружения объектов ведет к соответствующему изменению всех нормируемых значений освещенности во всех разрядах точности зрительных работ, и в то же время сохраняет сложившуюся систему деления зрительных работ по разрядам точности (по угловому размеру и контрасту объекта различения с фоном). Из (7.6) и (7.9) следует, что параллельный сдвиг всех нормативных значений освещенности при повышении или понижении вероятности различения может быть осуществлен по формулам:

$$E_{\phi 2} = (\rho / \pi)^c E_{\phi 1} 10^{c-1}, \quad (7.11)$$

где

$$c = f_1(p) / f_1(0,7), \quad (7.12)$$

$E_{\phi 1}$ — нормируемая освещенность при вероятности обнаружения $p = 0,7$; $E_{\phi 2}$ — нормируемая освещенность при вероятности обнаружения p ; ρ — коэффициент отражения фона; $f_1(0,7)$ — значение функции распределения при вероятности $p = 0,7$, а $f_1(p)$ — значение функции распределения при вероятности p , определяемые по таблицам [11].

Это позволит при появлении технико-экономических возможностей с ростом световой отдачи применяемых источников света повысить значения освещенностей для всех разрядов зрительных работ, сохраняя сложившуюся градацию зрительных работ по точности (и соответствующим ей разрядам) за счет перехода на большую вероятность, как показано в примере на рис. 7.2. Применение аналогичного подхода к определению нормированных значений освещенности для мест производства работ вне зданий, где создать высо-

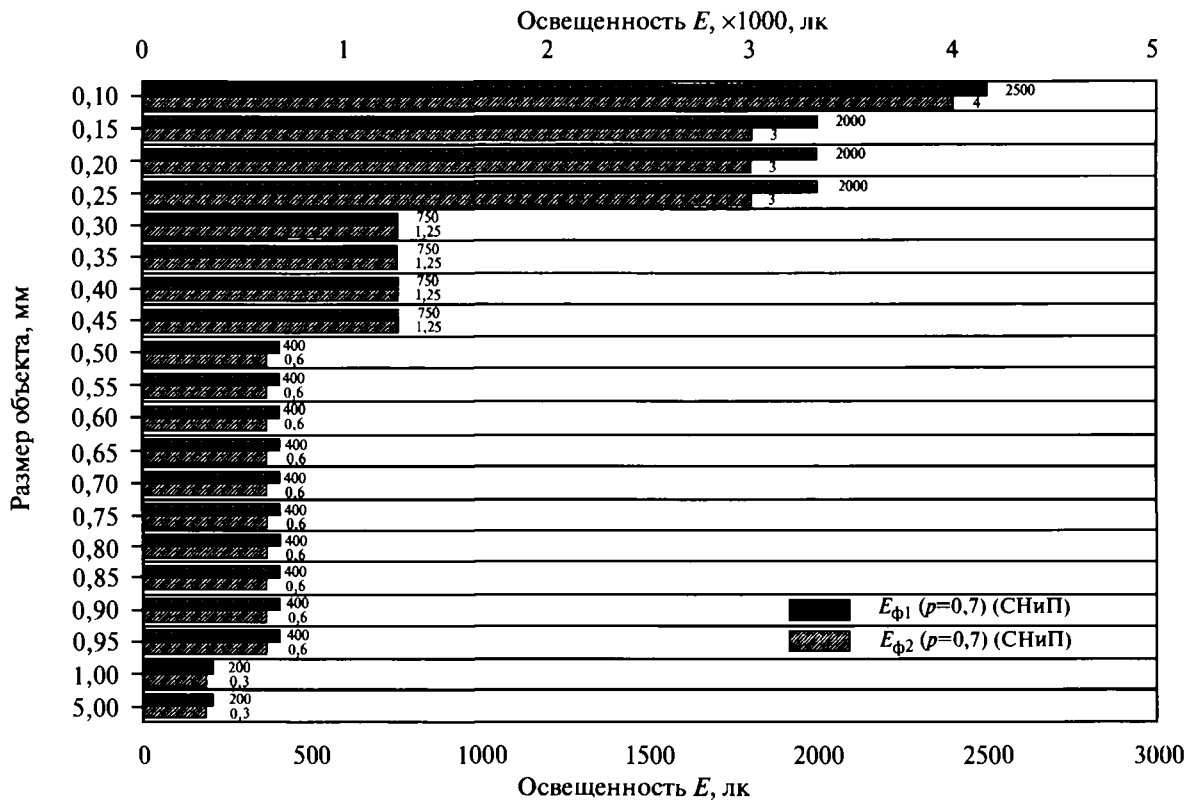


Рис. 7.2. Пример изменения нормативной шкалы освещенностей за счет изменения вероятности обнаружения объектов различения (нормы освещенности, обеспечивающие относительную видимость $V_0 = 0,7$ при вероятностях обнаружения объектов $p = 0,7$ и $p = 0,75$ для зрительных работ, относящихся к подразряду «в» СНиП 23-05-95*)

кие освещенности из-за отсутствия ограждающих поверхностей, а следовательно, и отраженной составляющей освещенности, гораздо труднее, чем в помещении, возможно, если ограничиться меньшей вероятностью различения и опознания объектов.

В международной практике нормирования, кроме того, учитывают следующие два положения. Во-первых, в помещениях с постоянным пребыванием людей освещенность должна быть более 200 лк, поскольку при освещенностях ниже 200 лк помещения воспринимаются как сумеречные.

Во-вторых, для опознания человеческого лица необходима освещенность не менее 20 лк, и в этой связи освещенность помещений, даже с временным пребыванием людей, не должна быть меньше 20 лк.

В целях удобства проектирования и контроля за состоянием освещения при эксплуатации нормируемые значения выбираются в соответствии со шкалой освещенности в люксах, отличающиеся на одну ступень: 0,2; 0,3; 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 10; 15; 20; 30; 50; 75; 100; 150; 200; 300; 400; 500; 600; 750; 1000; 1250; 1500; 2000; 2500; 3000; 3500; 4000; 4500; 5000 [44]. Шкалы с идентичными значениями освещенностей содержат международные стандарты и национальные нормы развитых стран [82, 83, 86, 7.1–7.5], однако число ступеней в шкалах различно.

Освещение помещения и находящихся в нем рабочих мест может быть выполнено двумя системами: общим освещением или комбинированным освещением — сочетанием общего и местного освещения.

При общем освещении светильники освещают всю площадь помещения, как занятую оборудованием и рабочими местами, так и вспомогательную. Местное освещение предназначено только для определенного рабочего места и не создает необходимой освещенности даже на прилегающих к нему площадях.

В российских нормах промышленного освещения принято устанавливать отдельные нормы для систем искусственного и комбинированного освещения. Более высокие нормы в системе комбинированного освещения объясняются особенностями местного освещения, позволяющими создавать на рабочих поверхностях высокие освещенности за счет максимального приближения светильников с лампами малой мощности к рабочей поверхности. Нормы освещения развитых зарубежных стран, международные и европейские стандарты не конкретизируют систему освещения, и лишь в примечаниях к нормам освещенности высокоточных и точных зрительных работ существуют ссылки на необходимость освещения данных работ с применением местного освещения (то есть системы комбинированного искусственного освещения).

Согласно российским нормам [44] общее освещение, в том числе и в системе комбинированного освещения, может быть равномерным или локализованным. При локализованном освещении светильники располагаются неравномерно с учетом расположения рабочих мест. Зоны помещений, в которых отсутствуют рабочие места, классифицируемые как проходы и участки, где работа не производится, могут иметь освещенность равную 25% от нормируемой, но не менее 75 лк. Локализованное освещение является более энергоэкономичным, поскольку светильники располагаются непосредственно вблизи рабочих мест и, как следствие, при локализованном освещении число светильников и мощность осветительной установки меньше, чем при равномерном освещении.

Последние европейские и международные стандарты [82, 83] ориентируют проектировщиков на повсеместное применение общего локализованного освещения, относя нормы освещенности не к помещению в целом, а только к рабочей зоне. В пространстве, прилегающем к рабочей зоне, освещенности должны быть в 1,5–1,6 раз ниже нормируемых.

Несмотря на принятие европейских и международных стандартов [82, 83], ведущие развитые страны сохранили национальные нормы [7.3–7.5, 86], поскольку международные документы не отразили всех необходимых условий для проектирования и контроля за состоянием осветительных установок. Даже в германском стандарте DIN 5035 [7.4] в частях 1, 2, 3, 4 на европейский стандарт DN EN 12464-1 [82] заменены только некоторые фрагменты.

В табл. 7.1 приведено сравнение нормируемых освещенностей в стандартах России, США, Англии и международном стандарте ISO 8995 [7.5] для зрительных работ различной точности. Европейские нормы EN 12464-1 [82] и стандарт МКО [83] таблицу освещенностей в зависимости от точности зрительных работ не приводят, хотя нормы освещенности по помещениям и рабочим местам выбраны на ее основе. Наиболее высокие нормы освещенности в настоящее время приняты в

США [86]. Они в 1,5–3,0 раза выше европейских и российских норм, а также международных норм ISO 8995 [7.5]. Российские нормы пока остаются ниже международных стандартов и норм развитых стран для зрительных работ малой точности, а также для помещений и рабочих мест с временным пребыванием людей.

Имеются и другие отличия. Так, российские нормы регламентируют освещенность промышленных помещений и рабочих мест в точках ее минимального значения (то есть минимальную освещенность). Международные стандарты и стандарты развитых стран нормируют среднюю освещенность в рабочей зоне. Как показывает практика, средняя освещенность отличается от минимальной освещенности примерно на одну ступень по приписанной выше шкале освещенности.

В международных стандартах и нормах развитых стран по освещению отсутствует зависимость нормированной освещенности от типа источника света (разрядных ламп и ламп накаливания), поскольку специалист никогда не будет использовать лампы накаливания для создания освещенностей более 150 лк от общего освещения.

В России для промышленного освещения действуют санитарно-эпидемиологические правила [7.10], межгосударственные, федеральные и территориальные строительные нормы [44, 56, 7.1, 7.2, 7.11], а также отраслевые нормы освещения, перечень которых приведен в [7.12]. В санитарно-эпидемиологических правилах [7.10] приведены общие требования к выполнению искусственного освещения, нормативных значений освещенности для промышленного освещения они не содержат. В федеральных строительных нормах [44] содержатся только нормативы освещенности зрительных работ в зависимости от их сложности (точности). Однако проектирование и контроль за состоянием искусственного освещения помещений и рабочих мест удобнее проводить при наличии норм освещенности конкретных помещений, сооружений, рабочих мест или выполняемых на них технологических операций, что содержат отраслевые нормы освещения.

Таблица 7.1

Нормируемая освещенность для зрительных работ различной точности по зарубежным и отечественным нормам и международному стандарту ISO

Характеристика зрительной работы	Наименьший размер объекта различения, угловые минуты	Россия (СНиП 23-05-95*) [44]	США (IESNA/ANSI/ASHRAE) [85]	Великобритания (CIBS/BSCP3) [7.3]	Международный стандарт (ISO 8995) [7.5]
Наивысшей точности	Менее 1	1250–5000	3000–10000	1000–2000	Более 2000
Очень высокой точности	От 1 до 3	750–4000	3000–10000	750–2000	1000–2000
Высокой точности	Свыше 3 до 5	400–3000	1000–3000	500–2000	750–1500
Средней точности	Свыше 5 до 10	200–1500	1000	300–1500	500–1000
Малой точности	Свыше 10 до 50	200–750	500	200–1000	300–750
Грубая зрительная работа, постоянное пребывание людей в помещении	—	200–400	300	200–750	200–500
Временное пребывание работающих в помещении	—	50–150	100	100–500	100–200
Помещения, используемые для прохода работающих	—	50–75	50	50–300	50–150
Инженерные коммуникации, рабочие места вне зданий	—	20–30	30	20–50	20–50

Нормы освещенности общепромышленных помещений, сооружений и рабочих мест приведены в [56, 7.1, 7.11], а также в разделе 12 настоящей книги. Отраслевые нормы освещенности в последние годы не перерабатывались, однако разряды и подразряды зрительных работ, приведенные в ранее разработанных нормах, в большинстве случаев не изменились. Сопоставляя разряд и подразряд зрительной работы с действующими нормативами освещенности [44], можно с достаточной степенью точности определить требуемую освещенность для производственного помещения, рабочего места или технологической операции в отрасли. Обобщенная таблица норм освещенности для основных отраслей промышленности приведена в разделе 12 настоящей книги.

В табл. 7.2 приведено сравнение нормируемых освещенностей для ряда типовых производственных операций в стандартах России, США, Англии и международном стандарте ISO [7.5], европейских нормах EN [82] и стандарте МКО [83]. Как следует из табл. 7.2, европейский стандарт и стандарт МКО предусматривают более высокие нормы общего освещения рабочих мест.

Коэффициент запаса. Нормируемые значения являются величинами, ниже которых освещенность не должна быть ни в какой момент эксплуатации.

В системах искусственного освещения в течение времени эксплуатации происходит снижение освещенности в результате:

- спада светового потока ламп вследствие их старения;
- выхода из строя ламп в течение срока эксплуатации;
- загрязнения оптической системы светильников;
- загрязнения светопропускающих поверхностей источников света;
- спада КПД светильников вследствие старения светоотражающих материалов.

В системах естественного освещения с течением времени происходит снижение освещенности в результате:

- загрязнения светопропускающих поверхностей светоотражающих конструкций;
- снижения коэффициентов пропуска вследствие их старения.

Кроме того, происходит снижение коэффициентов отражения ограждающих поверхностей помещения из-за их загрязнения, что снижает как искусственную, так и естественную освещенность в помещениях.

Для учета снижения освещенности и КЕО в процессе эксплуатации систем освещения вводится коэффициент запаса, значения которого приведены в разделе 7.3.

Коэффициент запаса зависит от содержания пыли и состояния среды в помещениях, частоты чисток светильников или остекления светопроемов, сменности работ на предприятии и принимает значения от 1,2 до 2,0.

Значения коэффициента запаса для осветительных установок искусственного освещения могут быть снижены в зависимости от эксплуатационных групп светильников. Эксплуатационная группа светильника опреде-

ляется конструктивно-светотехнической схемой светильника, видом материала или покрытия отражателя и рассеивателя светильника, типом используемого источника света и приведена в разделе 6 настоящей книги.

Коэффициенты запаса установлены с учетом количества чисток в год заполнения световых проемов и светильников.

В зарубежных нормах и стандартах для учета данного фактора используется коэффициент эксплуатации MF . С отечественным коэффициентом запаса он связан соотношением $MF = 1/K_z$. В стандартах Германии [7.5] рекомендуются следующие значения коэффициента эксплуатации, представленные в табл. 7.3.

Как видно из данных, приведенных в табл. 7.3 и 7.33, коэффициент запаса в российских нормах изменяется в том же диапазоне, что и в стандартах развитых европейских стран.

Требования к энергоэкономичности освещения. В связи с повышением стоимости электроэнергии все большее значение приобретает энергоэкономичность осветительных установок. Основными параметрами, используемыми при контроле за энергоэкономичностью искусственного освещения, являются удельная мощность w ($Вт/м^2$) или удельная мощность на освещенность 100 лк w_0 ($Вт/м^2/100$ лк), а также световая отдача используемых источников света η_d ($лм/Вт$) [7.13, 7.14, 7.15].

Установленная мощность искусственного освещения зависит от световой отдачи источника света и КПД светового прибора, коэффициентов отражения пола, стен, потолка помещения, а также от габаритов помещения, часто характеризуемых индексом помещения i . Индекс помещения является функцией высоты, ширины и длины помещения.

Формулы расчета индекса помещения i в различных нормативных документах различаются [7.17, 7.18, 7.19]. В отечественной светотехнической литературе он определяется соотношением: $i = ab/h(a+b)$, где a , b , h — соответственно длина, ширина и высота помещения.

Требования к энергоэкономичности систем искусственного освещения заключаются в том, что удельная установленная мощность искусственного освещения не должна превышать некоторого усредненного значения, рассчитываемого по формуле:

$$w \leq w_0 (E_n / 100) (K_z / 1.5) (100 / \eta_{св}) (80 / \eta_{ис}), \quad (7.13)$$

где w_0 — базовое значение удельной мощности по таблице, приведенное к освещенности 100 лк, коэффициенту запаса 1,5, условному коэффициенту полезного действия светильника 100% и световой отдаче 80 лм/Вт; E_n — нормируемая освещенность, лк; K_z — нормируемый коэффициент запаса; $\eta_{св}$ — коэффициент полезного действия применяемых светильников, %; $\eta_{ис}$ — световая отдача применяемого источника света, лм/Вт.

Нормативные базовые значения w_0 представляют собой усредненные значения удельной мощности, получающиеся при применении наиболее рациональных источников света для типовых помещений. Они отражают текущий уровень развития источников света и световых приборов. В российских нормах такой подход применяется пока только для ряда общественных по-

**Нормируемая освещенность рабочих мест в промышленности от искусственного освещения
по зарубежным и отечественным нормам и международным стандартам ISO, CIE, EN**

№№ п/п	Характеристика помещения, рабочего места, зрительной работы	Освещенность рабочих мест, лк					
		Россия (СНиП 23-05-95*) [44]		США (IESNA/ANSI/ASHRAE) [85]	Великобритания (CIBS/BSCP3) [7.3]	Международный стандарт (ISO 8995) [7.5]	EN12464-1 [82] CIE DS 008.3/E [83]
		комбини- рованное освещение	общее освещение	общее, общее локализованное или комбинированное при ос- вещенностях более 1000 лк	общее освещение или общее лока- лизованное освещение	общее лока- лизованное освещение	
Металлообработка							
1.	Литейные цеха	-	200	300		200-300-500	200
2.	Металлообработка: точная прецизионная	2000/200 2500/300	-	3000 10000 3000 10000	750 1000	200-300-500 500-750-1000	300 500
3.	Гальванические работы		300	500	300	200-300-500	300
4.	Сборочные работы: грубые средней точности высокой точности прецизионные	750/200 1000/200 2000/200 4000/500	- - -	500 1000 30000 - 10000 3000 - 10000	300 500 750 1500	200-300-500 300-500-750 500-750 1000 1000-1500-2000	200 300 500 750
5.	Контроль металлоизде- лий	2000/200		3000-10000	2000	1000-1500-2000	750
Текстильная промышленность							
6.	Швейные участки	2000/750	--	3000 10000	1000	500-750-1000	750
7.	Контроль швейных из- делий	4000/750		3000-10000	1500	750 1000-1500	1000
Химическая промышленность							
8.	Помещения с времен- ным контролем за тех- нологическим процес- сом	-	100	200	100	100 150 300	150
9.	Помещения постоянно- го контроля за техноло- гическим процессом		200	300	200	200-300 500	300
10.	Комнаты управления технологическим про- цессом	-	300	300	300	200-300-500	300

Примечания.

1. Российские нормы освещенности определены по разрядам зрительных работ, приведенным в отраслевых нормах освещения.
2. При указании диапазона освещенности выбор конкретного значения остается за проектировщиком.

Коэффициенты эксплуатации в DIN 5035 и соответствующие им коэффициенты запаса

Область применения	Коэффициент эксплуатации M_F , относительные единицы	Коэффициент запаса K_3 , относительные единицы
Очень чистые помещения, а также осветительные установки с малым временем использования	0,80	1,25
Чистые помещения с трехгодовым циклом обслуживания	0,67	1,50
Наружное освещение, трехгодичные циклы обслуживания	0,57	1,75
Внутреннее и наружное освещение при сильном загрязнении	0,50	2,00

мещений. Для промышленного освещения в целях повышения энергоэкономичности искусственного освещения помещений ограничивается применение источников света с низкими световыми отдачами (табл. 7.4).

Таблица 7.4

Световая отдача источников света, применяемых для внутреннего освещения по СНиП 23-05-95*

Тип источника света	Световая отдача, лм/Вт не менее, при минимально допустимых индексах цветопередачи R_a			
	$R_a \geq 80$	$R_a \geq 60$	$R_a \geq 45$	$R_a \geq 25$
Люминесцентные лампы	65	75	—	—
Компактные люминесцентные лампы	70	—	—	—
Металлогалогенные лампы	75	90	—	—
Дуговые ртутные лампы	—	—	55	—
Натриевые лампы высокого давления	—	75	—	100

Прямое слепящее действие. Наличие в поле зрения блестящих источников света, оказывающих слепящее действие, снижающих функции зрения, зрительную работоспособность, производительность труда, вызывает рост зрительного утомления.

В отечественных нормах для ограничения прямого слепящего действия на площадках предприятий и местах производства работ вне зданий используются либо величина минимальной высоты подвеса светильников над уровнем земли, либо отношением осевой силы света $I_{\text{макс}}$, кд, к квадрату высоты установки этих приборов H , м (в случае применения прожекторов или пауконно расположенных осветительных приборов прожекторного типа). В производственных помещениях используют показатель ослепленности P .

$$P = (S - 1)1000, \quad (7.14)$$

где S — коэффициент ослепленности, определяемый из соотношения:

$$S = V_2 / V_1 = k_{\text{порс}} / k_{\text{пор}}, \quad (7.15)$$

где V_1 — видимость объекта наблюдения при наличии блестящих источников в поле зрения; V_2 — видимость при их отсутствии; $k_{\text{порс}}$ — пороговый контраст при наличии блестящих источников света в поле зрения; $k_{\text{пор}}$ — то же при их отсутствии.

Формула для расчета показателя ослепленности P от светильников приведена в разделе 8 настоящей книги.

Показатель ослепленности является безразмерной величиной и регламентируется нормами в зависимости от точности зрительной работы: чем точнее работа, тем меньший показатель ослепленности допускается, и изменяется в диапазоне от 10 до 40.

В английских нормах [7.3] используется индекс блескости $G1$ (glare index).

В американских стандартах в течение долгого времени использовался показатель — вероятность зрительного комфорта VCP (visual comfort probability) [86]. До недав-

него времени для промышленного освещения в международном стандарте [83] и национальном стандарте Германии [7.4] прямое слепящее действие определялось методом кривых допустимой габаритной яркости. Данный метод, регламентировавший среднюю габаритную яркость светильников в углах от 45° до 85° , подробно изложен в разделе 7.2.2. В новых европейских и международных стандартах [82, 83] для регламентации прямого слепящего действия в производственных помещениях используется обобщенный показатель дискомфорта UGR (unified glare rating). Он учитывает все светильники, создающие слепящую блескость на рабочем месте. Для оценки прямого слепящего действия используются таблицы UGR, предоставляемые производителями светильников. Оба метода хорошо согласуются с друг другом. Формула для расчета UGR, а также таблицы его взаимосвязи с другими методами регламентации слепящего действия приведены в разделе 7.2.2 настоящей книги.

Отраженная блескость и коэффициент передачи контраста. На практике отражающие свойства объекта и фона отличаются от равномерно-диффузного отражения. Отражения ярких частей осветительных приборов от поверхностей с зеркальным или направленно-рассеянным отражением, попадающие в поле зрения работающего, оказывают отрицательное влияние на зрительную работоспособность. Пространственное распределение светового потока может или увеличить контраст, облегчив работу зрения, или уменьшить его, усложнив зрительную задачу. Направленно-рассеянное, зеркальное или смешанное отражение приводит к возникновению отраженной блескости, снижающей контраст объекта с фоном. Для характеристики этого процесса Международной комиссией по освещению МКО был введен коэффициент передачи контраста CRF (contrast rendering factor) [7.16].

Коэффициент передачи контраста CRF определен как отношение контраста тест-объекта в реальных условиях освещения к его контрасту в «стандартных» условиях освещения — при освещении равномерной полусферой. Его величина может быть как больше, так и меньше единицы. На рис. 7.3 приведен вид тест-объек-

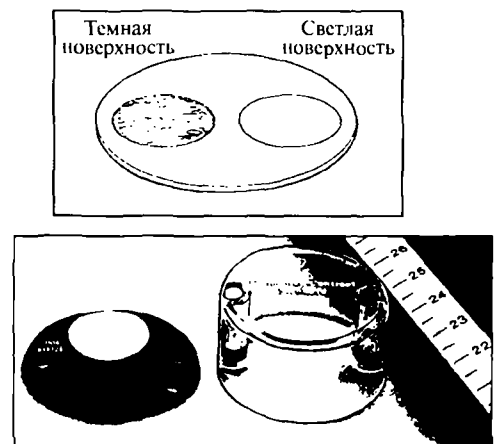


Рис. 7.3. Эталон передачи контраста для плоских зрительных задач, рекомендованный МКО и выпускаемый компанией Bruel & Kjaer (Дания)

та для измерения коэффициента передачи контраста CRF для плоских зрительных задач к измерителю коэффициента передачи контраста, выпускаемого компанией Vuel & Kjet (Дания). Расчет коэффициента передачи контраста проводится на основе программных средств. Рекомендуемые коэффициенты передачи контраста на рабочем месте для плоских зрительных задач приведены в табл. 7.5.

Таблица 7.5

Коэффициенты передачи контраста на рабочем месте для плоских зрительных задач

Класс передачи контраста	Коэффициент передачи контраста стандартного эталона, относительные единицы		Рекомендуемая область применения
	Средние значения	Минимальные значения	
I	более 1,0	0,95	Зрительные работы с преимущественным использованием блестящих материалов
II	от 0,85 до 1,0	0,7	Зрительные работы с редким использованием блестящих материалов
III	от 0,7 до 0,85	0,5	Зрительные работы с матовыми материалами

При технической невозможности отведения отраженного блика от глаз работающего яркость выходного отверстия светильника, определяющая яркость блика на рабочей поверхности с зеркальным или направленно-рассеянным отражением, должна ограничиваться. Согласно российским строительным нормам [44] яркость рабочей поверхности не должна превышать значений, указанных в табл. 7.6.

Таблица 7.6

Наибольшая допустимая яркость рабочих поверхностей с зеркальным и направленно-рассеянным отражением

Площадь рабочей поверхности, м ²	Наибольшая допустимая яркость, кд/м ²
Менее 0,0001	2000
От 0,0001 до 0,001	1500
От 0,001 до 0,01	1000
От 0,01 до 0,1	750
Более 0,1	500

Большинство объектов различения промышленного производства являются трехмерными (объемными или рельефными), а коэффициенты отражения объектов различения и фона одинаковы. Видимость, воспринимаемые глазом размеры трехмерного объекта и его контраст с фоном определяются микрораспределением яр-

кости по поверхности трехмерного объекта и прилегающему к нему участку фона.

Контраст трехмерных объектов с диффузным отражением может быть повышен за счет образования собственных теней на объекте и прилегающем к нему фоне при направленном освещении. Контраст трехмерных объектов с зеркальным или направленно-рассеянным отражением может быть повышен за счет образования изображения излучателя в различаемом объекте, которое зеркально отражается в направлении глаз работающего.

Повышение контраста трехмерных объектов различения также можно характеризовать коэффициентом передачи контраста CRF. Наиболее удобным тест-объектом при этом может служить полусферическая вмятина, расположенная на горизонтальной поверхности с равномерно-диффузным отражением: $\rho_0 = \rho_{\phi} = \rho$. В «стандартных» условиях освещения — освещении равнояркой полусферой — яркость в любой точке сферической поверхности является постоянной величиной [7.17], а контраст с прилегающей поверхностью фона зависит только от коэффициента отражения поверхности ρ :

$$k = \frac{1-\rho}{2-\rho}. \quad (7.16)$$

При направленном освещении контраст тест-объекта повышается за счет образования собственно тени на его поверхности, достигая наибольших значений при направлении света от точечного источника под малым углом к освещаемой поверхности.

Равномерность распределения яркости в поле зрения.

В нормах освещения регламентируется равномерность распределения яркости на рабочей поверхности и в освещаемом пространстве путем указания максимально допустимых соотношений яркости различных поверхностей или путем предъявления определенных требований к распределению освещенности и к отражающим свойствам поверхностей, находящихся в поле зрения. Центральная часть поля зрения, где производится зрительная работа, не должна быть темнее окружения или много светлее его. В то же время яркость поля зрения не должна быть полностью равномерна, это вызывает неприятное ощущение монотонности. Наилучший вариант, когда яркость окружения несколько меньше яркости центра.

В отечественных нормах регламентируется только равномерность распределения освещенности по помещению. Отношение E_{\min} / E_{\max} должно быть не менее 0,33 для зрительных работ I–II разрядов, 0,2–0,5 для зрительных работ IV–VIII разрядов.

В европейских нормах нормируемые освещенности определены как средние значения в пределах рабочей зоны (табл. 7.7). Освещенность в зоне окружения, прилегающей к рабочей зоне, выбирается, как правило, меньшей.

В каждой из зон должна быть обеспечена требуемая равномерность освещения E_{\min} / E_{\max} : не менее 0,7–0,8 в рабочей зоне и не менее 0,5 в зоне окружения.

Таблица 7.7

Рекомендуемые освещенности в рабочей зоне
и зоне окружения в международных стандартах

Освещенность рабочей зоны, лк	Освещенность зоны окружения, лк
750 и более	500
500	300
300	200
200 и менее	равная освещенности рабочей зоны

Пульсация светового потока. Важной характеристикой качества освещения является пульсация светового потока источника света. Световой поток разрядных источников света при питании током промышленной частоты пульсирует с частотой 100 Гц. Пульсация светового потока зрительно не воспринимается, так как частота пульсации превышает критическую частоту слияния мельканий, но неблагоприятно влияет на биоэлектрическую активность мозга, вызывая повышенную утомляемость. Отрицательное воздействие пульсации возрастает с увеличением ее глубины, появляется напряжение в глазах, усталость, трудность сосредоточения на сложной работе, головная боль [71].

Освещение пульсирующим светом особенно опасно при наличии в поле зрения движущихся и вращающихся объектов из-за возможности возникновения стробоскопического эффекта. Исследования показывают, что опасность возникновения стробоскопического эффекта существует даже при $K_{\Pi} = 10\%$.

В качестве количественной характеристики пульсации освещенности в отечественных нормах принят коэффициент пульсации. Он равен отношению половины максимальной разности освещенности за период к средней освещенности за период, выраженному в процентах: $K_{\Pi} = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{2E_{\text{ср}}} 100$, где E_{\max} , E_{\min} — макси-

мальное и минимальное значения освещенности за период колебаний T ; $E_{\text{ср}}$ — среднее значение освещенности за период, $E_{\text{ср}} = \frac{1}{T} \int_0^T E(t) dt$.

Поэтому нормы освещения в развитых странах требуют включения разрядных ламп в три фазы сети или питания их током высокой частоты, например, свыше 30 кГц. Российские нормы регламентируют значение K_{Π} , который характеризует глубину пульсации светового потока. Значения K_{Π} в диапазоне от 5% до 20% регламентируются в зависимости от точности зрительной работы и приведены в разделе 7.3 настоящей книги.

Применение электронных пускорегулирующих аппаратов (ЭПРА) помогает решить проблему ограничения пульсации освещенности. Пресобразую ток питания ламп из 50 Гц в высокочастотный, ЭПРА снижают коэффициент пульсации до величины менее 1%.

Спектральный состав излучения источников света. Спектральный состав излучения ИС и цветовая отдел-

ка интерьера также влияют на условия работы органа зрения при работе как с цветными, так и с ахроматическими объектами. Цветовая среда оказывает на состояние человека психофизиологическое действие, проявляющееся в изменении работоспособности, функций зрения, артериального давления и т.д. Спектр излучения может оказывать как стимулирующее, так и угнетающее воздействие на человека.

При работе с цветными объектами оптимальными являются источники света со спектром, близким к спектру естественного света. Зрительные задачи при работе с цветными объектами могут быть различны: контроль цвета, сопоставление цветов, различение цветов. Различны должны быть и требования к цветовым характеристикам источника света.

При выборе цветовых параметров источников света используются понятия цветопередача и цветоразличение. Цветопередача означает степень сходства или различия цветов, воспринимаемых глазом при исследуемом и стандартном источниках света. Цветоразличение — это чувствительность глаза к восприятию цветовых различий. Исследования допусков на цвет продукции в различных отраслях промышленности и изменения цветов в интерьере показали, что требуемая способность цветоразличения глаза должна находиться в следующих диапазонах: при контроле цвета — 1–2 порога, при сопоставлении цветов — 1–3 порога, при различении цветов — 3–5 порогов, при отсутствии требований к цветоразличению — 5–10 порогов. Для правильного выбора источника света при освещении различных зрительных задач необходимо установить способность цветоразличения глаза при разных источниках света [71].

Цветность излучения источника света характеризуется цветовой температурой. Это такая температура черного тела, при которой его цветность одинакова с цветностью излучения рассматриваемого источника света. Источники света, имеющие одинаковую цветность, могут совершенно по-разному передавать цвета освещаемых предметов.

В практике освещения преимущественно используются два цветовых параметра источников света: цветовая температура $T_{\text{ц}}$ и общий индекс цветопередачи R_a .

Общий индекс цветопередачи дает усредненную характеристику для восьми цветных образцов средней насыщенности, принятых МКО, поэтому цветовые сдвиги их значительно меньше, чем для более чистых цветов и, следовательно, значения R_a оказываются сильно завышенными.

Оценка цветопередачи по R_a осуществляется в основном для источников света, а не для цветовой среды помещения. Источник рассматривается изолированно от цветовой отделки интерьера и условий освещения.

Рекомендации российских норм приведены в табл. 7.8. В зависимости от нормируемой освещенности и требований к цветопередаче даются рекомендации по выбору R_a и $T_{\text{ц}}$ с перечислением конкретных типов источников света [44].

Рекомендуемые характеристики источников света для производственных помещений при системе общего освещения

Характеристика зрительной работы по требованиям к цветоразличию	Освещенность, лк	Минимальный индекс цветопередачи источников света R_a	Диапазон цветовой температуры источников света $T_{ц}, K$
Контроль цвета с очень высокими требованиями к цветоразличию (контроль готовой продукции на швейных фабриках, тканей на текстильных фабриках, сортировка кожи, подбор красок для цветной печати и т.п.)	300 и более	90	5000-6000
Сопоставление цветов с высокими требованиями к цветоразличию (ткачество, швейное производство, цветная печать и т.п.)	300 и более	85	3500-6000
Различение цветных объектов при невысоких требованиях к цветоразличию (сборка радиоаппаратуры, прялки, намотка проводов и т.п.)	500 и более	50	3500-6000
	300, 400	50	3500-5500
	150, 200	45	3000-4500
	Менее 150	40	2700-3500
Требования к цветоразличию отсутствуют (механическая обработка металлов, пластмасс, сборка машин, инструментов и т.п.)	500 и более	50	3500-6000
	300, 400	40	3500-5000
	150, 200	29	2600-4500
	Менее 150	25	2400-3500

В европейских стандартах [82] и стандарте МКО [83] все источники света по цветности разделены на три группы:

- теплые $T_{ц} < 3300 K$;
- средние $T_{ц} = 3300 + 5300 K$;
- холодные $T_{ц} > 5300 K$.

В странах с жарким климатом предпочтение отдается источникам света с холодной цветностью, в северных странах — с теплым излучением. Стандартами предусматривается, что источники света с индексом цветопередачи R_a менее 80 не должны применяться внутри помещений с постоянным пребыванием людей.

Комплексное нормирование освещения. Международные и национальные нормы развитых стран содержат значения освещенности, необходимые для выполнения зрительных задач в условиях равномерного освещения при его идеальном качестве, в то время как реальные условия освещения, как правило, существенно иные.

Учет изменчивости условий освещения возможен при комплексной оценке светоцветовой среды по количественным и качественным показателям. Комплексная оценка условий освещения должна включать в себя все нормируемые показатели освещения и установить, при каком сочетании их значений условия светоцветовой среды будут в той или иной степени эффективны по принятому критерию.

В российских нормах в качестве критерия оценки эффективности освещения при комплексном подходе к нормированию принята относительная производительность труда, зависящая от яркости рабочей поверхности и качества освещения. При этом комплексный показатель (КП) светоцветовой среды определяется как произведение относительных уровней производительности труда в функции яркости рабочей поверхности Π_L при идеальном качестве освещения и ПТ в функции качества освещения Π_q при оптимальной яркости:

$$КП = \Pi_L \Pi_q \cdot 100\%. \quad (7.17)$$

Зависимость производительности труда Π_L от яркости фона на рис. 7.4 была найдена путем обобщения аналогичных зависимостей, полученных в [7.18] и [7.19].

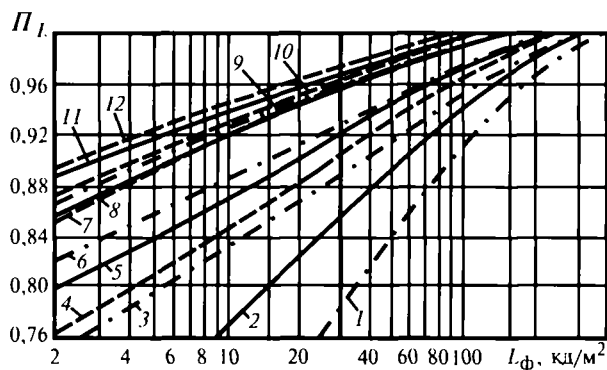


Рис. 7.4. Зависимость ПТ от яркости фона для работ: 1, 2, 4 — I разряда; 3, 5, 7 — II разряда; 6, 8, 10 — III разряда; 9, 11, 12 — IV разряда; --- — $K=0,15$; — — — — $K=0,3$; - - - - - $K=0,7$

Качество освещения при комплексной оценке характеризовалось двумя величинами — показателем ослепленности P и коэффициентом пульсации $K_{п}$, так как только для этих величин существует зависимость ПТ от их суммарного действия. Эта зависимость была получена в лабораторных условиях на комплексной модели зрительной работы, имитирующей реальную работу. Зависимости $\Pi_q = f(P \text{ и } K_{п})$ для зрительных работ I—II и III—IV разрядов приведены на рис. 7.5 и 7.6.

Использование КП при нормировании освещения дает возможность варьировать яркость рабочей поверхности и значения качественных показателей при сохранении постоянных условий зрительной работы, оцениваемых относительным уровнем ПТ.

7.2.2. Нормирование освещения общественных и жилых зданий

Общественные здания

По характеру зрительной работы помещения общественных зданий делятся на различные группы.

К первой группе относятся помещения, в которых выполняется точная зрительная работа при фиксированной линии зрения работающих на рабочую поверхность (рабочие кабинеты, конструкторские бюро, классные комнаты, аудитории и т.п.)

Ко второй группе относятся помещения, в которых различение объектов проводится при нефиксированной линии зрения, а также имеет место обзор окружающего пространства (торговые залы магазинов, залы столовых, выставочные залы, галереи и т.п.).

Третья группа — это помещения, в которых обзор окружающего пространства происходит при кратковременном, эпизодическом различении объектов (концертные, зрительные залы, фойе театров, рекреации и т.п.)

Отдельную группу, относящуюся не только к общественным, но и к промышленным зданиям, составляют помещения, в которых происходит общая ориентация в пространстве интерьера и в зонах передвижения (коридоры, проходы, санузлы и т.п.).

Освещенность. В помещениях каждой группы нормируется освещенность на рабочей поверхности, причем в большинстве стран — это средняя освещенность, в отечественном СНиПе — минимальная освещенность [44].

Для оценки эффективности ОУ большинства помещений первой и второй групп общественных зданий можно было бы использовать те же критерии нормирования освещенности, как для производственных помещений. Однако детальное изучение и анализ работ в помещениях общественных зданий позволили выявить их специфику по сравнению со зрительными работами в помещениях промышленных зданий: чередование во времени характера работы, существенно различные доли рабочего времени с чисто зрительной работой в зависимости от характера работы, незначительный диапазон изменения размеров объектов различения и их контрастов с фоном и т.д.

В экспериментальной работе, поставленной в целях выявления возможных критериев нормирования освещенности [7.20], были исследованы следующие показатели: ПТ (по скорости корректорской работы), зрительное утомление (по относительному изменению времени хроматической адиспарии, видимости и яркости блеского источника на границе комфорт-дискомфорт).

Из результатов проведенных исследований (рис. 7.7 и 7.8) сделаны следующие выводы: увеличение освещенности приводит, как правило, к росту ПТ, но при чрезмерном повышении освещенности возрастает утомление. Аналогичные исследования были выполнены за рубежом [7.8, 7.21]. Однако ввиду сложности количественного измерения зрительного утомления, определяемого, как правило, но относительным, а не по абсолютным значениям, критерий утомления может быть вы-

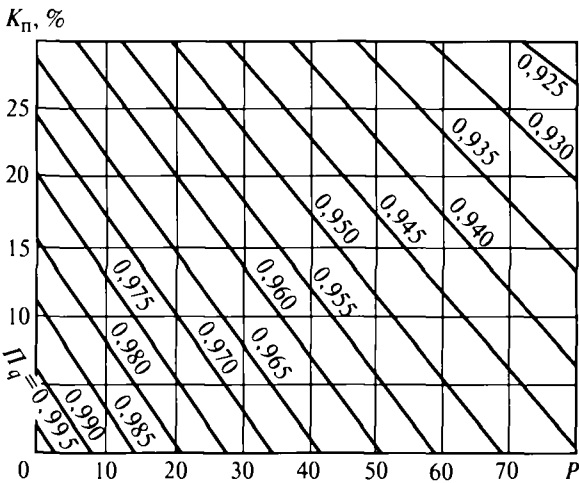


Рис. 7.5. Зависимость ПТ от качества освещения для работ I—II разрядов

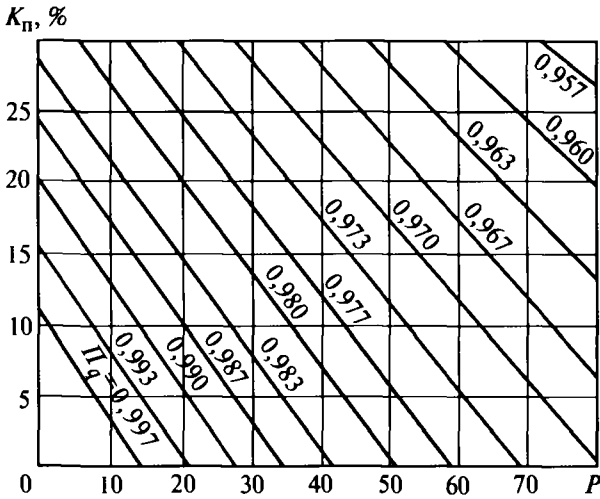


Рис. 7.6. Зависимость ПТ от качества освещения для работ III—IV разрядов

Значение КП при нормированных в [44] значениях освещенности и качественных показателях лежит в пределах 95–97% в зависимости от системы освещения, разряда и подразряда зрительной работы. Иными словами, действующие нормы позволяют получить относительный уровень ПТ в пределах 0,95–0,97 максимально возможного уровня, имеющего место при оптимальных условиях освещения.

В нормы заложены значения КП, обеспечиваемые действующими нормами: для системы комбинированного освещения — 95%, для системы общего освещения — 85–95%. Использование КП светочетовой среды рационально только для зрительных работ разрядов Ia—IIIв, так как для более грубых работ снижение освещенности недопустимо по санитарно-гигиеническим требованиям.

Результаты комплексного нормирования приведены в разделе 7.3 настоящей книги.

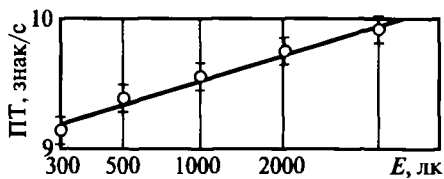


Рис. 7.7. Производительность труда в функции освещенности

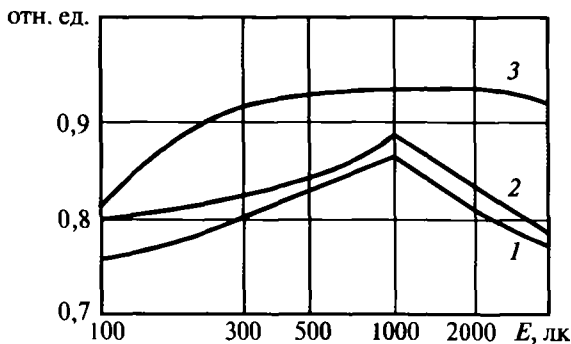


Рис. 7.8. Зрительное утомление в функции освещенности: 1 — видимость; 2 — время хроматической адиспарации; 3 — яркость блеского источника на границе комфорт — дискомфорта

бран только в качестве ограничительного показателя при установлении уровня освещенности при зрительных работах в общественных зданиях. Более информативным для общественных зданий является критерий субъективных оценок, наиболее полно отражающий психофизиологическое состояние человека [7.22]. В [7.20] была исследована зависимость требуемых уровней освещенности от размеров объектов различения, наиболее характерных для помещений общественных зданий, где выполняется зрительная работа: чтение типографского текста, счет на логарифмической линейке и черчение. Оценка уровня освещенности при работах различной точности проводилась методом экспертных субъективных оценок. Результаты приведены на рис. 7.9. Принимая, что оптимальный уровень освещен-

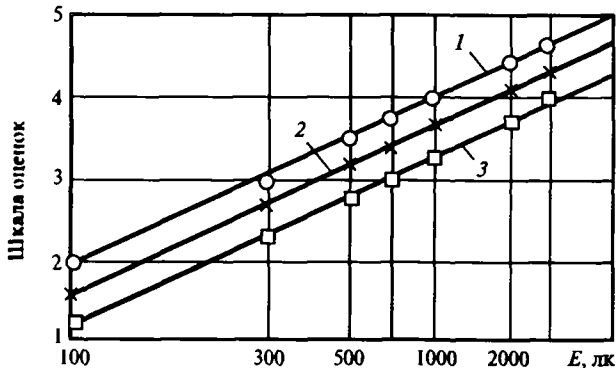


Рис. 7.9. Субъективная оценка уровней освещенности при зрительной работе: 1 — чтение; 2 — счет на логарифмической линейке; 3 — черчение (шкала оценок: 1 — темно; 2 — недостаточно светло; 3 — достаточно светло; 4 — светло; 5 — слишком светло)

ности соответствует субъективной оценке «светло», а нижний допустимый уровень освещенности — оценке «достаточно светло», можно определить значения оптимальных освещенностей: 1200 лк — для чтения, 1800 лк — для счета на логарифмической линейке, 3000 лк — для черчения, нижние допустимые уровни — соответственно 400, 500 и 1000 лк. Пользуясь указанными критериями (методом субъективной оценки условий освещения с учетом ограничения уровня нормируемой освещенности по утомлению), а также результатами упомянутых выше исследований и другими литературными источниками, предложена дифференциация зрительных работ в помещениях общественных зданий по точности и по уровням утомления, оцениваемых приблизительно по доле времени чисто зрительной работы (относительной продолжительности зрительной работы при направлении линии зрения на рабочую поверхность, табл. 7.9). Следует заметить, что уровень нормируемой освещенности в СНиПе обычно устанавливается с учетом технико-экономических и энергетических затрат, а также технических параметров ИС и ОП на период разработки нормативных документов.

Таблица 7.9

Шкала нормируемой освещенности в общественных зданиях (СНиП, Россия)

Разряд	Размер объекта различения, мм	Под-разряд	Временной характер зрительной работы	Освещенность, лк
А	0,15–0,30	1	Постоянная Периодическая	600
		2		500
Б	0,30–0,50	1	Постоянная Периодическая	400
		2		300
В	0,50 и более	1	Постоянная Периодическая	200
		2		150

В основе выбора нормируемого значения освещенности рабочих мест внутренних помещений в материалах МКО (ранее рекомендательных, а теперь в виде стандарта [83]) также лежат субъективные оценки, полученные немецкими авторами в 70-е годы прошлого столетия [7.23]. На рис. 7.10 представлены кривые зависимости процента наблюдателей, считающих установку комфортными с точки зрения оптимальной ос-

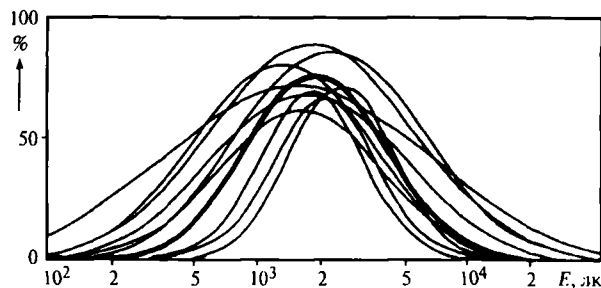


Рис. 7.10. Результаты субъективной оценки уровней освещенности в рабочих помещениях по данным [7.23]

вещности в зависимости от уровня освещенности (максимумы лежат в диапазоне 1000–2500 лк).

На протяжении ряда десятилетий практически во всех странах для помещений общественных зданий было характерно непрерывное повышение нормируемых значений освещенности, приближение к вышеназванному оптимальному диапазону. Так, прогноз повышения минимальной освещенности для норм США и Канады, сделанный в 70-е годы прошлого века, представлялся следующим: 1970 г. — 1000 лк, 1980 г. — 2000 лк, 1990 г. — 4000 лк, 2000 г. — 5000 лк [7.24].

В действительности, уже в 1980 г. рост освещенности был остановлен, и в какой-то мере даже начался регресс не без влияния энергетического кризиса. В настоящее время шкалы освещенностей, принятые в нормах различных стран, выглядят следующим образом (табл. 7.10). Представляет также интерес сводная таблица нормируемых значений освещенностей для отдельных помещений общественных зданий (табл. 7.11).

Значения освещенности в нормах обычно установлены для среднестатистического наблюдателя (чаще в возрасте 20–25 лет). Известные зависимости снижений

Таблица 7.10

Сравнение требований норм освещенности (лк) в общественных зданиях по различным документам

Требования к зрительной задаче	СНиП 23-05-95*, 2003 г. Россия [44]	Стандарт МКО СIE 008/E-2001 [83]; Европейский стандарт EN 12464-1: 2002 [82]	ANSI/IES, США [85]
Очень высокие	600*	750	1000
Высокие	400*	500	500
Средние	300	300	300
Низкие	200	200	100
Ориентировка в пространстве интерьера	50–75–100	100–150	50
Ориентировка в зонах передвижения	20–30	20–30 50	30

* Для комбинированного освещения.

Таблица 7.11

Нормируемые значения освещенности (лк) основных помещений общественных зданий по различным документам

Помещения	СНиП 23-05-95*, Россия [44]	Стандарт МКО СIE 008/E-2001 [83]; Европейский стандарт EN 12464-1: 2002 [82]	ANSI/IES, США [85]
Кабинеты и рабочие комнаты	300, 400*	500	500–1000
Проектные залы, конструкторские и чертежные бюро	500, 600*	750	500–1000
Машинописные и машиносчетные бюро	400, 500*	500	500–1000
Читальные залы библиотек	400, 500*	500	500–1000
Комнаты для читательских каталогов	200	200	300
Комнаты для работы с дисплеями и видеотерминалами, дисплейные залы: На экране На столах	200 400, 500*	750–500	100 500–1000
Конференцзалы, залы заседаний	300, 500*	500	300–500
Операционный зал банка, кассовый зал, помещения для пересчета денег клиентами и кассирами	400, 500*	500	300–500
Классные комнаты, аудитории, учебные кабинеты На доске На рабочих местах	500 400	500 300***–500	500–1000 500–1000
Торговые залы магазинов	200, 300, 400**	500	300–500
Вестибюли и гардеробные	30, 75, 150***	200	100
Лестницы	50, 100***	150	100

* Для комбинированного освещения.

** В зависимости от типа магазина.

*** В зависимости от типа здания.

функций зрения с возрастом (см. гл. 20), а также явные тенденции старения работающего населения, наблюдаемые во всем мире, служат основой для увеличения нормируемых уровней освещенности (в СНиПе — на одну ступень шкалы для помещений общественных зданий, где более половины работающих старше 40 лет).

В результате исследований особенностей освещения помещений общественных зданий ЛЛ с улучшенной цветопередачей ($R_a > 80$, примеры отечественных типов ЛЛ: ЛБЦТ, ЛЕЦ, КЛТБЦ) была установлена взаимосвязь освещенности и спектрального состава излучения ЛЛ и показана идентичность условий освещения и комфортности при работе с лампами типов ЛЕЦ и ЛТБЦЦ при освещенностях, меньших на одну ступень шкалы по сравнению с ЛЛ типа ЛБ ($R_a = 60$) [7.25]. Это позволяет дифференцировать нормируемый уровень освещенности в помещениях общественных зданий в зависимости от используемого типа ламп. Так, в СНиПе 23-05-95* допускается снижение нормируемого уровня освещенности на 1 ступень шкалы освещенности при использовании ЛЛ с $R_a > 80$ [44].

Заметной тенденцией в нормировании освещенности последних лет стала ее так называемая «неоднородность». Так, если в прежние годы устанавливаемые в Кодексах разных стран уровни освещенности являлись средней (или минимальной) освещенностью для любой точки помещения, то теперь, в Стандарте МКО [83] нормируемые уровни освещенности (гр. 3, табл. 7.10, 7.11) определены как средние значения в пределах рабочей зоны. Эти уровни не зависят ни от типа источника света, ни от принятой системы освещения, при этом уровни освещенности в зоне окружения, прилегающей к рабочей зоне, должны составлять не менее 60% от освещенности рабочего места (табл. 7.7 гл. 7.2.1). Новый стандарт дает возможность создавать функциональное освещение в зависимости от планировки помещения, энергоэффективное и комфортное одновременно. Естественно, что это становится возможным благодаря развитию технических средств освещения, особенно систем управления освещением.

С позиции отечественного СНиПа, понятия зон идентичны зонам действия светильников местного и общего освещения при системе комбинированного освещения, допускаемого в помещениях административных зданий.

Цилиндрическая освещенность. В помещениях общественных зданий третьей группы, а также в ряде помещений второй группы (торговые залы магазинов, выставочные залы), условия освещения оцениваются по светлоте окружающего пространства, вызывающего ощущение насыщенности помещения светом. Было предложено для характеристики насыщенности помещения светом использовать одну из интегральных характеристик светового поля — цилиндрическую освещенность $E_{ц}$ (см. раздел 2). На основе результатов экспериментальных исследований [11], в которых сравнивалась субъективная оценка качества освещения по проценту наблюдателей, признавших ОУ достаточной по насыщенности помещения светом, было установлено связь между ощущением насыщенности и $E_{ц}$

(рис. 7.11) и определен диапазон нормируемых величин $E_{ц}$ (табл. 7.12).

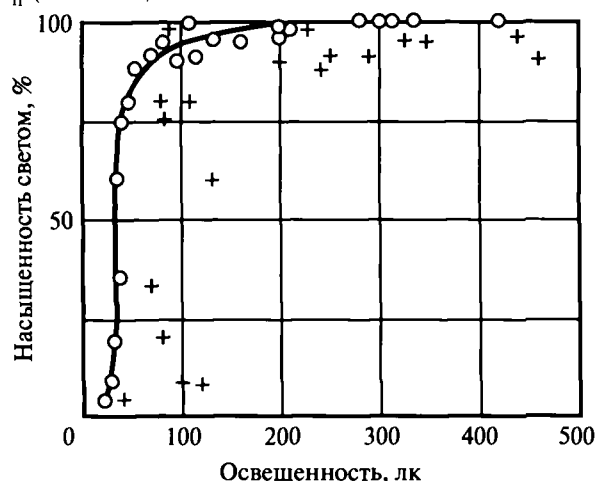


Рис. 7.11. Зависимость ощущения насыщенности светом помещения от уровня освещенности: средней цилиндрической (о) и горизонтальной (+)

Таблица 7.12

Шкала цилиндрической освещенности (СНиП, Россия)

Требования к насыщенности помещений светом	Цилиндрическая освещенность, лк
Очень высокие (например, в зрительных залах и фойе уникальных общественных зданий)	200
Высокие (например, в зрительных залах, концертных залах)	100
Нормальные (например, зрительные залы клубов, кинотеатров)	75
Низкие (например, фойе театров)	50

Методы расчета цилиндрической освещенности приведены в разделе 8.

Нормирование пространственных характеристик освещения ($E_{2л}$, $E_{4л}$, $E_{ц}$) принято и в некоторых зарубежных нормах. Так, в Кодексе Великобритании используется средняя сферическая освещенность $E_{4л}$ [7.3], в Германии также $E_{ц}$ [7.4]. Однако, как показали подробные исследования восприятия яркости в интерьере из всех пространственных характеристик наиболее адекватна субъективной оценке нормируемая в отечественных нормах $E_{ц}$ [7.26].

Прямое слепящее действие. Дискомфорт. Одной из важнейших качественных характеристик освещения является слепящее действие ОУ. Исследования закономерностей, количественно выражающих результаты действия источников света повышенной яркости на зрение, привели к созданию метода оценки слепящего действия ОУ по дискомфорту, характеризующему неприятные зрительные ощущения неудобства и напря-

жесткости при неравномерном распределении яркости в поле зрения. В России в качестве количественного критерия принят показатель дискомфорта.

Математическая формализация результатов многочисленных экспериментальных исследований, проведенных в России, позволила установить эмпирические выражения для расчета показателя дискомфорта M [11]:

От одиночного источника:

$$M = \frac{L_c \omega^{0.5}}{p L_{ад}^{0.5}}, \quad (7.18)$$

где L_c — яркость блеского источника, кд/м^2 ; ω — телесный угол, в пределах которого находится блеский источник, стер; $L_{ад}$ — яркость адаптации, кд/м^2 ; p — индекс позиции дискомфорта по отношению к линии зрения наблюдателя по Лекишу-Гату.

От совокупности источников:

$$M_{\Sigma} = \left[\sum_{i=1}^n M_i^2 \right]^{0.5}, \quad (7.19)$$

а также от светящихся линий и больших поверхностей.

Для построения шкалы значений M экспериментальным путем была установлена связь между M и субъективными оценками, определяющими разные степени ощущения дискомфорта яркости. Экспериментальные исследования дискомфорта на основе метрики зрительных ощущений позволили ввести шкалу M , используя светлоту в качестве меры перехода от одного уровня ощущения к другому (рис. 7.12) [7.27]. В результате предложена шкала показателя дискомфорта в зависимости от освещенности и соответствующие ей классы качества (табл. 7.13). Отнесение различных по назначению помещений общественных зданий к разрядам шкалы дискомфорта проведено на основе

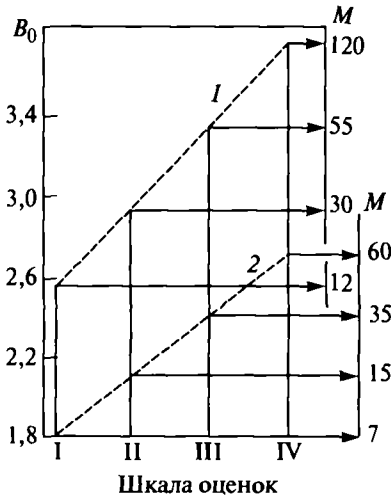


Рис. 7.12. Построение шкалы показателя дискомфорта M по расчетным значениям зависимости светлоты B_0 от субъективной оценки дискомфорта для яркости адаптации $L_{ад}$, равной: 1 — 10 кд/м^2 ; 2 — 100 кд/м^2 (шкала оценок: I — приемлемо; II — приемлемо-неприятно; III — неприятно; IV — невыносимо)

экспериментальных исследований влияния различных уровней дискомфорта на утомление и производительность труда при продолжительном пребывании в дискомфортных условиях [7.28].

Таблица 7.13

Шкала показателя дискомфорта (СИИ)

Требования к качеству	Показатель дискомфорта при нормируемой освещенности	
	200 лк и менее	300 лк и более
Повышенные (например, палаты больниц, дисплейные классы)	25	15
Нормальные (например, административно-конторские помещения, библиотеки)	60	40
Пониженные (например, зрелищные помещения, фойе)	60	90

Методы расчета дискомфорта даны в разделе 8.

В Стандарте МКО оценка слепящего действия ОУ как промышленных, так и общественных зданий проводится по величине обобщенного показателя дискомфорта UGR (Unified Glare Rating), определяемого по формуле:

$$UGR = 8 \lg \left(\frac{0,25}{L_{ад}} \sum \frac{L^2 \omega}{\rho^2} \right), \quad (7.20)$$

где $L_{ад}$ — яркость адаптации (фона), кд/м^2 ; L — средняя яркость светящейся поверхности светильника по направлению к точке наблюдения, кд/м^2 ; ω — телесный угол, под которым видна светящаяся поверхность, стер; ρ — индекс позиции по Лекишу-Гату, учитывающий положение светильника в поле зрения.

Метод обобщенного показателя дискомфорта базируется на британской системе индекса блескости (несколько упрощенной [7.3]) и методе Зольнера-Фишера [7.29]. Согласно рекомендациям МКО [7.30] применяется система таблиц, рассчитанных по формуле UGR, или, если необходима предварительная приблизительная оценка ОУ, применяется система кривых предельно допустимой яркости, составленных для определенного типа светильников и вариантов их размещения в различных по характеристикам помещениях (рис. 7.13). Ступени UGR: 13, 16, 19, 22, 25 и 28 — соответствуют британской системе индексов блескости.

Для ограничения блескости от ИС в стандарте МКО дана таблица минимальных защитных углов в зависимости от яркости. Так, для ИС с яркостью не более 20 кд/м^2 защитный угол должен составлять 10° , при 500 и более кд/м^2 — 30° .

Стоит остановиться и на самом методе Зольнера-Фишера [7.31], который до недавнего времени был принят в МКО и до сих пор используется в Австрии, Голландии, Германии, Франции, Швейцарии. Метод включает семейства кривых, ограничивающих яркость светильников в зоне углов 45° – 85° в зависимости от уровня

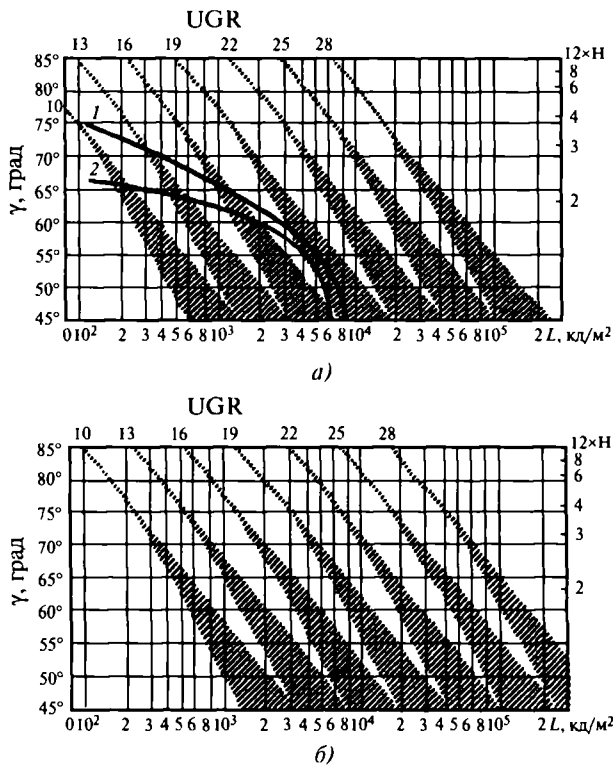


Рис. 7.13. Диаграммы (а) и (б) с кривыми ограничения яркости светильников для ступеней шкалы величин UGR от 10 до 28, которые считаются средними относительно позиции наблюдателя. Заштрихованные области исключаются, если максимальная величина UGR должна ограничиваться ее соответствующим значением. а – диаграмма для стандартной яркости фона 127 кд/м² со светильниками косинусного светораспределения: 1 – при направлении линии зрения перпендикулярно к оси ЛЛ, 2 – при направлении линии зрения, параллельной оси ЛЛ; б – диаграмма для повышенной яркости фона

освещенности (300–2000 лк) и класса качества по дискомфорту. Кривые приведены для двух типов светильников (со светящимися боковыми частями и без них) для

продольного и поперечного размещения относительно горизонтального направления линии зрения (рис. 7.14). В соответствии с методом существует 4 класса качества, обозначенных величиной степени блескости $G = 1,15; 1,5; 2,2; 2,55$ (А, 1, 2 и 3 на рис. 7.14).

В портах США дискомфорт оценивается по величине вероятности зрительного комфорта (Visual Comfort Probability – VCP), соответствующей проценту наблюдателей, считающих установку комфортной [85]. Принимая во внимание наличие различных способов оценки дискомфорта, действующих в разных странах, при разработке метода UGR в Стандарте МКО было проведено сопоставление шкал дискомфорта по выше-названным методам (табл. 7.14). Поскольку параметры, определяющие дискомфорт, в формулах 7.18 и 7.20 идентичны, а ядро $\frac{L^2 \omega}{\rho^2}$ одинаково, в [7.32] была установлена связь между показателем дискомфорта М по шкале СНиПа и UGR:

$$UGR = 16 \lg M - 4,8. \quad (7.21)$$

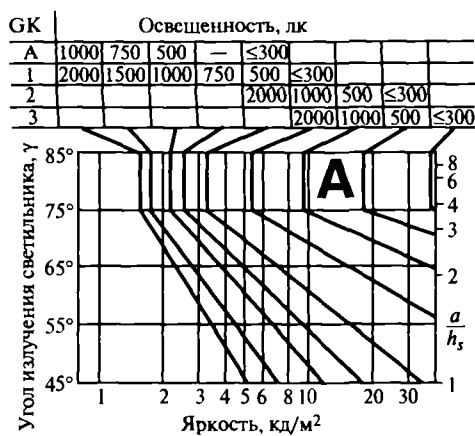
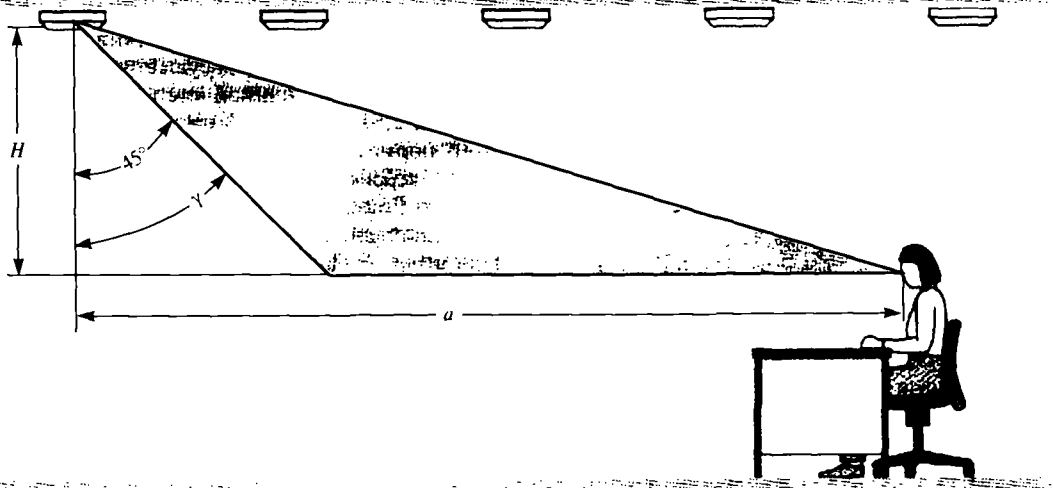
Значения, рассчитанные по формуле 7.21, также внесены в табл. 7.14. Что касается количественных значений нормируемых величин дискомфорта по разным методам, то в стандарте МКО для большинства административно-офисных помещений общественных зданий регламентируется величина $UGR = 19$. Как следует из табл. 7.14, это соответствует кривым Зольнера–Фишера для класса качества 1,5 при уровне освещенности 500 лк, регламентируемого для административных зданий в Европейских нормах DIN EN 12464-1, и хорошо коррелирует с нормами США, где для всех ОУ общественных зданий принят $VCP = 70\%$. Требования в отечественном СНиПе, где в основном в этой группе помещений регламентируется величина $M = 40$, являются менее жесткими. Соответствующий в данном сравнении показатель $M = 25$ в СНиПе принят для помещений с так называемыми повышенными требованиями – детские, медицинские, помещения, оборудованные дисплеями.

Ограничение *отраженной блескости*, а также нормирование *коэффициента пульсации освещенности* в общественных зданиях проводится в полном соответст-

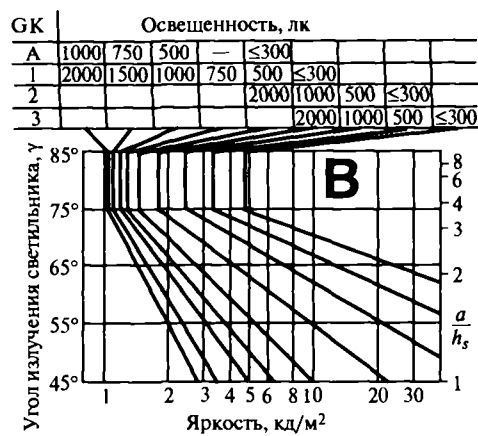
Таблица 7.14

Взаимосвязь между обобщенным показателем дискомфорта UGR и показателями, принятыми в разных странах

Метод оценки дискомфорта, страна			Шкалы значений показателя дискомфорта										
Обобщенный показатель дискомфорта UGR, стандарт МКО, Европейские нормы			11,6	13	14	16	19	21,6	22	24	25	27	28
Класс ограничения дискомфорта по методу Зольнера–Фишера, DIN, EN	Освещенность, лк	2000					2,2						
		100				1,5							
		500				1,15	1,5		2,55				
		300					1,15		2,2		2,55		2,55
Процент наблюдателей, считающих установку комфортной, VCP, США			90		80		70	60		50			
Показатель дискомфорта М, СНиП, Россия					15		25		40		60		90



а)



б)

Рис. 7.14. Номограммы для определения допустимой яркости светильников общего освещения, для продольного (а) и поперечного (б) размещения светильников (метод Зольнера–Фишера)

вии с изложенным в разделе 7.2.1. Стоит отметить, что регламентация показателя, отражающего степень отрицательного влияния пульсирующего света на работоспособность органа зрения, имеет место только в отечественном СНиПе, что вызвано в основном достаточно широким использованием в отечественных ОУ светильников с ЭМПРА.

Комплексное нормирование освещения. Исследование взаимосвязи освещенности, цилиндрической освещенности, показателя дискомфорта, пульсации освещенности в ОУ общественных зданий и последующая разработка методики комплексного подхода к оценке световой среды (раздел 7.2.1) послужили основой для установления обобщенных нормативных требований для помещений общественных зданий, введенных в СНиП 23-05-95* (раздел. 7.3, табл. 7.32).

В таблице установлено три разряда (А, Б, В) и шесть подразрядов зрительной работы для помещений первой и второй групп общественных зданий (админи-

стративно-конторские помещения, школы, библиотеки и т.п.) в зависимости от размера объекта различения и относительной продолжительности зрительной работы при направлении линии зрения на рабочую поверхность; три разряда (Г, Д, Е) зрительной работы для помещений третьей группы (залы заседаний, зрительные залы, фойе и т.д.) в зависимости от насыщенности помещений светом; два разряда (Ж, З) и четыре подразряда для четвертой группы (коридоры, проходы и т.п.) в зависимости от количества людей, находящихся в помещении. Таблица включает нормируемые значения минимальной освещенности на рабочей поверхности, цилиндрической освещенности и наборы допустимых значений показателей дискомфорта (М) и коэффициента пульсации ($K_{п}$), дифференцируемых в соответствии с требованиями к качеству освещения.

В нормах большинства зарубежных стран и стандарте МКО отдельно рассмотрены требования к освещению рабочих мест, оборудованных дисплеями. Матери-

ал по этому вопросу, ввиду его значимости, вынесен в специальный раздел справочной книги (раздел 14).

Энергетические показатели освещения. Традиционное нормирование только уровня освещенности и качественных показателей освещения затрудняет контроль и экспертизу рационального энергопотребления в ОУ, которому в последнее время уделяется все большее внимание. В этой связи помимо норм освещения появились нормы энергосбережения. В основном они разделены и существуют в виде отдельных документов [58, 7.13, 7.14], которые подробно рассмотрены в разделе 19. Ввиду того, что в последней редакции СНиП 23-05-95* нормативно введен ряд ограничений для ОУ общественных зданий для повышения их эффективности, остановимся на критериях оценки рационального энергопотребления и принципах нормирования.

Практика проектирования ОУ показала, что достаточно отзывчивым показателем является удельная установленная мощность, которая и была выбрана основным критерием оценки энергоэффективности ОУ (см. раздел 7.2.1). В результате комплекса расчетов и анализа мощностей, потребляемых в ОУ при различных способах и средствах освещения, составлена таблица максимально допустимых удельных установленных мощностей (w , Вт/м²) в зависимости от нормируемой освещенности и характеристик помещения (табл. 7.15).

Таблица 7.15

Максимально допустимые удельные установленные мощности в помещениях общественных зданий (СНиП 23-05-95*)

Освещенность на рабочей поверхности, лк	Индекс помещения	Максимально допустимая удельная мощность, Вт/м ² , не более
500	0,6	42
	0,8	39
	1,25	35
	2,0	31
	3 и более	28
400	0,6	30
	0,8	28
	1,25	25
	2,0	22
	3 и более	20
300	0,6	25
	0,8	23
	1,25	20
	2,0	18
	3 и более	16
200	0,6–1,25	18
	1,25–3,0	14
	Более 3	12
150	0,6–1,25	15
	1,25–3,0	12
	Более 3	10
100	0,6–1,25	12
	1,25–3,0	10
	Более 3	8

Примечание. Значения приведены с учетом потребления мощности ПРА, а также устройств управления освещением.

При этом оговариваются минимально допустимые значения световых отдач ИС (не менее 55 лм/Вт, см. табл. 7.8, гл. 7.2.1), технические параметры эффективных световых приборов и средств управления освещением, обеспечивающие регламентируемые таблицей значения w .

Более подробно нормирование энергетических показателей ОУ выполнено в МГСН 2.01-99 «Энергосбережение в зданиях», где дополнительно к изложенному дана именованная таблица максимально-допустимых значений удельных установленных мощностей для отдельных помещений общественных зданий (табл. 7.16).

Кроме рассмотренных нормируемых количественных, качественных и энергетических показателей освещения, учитывающихся при проектировании ОУ общественных зданий, есть еще показатели, соблюдение которых носит рекомендательный и часто необязательный характер (требования к спектральному составу ИС, моделирующий эффект, динамика освещения).

Спектральный состав излучения источников света. Для обеспечения психофизиологического комфорта в ОУ общественных зданий и технико-экономической эффективности ОУ выбор ИС осуществляется по их цветовым характеристикам ($T_{ц}$ и R_a). В основу положены известная номограмма Крюитгофа (рис. 7.15) и последующие исследования зрительного и психофизиологического восприятия ОУ с различными источниками света [7.33]. Согласно стандарту МКО, все ИС по цветности излучения делятся на 3 группы:

Теплые ($T_{ц} \leq 3300$ К)

Средние ($T_{ц} = 3300-5300$ К)

Холодные ($T_{ц} \geq 5300$ К)

Выбор ИС по $T_{ц}$ проводится с учетом уровня освещенности и цветовой отделки помещения. Например, в помещениях изостудии следует применять ИС с $T_{ц}$ не

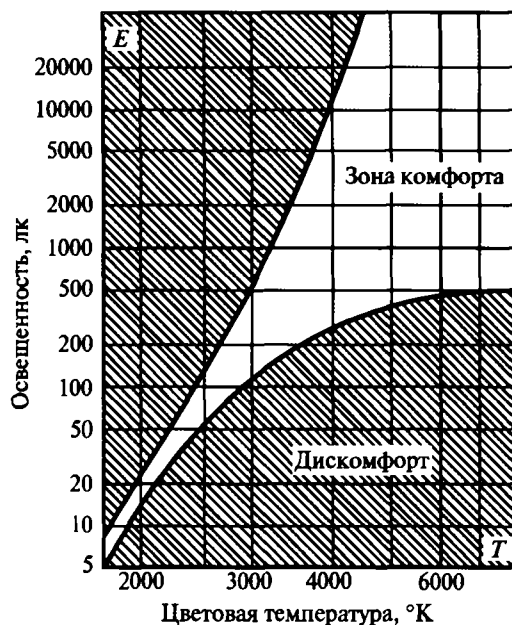


Рис. 7.15. Зависимость комфортного уровня освещенности от цветовой температуры источника света

Максимально допустимые удельные установленные мощности для отдельных помещений общественных зданий (МГСН 2.01-99)

Наименование помещения	Максимальная нормируемая освещенность по МГСН 2.06-99, лк	Максимально допустимая удельная установленная мощность, Вт/м ² , не более
Административные здания (министерства, ведомства, научно-исследовательские учреждения и т.п.)		
Кабинеты и рабочие комнаты, офисы, проектные залы, конструкторские и чертежные бюро	300	20
Помещения для работы с дисплеями, видеотерминалами, мониторами	500	35
Читальные залы	400	25
Лаборатории	400	25
	500	35
Банковские и страховые учреждения		
Операционный зал, кассовый зал	400	25
Общеобразовательные школы и школы-интернаты, профессионально-технические, средние специальные и высшие учебные заведения		
Классные комнаты, аудитории, учебные кабинеты, кабинеты информатики	400	25
Детские дошкольные учреждения		
Групповые, игральные, спальные комнаты	400	25
Предприятия общественного питания		
Обеденные залы столовых, закусочных, буфетов	200	14
Производственные помещения приготовления пищи	400	25
Магазины		
Торговые залы супермаркетов	500	35
Торговые залы магазинов	400	25
Предприятия бытового обслуживания населения		
Парикмахерские	400	25
Ателье по пошиву и ремонту одежды	750	52
Аптеки		
Залы обслуживания посетителей	200	14
Жилые здания		
Комнаты общежитий	300	20
Постажные многоквартирные коридоры, лестницы, вестибюли	20	4

Примечание. Значения приведены с учетом потребления мощности в пускорегулирующих устройствах, а также в устройствах управления.

менее 5000 К, в медицинских — 4000 К. Цветопередающие свойства ИС, регламентируемые R_a , дифференцированы в виде шкалы: 20, 40, 60, 80, 90. Почти во всех помещениях общественных зданий, где люди работают или находятся длительное время, ИС должны иметь $R_a \geq 80$, во вспомогательных помещениях $R_a = 60$ (склады) и $R_a = 40$ (коридоры, лестницы).

Широко используемые ИС большинства зарубежных фирм (Osram, Philips, General Electric) в основном классифицированы в соответствии с DIN 5035 по четырем степеням качества цветопередачи (гл. 3), из которых для общественных зданий, согласно Стандарту МКО и Единым европейским нормам, допускаются ИС, удовлетворяющие только трем:

Степень 1 отличная	1 А	$R_a = 90-100$
	1 В	$R_a = 80-89$
Степень 2 хорошая	2 А	$R_a = 70-79$
	2 В	$R_a = 60-69$
Степень 3 удовлетворительная	3	$R_a = 40-59$

Отечественные документы носят рекомендательный характер, но проработаны достаточно подробно и позволяют выбрать ИС в зависимости от характера зрительной работы и требований к цветоразличению (табл. 7.17) [7.34]. К сожалению, до сих пор, ввиду низких цветопередающих характеристик отечественных ИС, в основных помещениях общественных зданий, согласно СНиП, СанПиН допускаются ИС с очень низким R_a (45–50).

Моделирующий эффект. Для создания комфортной световой среды с высокими функциональными и эстетическими параметрами в таких помещениях общественных зданий, как музеи, выставочные залы, зрительные залы, фойе необходимо обеспечить оптимальные условия тенсобразования, гарантирующие правильное восприятие рельефных деталей, человеческого лица и т.п. Было показано [1], что тенсобразующие свойства (чаще говорят о моделирующем эффекте) зависят от соотношения прямой и диффузной составляющих светового потока, падающих на рельефный объект и близ-

Требования к спектральному составу источников света для освещения жилых и общественных зданий в СНиП 23-05-95*

Требования к освещению	Характеристика зрительной работы по требованиям к цветоразличению	Освещенность, лк	Минимальный индекс цветопередачи R_a	Диапазон цветовой температуры, $T_{ц}$, К	Примеры помещений
Обеспечение зрительного комфорта в помещениях при выполнении зрительных работ А-В разрядов по табл. 7.32	Сопоставление цветов с высокими требованиями к цветоразличению и выбор цвета	Выше 300	90	3500-6000	Специализированные магазины «Ткани», «Одежда»
	Сопоставление цветов с высокими требованиями к цветоразличению	Выше 300 От 150 до 300	85 85	3500-5000 3500-4500	Кабинеты рисования, выставочные залы, закрытые отделения в ателье, химические лаборатории
	Различение цветных объектов при невысоких требованиях к цветоразличению	Выше 300 От 150 до 300 Менее 150	55 50 50	3500-5000 3000-4500 2700-3500	Торговые залы магазинов, обеденные залы, крытые бассейны, спортзалы
	Требования к цветоразличению отсутствуют	Выше 300 От 150 до 300 Менее 150	55 50 45	3500-5000 3000-4500 2700-3500	Кабинеты, рабочие комнаты, архивы, хранилища и т.п.
Обеспечение психоэмоционального комфорта в помещениях с разрядами зрительных работ Г-Ж по табл. 7.32	Различение цветных объектов при невысоких требованиях к цветоразличению	Выше 300 От 150 до 300 Менее 150	80 55 50	2700-4500 2700-4200 3000-3500	Концертные залы, зрительные залы, вестибюли и т.п.
	Требования к цветоразличению отсутствуют	Менее 150	45	2700-3500	Лифтовые холлы, коридоры, проходы и т.п.
Обеспечение зрительного и психоэмоционального комфорта в помещениях жилых зданий	Различение цветных объектов при невысоких требованиях к цветоразличению	150 50	80 80	2700-4000 2700-4000	Жилые комнаты, кухни, прихожие, ванные комнаты
	Требования к цветоразличению отсутствуют	Менее 100	45	3000-3500	Лестничные клетки, лифтовые холлы, вестибюли

Таблица 7.18

Шкала акцентирующего фактора (DIN 5035)

Акцентирующий фактор, К	Зрительный эффект
2	Заметный
5	Слабый театральный
15	Театральный
30	Драматичный
50	Очень драматичный

лежащие участки фона (рис. 7.16). Для оценки качества моделирования ОУ используют отношение горизонтальной освещенности к цилиндрической (отечественные исследования [7.35]), отношение светового вектора к средней сферической (Кодекс Великобритании), отношение цилиндрической и полуцилиндрической освещенности к горизонтальной освещенности (нормы Германии). Рекомендуемые значения отношений

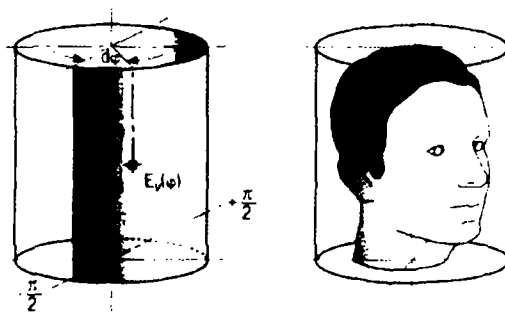


Рис. 7.16. Моделирующий эффект освещения при восприятии лица человека

$E_r / E_{ц} = 1,6 - 3$; $E_{ц} / E_r > 0,3$ векторно/скалярного отношения в соответствии с рис. 7.17 [7.36] достаточно хорошо коррелируют между собой.

Разработка и внедрение ИС (например, рефлекторных ГЛН, МГЛ) и ОП направленного света привело к широкому использованию акцентирующего освещения, для характеристики которого в ряде зарубежных коллексов введены дополнительные нормативные пока-

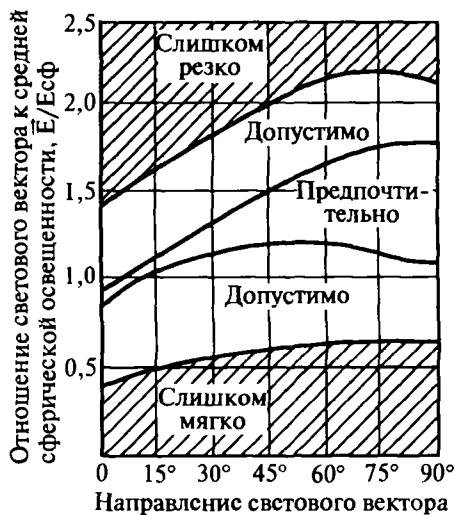


Рис. 7.17. Номограмма для субъективной оценки моделирующего эффекта при освещении лица человека [7.36]

зателн. Так, в немецких нормах DIN 5035 [7.4] регламентируется акцентирующий фактор K , определяемый как:

$$K = E_{\text{пятна}} / E_{\Gamma} \quad (7.22)$$

где $E_{\text{пятна}}$ — освещенность на объекте, лк; E_{Γ} — горизонтальная освещенность на высоте 1 м от пола в зоне ближайшего окружения объекта (от системы общего освещения), лк.

Введена шкала K в зависимости от получаемого зрительного эффекта (табл. 7.18, рис. 7.18).

Динамика освещения. Существовавшая ранее только как характеристика естественного освещения, в последние годы, в связи с необходимостью экономии ЭЭ в ОУ и улучшения комфортности освещения, а также интенсивным ростом технических средств управления освещением, динамика освещения (вариация освещенности и спектрального состава ИС) все чаще попадает в разряд рекомендуемых при устройстве ОУ. Как показывают исследования [7.37–7.38], положительное влияние динамики весьма многообразно, а именно: внесение зрительного разнообразия в окружающую среду при монотонности условий труда, обеспечение художественного воздействия на человека и просто воспроизведение динамики естественного освещения (для бесфонарных помещений). Однако четких рекомендаций по динамическому освещению нет ни в одном нормативном документе. Тем не менее, имеющиеся результаты исследований о снижении утомления и повышении работоспособности в условиях динамического освещения позволяют, например, при необходимости составить оптимальные программы регулирования характеристик освещения [7.38]. Поскольку этот вопрос неразрывно связан с темой энергосбережения, а также декоративным архитектурным освещением и световым дизайном, дополнительные сведения изложены в разделах 4, 13 и 19.



$K = 2$



$K = 5$



$K = 15$



$K = 30$



$K = 50$

Рис. 7.18. Примеры зрительного эффекта, получаемого при изменении акцентирующего фактора K

Жилые здания

Нормирование освещения жилья несколько отличается от такового для общественных зданий, поскольку свет в доме многофункционален и призван оказывать на человека психологическое, физиологическое и эстетическое воздействие, причем очень часто одновременно. Кроме того, особенностью жилья является большое количество зрительных работ, выполняемых в быту, и необходимостью создания комфортных условий для отдыха человека. В этой связи критерии нормирования основных показателей освещения (освещенности, цилиндрической освещенности, спектрального состава излучения ИС и т.п.), очень сходные с общественными зданиями, зачастую имеют некоторое отличие.

Работы отечественных светотехников конца 60-х начала 70-х годов в области бытового освещения [7.39] определили в качестве наиболее целесообразного приема освещения — зональный, в основу которого положен принцип выделения освещаемого пространства в соответствии с его назначением и выполняемыми зри-

Оптимальные уровни освещенности при основных функциональных процессах в помещениях жилых квартир

Уровни освещенности, лк	Функциональные процессы в помещениях жилых квартир								
	Общая комната	Кабинет, летская	Спальня	Кухня	Гардеробная	Прихожая, коридор	Ванная	Санузел	Кладовая
1000	Шитье, рукоделие	Хобби (работа с коллекциями)							
500		Работа на компьютере							
400	Подсветка локальных объектов	Рисование, живопись							
300	Хозяйственные работы (глажение, шитье на машинке и т.п.)	Работа за письменным столом (чтение, письмо)		Обработка и приготовление продуктов					
200	Чтение в кресле	Уход за ребенком, настольные игры	Туалет и косметика, чтение лежа	Работа у плиты, мойки		Туалет и косметика у зеркала	Бритье, косметические процедуры, умывание, ручная стирка		
150	Застолье, прием гостей, беседы, игры	Беседы, укладка и извлечение книг, уход за ребенком, подвижные игры	Уход за больным, одевание и снятие одежды	Сервировка, прием пищи, обслуживание					
75	Пассивный отдых	Одевание, гимнастика			Укладка и извлечение вещей				
50	Укладка и извлечение вещей, уборка			Уборка		Одевание и снятие верхней одежды, уборка	Водные процедуры, одевание, машинная стирка, уборка	Уборка	
30	Ориентирование								
20	Просмотр телепередач								
5	Ориентирование ночью								

тельными работами. В этой связи в жилых комнатах нормируется средняя освещенность при совместном действии всех светильников (кроме настольных), установленных в помещении. Количественное значение освещенности соответствует последнему разряду зрительных работ средней точности, установленному для общественных зданий (табл. 7.9). Кроме того, рекомендуются освещенности на рабочих местах: за письменным столом, за обеденным столом, на рабочем месте на кухне (разряды работ очень высокой и высокой степени точности). В табл. 7.19 приведена информация об основных функциональных процессах в жилище, местах их реализации и оптимальных уровнях освещенности

[7.40]. Над жирной линией обозначен диапазон уровня освещенности, обеспечиваемый светильниками общего освещения, остальные (ниже линии) — местным освещением. Более поздние исследования комфортной световой среды в жилых помещениях показали, что ввиду того, что зрительная задача в жилье по большей части заключается в общем обзоре окружающего пространства, целесообразнее для некоторых помещений жилых квартир (жилая комната, спальня) дополнительно нормировать цилиндрическую освещенность, уровни которой рекомендуются в диапазоне 30–50 лк [7.41]. Для выполнения требований к качеству освещения (для жилых помещений — это в основном благоприят-

ное распределение яркости в поле зрения) рекомендуется обеспечивать приведенные в табл. 7.20 коэффициенты отражения основных поверхностей в интерьере. Как показали исследования [7.41], комфортный диапазон яркостей потолка, стен и пола основных помещений жилой квартиры соответствует значениям, приведенным в табл. 7.21.

Таблица 7.20

Коэффициенты отражения поверхностей в интерьере

Поверхность	Рекомендуемые значения коэффициента отражения
Потолок	0,7 0,8
Стены	0,35–0,6
Вертикальные поверхности обое- дирования кухни	0,4–0,6
Драпировки	0,15 0,6
Рабочие поверхности	0,3–0,6
Пол	0,2–0,3

Таблица 7.21

Яркости потолка, стен и пола жилых помещений

Назначение помещения	Рекомендуемые значения яркости, кл/м ²		
	Потолок	Стены	Пол
Общая и жилая комнаты	20–25	15 18	8–10
Детская	25–30	20–24	11 15
Спальня	9 13	10–14	6–8

Показатель дискомфорта в жилье не нормируется, однако, для избежания прямой блескости от ОП местного и комбинированного освещения рекомендуется уделять весьма серьезное внимание защитным углам и габаритной яркости светящихся частей применяемых ОП. В табл. 7.22 и 7.23 приведены значения этих параметров ОП, некогда обязательных по ГОСТ, к сожалению сейчас упраздненных.

Достаточное внимание в нормировании жилых помещений уделено выбору спектрального состава ИС. В основном для освещения рекомендованы «теплые» ИС с $T_{\text{ц}}=2800$ К и $R_a \geq 80$. Наиболее традиционными и широко применяемыми ИС являются ЛН, ГЛН. Разработка и внедрение КЛЛ, особенно со стандартными покоями E14 и E27, предназначенных для прямой замены ЛН, позволяют достаточно широко использовать энергоэкономичные ИС в жилых помещениях (отечественные ЛЛ типов ЛТБЦЦ, ЛЕЦ). Для освещения рабочих мест допускаются ИС с $T_{\text{ц}}=3000–5300$ К и $R_a=60$ (отечественные ЛЛ типов ЛХБ и ЛБ, МГЛ). Выбор ИС следует проводить по табл. 7.17.

В зарубежных осветительных коллексах освещение жилых помещений носит рекомендательный характер и в качестве основной характеристики освещения принята горизонтальная освещенность. В табл. 7.24 приведе-

Габаритная яркость бытовых светильников местного и комбинированного освещения

Класс светильника по светораспределению	Значение габаритной яркости, кл/м ² , не более	
	Для подвесных и настольных светильников при высоте светового центра от пола, не более 1,2 м	Для настольных, настенных и приставляемых светильников при высоте светового центра от пола, не более 1,1 м
П	4500	4000
Н	4000	3000
Р	3000	2000

Таблица 7.23

Защитные углы бытовых светильников местного и комбинированного освещения

Высота светового центра светильника от пола, м	Зона ограничения яркости, град	Значение защитного угла, град, не менее	
		В нижней полусфере	В верхней полусфере
< 1,1	85 125	5	35
1,1–1,2	75 110	15	20
от 1,2 до 1,3	65 90	25	Колба лампы накаливания должна быть не выше плоскости среза верхнего выходного отверстия рассеивателя или отражателя
> 1,3	60–90	30	

Примечание. Защитные углы определены для условия расположения рабочей поверхности на высоте 0,8 м от пола.

ны рекомендуемые значения освещенности по документам разных стран.

Из зарубежных документов наиболее подробным является стандарт Сепероамериканского светотехнического общества «Критерии проектирования освещения жилых помещений» [7.42]. Стандарт содержит требования к освещенности, причем с коррекцией на возраст. Так, например, норма дана для 40-летнего человека, а далее две поправки: для 40–55-летнего — повышение на 1 ступень шкалы освещенности и для возраста свыше 55 лет — две ступени, при этом шкала освещенности выглядит следующим образом: 100, 150, 200, 300, 500. Кроме того, приведены рекомендуемые коэффициенты отражения основных поверхностей и цветовая отделка помещений. Остальные рекомендации — конкретные правила устройства освещения отдельных зон с подробными описаниями размещения осветительных приборов и типов ИС, позволяющие обеспечить все количественные и качественные характеристики освещения. Аналогичные рекомендации вынужены в Германии [7.43]. На рис. 7.19 приведены рекомендуемые схемы размещения светильников в наиболее критичных по светотехнике помещениях: кухне, обеденной

Сравнение нормируемых освещенностей помещений жилых зданий по различным документам

Наименование помещений	СНиП 23-05-95*, Россия [44]	Публикация МКО № 29 [7.15]	IESNA RP-11-1999, США [7.42]	CIBS Code, Великобритания [7.3]
Жилая комната				
Общее освещение	150	50–100–150	100 150–200	50
Эпизодическое чтение		200–300–500	200 300–500	150
Шитье		500–750–1000	500–750 1000	300
Кабинет				
Работа за письменным столом (чтение, письмо)	300	300–500 750	300 500 750	300
Спальни				
Общее освещение	150	50 100–150	100–150–200	50
Чтение лежа (у изголовья)		100–150 200	200–300 500	200
Кухни				
Общее освещение	150	50–100–150	–	–
Работа у плиты, мойки, готовка		200–300 500	300 500–750	300
Ванная	50	50 100 150	100 150–200	100
Холлы	50	50–100 150	100–150 200	150
Лестницы	20	20 30–50	20–30–50	30

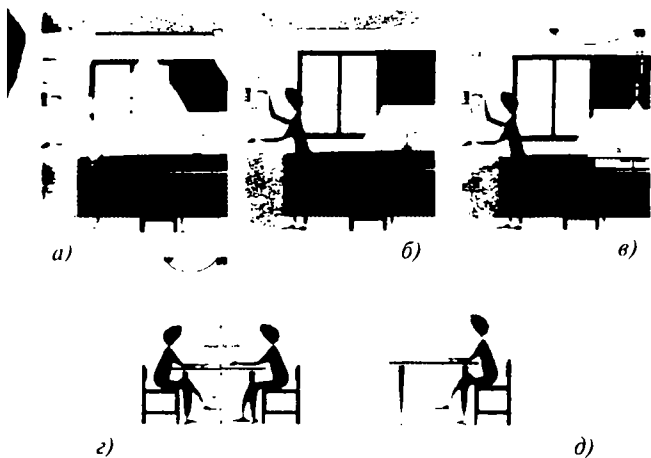


Рис. 7.19. Примеры размещения светильников в кухне (а, б, в), над обеденным столом (z) и над рабочим местом (д)

юне, рабочем месте. Устройство освещения зоны размещения компьютера следует выполнять в соответствии с рекомендациями раздела 14.

В структуре Всероссийских нормативных документов жилые здания отдельно не рассматриваются, а входят в раздел общественных зданий с выделением нормируемых показателей освещения в поименной таблице Приложения СНиП 23-05-95*, где приведены только значения освещенности для ограниченного количества помещений. Более детально нормирование жилых зданий выполнено в московских городских нормах [56], где дана отдельная таблица (табл. 7.25). Стоит подчеркнуть, что в таблице:

– значения показателей для жилых домов и квартир являются рекомендуемыми;

– приведенные значения для внеквартирных помещений (позажаные коридоры, вестибюли, лифтовые холлы и т.п.) дифференцированы в зависимости от категории жилого дома: вторая категория — средней комфортности (муниципальное жилье), первая категория — повышенной комфортности (частное жилье).

Работы по прогнозу развития светотехники, проведенные в конце прошлого века, показали, что комфортная световая среда будущего — это многофункциональные управляемые световые комплексы, производящие высококачественный свет только в том количестве и в то время, сколько, где и когда это требуется [7.44]. Наиболее проста для реализации такой среды — световая среда жилых помещений [7.45, 7.46].

Широкий ассортимент осветительных и облучательных ИС и ОП, светопреобразующих элементов, конструктивных и других деталей, электронных узлов управления освещением («умный дом») позволяют уже сейчас реализовать комфортную световую среду жилища, обеспечивающую:

- многообразие функций света в зависимости от потребности человека;
- возможность изменения характеристик световой среды в пространстве и времени;
- удобство диалогового взаимодействия человека со средой;
- высокую степень комфорта при эффективном использовании энергетических ресурсов [7.46, 7.47].

7.2.3. Нормирование наружного утилитарного освещения

В настоящее время наружное искусственное освещение улиц городов и других населенных пунктов призвано в первую очередь обеспечивать безопасность передвижения автотранспорта и пешеходов по улицам, а

Нормируемые показатели освещения жилых зданий по МГСН 2.06-99

Помещения	Рабочая поверхность и плоскость нормирования освещенности (Г — горизонтальная, В — вертикальная) и высота плоскости над полом, м	Разряд и под-разряд зрительной работы по СНиП 23-05-95*	Освещенность рабочих поверхностей, лк	Показатель дискомфорта М, не более	Коэффициент пульсации освещенности К, % не более
1. Жилые комнаты, гостиные, спальни	Г-0,0	В-1	150	—	—
2. Жилые комнаты общежитий	Г-0,0	В-1	150	—	—
3. Кухни, кухни-столовые	Г-0,0	В-1	150	—	—
4. Кухни-ниши	Г-0,0	В-1	150	—	—
5. Детские	Г-0,0	Б-2	200	—	—
6. Кабинеты, библиотеки	Г-0,0	Б-1	300	—	—
7. Внутриквартирные коридоры, холлы	Г-0,0	Ж-2	50	—	—
8. Кладовые, подсобные помещения	Г-0,0	З-2	30	—	—
9. Гардеробные	Г-0,0	Ж-1	75	—	—
10. Сауна, раздевалки	Г-0,0	В-2	100	—	—
11. Бассейн	Г — поверхность воды	В-2	100	60	20
12. Тренажерный зал	Г-0,0	В-1	150	60	20
13. Бильярдная	Г-0,8	Б-1	300	40	20
14. Ванные комнаты, уборные Санузлы, душевые	Г-0,0	Ж-2	50	—	—
15. Помещения консерва	Г-0,0	В-1	150	60	20
16. Лестницы	Площадки, ступени	З-2	20	—	—
17. поэтажные межквартирные коридоры, вестибюли, лифтовые холлы	Г-0,0	З-2	20/30	—	—
18. Колясочные, велосипедные	Г-0,0	З-2	20/30	—	—
19. Тепловые пункты, насосные, электрощитовые, машинные помещения лифтов, венткамеры	Г-0,0	VIIIв	20	—	—
20. Основные проходы технических этажей, подполий, подвалов, чердаков	Г-0,0	З-2	20	—	—
21. Шахты лифтов	Пол приямка	—	5*	—	—

* норма дана для ЛН.

Примечания. 1. При дробном обозначении освещенности в числителе указана норма для помещений жилых домов II категории, в знаменателе — для помещений жилых домов I категории.

2. Прочерки в таблице означают отсутствие предъявляемых требований.

также способствовать снижению преступности в темное время суток. Наконец, утилитарное освещение совместно с другими видами наружного освещения (архитектурного, светорекламного, светосигнального и т.п.) обеспечивает в темное время суток внешний облик улиц, площадей и всего населенного пункта в целом. Роль установок наружного освещения (УНО) постоянно возрастает, и в настоящее время наружное искусственное освещение улиц является одним из основных элементов благоустройства населенных пунктов.

Исследования, проведенные в Великобритании, показали, что стационарное наружное освещение позволяет на 30–50% уменьшить количество аварий в темное время суток. Согласно этим исследованиям, уменьшение ДТП зависит от типа дороги, и на автострадах с ограничением скорости до 115 км/ч оно составляет до 50% [7.48].

Требования к установкам наружного утилитарного освещения улиц. Основными пользователями (потребителями) наружного искусственного освещения улиц и

Требования основных пользователей к наружному искусственному освещению улиц населенных пунктов

Водители автотранспорта	Пешеходы	Жители
Хорошая видимость проезжей части, своевременное обнаружение препятствий, пространственная ориентация	Хорошая видимость маркировки, разметки, хорошее восприятие человеческого лица	Отсутствие засветки в окнах жилых и лечебных зданий.

дорог являются водители механизированного транспорта (МТ) и пешеходы. В табл. 7.26 сформулированы основные требования к искусственному освещению улиц, прельявляемые со стороны водителей МТ и пешеходов. В последние годы повысилось внимание к интересам третьего «пользователя» — жителей домов, окна которых подвергаются воздействиям УНО. В этой же таблице приведены некоторые ограничения, накладываемые в последние годы на параметры УНО в части ограничений по засветке окон зданий.

Исторически так сложилось, что при разработке принципов нормирования искусственного освещения улиц основное внимание уделяется удовлетворению требований водителей механизированных транспортных средств, что связано с особенностями их нахождения на улицах города. К этим особенностям следует отнести следующие: для водителей улица есть место работы, т.е. они имеют ограниченную степень свободы (хотя бы в сравнении с пешеходами); внимание водителя сосредоточено в основном по линии движения автомобиля, т.е. линия зрения водителей относительно фиксирована и направлена вперед и, как принято считать, вниз на 1° относительно горизонта; восприятие проезжей части улицы водителями осуществляется в динамике, в связи с чем для обнаружения потенциального препятствия и принятия соответствующих действий у водителей значительно меньше времени, чем у пешехода. Несвоевременное обнаружение потенциальных «препятствий» водителями может привести к значительно более тяжким последствиям, чем в светлое время суток, как для окружающих, так и для них самих.

Таким образом, водители автотранспортных средств находятся в более неблагоприятных условиях, чем остальные «основные пользователи» искусственного освещения улиц. В связи с этим принципами нормирования параметров наружного освещения улиц, в первую очередь, предусматривается обеспечение безопасности движения автотранспортных средств, т.е. обеспечение водителям условий своевременного обнаружения препятствий.

Для пешеходов видимость в зоне дорожного покрытия (тротуаров) не является определяющей. Для них немаловажным условием является необходимость благоприятного воспроизведения цветопередачи человеческого лица. Это обусловлено тем, что в условиях низких уровней яркости поля адаптации, характерных для наружного искусственного освещения, проявляется действие эффекта Пуркине (сдвиг кривой спектральной чувствительности глаза в область более коротковолновой части видимого спектра), сопровождающееся потерей цветовой чувствительности. Это явление усугубляется еще и тем, что для повышения экономично-

сти в установках наружного искусственного освещения используют газоразрядные лампы, спектральные характеристики которых не всегда благоприятны для правильного воспроизведения цветопередачи человеческого лица в условиях низких уровней освещенностей.

Характерной особенностью работы зрительного анализатора при искусственном освещении улиц является работа в условиях сумеречного зрения ($L_{ад} = 0,1-10$ кд/м²).

Отражение светового потока дорожными покрытиями. Яркость дорожного покрытия зависит от интенсивности излучения, угла падения светового потока на площадку ΔA_{ij} дорожного покрытия и направления линии зрения наблюдателя относительно этой площадки. Это связано с тем, что большинство асфальтобетонных дорожных покрытий обладают направленно-рассеянным отражением, причем, чем больше угол падения, тем больше направленное отражение, т.е. тем больше проявляются зеркальные свойства дорожного покрытия.

Направленно-рассеянное отражение светового потока принято характеризовать коэффициентом яркости $r(\alpha, \beta)$, определяемым отношением яркости $L(\theta)$ отражающей поверхности в заданном направлении в пространстве к яркости L_d диффузной равнояркой поверхности, имеющей коэффициент отражения, равный единице (раздел 1). Однако для дорожных покрытий нет необходимости определять все фотометрическое тело коэффициентов яркости. Это связано с особенностями зрительного восприятия панорамы улицы водителями автотранспорта, заключающимися в том, что линия зрения водителей направлена преимущественно вдоль улицы по направлению движения. Место пересечения линии зрения с горизонтальной плоскостью на уровне дорожного покрытия зависит от скорости движения автотранспортного средства. В среднем, принято считать, что концентрация внимания водителей сосредоточивается в зоне 80–160 м впереди автомобиля, что соответствует среднему углу наклона линии зрения водителей относительно горизонта $\theta = 1^\circ$. Тогда коэффициент яркости дорожного покрытия может быть определен для одного направления наблюдения $\theta = 1^\circ$ и разных углов падения светового потока:

$$r(\alpha, \beta) = L(1^\circ) / L_d, \quad (7.23)$$

где $r(\alpha, \beta)$ — коэффициент яркости, обусловленный падением светового потока в направлении, характеризуемом углами α, β и направлением линии зрения $\theta = 1^\circ$ относительно горизонтальной плоскости; $L(1^\circ)$ — яркость дорожного покрытия в направлении линии зрения; L_d — яркость условной диффузной поверхности с $\rho = 1$.

Коэффициенты яркости для дорожных покрытий определены экспериментально для разных углов падения светового потока. Схема измерений индикатрис яркости дорожных покрытий представлена на рис. 7.20.

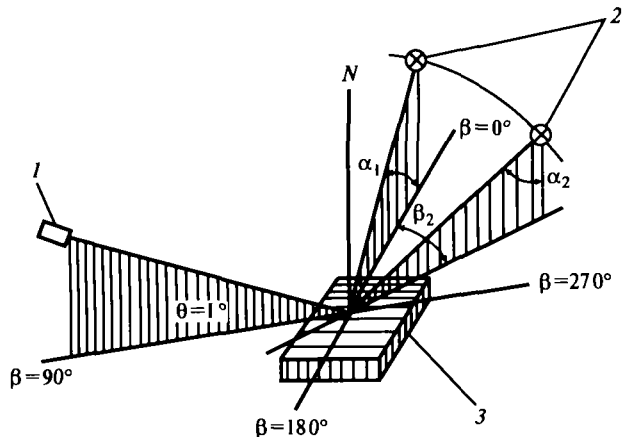


Рис. 7.20. Схема отчета углов при измерении отражательных характеристик дорожного покрытия: 1 — измерительный прибор; 2 — осветитель; 3 — образец дорожного покрытия

В отечественной нормативной документации асфальтобетонные покрытия для улиц и дорог в зависимости от их отражающих свойств делятся на два типа: гладкий мелкозернистый и шероховатый асфальтобетон. Значения коэффициентов яркости дорожных покрытий, как правило, представлены таблицами в виде двумерного массива в зависимости от углов падения и отношения ширины дороги к высоте подвеса светильников $r = f(\alpha, \beta)$ или как $r = f(\alpha, b_i / H_{св})$ (табл. 7.27, 7.28 [7.49]) (рис. 7.21).

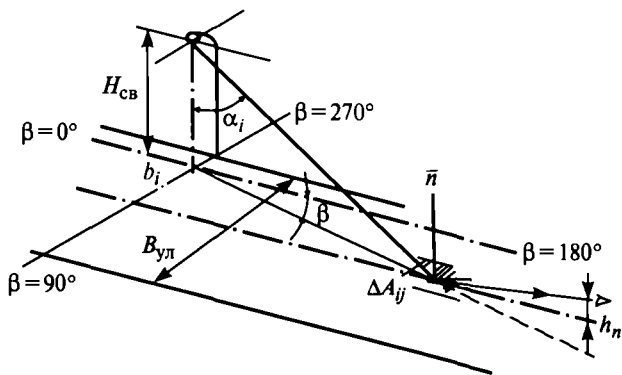


Рис. 7.21. К определению параметров отражения световых потоков дорожными покрытиями

Отражающие свойства дорожных покрытий оказывают значительное влияние на эффективность и экономичность УНО. Чем выше коэффициенты яркости дорожных покрытий, тем больше отраженная часть светового потока, формирующая уровень средней яркости, и тем чувствительнее значение среднего уровня яркости дорожного покрытия к характеру светораспределения светильников наружного освещения. Наоборот, шероховатый асфальтобетон определяет меньшие значения

коэффициентов использования светового потока источников света по яркости, по значения уровня средних яркостей для этих дорожных покрытий меньше зависят от характера светораспределения светильников, т.е. более стабильны. В целях повышения эффективности и экономичности установок наружного искусственного освещения улиц предлагаются осветленные покрытия, имеющие значительно более высокие коэффициенты яркости (табл. 7.29 [7.50]).

За рубежом используют другие классификации дорожных покрытий в зависимости от их свойств отражать световые потоки. Наибольшее распространение имеет R-классификация, в которой покрытия подразделяются на четыре класса RI–RIV. Для мокрых покрытий предложена W-классификация. МКО рекомендует C-классификацию, содержащую два типа покрытия [7.51, 7.52].

В зарубежной практике и рекомендациях МКО дорожные покрытия классифицируются по минимальному значению «зеркального коэффициента» — χ_p , исходя из следующего:

$$L = \frac{q_0 E}{\pi}, \quad (7.24)$$

где E — освещенность в рассматриваемой точке; q — коэффициент яркости. Если обозначить q_0 — среднее значение коэффициента яркости и q_{\min} — его минимальное значение, то минимальное значение «зеркального коэффициента» определяется по (7.25):

$$\chi_p = \lg \frac{q_0}{q_{\min}}. \quad (7.25)$$

Для расчета яркости дорожного покрытия в отдельных точках необходимо располагать зависимостью $q = f(\alpha, \phi, \beta)$, которая для каждого типа дорожного покрытия определяется в виде функции $f(\alpha, \beta) = q \cos^3 \alpha \cdot 10^{-3}$ и представляется в табличном виде.

Следует иметь в виду, что как повышение эффективности, так и повышение экономичности УНО могут быть обеспечены при рациональном светораспределении светильников наружного освещения, которые, в свою очередь, могут быть определены для конкретного типа дорожного покрытия.

Параметры отражения световых потоков дорожными покрытиями зависят от состава и времени эксплуатации покрытия, что предопределяет значительный разброс результатов их измерений.

Принципы нормирования количественных показателей установок наружного освещения улиц. Регламентация показателей освещения в значительной степени определяется компромиссом между необходимым и возможным уровнями основного фотометрического показателя. На рис. 7.22 представлена диаграмма, показывающая, как изменялись отечественные нормативы в области наружного искусственного освещения улиц в соответствии с изменением интенсивности и скорости движения автотранспорта, с повышением технического уровня средств освещения, в первую очередь, световых приборов, источников света и пускорегулирующих аппаратов. Выделенные периоды времени характеризуются данными [7.49, 7.53–7.56, 44].

Значения коэффициентов яркости для гладкого мелкозернистого асфальтобетонного покрытия

b / H	Значение коэффициента яркости мелкозернистого асфальтобетонного (гладкого) покрытия при угле падения α , град. [7.49]																			
	85	84	83	82	80	78	76	74	72	70	65	60	55	50	45	40	30	20	10	0
0	22,4	20,4	18,2	16,4	13,0	8,40	5,00	3,30	2,19	1,77	1,20	0,83	0,57	0,38	0,26	0,22	0,18	0,14	0,11	0,1
0,25	18,8	16,6	13,6	12,0	9,00	6,17	3,16	2,11	1,75	1,46	0,96	0,64	0,44	0,29	0,21	0,18	0,13	0,11	—	—
0,50	14,6	11,6	9,50	7,00	4,50	2,98	1,98	1,47	1,25	1,04	0,64	0,40	0,27	0,20	0,16	0,14	—	—	—	—
0,75	11,0	8,00	5,30	4,00	2,55	1,80	1,25	0,98	0,83	0,68	0,42	0,27	0,19	0,15	0,12	0,11	—	—	—	—
1,00	6,90	4,50	3,60	2,56	1,62	1,20	0,88	0,77	0,60	0,46	0,29	0,20	0,15	0,12	0,11	—	—	—	—	—
1,25	4,56	3,40	2,60	1,50	1,13	0,85	0,70	0,56	0,46	0,36	0,23	0,16	0,12	0,11	—	—	—	—	—	—
1,50	3,50	2,55	1,90	1,34	0,93	0,75	0,55	0,45	0,36	0,31	0,19	0,14	—	—	—	—	—	—	—	—
1,75	2,80	1,95	1,45	1,10	0,80	0,62	0,45	0,36	0,31	0,26	0,16	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,00	2,25	1,53	1,15	0,92	0,68	0,53	0,40	0,32	0,26	0,22	0,13	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,25	1,80	1,25	0,97	0,80	0,62	0,45	0,35	0,26	0,22	0,19	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,50	1,50	1,05	0,90	0,72	0,57	0,40	0,32	0,24	0,19	0,16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,75	1,25	0,95	0,80	0,65	0,50	0,37	0,28	0,20	0,16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3,00	1,10	0,90	0,75	0,62	0,44	0,32	0,24	0,18	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4,00	0,80	0,60	0,45	0,37	0,30	0,22	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5,00	0,60	0,50	0,35	0,32	0,23	0,16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

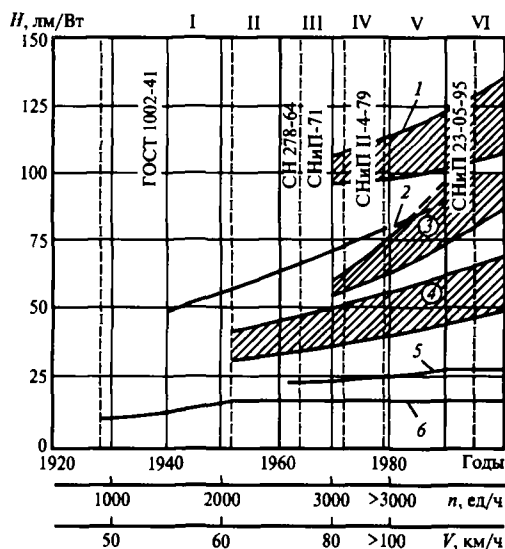
Таблица 7.28

Значения коэффициентов яркости для шероховатого асфальтобетонного покрытия

b / H	Значение коэффициента яркости мелкозернистого асфальтобетонного (гладкого) покрытия при угле падения α , град. [7.49]																			
	85	84	83	82	80	78	76	74	72	70	65	60	55	50	45	40	30	20	10	0
0	7,00	6,40	5,70	4,90	3,60	2,34	1,80	1,52	1,34	1,18	0,90	0,71	0,56	0,44	0,36	0,32	0,24	0,18	0,14	0,1
0,25	6,20	5,04	4,10	3,40	1,94	1,50	1,22	1,02	0,85	0,73	0,51	0,39	0,32	0,27	0,21	0,20	0,17	0,13	—	—
0,50	4,60	3,60	2,70	1,90	1,40	1,10	0,90	0,74	0,60	0,51	0,38	0,28	0,24	0,23	0,20	0,18	0,13	—	—	—
0,75	3,50	2,20	1,70	1,48	1,12	0,87	0,67	0,54	0,44	0,38	0,28	0,23	0,22	0,20	0,18	0,14	—	—	—	—
1,00	2,20	1,64	1,48	1,21	0,90	0,65	0,50	0,40	0,33	0,28	0,23	0,22	0,20	0,17	—	—	—	—	—	—
1,25	1,70	1,42	1,19	0,99	0,72	0,50	0,39	0,32	0,28	0,25	0,20	0,19	0,18	—	—	—	—	—	—	—
1,50	1,51	1,20	1,00	0,84	0,59	0,41	0,35	0,27	0,24	0,23	0,18	0,17	0,16	—	—	—	—	—	—	—
2,00	1,12	0,80	0,73	0,58	0,39	0,31	0,25	0,24	0,23	0,22	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,50	0,96	0,72	0,53	0,42	0,31	0,29	0,24	0,22	0,20	0,17	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3,00	0,78	0,54	0,39	0,32	0,27	0,24	0,22	0,19	0,17	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4,00	0,48	0,34	0,29	0,27	0,24	0,20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5,00	0,36	0,28	0,27	0,24	0,19	0,17	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Примечания: $b_i / H_{св}$ - отношение расстояния от линии проекции ряда светильников на горизонтальную плоскость до расчетной линии расчетной полосы.

Рис. 7.22. Ретроспектива развития отечественных нормативных документов в области наружного искусственного освещения улиц: I—VI — этапы действия нормативных документов; H - световая отдача источников света, лм/Вт; n и v — усредненные для периода времени интенсивность (ед./ч) и скорость (км/ч) движения автотранспорта. Для I—II — $E = 0,2-6$ лк; III — $L = 0,1-1$ кд/м²; IV—V — $L = 0,2-1,6$ кд/м²; VI — $L = 0,3(0,2)-1,6$ кд/м²; 1 — натриевые лампы высокого давления (НЛВД); 2 — люминесцентные лампы (ЛЛ); 3 — металлогалогенные лампы (МГЛ); 4 — лампы типа ДРЛ; 5 — газоразрядные лампы (ГЛН); 6 — лампы накаливания общего назначения (ЛН)



Значения коэффициентов яркости освещенного асфальтобетонного покрытия

β , град.	α , град.							
	85	80	75	65	45	30	15	0
с содержанием дорсила 33%								
90	9,20	2,50	1,65	0,77	0,29	0,20	0,16	0,11
80	0,88	0,80	0,70	0,55	0,29	0,20	0,16	0,11
70	0,43	0,40	0,35	0,33	0,26	0,16	0,14	0,11
60	0,30	0,27	0,24	0,22	0,20	0,16	0,14	0,11
50	0,28	0,24	0,22	0,20	0,18	0,15	0,13	0,11
40	0,28	0,24	0,22	0,20	0,18	0,15	0,13	0,11
30	0,29	0,24	0,22	0,20	0,18	0,16	0,14	0,11
20	0,30	0,24	0,22	0,20	0,18	0,16	0,14	0,11
10	0,32	0,24	0,22	0,20	0,19	0,16	0,14	0,13
0	0,36	0,24	0,23	0,22	0,20	0,16	0,14	0,13
с содержанием дорсила 38%								
90	12,80	5,30	2,64	1,10	0,37	0,25	0,22	0,18
80	1,46	1,25	1,10	0,75	0,36	0,24	0,21	0,18
70	0,60	0,54	0,52	0,46	0,32	0,24	0,20	0,17
60	0,43	0,40	0,38	0,35	0,26	0,21	0,19	0,17
50	0,38	0,35	0,31	0,28	0,22	0,19	0,18	0,16
40	0,36	0,32	0,28	0,24	0,20	0,18	0,17	0,15
30	0,35	0,31	0,26	0,22	0,18	0,17	0,16	0,14
20	0,35	0,30	0,25	0,21	0,18	0,16	0,15	0,14
10	0,36	0,31	0,26	0,21	0,19	0,17	0,16	0,16
0	0,40	0,33	0,29	0,24	0,21	0,18	0,17	0,17
с содержанием дорсила 43%								
90	13,40	6,5	4,50	1,70	0,50	0,30	0,29	0,17
80	1,40	1,17	1,02	0,77	0,41	0,27	0,20	0,17
70	0,63	0,59	0,55	0,49	0,35	0,26	0,20	0,17
60	0,48	0,44	0,42	0,39	0,30	0,24	0,20	0,17
50	0,38	0,36	0,34	0,32	0,27	0,24	0,20	0,17
40	0,36	0,33	0,32	0,30	0,26	0,23	0,19	0,17
30	0,35	0,33	0,32	0,30	0,26	0,23	0,19	0,17
20	0,35	0,33	0,32	0,30	0,26	0,23	0,19	0,17
10	0,35	0,33	0,32	0,30	0,26	0,23	0,19	0,17
0	0,35	0,33	0,32	0,30	0,26	0,23	0,19	0,17

Водитель МТ при значительной скорости движения должен иметь возможность своевременного обнаружения препятствий по пути движения машины с расстояния в несколько десятков метров. Это расстояние называется *критическим*, оно должно быть достаточным для принятия мер по совершению маневра автомобиля или для его остановки. Критическое расстояние в значительной степени определяется скоростью движения МТ, временем реакции водителя $t_{рв}$, временем инерции различных узлов тормозной системы управления и тормозными свойствами полотна дороги и колес автомашины. В свою очередь, критическое расстояние определяется угловым размером объекта обнаружения — тест-объект, за который, как правило, принимают квадрат со стороной «а».

Значение критического пути определяется по формуле:

$$l_{кр} = l_{рв} + l_2 + l_3, \quad (7.26)$$

где $l_{кр}$ — расстояние критического пути; $l_{рв}$ — расстояние, проходимое автотранспортом за время реакции

водителя, м; l_2 — тормозной путь автотранспорта, м; l_3 — расстояние между остановившимся автомобилем и «препятствием», м. Относительно критического расстояния определяется угловой размер условного тест-объекта, $\alpha_{об} = 2 \arctg(a/2l_{кр})$ (рис. 7.23).

Пороговый яркостный контраст $K_{пор}$ объекта обнаружения (различения) зависит от яркости фона ($L_{ф}$), яркости объекта обнаружения ($L_{об}$) и углового размера объекта различения ($\alpha_{об}$). С ростом скорости движения увеличивается критическое расстояние ($l_{кр}$), с которого водитель должен различать препятствие, что влечет за собой уменьшение фактического углового размера тест-объекта $\alpha_{об}$ и соответственно увеличение $K_{пор}$.

Одновременно с увеличением скорости движения уменьшается поле концентрации внимания водителя, что дает основание принять направление линии зрения водителей за постоянное вдоль дороги, а уровень яркости поля адаптации за средний уровень яркости дорожного покрытия, на фоне которого воспринимается «препятствие», рис. 7.24 [7.57].

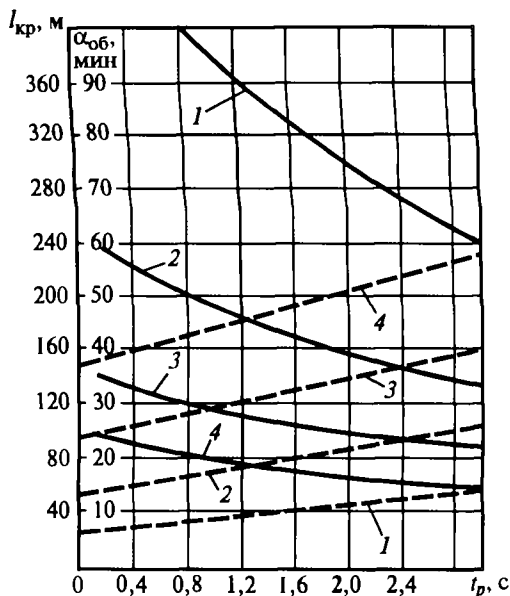


Рис. 7.23. Зависимости критического пути $l_{кр}$ и углового размера $\alpha_{об}$ тест-объекта от времени реакции водителя. — — — $\alpha_{об}$; - - - $l_{кр}$. Скорость V , км/ч: 1 - 40; 2 - 80; 3 - 80; 4 - 100

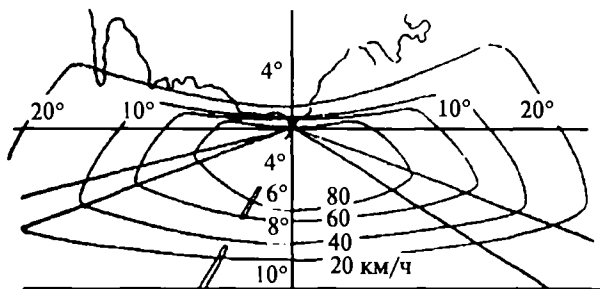


Рис. 7.24. Зависимость концентрации внимания водителей автотранспорта от скорости движения [7.57]

Функция порогового контраста для разных угловых размеров объекта обнаружения хорошо описывается уравнением В.В. Мешкова и зависит от уровня яркости поля адаптации [11]

$$K_{пор}(p) = \frac{1}{bL_{\phi}^{1-a}} \quad (7.27)$$

где a и b — постоянные параметры, зависящие от яркости фона и угловых размеров объекта обнаружения; L_{ϕ} — яркость фона, на котором воспринимается объект. p — вероятность обнаружения препятствия (величина порогового контраста определена многочисленными исследованиями в лабораторных условиях и для вероятности обнаружения $p=0.5$).

Для других значений вероятности обнаружения (в том числе и для вероятности $p=0.99$) с учетом ограничения времени $t_{обн}$, выделяемого для обнаружения препятствия $[K_{пор}(p, t_{обн})]$ величина порогового кон-

траста будет изменяться. Используя полученные экспериментальные значения $K_{кр}$, а также расчетные значения $[K_{пор}(p, t_{обн})]$ при вероятности $p=0.99$, можно определить уровень критической видимости $V_{кр}$:

$$V_{кр} = K_{кр} / K_{пор}(p, t_{обн}). \quad (7.28)$$

Следует отметить, что мешающих факторов значительно больше, чем указано в (7.28), и учет каждого последующего фактора будет приближать значение порогового контраста $K_{пор}$ к значению критического контраста $K_{кр}$, что и определяет некоторую условность понятия критической видимости. В целях повышения обеспеченности функционирования системы «водитель-автомобиль-дорога», наилучшего согласования физиологических свойств человека и обоснованного ранжирования средней яркости дорожного покрытия улиц различных категорий параметры системы при нормировании принимаются для наиболее тяжелых условий зрительной работы водителя. Так, угловой размер объекта обнаружения рассчитывается для максимально возможного времени реакции водителя $t=3$ с, что обуславливает необходимость создания таких условий видимости, которые обеспечивали бы обнаружение объекта (препятствия) при возможно большем расстоянии критического пути $l_{кр}$ и заданной скорости движения МТ, следовательно, для минимального размера тест-объекта (рис. 7.23). Особенностью расчета порогового контраста при нормировании параметров УИО является то, что расчет проводится для более высокой вероятности ($p=0.95-0.99$), а также для ограниченного времени наблюдения, что в большей степени соответствует реальным условиям работы водителей МТ.

Основой для выбора нормируемых значений яркости фона L_{ϕ} является зависимость $K_{пор} = f(L_{\phi})$. Графическое построение этой зависимости базируется на уравнении порогового контраста в функции яркости фона (7.27), и, как видно из рис. 7.25, характер измене-

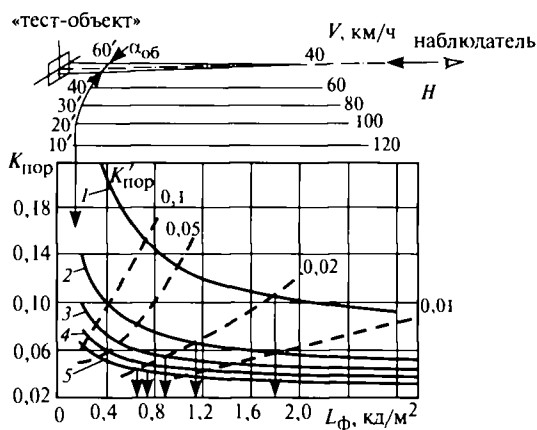


Рис. 7.25. Схема системного нормирования и ранжирования параметров УИО по зависимости порогового контраста от яркости фона для объектов обнаружения с различным угловым размером $\alpha_{об}$: 1 - 10', 2 - 20', 3 - 30', 4 - 40', 5 - 50'; $t_{рв}=0.2$ с; $p=0.99$. Пример ранжирования уровня яркости по основным значениям первой производной $K'_{пор} = f(L_{\phi}, \alpha_{об})$

ния порогового контраста для каждого по размерам объекта обнаружения в рассматриваемом диапазоне яркости фона существенно отличается. Так, для объекта обнаружения $\alpha_{об} = 10'$ пороговый контраст почти в четыре раза выше, чем для объекта с размерами $\alpha_{об} = 60'$, а в целом каждая кривая зависимости $K_{пор} = f(L_{\phi})$ для постоянного размера объекта обнаружения ($\alpha_{об} = \text{const}$), что равносильно фиксированной скорости движения автотранспорта, снижается, приближаясь к постоянному значению, близкому к насыщению. Это указывает на то, что с увеличением яркости фона до 2 кл/м^2 и тем более до 3 кл/м^2 выбранный нами критерий теряет смысл, так как с дальнейшим увеличением яркости фона величина порогового контраста практически не изменяется.

Определение диапазонов, в пределах которых может быть произведено ранжирование нормируемых уровней средних яркостей дорожного покрытия, производится исходя из условия одинаковой чувствительности значений $K_{пор}$ к изменениям яркости дорожного покрытия $L_{дп}$ для всех принятых значений $\alpha_{об}$. В общем случае указанное условие выполняется, если первую производную, характеризующую скорость изменения порогового контраста $K_{пор}$ при изменении L_{ϕ} , считать постоянной для различных угловых размеров объекта обнаружения:

$$K'_{пор} = \frac{a-1}{b} L_{\phi}^{a-2} = \text{const}, \quad (7.29)$$

где a и b — параметры, зависящие от угловых размеров объекта обнаружения (см. 7.27).

Яркость дорожных покрытий. Значения нормируемых уровней средних яркостей L_{ϕ} для разных угловых размеров $\alpha_{об}$, а следовательно, и для разных предполагаемых скоростей движения автотранспортных средств определяются из (7.29):

$$\lg L_{\phi} = \frac{1}{a-2} \lg \frac{bK'_{пор}}{1-a}. \quad (7.30)$$

Выбор $K'_{пор}$ производится по результатам анализа обобщенных оценок состояния УНО и технического уровня используемых ИС и ОП [7.59]. Ориентировочные данные, устанавливающие соответствие различным значениям $K'_{пор}$ разных диапазонов L_{ϕ} и технического уровня светотехнических изделий, оценка которых произведена по обобщенному показателю УНО, в частности по средневзвешенной световой отдаче одной условной световой точки $H_{со}$, приведены в табл. 7.30, а определение диапазонов нормируемых значений уровней средних яркостей дорожных покрытий иллюстрируется графиками, приведенными на рис. 7.25 и в табл. 7.30.

Выбор критериев нормирования и ранжирования значений основного фотометрического показателя с учётом технического уровня средств освещения более перспективен в сравнении с другими методами, так как позволяет в заданных условиях зрительной работы установить связь между психофизиологическими свойствами зрительного анализатора и нормируемыми значе-

Определение диапазонов нормируемых уровней средних яркостей для улиц разных категорий с учетом технического уровня светотехнических средств освещения (к рис. 7.25)

$H_{со}$, лм/Вт	15	25	80	140
$K'_{пор}$	0,1	0,05	0,02	0,01
$L_{дп}$, кл/м ²	0,2 0,8	0,3–1,0	0,65–1,85	1,0–3,0

Примечание. $K'_{пор}$ — первая производная от функции порогового контраста; $L_{дп}$ — нормируемый диапазон уровней средних яркостей, кл/м²; $H_{со}$ — условная средневзвешенная световая отдача одной световой точки совокупности осветительных установок (как пример!)

ниями $L_{дп}$, а также определять диапазоны значений $L_{дп}$ в соответствии с техническим состоянием установок наружного искусственного освещения и техническим уровнем средств освещения, освоенных промышленностью в конкретный период времени. Этот метод весьма удобен для корректировки регламентируемых значений уровней средних яркостей для регионального нормирования.

Принципы нормирования количественных показателей УНО пешеходных зон. Полуцилиндрическая освещенность. Для улиц с пешеходным движением в зоне исторической застройки регламентируется величина полуцилиндрической освещенности на уровне 1,5 метра от поверхности дорожного покрытия.

Как показали результаты исследований, проведенных за рубежом [7.59, 7.60], полуцилиндрическая освещенность наиболее адекватно оценивает передачу рельефного объекта. Наилучший моделирующий эффект освещения достигается при отношении вертикальной освещенности E_v к $E_{пл}$ 0,8–1,3. Уровень полуцилиндрической освещенности $E_{пл}$ наиболее адекватно коррелирует с ощущением достаточной зрительной ориентации и распознавания объектов и должен составлять $E_{пл} \geq 0,8$ лк для расстояния распознавания 4 м и 2,7 лк для расстояния 10 м (рис. 7.26). Значения $E_{пл}$ должны обеспечиваться на высоте 1,5 м в любом продольном или поперечном сечении улицы. При существующих типовых венчающих светильниках (С) рассеянного света (неограниченного светораспределения) значение $E_{пл} = 0,8$ лк достигается при $E_1 = 5$ лк.

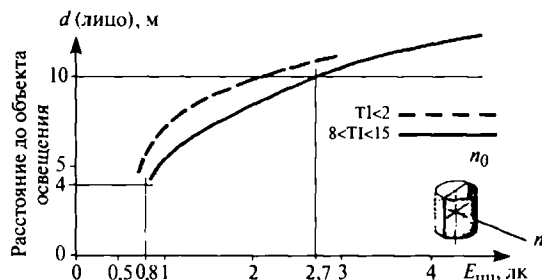


Рис. 7.26. К вопросу обоснования регламентации величины $E_{пл}$ и взаимосвязь этой величины с оценкой слепящего действия ОУ (ТИ) [7.60]

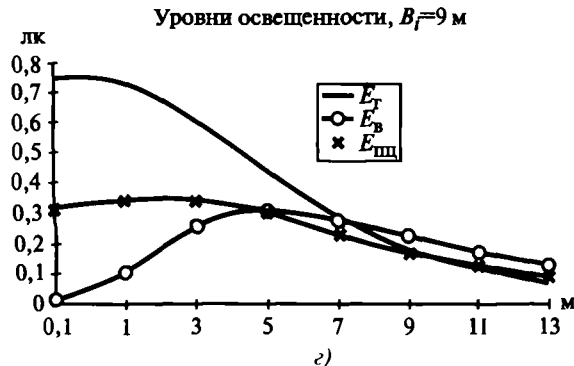
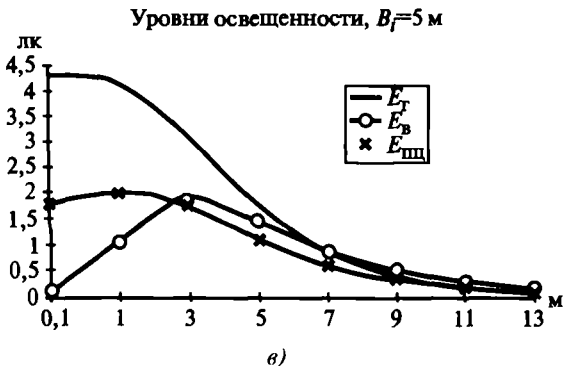
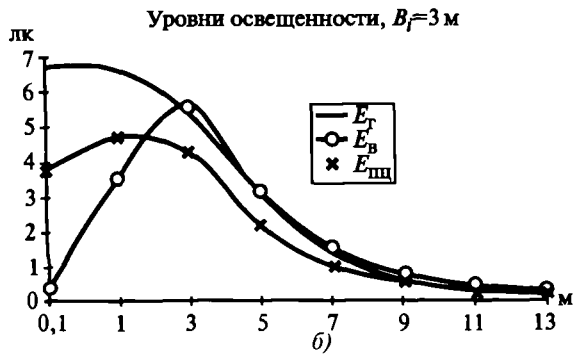
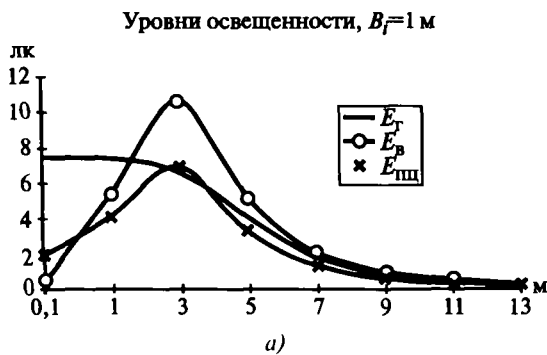


Рис. 7.27. Графики расчетных значений горизонтальной, вертикальной и полуцилиндрической освещенностей для различных расстояний B_i : а — $B_i=1$ м; б — $B_i=3$ м; в — $B_i=5$ м; г — $B_i=9$ м

К настоящему времени нет точных данных о допустимой неравномерности распределения значений полуцилиндрической освещенности. Этот вопрос ждет своего решения.

С целью обеспечения благоприятного восприятия человеческого лица рекомендуется использовать источники света с цветовой температурой излучения $T_{11} = 1800-3300$ К.

Для сравнения на рис. 7.27 приведены графики расчетных значений горизонтальной, вертикальной и полуцилиндрической освещенностей для различных $E_{шц}$, лк

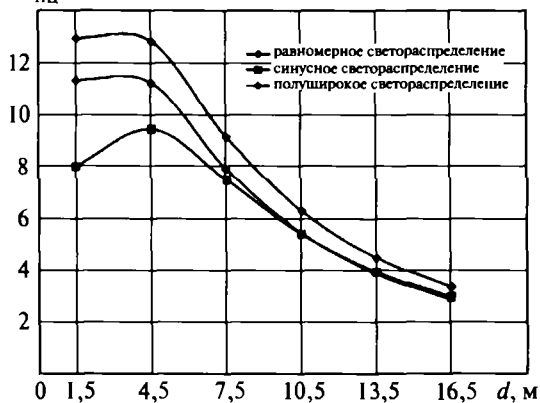


Рис. 7.28. Пример распределения расчетных значений полуцилиндрической освещенности в зависимости от расстояний и для различных типовых КСС ОП

расстояний B_i продольной трассы предполагаемого движения пешехода относительно ряда светильников.

Распределение полуцилиндрической освещенности существенно зависит от характера распределения светового потока светильником. На рис. 7.28 представлены графики распределения полуцилиндрической освещенности для светильников, фотометрическое тело которых характеризуется типовыми КСС.

Принципы нормирования качественных показателей УНО. Неравномерное распределение яркости дорожного покрытия. Неравномерное распределение яркости дорожного покрытия оказывает существенное влияние на зрительное восприятие водителем дорожной обстановки. С повышением неравномерности распределения яркости дорожного покрытия снижается видимость объектов, затрудняется обнаружение «препятствий» на фоне проезжей части дороги. Это вызвано индуктивным влиянием неравномерности и условным уменьшением угловых размеров объекта за счет снижения контраста одной его части и повышения контраста другой (часть объекта сливается с более темной частью дорожного покрытия, а часть выделяется с более высоким контрастом, чем на фоне средней яркости). Результаты лабораторных исследований видимости в условиях неравномерного распределения яркости фона позволили определить зависимость относительного снижения порогового контраста γ_0 от отношения L_{max} / L_{min} (рис. 7.29). При регламентируемой неравномерности $L_{max} / L_{min} \leq 3:1$ [7.54] снижение функций

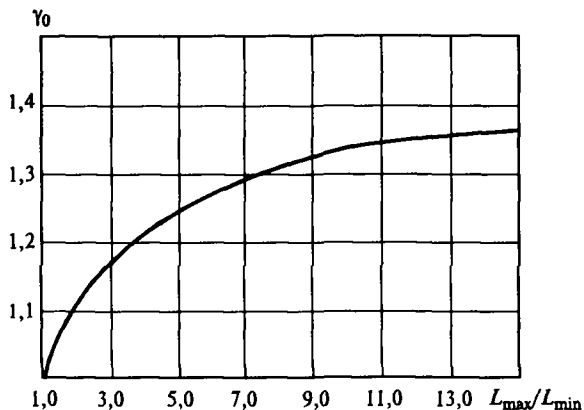


Рис. 7.29. Относительное снижение порогового контраста γ_0 в зависимости от отношения L_{max}/L_{min}

зрения, оцениваемое относительным снижением порогового контраста, γ_0 не превышает 10–15% [7.61].

Отношение L_{max}/L_{min} является оценкой весьма условной, так как полностью не отражает характер неравномерного распределения яркости по дорожному покрытию. Так, в зарубежных нормах и рекомендациях МКО широко используется оценка неравномерного распределения яркости дорожного покрытия в виде двух отношений: L_{min}/L_{cp} — в целом по всей ширине проезжей части дороги и L_{min}/L_{max} — для отдельно выбранной полосы движения. Оценка общей неравномерности и неравномерности по полосе, естественно, более полно отражают характер неравномерного распределения яркости по проезжей части дороги, а введение этих оценок в отечественные нормы упрощает сравнительную оценку проектных решений, выполненных в соответствии с отечественными нормами и рекомендациями МКО (см. раздел 15). Единство методов оценки неравномерного распределения яркости по проезжей части дороги удобно при использовании различных программ в процессе расчета параметров УНО на ПК.

Слепящее действие УНО. В основу оценки слепящего действия УНО положено относительное изменение пороговой разности яркости при наличии и отсутствии слепящего действия

$$S = \frac{\Delta I_{порS}}{\Delta I_{пор}} \quad (7.31)$$

где S — коэффициент ослепленности; $\Delta I_{порS}$ — пороговая разность яркость при наличии слепящего действия; $\Delta I_{пор}$ — пороговая разность яркостей при отсутствии слепящего действия.

Допустимое значение коэффициента ослепленности S в УНО определяется из следующих соображений. С физиологической точки зрения увеличение S нежелательно, так как оно будет сопровождаться ухудшением видимости. В этом случае оптимальной является ОУ, для которой $S=0$, что достигается применением ОП с резко ограниченным светораспределением. Однако такая установка экономически невыгодна, так как

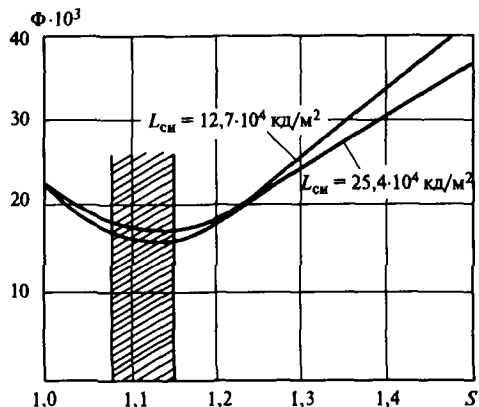


Рис. 7.30. Эффективность использования светового потока (Φ) ОП, излучаемого под большими углами α в зависимости от слепящего действия (S) слепящего источника различной яркости ($L_{сш}$)

для создания необходимой яркости покрытия необходимо устанавливать ОП с очень малым шагом, что приведет к значительному повышению установленной мощности. Количественная регламентация слепящего действия обусловлена результатами анализа эффективности использования светового потока, излучаемого ОП под большими углами ($\alpha = 75^\circ$ и выше), в зависимости от слепящего действия, создаваемого этими потоками [7.62].

Результаты этого анализа, усредненные для различных схем и координат расположения СП, показаны на графике рис. 7.30, из которого видно, что по мере увеличения светового потока под большими углами излучения сначала увеличивается уровень средней яркости дорожного покрытия углов излучения и слепящее действие повышается, но и эффективность светового потока растет, так как повышается коэффициент использования светового потока по яркости за счет повышения коэффициентов яркости дорожного покрытия, но по мере дальнейшего увеличения углов излучения слепящее действие резко возрастает. Из графика видно, что наиболее экономичная система освещения имеет место при $S=1,15$. Коэффициент ослепленности S связан с показателем ослепленности P следующим уравнением:

$$P = (S - 1)1000, \quad (7.32)$$

откуда регламентируемое значение для $P=150$.

7.3. СТРУКТУРА НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ

Федеральные нормативные документы по освещению в текущий период входят как в систему нормативных документов в строительстве, так и в систему санитарных норм и правил. Согласно федеральному закону «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» № 52-ФЗ от 30 марта 1999 года [7.19], санитарные нормы и правила имеют приоритет над строительными нормами.

Требования к промышленному освещению регламентируются санитарно-эпидемиологическими правилами СП 2.2.1.1312-03. «Гигиенические требования к проектированию вновь строящихся и реконструируемых промышленных предприятий» [7.10], федеральными строительными нормами СНиП 23-05-95* «Естественное и искусственное освещение» [44]. В санитарно-эпидемиологических правилах приведены общие требования к выполнению искусственного освещения, нормативных значений освещенности для промышленного освещения они не содержат. Федеральные строительные нормы содержат нормы естественного, искусственного и совмещенного освещения, которые аутентичны межгосударственным строительным нормам МСН 23-05-95 [7.1, 7.2], разработанным для Содружества независимых государств (СНГ) Межгосударственным научно-техническим комитетом по стандартизации и нормированию (МНТКС).

Освещение общественных помещений регламентируется санитарными нормами СанПиН 2.2.1/2.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному освещению жилых и общественных зданий» [79], которые не противоречат строительным нормам [44].

Наряду с федеральными строительными и санитарными нормами действуют территориальные строительные нормативы по освещению [7.1, 7.11], которые не могут устанавливать более низкие нормы освещения, чем федеральные, однако могут установить более высокие нормы освещения для учета столичного статуса или для создания более привлекательного облика городов региона в целях развития туристического бизнеса, а также учесть ресурсы регионального светового климата при нормировании естественного и совмещенного освещения помещений.

На основе федеральных норм могут быть разработаны отраслевые нормы освещения для конкретных отраслей промышленности. Перечень ранее разработанных отраслевых норм приведен в [7.12].

СНиП 23-05-95* [44] регламентирует значения нормируемых величин и требования к устройству освещения, обеспечивающие безопасность выполнения работ различной сложности. Они состоят из 7 разделов: область применения, нормативные ссылки, определения, общие положения, естественное освещение, искусственное освещение и 8 приложений.

Общие положения содержат: область применения норм, классификацию зрительных работ по разрядам точности, шкалу нормируемых уровней освещенности, таблицу регламентируемых величин для производственных (табл. 7.31) и общественных и жилых (табл. 7.32) помещений, а также таблицу значений коэффициента запаса (табл. 7.33). При проектировании освещения необходимо также учитывать требования к устройству установок УФ облучения.

По точности зрительной работы производственные операции подразделяются на 8 разрядов, из которых первые 6 характеризуются размерами объектов различения, их контрастом с фоном и отражающими свойствами фона; разряд VII относится к работам со светящи-

мися материалами и изделиями; разряд VIII — к работам, связанным с общим наблюдением за ходом производственного процесса. Как видно из табл. 7.31, объекты наблюдения характеризуются линейными размерами в долях миллиметра, хотя условия зрительной работы определяются угловыми размерами объектов. При увеличении расстояния наблюдения разряд работ определяется по отношению размера объекта к расстоянию его наблюдения в соответствии с приложением Б. В приложении А дана расшифровка основных светотехнических терминов, используемых в нормах. В приложении В дана методика определения разряда зрительных работ для протяженных объектов различения.

Каждый разряд норм с I по V разделен на подразряды а), б), в) и г), которые характеризуются определенным сочетанием контраста объекта с фоном и коэффициента отражения фона. Точность работы определяется размером объекта различения и его контрастом с фоном, причем в большей степени размером, поэтому разряд работы зависит от размера. Подразряд а) соответствует самым трудным условиям зрительной работы — объекты с малым контрастом на темном фоне, г) — наиболее легким — большой контраст на светлом или среднем фоне или средний контраст на светлом фоне. К табл. 7.31 нормируемых показателей для производственных помещений имеется ряд примечаний, основное из которых требует снижения нормируемой освещенности при использовании ЛН на одну или две ступени по шкале освещенности в зависимости от точности зрительной работы, что вызвано экономическими соображениями. По тем же причинам для системы общего освещения, обладающей большей энергоемкостью по сравнению с системой комбинированного освещения при той же точности работы, нормируются более низкие уровни освещенности.

Конкретные нормы по типам помещений приведены в МСН 23-05-95, [7.1] и в территориальных нормах [7.1, 7.11], а также в разделе 12 настоящей книги приведены нормируемые освещенности для общепроизводственных и вспомогательных помещений (гаражи, компрессорные и насосные станции, кабельные каналы, склады и т.д.).

Для помещений общественных, жилых и вспомогательных зданий нормируемые показатели освещения (освещенность, цилиндрическая освещенность, показатель дискомфорта, коэффициент пульсации) приводятся для конкретных помещений, что соответствует отраслевому нормированию в промышленности. В нормах введена таблица нормируемых показателей для разрядов и подразрядов зрительной работы в общественных зданиях (табл. 7.32). Разряды характеризуются размером объекта различения, подразряды — продолжительностью зрительной работы при направлении линии зрения на рабочую поверхность. Введение такой таблицы упорядочивает структуру норм.

Конкретные нормы приведены в приложении К, а также в СанПиН 2.2.1/2.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному освещению жилых и общественных зданий» [79], в МСН 23-05-95 [7.1, 7.2] и в территориальных нормах [7.1, 7.11], а также в разделе 7.2 настоящей книги.

Нормы естественного и искусственного освещения промышленных помещений (СНиП 23-05-95*)

Характеристика зрительной работы	Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение					Естественное освещение		Совмещенное освещение	
						Освещенность, лк			Сочетание нормируемых величин показателя ослепленности и коэффициента пульсации		КЕО e_n , %			
						при системе комбинированного освещения		при системе общего освещения			при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении
						всего	в том числе от общего освещения		P	K_n , %				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Наивысшей точности	Менее 0,15	I	a	Малый	Темный	5000 4500	500 500	— —	20 10	10 10	—	—	6,0	2,0
			б	Малый Средний	Средний Темный	4000 3500	400 400	1250 1000	20 10	10 10				
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	2500 2000	300 200	750 600	20 10	10 10				
			г	Средний Большой » Средний	Светлый » Средний	1500 1250	200 200	400 300	20 10	10 10				
Очень высокой точности	От 0,15 до 0,30	II	a	Малый	Темный	4000 3500	400 400	— —	20 10	10 10	—	—	4,2	1,5
			б	Малый Средний	Средний Темный	3000 2500	300 300	750 600	20 10	10 10				
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	2000 1500	200 200	500 400	20 10	10 10				
			г	Средний Большой » Средний	Светлый » Средний	1000 750	200 200	300 200	20 10	10 10				
Высокой точности	От 0,30 до 0,50	III	a	Малый	Темный	2000 1500	200 200	500 400	40 20	15 15	—	—	3,0	1,2
			б	Малый Средний	Средний Темный	1000 750	200 200	300 200	40 20	15 15				
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	750 600	200 200	300 200	40 20	15 15				
			г	Средний Большой » Средний	Светлый » Средний	400	200	200	40	15				

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Средней точности	Св. 0,5 до 1,0	IV	а	Малый	Темный	750	200	300	40	20	4	1,5	2,4	0,9
			б	Малый Средний	Средний Темный	500	200	200	40	20				
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	400	200	200	40	20				
			г	Средний Большой »	Светлый » Средний	—	—	200	40	20				
Малой точности	Св. 1 до 5	V	а	Малый	Темный	400	200	300	40	20	3	1	1,8	0,6
			б	Малый Средний	Средний Темный	—	—	200	40	20				
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	—	—	200	40	20				
			г	Средний Большой »	Светлый » Средний	—	—	200	40	20				
Грубая (очень малой точности)	Более 5	VI		Независимо от характеристик фона и контраста объекта с фоном	-		200	40	20	3	1	1,8	0,6	
Работа со светящимися материалами и изделиями в горячих цехах	Более 0,5	VII		То же			200	40	20	3	1	1,8	0,6	
Общее наблюдение за ходом производства иного процесса: постоянное периодическое при постоянном пребывании людей в помещении		VIII	а	»		—	—	200	40	20	3	1	1,8	0,6
			б			—	—	75	—	—	1	0,3	0,7	0,2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
периодическое при периодическом пребывании людей в помещении		VIII	в	»		—	—	50	—	—	0,7	0,2	0,5	0,2
Общее наблюдение за инжсперными коммуникациями		VIII	г	Независимо от характеристик фона и контраста объекта с фоном		—	—	20	—	—	0,3	0,1	0,2	0,1

- Для подразрядов норм от Ia до IIIв может приниматься один из наборов нормируемых показателей, приведенных для данного подразряда в графах 7–11.
- Наименьшие размеры объекта различения и соответствующие им разряды зрительной работы установлены при расположении объектов различения на расстоянии не более 0,5 м от глаз работающего.
- Освещенность при использовании ламп накаливания следует снижать по шкале освещенности.
 - на одну ступень при системе комбинированного освещения, если нормируемая освещенность составляет 750 лк и более;
 - то же, при системе общего освещения для разрядов I V, VII;
 - на две ступени при системе общего освещения для разрядов VI и VIII.
- Освещенность при работах со светящимися объектами размером 0,5 мм и менее следует выбирать в соответствии с размером объекта различия и относить их к подразряду «в».
- Показатель ослепленности регламентируется в гр. 10 только для общего освещения (при любой системе освещения).
- Коэффициент пульсации $K_{П}$ указан в гр. 10 для системы общего освещения или для светильников местного освещения при системе комбинированного освещения. $K_{П}$ от общего освещения в системе комбинированного не должен превышать 20%.
- Предусматривать систему общего освещения для разрядов I–III, IVa, IVб, IVв, Va допускается только при технической невозможности или экономической нецелесообразности применения системы комбинированного освещения, что конкретизируется в отраслевых нормах освещения, согласованных с Государственным комитетом санитарно-эпидемиологического надзора Российской Федерации.
- В помещениях, специально предназначенных для работы или производственного обучения подростков, нормированное значение КЕО повышается на один разряд по гр. 3 и должно быть не менее 1,0%.

Нормируемые показатели освещения в общественных и жилых зданиях (СПИП 23-05-95*)

Характеристика зрительной работы	Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Относительная продолжительность зрительной работы при направлении линии зрения на рабочую поверхность, %	Освещенность на рабочей поверхности от системы общего освещения, лк	Цилиндрическая освещенность, лк	Показатель дискомфорта M	Коэффициент пульсации освещенности, $K_{п}$, %
Различение объектов при фиксированной и нефиксированной линии зрения: очень высокой точности высокой точности средней точности	От 0,15 до 0,30	А	1	Не менее 70	500	150*	40 15**	10
			2	Менее 70	400	100*	40 15**	10
	От 0,30 до 0,50	Б	1	Не менее 70	300	100*	40 15**	15
			2	Менее 70	200	75*	60 25**	20 15***
	Более 0,5	В	1	Не менее 70	150	50*	60 25**	20 15***
			2	Менее 70	100	Не регламентируется		
Обзор окружающего пространства при очень кратковременном, эпизодическом различении объектов: при высокой насыщенности помещений светом при нормальной насыщенности помещений светом при низкой насыщенности помещений светом	Независимо от размера объекта различения	Г	—	Независимо от продолжительности зрительной работы	300	100	60	Не регламентируется
					200	75	90	
					150	50	90	
Общая ориентировка в пространстве интерьера: при большом скоплении людей при малом скоплении людей	То же	Ж	1 2	То же	75	Не регламентируется		
					50			
Общая ориентировка в зонах передвижения: при большом скоплении людей при малом скоплении людей	Независимо от размера объекта различения	З	1 2	Независимо от продолжительности зрительной работы	30	Не регламентируется		
					20			

* Дополнительно регламентируется в случаях специальных архитектурно-художественных требований.

** Нормируемое значение показателя дискомфорта в помещениях при направлении линии зрения преимущественно вверх под углом 45° и более к горизонту и в помещениях с повышенными требованиями к качеству освещения (спальные комнаты в детских садах, яслях, санаториях, дисплейные классы в школах и т.п.).

*** Нормируемое значение коэффициента пульсации $K_{п}$ для детских, лечебных помещений с повышенными требованиями к качеству освещения.

Нормируемые значения коэффициента запаса (СНиП 23-05-95*)

Помещения и территории	Примеры помещений	Коэффициент запаса K_3						
		Искусственное освещение			Естественное освещение			
		Количество чисток светильников в год			Количество чисток остекления светопроемов в год			
		Эксплуатационная группа ветоильников (см. раздел 6)			Угол наклона светопропускающего материала к горизонту, градусы			
		1-4	5-6	7	0-15	16-45	46-75	76-90
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Производственные помещения с воздушной средой, содержащей в рабочей зоне:								
а) св. 5 мг/м ³ пыли, дыма, копоти	Агломерационные фабрики, цементные заводы и обрубные отделения литейных цехов	$\frac{2,0}{18}$	$\frac{1,7}{6}$	$\frac{1,6}{4}$	$\frac{2,0}{4}$	$\frac{1,8}{4}$	$\frac{1,7}{4}$	$\frac{1,5}{4}$
б) от 1 до 5 мг/м ³ пыли, дыма, копоти	Цехи кузнечные, литейные, мартеновские, сборного железобетона	$\frac{1,8}{6}$	$\frac{1,6}{4}$	$\frac{1,6}{2}$	$\frac{1,8}{3}$	$\frac{1,6}{3}$	$\frac{1,5}{3}$	$\frac{1,4}{3}$
в) менее 1 мг/м ³ пыли, дыма, копоти	Цехи инструментальные, сборочные, механические, механосборочные, пошивочные	$\frac{1,5}{4}$	$\frac{1,4}{2}$	$\frac{1,4}{1}$	$\frac{1,5}{2}$	$\frac{1,5}{2}$	$\frac{1,4}{2}$	$\frac{1,3}{2}$
г) значительные концентрации паров, кислот, щелочей, газов, способных при соприкосновении с влагой образовывать слабые растворы кислот, щелочей, а также обладающих большой корродирующей способностью	Цехи химических заводов по выработке кислот, щелочей, едких химических реактивов, ядохимикатов, удобрений, цехи гальванических покрытий и различных отраслей промышленности с применением электролиза	$\frac{1,8}{6}$	$\frac{1,6}{4}$	$\frac{1,6}{2}$	$\frac{2,0}{3}$	$\frac{1,8}{3}$	$\frac{1,7}{3}$	$\frac{1,5}{3}$
2. Производственные помещения с особым режимом по чистоте воздуха при обслуживании светильников:								
а) с технического этажа		$\frac{1,3}{4}$	—	—	—	—	—	—
б) снизу из помещения		$\frac{1,4}{2}$	—	—	—	—	—	—
3. Помещения общественных и жилых зданий:								
а) пыльные, жаркие и сырые	Горячие цехи предприятий общественного питания, охлаждаемые камеры, помещения для приготовления растворов в прачечных, душевые и т.д.	$\frac{1,7}{2}$	$\frac{1,6}{2}$	$\frac{1,6}{2}$	$\frac{2,0}{3}$	$\frac{1,8}{3}$	$\frac{1,7}{3}$	$\frac{1,6}{3}$
б) с нормальными условиями среды	Кабинеты и рабочие помещения, жилые комнаты, учебные помещения, лаборатории, читальные залы, залы совещаний, торговые залы и т.д.	$\frac{1,4}{2}$	$\frac{1,4}{1}$	$\frac{1,4}{1}$	$\frac{1,5}{2}$	$\frac{1,4}{2}$	$\frac{1,3}{1}$	$\frac{1,2}{1}$

1	2	3	4	5	6	7	8	9
4. Территории с воздушной средой, содержащей: а) большое количество пыли (более 1 мг/м ³) б) малое количество пыли (менее 1 мг/м ³)	Территории металлургических, химических, горнодобывающих предприятий, шахт, рудников, железнодорожных станций и прилегающие к ним улицы и дороги Территории промышленных предприятий, кроме указанных в подп. «а» и общественных зданий	$\frac{1,5}{4}$	$\frac{1,5}{4}$	$\frac{1,5}{4}$	—	—	—	—
5. Населенные пункты	Улицы, площади, дороги, территории жилых районов, парки, бульвары, пешеходные тоннели, фасады зданий, памятники транспортные тоннели	$\frac{1,5}{2}$	$\frac{1,5}{2}$	$\frac{1,5}{2}$	—	—	—	—
		—	$\frac{1,5}{2}$	$\frac{1,7}{1}$	—	—	—	—

Примечания.

1. Значения коэффициента запаса, указанные в гр. 6–9, следует умножать на 1,1 — при применении узорчатого стекла, стеклопластика, армопленки и матированного стекла, а также при использовании световых просмов для аэрации; на 0,9 — при применении органического стекла.
2. Значения коэффициентов запаса, указанные в гр. 3–5, приведены для разрядных источников света. При использовании ламп накаливания их следует умножать на 0,85.
3. Значения коэффициентов запаса, указанные в гр. 3, следует снижать при одноосменной работе по поз. 1б, 1г — на 0,2; по поз. 1в — на 0,1; при двухосменной работе — по поз. 1б, 1г — на 0,15.
4. Значения коэффициента запаса и количество чисток для транспортных тоннелей, указанные в графе 2, приведены с учетом использования только светильников конструктивной светотехнической схемы IV табл. раздела 6.

В приложении Г приведена классификация СП по эксплуатационным характеристикам, в зависимости от которых регламентируются значения коэффициентов запаса ОУ (см. раздел 6).

Раздел «Искусственное освещение» содержит общую часть, в которой дается определение видов и систем освещения и 8 подразделов.

В первом подразделе «Освещение помещений производственных и складских зданий» приведены требования по учету сложности зрительной работы при выборе нормируемой освещенности. Раздел содержит требования к световой отдаче используемых источников света в зависимости от индекса цветопередачи (R_a). Сложность зрительной работы характеризуется временем непрерывной зрительной работы, необходимостью поиска или движения объекта различения, опасностью травматизма и т.д. Для работ повышенной сложности освещенность увеличивают на одну ступень. Сформулированы требования к уровню освещенности для общего освещения в системе комбинированного в производственных помещениях с достаточным и недостаточным естественным светом. Регламентируются также качественные показатели промышленных ОУ: показатель ослепленности, коэффициент пульсации и неравномерность распределения освещенности в зоне расположения рабочих мест (см. раздел 12).

Второй подраздел «Освещение помещений общественных, жилых и вспомогательных зданий» содержит требования к показателю дискомфорта, цилиндрической освещенности, а также регламентацию освещенности объектов архитектурно-художественного оформления интерьеров. Раздел содержит требования к энергоэкономичности освещения, ограничивая максимально допустимую установленную мощность искусственного освещения ($Вт/м^2$) (см. раздел 14).

Третий подраздел «Места производства работ вне зданий и площадки промышленных предприятий» регламентирует количест-

венные требования к освещению территорий промышленных предприятий и наружных работ. Ослепленность для наружных работ ограничивается путем регламентации минимально допустимой высоты подвеса СП. Для прожекторов слепящее действие определяется отношением осевой силы света к квадрату высоты установки СП в зависимости от уровня освещенности.

В четвертом подразделе даны подробные нормы освещения селитебных территорий городских и сельских поселений. Рассмотрено освещение улиц, дорог и площадей в зависимости от количества проезжающего транспорта, автотранспортных тоннелей при скоростях движения транспорта 60 км/ч и 100 км/ч, пешеходных переходов, территорий микрорайонов, топливозаправочных пунктов и сооружений для хранения подвижного состава (см. раздел 15).

В пятом подразделе даны нормы архитектурного освещения зданий и сооружений, создающего привлекательный облик городов и населенных пунктов в вечернее и в ночное время (см. раздел 13).

В шестом разделе приводятся нормы витринного освещения. Они учитывают требования к безопасному движению транспорта в вечернее и ночное время. Установленные в нем освещенности витрин и требования к цветопередаче источников света обеспечивают привлекательный вид рекламируемых товаров (см. раздел 14).

В седьмом разделе приводятся нормы рекламного освещения. При регламентации рекламного освещения учитывались создание безопасных условий для движения транспорта в вечернее и ночное время и ограничение засветки окон жилых зданий в целях обеспечения комфортного проживания.

В подразделе «Аварийное, эвакуационное и охранное освещение» указаны случаи, когда необходимо устройство аварийного и эвакуационного освещения, нормы освещенности, требования к ИС (см. раздел 10).

К разделу «Искусственное освещение» имеются 2 приложения Е, Ж, в которых даны рекомендации по выбору ИС в зависимости от их цветовой температуры, индекса цветопередачи, требований к цветоразличению и нормируемого уровня освещенности для промышленных, жилых и общественных зданий (табл. 7.8 и 7.18).

Отраслевые нормы, разработанные на основе российских норм, содержат следующие разделы: общие положения, нормы освещенности рабочих мест, качество освещения, требования к строительной части проекта для обеспечения эксплуатации ОУ. В общих положениях оговариваются область применения норм, сроки их реализации на отдельных предприятиях, даются рекомендации по выбору системы освещения, СП, их размещению, выбору ИС, коэффициентов запаса, уровней освещенности от аварийного освещения и т.д. Основой отраслевых норм является таблица нормируемых показателей освещения (освещенность, показатель ослепленности, коэффициент пульсации) для конкретных цехов, операций, оборудования. Кроме нормируемой освещенности для основных зрительных работ каждого цеха или участка приводится норма освещенности по помещению, которая предназначена для проектировщиков освещения. Эта норма бывает, как прави-

ло, выше нормируемой освещенности для работ, выполняемых в помещении, так как она учитывает неизбежные затенения рабочих поверхностей элементами оборудования и корпусом работающего, а также наличие в помещении рабочих мест, на которых выполняются зрительные работы разной точности. Для этого разработчик отраслевых норм детально изучает зрительные задачи на всех операциях и особенности технологического оборудования.

Нормируемые уровни освещенности и способы освещения наиболее сложных зрительных работ определяются экспериментально опытным наблюдателями в лабораторных условиях, а затем проверяются на производстве. В последней графе таблицы норм даются краткие требования к устройству освещения таких работ (максимально допустимая яркость СП местного освещения, направление падения света, тип ИС и т.д.).

Отраслевые нормы принято сопровождать рекомендациями по освещению и инструкцией по эксплуатации ОУ, что существенно облегчает проектирование освещения и улучшает его качество, способствуя улучшению условий труда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

7.1. *МГСН 23-05-95*. Естественное и искусственное освещение: Межгосударственные строительные нормы. Минск: Межгосударственная научно-техническая комиссия по стандартизации и техническому нормированию (МНТКС). 1995.

7.2. *Изменение № 1 МГСН 23-05-95*. Естественное и искусственное освещение: Межгосударственные строительные нормы. Минск: Межгосударственная научно-техническая комиссия по стандартизации и техническому нормированию (МНТКС). 2004.

7.3. *CIBS*. Code for interior lighting. — London: Chartered Institute of Building Service Engineers, 1984.

7.4. *DIN 5035-1;2;3;4* Innenraumbelichtung Mit Kunstlichem Licht. Teils 1, 2, 3, 4.

7.5. *ISO 8995: 1998*: International Standart. Principles of Visual Ergonomics — The Lighting Of Indoor Work Systems. 1989.

7.6. *Blackwell R.H.* Specification of interior illumination levels on the basis performance data // Illuminating Engineering, 1959. № 6.

7.7. *Никитина Е.А., Мурашева М.А.* Пороговый контраст равноярких диффузных дисков. В сб.: Научные работы институтов охраны труда ВЦСПС. М.: Профиздат. 1971. Вып. 74.

7.8. *Weston H.* The relation between illumination and visual efficiency, the effect of brightness contrast // Med. Res. Council. London, 1945. № 87.

7.9. *Никитина Е.А.* Пороговый контраст объектов прямоугольной формы. — В сб.: Научные работы институтов охраны труда ВЦСПС. — М.: Профиздат. 1971. Вып. 74.

7.10. *СП 2.2.1.1312-03*. Гигиенические требования к проектированию вновь строящихся и реконструируемых промышленных предприятий санитарно-эпидемиологические правила. М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России. 2003.

7.11. *ТСН 23-351-2004*. Территориальные строительные нормы Самарской области «Естественное, искусственное и смешанное освещение». Самара: Главное управление архитектуры и градостроительства Самарской области. 2004.

- 7.12. *Шмаров И.А.* Отраслевые нормы освещения. Светотехника. 1998. № 5.
- 7.13. *ANSI/ASHRAE/IES 100.3-1985.* Energy Conservation in Existing Building-Commercial. An American National Standard ASHARE Standard, 1991.
- 7.14. *New York State Energy Conservation Construction Code (with Amendments) Effective.* — New York: New York State Energy Office of Codes and Standards.
- 7.15. *Guide on Interior Lighting.* Second edition. — Vienna: Publication CIE № 29/2, 1986.
- 7.16. *Шмаров И.А., Тищенко Г.А.* Нормирование освещения зрительных работ с трехмерными объектами различения. Светотехника. 1986. № 1.
- 7.17. *Кроль П.И., Терешкевич С.Г.* Принципы нормирования освещения в общесоюзных нормах по комплексной оценке световой среды производственных помещений. Светотехника. 1982. № 1.
- 7.18. *Lindner H.* Der Einflub des Beleuchtungs-niveaus auf visuell-motorische Leistungen / Elektro-Praktiker. 1977. Bd 31, № 11.
- 7.19. *Федеральный закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» № 52-ФЗ от 30 марта 1999 года.* М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России. 1999.
- 7.20. *Епанешников М.М., Перова Н.С., Ундасынов Г.Н.* Выбор оптимального уровня освещенности для помещений административных зданий. Светотехника. 1974. № 9.
- 7.21. *Bodmann H.W.* Illumination levels and visual performance // Intern. Light / Rev. 1962. Vol. 13. № 2.
- 7.22. *Юров С.Г.* Некоторые вопросы метрики и методики экспертных субъективных оценок психоэстетических параметров световой среды. Светотехника. 1974. № 9
- 7.23. *Fisher D.* Optimale Beleuchtungs-niveaus in Arbeits-raumen. Teil 1, 2 Lichttechnik 1970. №№ 2, 3.
- 7.24. *Turek R.* A new decade in Lighting // Lighting // 1970, v. 35. № 5.
- 7.25. *Каплинская М.Ю., Перова Н.С., Федюкина Г.В.* и др. К вопросу внедрения люминесцентного освещения в быт. Светотехника. 1987. № 1.
- 7.26. *Bean A.R.* Impression of brightness of object and interior. Light. Res. And Technol. 1977, № 2.
- 7.27. *Матвеев А.Б., Федюкина Г.В.* и др. Принципы построения шкал дискомфорта. Светотехника. 1979. № 9
- 7.28. *Епанешников М.М., Ундасынов Г.Н., Федюкина Г.В.* Исследование влияния дискомфорта на утомление и производительность труда. Светотехника. 1975. № 2.
- 7.29. *Фишер Д.* Система оценки слепящего действия установок внутреннего освещения по методу обобщенного показателя дискомфорта. Светотехника. 1997. № 2.
- 7.30. *CIE 117-1995* Technical report/ Discomfort Glare in interior lighting.
- 7.31. *Fisher D.* Blendung — Neuer Ansatz fur ein internationales Blendungsbewertungssystem. Licht 1990, W. 1.
- 7.32. *Петров В.И.* Новые европейские нормы освещения. Москва. Дом света. 1998.
- 7.33. *Горелова Н.Д., Лебедева С.М., Матвеев А.Б.* Цветовая температура ИС как критерий качества освещения Тр. МЭИ. 1977. Вып. 327.
- 7.34. *Руководство по выбору цветности и цветопередачи ИС при проектировании искусственного освещения.* НИИСФ. Госстроя Москва. 1980.
- 7.35. *Петрова Г.В., Сидорова Т.И.* Оценка тепеобразующих свойств ОУ помещений общественных зданий. Светотехника. 1982. № 4.
- 7.36. *Горнов В.О.* Итоги науки и техники. Светотехника и инфракрасная техника. Осветительные приборы и установки. М. ВИНТИ. 1970.
- 7.37. *Брашовский В.А.* Динамическое освещение помещений. Светотехника. 1980. № 10.
- 7.38. *Варфоломеев Л.П., Леонова Т.С.* и др. Выбор оптимальных режимов освещения операторских помещений ограниченного объема. Светотехника. 1981. № 6.
- 7.39. *Бурский В.Б., Каплинская М.Ю.* Свет в современном жилище. М. Энергия. 1984.
- 7.40. *Андрюхин В.С., Каплинская М.Ю.* и др. Бытовые светильники. Рекомендации по проектированию. Дизайн в бытовой светотехнике. Информэлектро. 1987.
- 7.41. *Перейма В.В.* Исследование неравнояркого поля зрения методом экспертных оценок. Светотехника. 1983. № 4.
- 7.42. *Design Criteria for Lighting Spaces IESNA RP-11-1995.*
- 7.43. *Ideen fur Gutes Licht zum Wohnen.* Fodergemeinschaft Gutes Licht., 1998.
- 7.44. *Айзенберг Ю.Б., Шахпаруныц Г.Р.* О концепции прогноза развития светотехники. Светотехника. 2000. № 5.
- 7.45. *Каплинская М.Ю., Федюкина Г.В.* Современные тенденции бытового освещения. Светотехника. 1991. № 9.
- 7.46. *Каплинская М.Ю., Федюкина Г.В.* О создании комфортной световой среды жилища. Светотехника. 1991. № 1.
- 7.47. *Федюкина Г.В., Шахпаруныц Г.Р.* Управляемая световая среда жилых помещений, Тезисы доклада VII Конгресса Люкс-Европа. Эдинбург. Великобритания. 1993.
- 7.48. *Uschkamp G., Meseberg H.* Zusammenhand Zwischen dem Niveau der Strahbebeleuchtung und dem Verkehrsunfall-geschehen. Licht. 1995. 47. № 7–8.
- 7.49. *Инструкция по проектированию наружного освещения городов, поселков городского типа и сельских населенных пунктов.* ВСН-22-75 М. 1976.
- 7.50. *Проектирование наружных осветительных установок при использовании дорожных покрытий с лорсолом.* М.: Стройиздат, 1978.
- 7.51. *Sorensen K., Nielsen B.* Road surfaces in traffic lighting. Report № 9. The Danish Illuminating Engineering Laboratory, 1974.
- 7.52. *Sorensen K.* Road surface reflection data. Report № 10. The Danish Illuminating Engineering Laboratory, 1975.
- 7.53. *ГОСТ 1002-41.* Нормы минимальной освещенности улиц. 1941.
- 7.54. *СН 278-64.* Указания по проектированию улично-го освещения. Москва. 1964.
- 7.55. *СНиП II-A.9-71.* Строительные нормы и правила. Часть 11. Раздел А. Глава 9. Искусственное освещение. Нормы проектирования. Москва. 1972.
- 7.56. *СНиП II-4-79.* Естественное и искусственное освещение. Госстрой СССР. М.: Стройиздат. 1980.
- 7.57. *Лобанов Е.М.* Проектирование дорог и организация движения с учетом психофизиологии водителя. М.: Транспорт. 1980.
- 7.58. *Карачёв В.М.* Перспективы развития принципов нормирования уровней яркости дорожных покрытий. Светотехника. 1983. № 3.
- 7.59. *Гуторов М.М.* Полуцилиндрическая освещенность. Светотехника. № 11. 1964.
- 7.60. *Bommel W.* Beluchtung von Wohngebieten, fur neue Bewertungsstabstabe. «Licht», 1982; 34.
- 7.61. *Островский М.А.* Влияние неравномерного распределения яркости дорожных покрытий на зрительную работоспособность водителя. Светотехника. 1969. № 6.
- 7.62. *Островский М.А.* Количественная оценка слепящего действия уличных осветительных установок. Светотехника. 1962. № 6.

СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

8.1. ВВЕДЕНИЕ

Центральное место в проектировании ОУ занимает светотехнический расчет, позволяющий определить необходимые характеристики установки (уровни освещенности или яркости, другие качественные показатели).

До последнего времени методология светотехнического расчета ОУ, естественно, базировалась на технологии ручного труда, которая предусматривала проведение вычислительных процедур с помощью таких средств как логарифмическая линейка, математические таблицы и калькулятор. За более чем столетнюю историю развития этой методологии для большинства практически значимых задач были разработаны упрощенные, так называемые, инженерные методы расчета, базирующиеся на использовании расчетных таблиц, графиков и номограмм, а также на типизации и аналитической аппроксимации КСС СП [11], [13], [84]. Это позволяло существенно облегчить труд проектировщиков и дать возможность за приемлемое время получать (хотя и грубую) оценку рассчитываемых параметров. На базе этих методов были разработаны многочисленные материалы для проектирования ОУ, а в наиболее завершённой форме процедура расчета была доведена до выбора типового решения ОУ, в наибольшей степени отвечающего поставленным требованиям. Среди отечественных ученых, внесших наиболее заметный вклад в развитие этого направления, следует упомянуть А.А. Гершуна, В.В. Мешкова, Р.А. Сапожникова, М.М. Епанешникова, М.А. Островского, среди зарубежных — Н. Einhorn, I. Jones, I. Neidhard, L. Yamauti. Особая роль здесь принадлежит Г.М. Кноррингу, на классических трудах которого выросло не одно поколение отечественных проектировщиков.

Начиная с 80-х годов прошлого века начался переход от ручной технологии расчета к компьютерной, который к настоящему времени практически завершен. Сейчас на рынке программного обеспечения имеются специализированные светотехнические программы, в том числе и такие, которые позволяют получать на экране монитора изображение моделируемых ОУ, воспринимаемое близко к реальности (программы реалистической визуализации). В результате произошло разделение на разработчиков светотехнических программ и их пользователей (проектировщиков). Труд последних коренным образом изменился. По существу, отпал этап проведения светотехнического расчета — самой трудоемкой и изнурительной процедуры. Это дало проектировщику возможность сосредоточиться на творче-

ской стороне проектирования — поиске наилучшего варианта ОУ.

Что касается методологии таких программ, то очевидно, что при машинной технологии отпадает всякая необходимость в упрощении основных расчетных алгоритмов и исходных данных. Задача, как правило, ставится в наиболее общем виде, что позволяет расширить область применения программы. Расчетные алгоритмы базируются на современных математических методах, использующих матрично-векторный аппарат. Для наиболее сложных задач (*глобальное освещение*) применяются такие фундаментальные методы, как *метод излучательности (radiosity)* и *метод трассировки лучей (ray tracing)*, позволяющие достаточно адекватно описать сложные процессы переноса излучения в рассматриваемом пространстве. Для представления светораспределения СП нет необходимости подыскивать аналитическую аппроксимацию КСС, внося при этом дополнительную погрешность. Для большинства практических задач достаточно иметь значения силы света в табличной форме. При этом удобно использовать стандартизированные электронные форматы данных (например, IES). Понятно, что все это требует от разработчика программ знания не только общей методологии светотехнических расчетов, но и специальных математических методов, а также технологии компьютерной графики.

Учитывая сказанное, в настоящем издании «Справочной книги», в отличие от двух предыдущих, изложение данного раздела ориентировано не на ручную, а на компьютерную технологию светотехнического расчета. Поэтому вместо графиков, таблиц и номограмм здесь приведены сведения о базисных методах и даны расчетные формулы, которые положены в основу расчетных алгоритмов современных светотехнических компьютерных программ, а также сделан обзор светотехнического программного обеспечения, имеющегося на рынке.

8.2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Конечной целью светотехнического проектирования является определение типа, мощности, количества, месторасположения и ориентации СП, при которых обеспечиваются нормативные светотехнические требования к данной ОУ. В такой постановке задача относится к так называемым *обратным задачам* [8.1], когда для удовлетворения заданных требований необходимо найти исходные параметры. Для абсолютного большинства практических случаев решение такой за-

дачи отсутствует. Поэтому для получения результата приходится решать *прямую задачу*, сводящуюся к расчету нормируемого показателя (например, освещенности) при выбранных параметрах ОУ. И затем путем неоднократного перебора исходных варьируемых параметров (в основном, количества, расположения, типа и мощности ОП) находить их оптимальные значения, при которых расчетное значение нормируемого параметра удовлетворяет нормативным требованиям.

В соответствии с действующими нормами [44] для основных видов освещения расчетными нормируемыми показателями являются:

- минимальная освещенность E на рабочей поверхности;
- показатель неравномерности освещенности;
- показатель ослепленности P или дискомфорта M ;
- коэффициент пульсации освещенности $K_{п}$;
- цилиндрическая освещенность $E_{ц}$.

В установках архитектурного, витринного и рекламного освещения основным расчетным нормируемым показателем является средняя яркость поверхностей освещаемого объекта (фасадов зданий, памятников, витрин, рекламных щитов и др.).

Для освещения проезжей части дорог и улиц в качестве основного расчетного показателя принята средняя яркость дорожного покрытия, определяемая для специфических условий наблюдения. Расчет этого и других связанных с этим видом освещения показателей рассмотрен в разделе 15.4.

Из приведенного перечня расчетных нормируемых показателей видно, что основным показателем является освещенность, так как через нее прямо или косвенно определяются многие остальные: коэффициент неравномерности, коэффициент пульсации, яркость диффузной поверхности.

Условно методы расчета освещенности можно разделить на упрощенные и сложные. Упрощенные методы применяются для расчета утилитарного освещения (наружное освещение дорог, улиц и парков, многие виды спортивного освещения, освещение открытых пространств, освещение простых интерьеров и др.), т.е. в основном там, где не требуется учитывать такие факторы, как затенение ИС, экранирование одних объектов другими, сложные многократные переотражения, характеристики отражения (пропускания) света от окружающих поверхностей, цветовые характеристики ИС и взаимодействующих поверхностей. Сложные методы, наоборот, предназначены для моделирования сложных сцен (в основном интерьеров) с учетом указанных факторов и при этом, как правило, позволяют получить графическое изображение моделируемой ОУ, максимально приближенное к реальности (методы реалистической визуализации).

8.3. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ СВЕТОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ СП

Как известно, наиболее полной характеристикой светораспределения СП является его фотометрическое тело (ФТ), описывающее распределение силы света СП в окружающем его пространстве (рис. 8.1)*. Однако такое представление неудобно для практического использования, поэтому большинство фирм-производителей СП, как правило, в качестве характеристики светораспределения приводят КСС в одном или двух сечениях ФТ. И если для осесимметричных СП одна КСС в меридиональном сечении является исчерпывающей характеристикой светораспределения СП, то для неосесимметричных СП приводимые в каталогах в большинстве случаев две КСС во взаимно перпендикулярных плоскостях, или даже одна или две дополнительные КСС для наиболее характерных сечений (например, для улочных СП), не являются достаточными для проведения расчетов, отвечающим указанным выше требованиям.

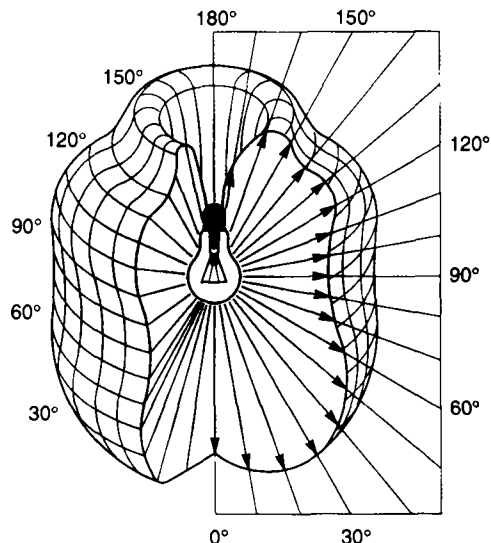


Рис. 8.1. Фотометрическое тело сил света ИС

В разное время для описания светораспределения СП предлагались различные способы, например, в виде линий равных значений сил света (изокацдел), нанесенных на проекцию полусферы на плоскость или на синусоидальную сетку Бенфорда, или в виде кривых равных значений освещенности (изолюкс) на условной плоскости, ортогональной оптической оси СП и отстоящей от него на расстояние 1 м, или в виде следов конических сечений на экваториальных плоскостях.

8.3.1. Системы фотометрирования

В мировой практике наибольшее распространение получило представление светораспределения СП в виде

* Здесь мы не касаемся СП местного освещения, светораспределение которых характеризуется не силой света, а освещенностью на освещаемой поверхности.

семейства КСС, образующегося при сечении фотометрического тела СП плоскостями (точнее, полуплоскостями), имеющими общую линию, которая является осью вращения этих плоскостей. При этом в зависимости от ориентации этой линии относительно оптической оси и других главных осей СП различают три системы секущих плоскостей, или системы фотометрирования: (А, α), (В, β) и (С, γ).

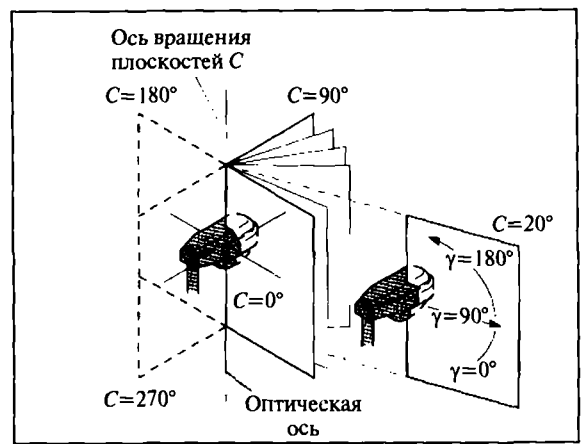
Наибольшее применение имеет меридиональная система (С, γ), в которой ось вращения секущих плоскостей совмещена с оптической осью СП, при этом эти плоскости рассекают условную сферу, центр которой совмещен со световым центром СП, по меридианам, т.е. являются меридиональными (рис. 8.2,а). Произвольно выбранное направление относительно центра системы определяется двумя углами: азимутальным (или экваториальным) углом С, отсчитываемым относительно выбранного нулевого направления $C_0 = 0$, и полярным (или меридиональным) углом γ, отсчитываемым в меридиональной плоскости С от положительного направления (надира) оптической оси СП. Ориентация СП в этой системе такова, что для неосесимметричных СП (фотометрическое тело которых не описывается телом вращения) главная поперечная и главная продольная плоскости [8.2] совпадают с плоскостями $C_0 - C_{180}$ и $C_{90} - C_{270}$ соответственно. При наличии у СП лиры, например, у прожекторов, плоскость C_{180} пересекает лиру при наиболее характерном расположении. Координатные углы в этой системе изменяются в следующих диапазонах: $C = [0^\circ \div 360^\circ]$ или $[-180^\circ \div 180^\circ]$, $\gamma = [0^\circ \div 180^\circ]$.

В продольной системе (В, β) ось вращения плоскостей лежит в главной продольной плоскости, проходит через световой центр СП и перпендикулярна оптической оси СП (рис. 8.2,б). Для такой системы произвольное направление в пространстве также определяется двумя углами: азимутальным углом В, ориентирующим продольную плоскость, в которой лежит данное направление, относительно главной продольной плоскости $B_0 = 0$, которая проходит через оптическую ось, и полярным углом β, отсчитываемым от линии пересечения этой плоскости В с главной поперечной плоскостью Q_0 . Ориентация неосесимметричных СП в этой системе обусловлена главной продольной плоскостью B_0 . Для СП с лирой последняя совмещается с плоскостью B_{270} . Координатные углы в этой системе изменяются в следующих диапазонах: $B = [0^\circ \div 360^\circ]$ или $[-180^\circ \div 180^\circ]$, $\beta = [-90^\circ \div 90^\circ]$.

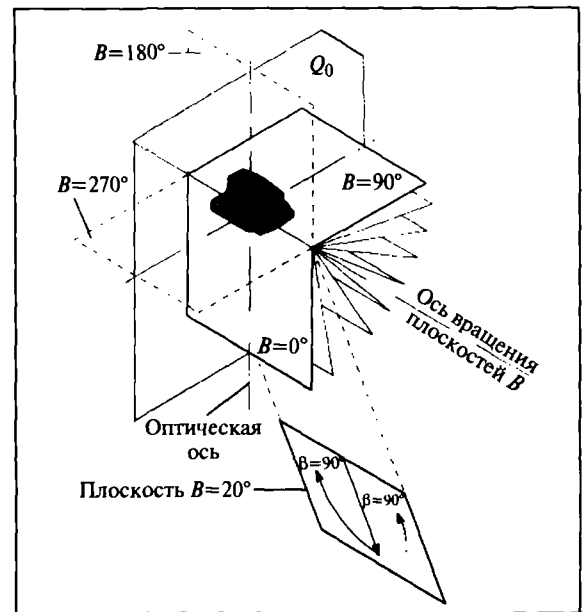
Между углами систем (В, β) и (С, γ) существует однозначная связь, позволяющая переходить из одной системы в другую. Так, переход от системы (В, β) к системе (С, γ) осуществляется по следующим формулам:

$$\begin{cases} \cos \gamma = \cos \beta \cos B, & (8.1) \\ \cos C = -\text{sign}(\sin \beta) \frac{\cos \beta \sin B}{\sqrt{1 - \cos^2 \beta \cos^2 B}}, & (8.2) \end{cases}$$

где $\text{sign}(x)$ — знаковая функция, равная ± 1 в зависимости от знака аргумента x . Для обратного перехода от (С, γ) к (В, β) используют формулы:



а)



б)

Рис. 8.2. Системы фотометрирования: а — меридиональная (С, γ) и б — продольная (В, β)

$$\begin{cases} \sin \beta = -\sin \gamma \sin C, \\ \sin B = \frac{\sin \gamma \cos C}{\sqrt{1 - \sin^2 \gamma \sin^2 C}}. \end{cases} \quad (8.3)$$

Третья система (А, α) отличается от системы (В, β) только тем, что ось вращения плоскостей лежит в главной поперечной плоскости.

Выбор той или иной системы связан как с типом симметрии СП, так и с используемым фотометрическим оборудованием. Для всех осесимметричных СП используется исключительно система (С, γ), так как в этой системе все светораспределение характеризуется одной меридиональной КСС. Эта же система принята

для большинства уличных несимметричных СП. Система (B, β) применяется в основном для несимметричных прожекторов. Система (A, α) имеет ограниченное применение: в основном для фотометрирования автомобильных фар.

Светораспределение большинства СП обладает определенными свойствами симметрии, использование которых позволяет существенно сократить объем информации, необходимой для описания светораспределения. Из большого разнообразия видов светораспределения СП можно выделить пять наиболее характерных типов симметрии (см. табл. 8.1 и рис. 8.3, где в системе координат (C, γ) изображено распределение изокандел, характерное для данного типа симметрии).

8.3.2. Форма представления фотометрических данных

До недавнего времени практически единственной доступной информацией о светораспределении СП были приводимые в каталогах фирм-производителей СП графики КСС. Использование такой информации в светотехнических расчетах сопряжено с рядом трудностей. Во-первых, графики необходимо перевести в табличную форму, что является довольно трудоемкой процедурой. Во-вторых, часто приводимые КСС даются в довольно схематичном, а часто и усеченном (без «хвостов») виде, хотя нередко отсутствующая информация очень важна. В этом случае приходится экстраполировать КСС на основе экспертных оценок либо при возможности проводить фотометрирование такого СП*. Но самое главное, для несимметричных СП в подавляющем большинстве случаев приводятся только две КСС — в продольном $C_{90}-C_{270}$ (или B_0) и поперечном C_0-C_{180} (или Q_0) сечениях. Иногда для СП типа «кососвет», имеющих максимум силы света I_{\max} не по оптической оси, продольную КСС дают не для главной продольной плоскости B_0 , а для продольной плоскости

B_{\max} , проходящей через этот максимум в поперечной плоскости Q_0 . Для уличных СП, имеющих боковое светораспределение [8.3] с внеосевыми максимумами, т.е. не лежащими в главных продольной и поперечной плоскостях (рис. 8.3,е), как правило, добавляют еще третью КСС — в плоскости C_{\max} , проходящей через максимум силы света. Понятно, что для определения силы света в любых других промежуточных азимутальных или продольных плоскостях такой информации недостаточно, и приходится доопределять исходные данные каким-либо дополнительным условием.

Для светораспределения, представленного в системе (B, β) , наибольшее распространение получил способ, предложенный в свое время Н.Н. Ермолинским и описанный, например в [8.4], который основывается на том допущении, что полярные КСС $I(B, \beta)$ в продольных плоскостях B принимаются подобными кривой $I(B_0, \beta)$ в главной продольной плоскости B_0 (рис. 8.4). При этом коэффициент подобия m_B для произвольной плоскости B равен отношению сил света $I(B, \beta_0) / I_0$, где $I_0 = I(B_0, \beta_0)$ — осевая сила света. Тогда сила света в произвольном направлении (B, β) определяется как

$$I(B, \beta) = m_B I(B_0, \beta). \quad (8.4)$$

Если продольная КСС приведена в каталоге не для плоскости B_0 , а для B_{\max} , то коэффициент m_B определяется отношением $I(B, \beta_0) / I_{\max}$, где $I_{\max} = I(B_{\max}, \beta_0)$, и тогда

$$I(B, \beta) = m_B I(B_{\max}, \beta), \quad (8.5)$$

Возможны и другие способы аппроксимации КСС по каталожной информации [8.5].

В последнее время ситуация коренным образом изменилась. Большинство ведущих фирм-производителей СП стали выставлять на своих сайтах в Интернете полные базы фотометрических данных своей продук-

Таблица 8.1

Виды светораспределения СП по типу симметрии

№ п/п	Название светораспределения	Плоскости симметрии в системе:		Условное обозначение типа симметрии	Индекс рисунка 8.3
		(C, γ)	(B, β)		
1	Осесимметричное	—	—	P_0	а
2	Симметричное относительно главной поперечной плоскости	C_0-C_{180}	Q_0	P_{\perp}	б
3	Симметричное относительно главной продольной плоскости	$C_{90}-C_{270}$	B_0	P_{\parallel}	в, е
4	Симметричное относительно обеих главных плоскостей	$C_0-C_{180}, C_{90}-C_{270}$	Q_0, B_0	P_{+}	г
5	Несимметричное	—	—	P	д

* Полученные при этом данные могут существенно расходиться с каталожными.

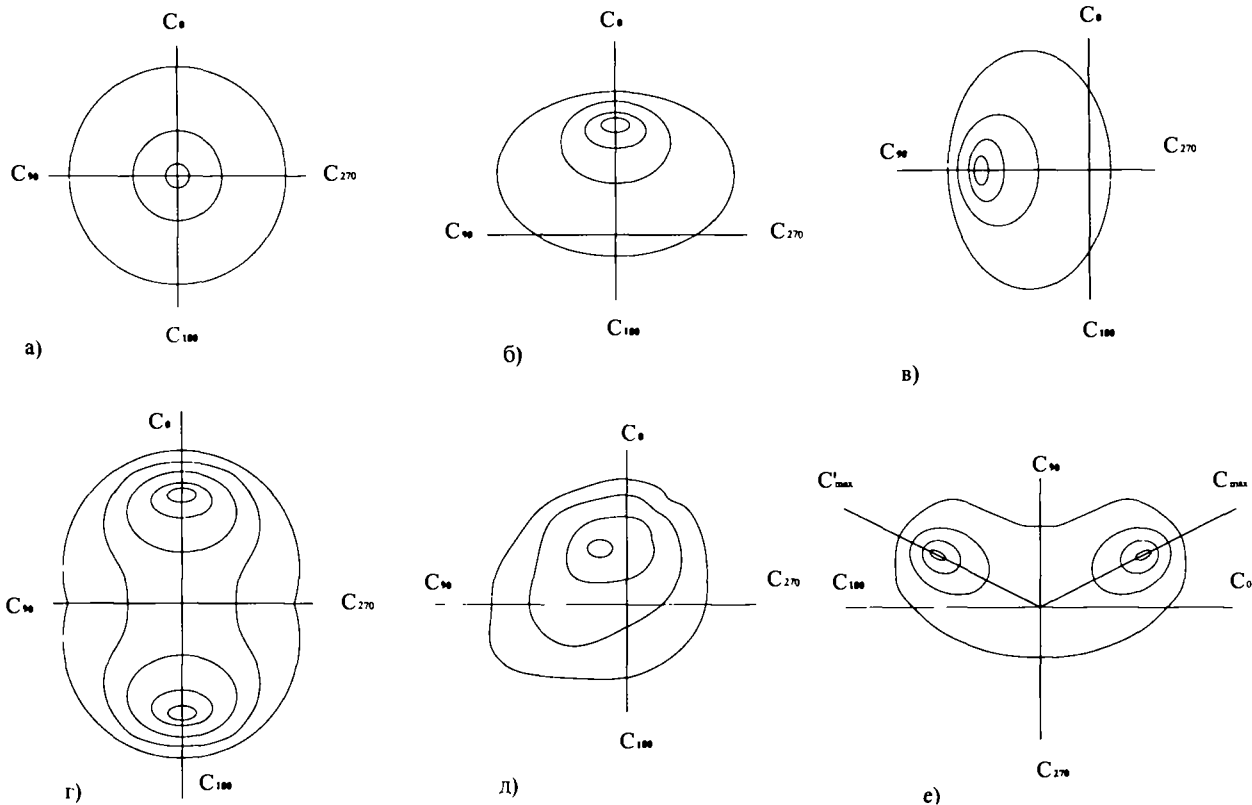


Рис. 8.3. Примеры изображения изокандел в системе (C, γ) в зависимости от типа симметрии светораспределения СП: *a* — осесимметричного; *b* — симметричного относительно главной поперечной плоскости; *в* — симметричного относительно главной продольной плоскости; *г* — симметричного относительно обеих главных плоскостей; *д* — несимметрично; *e* — то же, что и *в*, но с внеосевыми максимумами

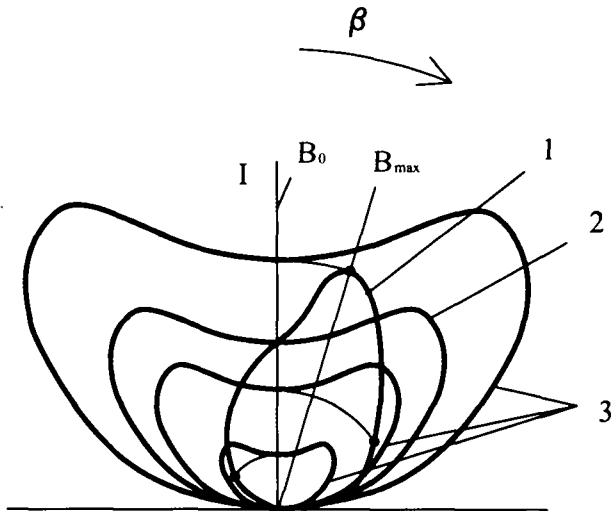


Рис. 8.4. К вопросу аппроксимации подобием КСС СП. 1 — КСС в главной поперечной плоскости; 2 — КСС в главной продольной плоскости; 3 — подобные КСС в промежуточных продольных плоскостях

ции для свободного пользования. При этом для неосесимметричных СП приводятся подробные таблицы семейств КСС. Для того чтобы эта информация могла быть использована разными светотехническими программами, эти данные записываются по определенным правилам или форматам. В настоящее время существует несколько форматов представления фотометрических данных ОП. Среди них можно указать такие, как:

- международный формат CIE 102, разработанный МКО [8.6];
- британский формат CIBSE TM-14, разработанный британским институтом строительной физики CIBSE [8.7];
- европейский формат EULUMDAT, разработанный Акселем Стокмаром (Axel Stockmar), Германия, английская версия которого имеется на сайте [8.8].

Однако наибольшее распространение получил формат IES (полное название — BSR/IESNA LM-63) [8.9], разработанный Североамериканским светотехническим обществом (IESNA). В Приложении к разделу 8 приведены правила формирования фотометрических данных по формату IES в соответствии с версией стандарта IESNA:LM-63-1995*.

* В августе 2002 г. вышла обновленная версия стандарта LM-63-2002, имеющая незначительные отличия от версии LM-63-1995.

8.4. УПРОЩЕННЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА

Упрощенные методы подразумевают ряд ограничений и допущений. К ним относятся:

- использование точечной модели ИС;
- диффузный (ламбертовский) характер отражения света от окружающих поверхностей;
- равномерность распределения света по отражающей (излучающей) поверхности;
- отсутствие затеняющих и экранирующих элементов.

Среди упрощенных методов расчета наибольшее значение имеют *точечный метод* и *метод коэффициента использования*.

8.4.1. Точечный метод расчета освещенности

Точечный метод не только широко применялся в эпоху ручной технологии, но, являясь достаточно универсальным инструментом, повсеместно используется и в современных светотехнических программах как для функциональных видов освещения (прожекторное, дорожное, спортивное и др.), так и в качестве одного из компонентов общих методов (глобального освещения).

В качестве основного применения метод используется при расчете освещенности от некоторого излучателя в точке произвольно ориентированной поверхности*. Базисным является точечное представление излучателя, критерием чего выступает отношение расстояния от светового центра излучателя до расчетной точки к максимальному размеру светящейся поверхности излучателя. Для практических расчетов при использовании СП общего назначения это отношение ограничено значением 5:1. Однако для приборов прожекторного типа с концентрированным светораспределением оно может быть существенно больше, что необходимо учитывать при расчете освещения в *ближней зоне*.

Кроме точечного, в светотехнической практике широко используются понятия линейного и поверхностного излучателей.

Точечный излучатель. Для случая точечного излучателя, располагаемого в точке S (рис. 8.5), координируемой вектором \vec{r}_s ** относительно произвольного базиса $(\hat{i}, \hat{j}, \hat{k})$, освещенность $E(\vec{r}_p)$ на расчетной поверхности в точке P , координируемой вектором \vec{r}_p относительно того же базиса и имеющей вектор внешней нормали \hat{n}_p , определяется по формуле:

$$E(\vec{r}_p) = \frac{I(\hat{s})}{|\vec{r}_p - \vec{r}_s|^2} |\hat{s} \cdot \hat{n}_p|, \quad (8.6)$$

где $I(\hat{s})$ — сила света излучателя S в направлении точки P , определяемом вектором

$$\hat{s} = \frac{\vec{r}_p - \vec{r}_s}{|\vec{r}_p - \vec{r}_s|}, \quad (8.7)$$

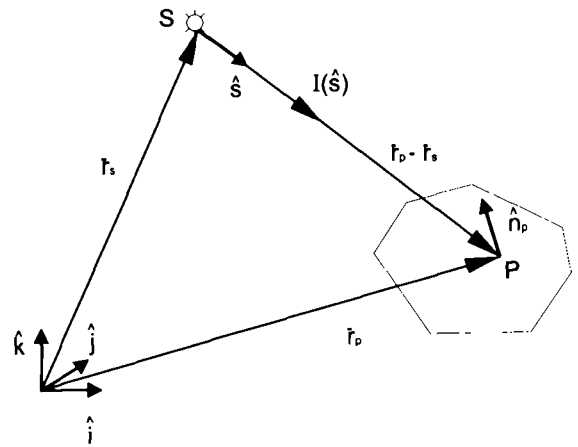


Рис. 8.5. К расчету освещенности от точечного излучателя

Выражение $|\hat{s} \cdot \hat{n}_p|$ представляет собой скалярное произведение векторов \hat{s} и \hat{n}_p . Численно равно косинусу угла падения луча, оно взято по модулю, так как для принятого направления вектора \hat{s} (по ходу луча) это произведение имеет отрицательное значение.

Уравнение (8.6) представляет собой фундаментальный закон фотометрии — *закон квадратов расстояний*, выраженный в наиболее универсальной векторной форме.

Значение силы света $I(\hat{s})$ определяется светораспределением излучателя и его ориентацией относительно выбранного базиса. Чтобы найти это значение, необходимо определить вектор \hat{s} в системе координат излучателя. Для этого удобно ввести базис излучателя $(\hat{i}', \hat{j}', \hat{k}')$, связан его с направлениями его главных осей: продольной \hat{i}' , поперечной \hat{j}' и оптической \hat{k}' (рис. 8.6,а)***.

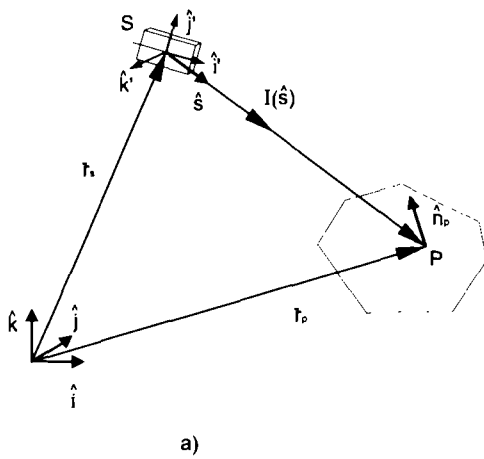
В общем случае орты базиса излучателя $(\hat{i}', \hat{j}', \hat{k}')$ удобно выразить через орты общего базиса, или базиса сцены $(\hat{i}, \hat{j}, \hat{k})$, с помощью коэффициентов l_q, m_q, n_q ($q = 1, 2, 3$), представляющих собой направляющие косинусы осей базиса излучателя относительно общего базиса сцены:

$$\begin{cases} \hat{i}' = l_1 \hat{i} + m_1 \hat{j} + n_1 \hat{k}, \\ \hat{j}' = l_2 \hat{i} + m_2 \hat{j} + n_2 \hat{k}, \\ \hat{k}' = l_3 \hat{i} + m_3 \hat{j} + n_3 \hat{k}. \end{cases} \quad (8.8)$$

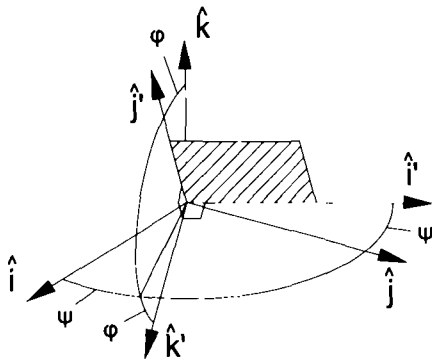
Эти коэффициенты образуют матрицу

$$M = \begin{bmatrix} l_1 & m_1 & n_1 \\ l_2 & m_2 & n_2 \\ l_3 & m_3 & n_3 \end{bmatrix} \quad (8.9)$$

* Здесь под излучателем понимается любой элемент ОУ, используемый в качестве первичного источника света. Это может быть и единственный СП, и группа СП (например, установленных в линию), и светящийся потолок, световой карниз и т.п.
 ** Здесь и далее векторные величины обозначены жирным шрифтом и имеют надстрочный индекс: \vec{r} — у обычных векторов и у единичных.
 *** Для осесимметричных излучателей достаточно задания направления оптической оси, т.е. вектора \hat{k}' .



а)



б)

Рис. 8.6. Расположение излучателя и объекта в сцене (а) и ориентация базиса излучателя относительно базиса сцены (б). Плоскость светового отверстия излучателя заштрихована

для перевода вектора \hat{s} базиса сцены с направляющими косинусами $\{s_1, s_2, s_3\}$ в вектор \hat{s}' базиса излучателя с направляющими косинусами $\{s'_1, s'_2, s'_3\}$. тогда:

$$\hat{s}' = M \hat{s}. \quad (8.10)$$

В наиболее важных практических случаях базис сцены связывается с освещаемым объектом (помещением, зданием, полотном дороги, спортивной площадкой и т.п.) так, чтобы орты \hat{i}, \hat{j} определяли горизонтальную плоскость, а орт \hat{k} — направление зенита, при этом орт базиса излучателя \hat{i}' (продольная ось несимметричного СП, а следовательно, и продольная ось линейного ИС) располагается горизонтально (что имеет место в подавляющем большинстве случаев). При таких условиях для ориентации излучателя в сцене достаточно использовать два параметра: азимутальный угол ψ , определяющий отклонение продольной оси излучателя (орт \hat{i}') от одной из горизонтальных осей базиса сцены (например, орта \hat{j}), и полярный угол φ , определяющий отклонение поперечной оси излучателя (орт \hat{j}') от вертикали сцены (орта \hat{k}) (рис. 8.6.б). В этом случае матрица M принимает вид:

$$M = \begin{bmatrix} -\sin \psi & \cos \psi & 0 \\ \cos \psi \sin \varphi & \sin \psi \sin \varphi & \cos \varphi \\ \cos \psi \cos \varphi & \sin \psi \cos \varphi & -\sin \varphi \end{bmatrix}, \quad (8.11)$$

и в соответствии с (8.10) направляющие косинусы вектора \hat{s}' равны:

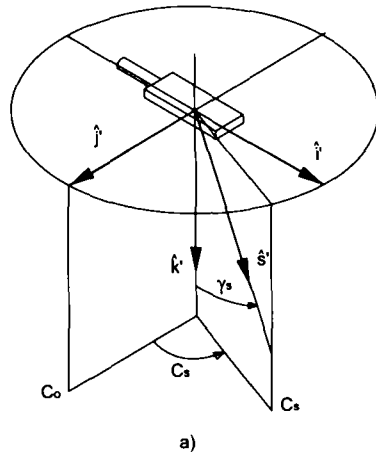
$$\begin{cases} s'_1 = -s_1 \sin \psi + s_2 \cos \psi, \\ s'_2 = s_1 \cos \psi \sin \varphi + s_2 \sin \psi \sin \varphi + s_3 \cos \varphi, \\ s'_3 = s_1 \cos \psi \cos \varphi + s_2 \sin \psi \cos \varphi - s_3 \sin \varphi. \end{cases} \quad (8.12)$$

В зависимости от системы фотометрирования координирующие вектор \hat{s}' углы, для которых определяется сила света $I(\hat{s})$, рассчитываются по следующим формулам:

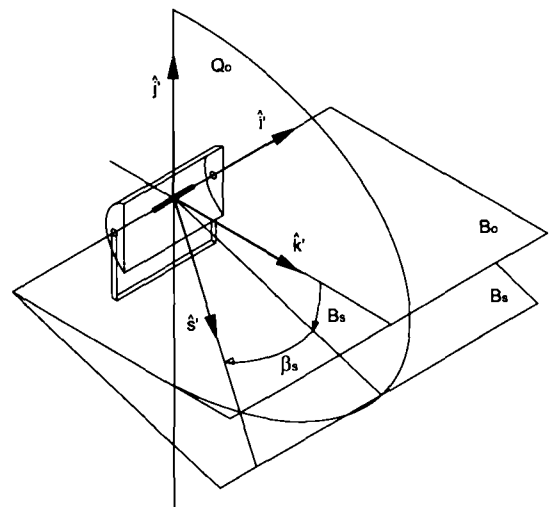
— для системы (C, γ) (рис. 8.7.а):

$$C_s = \text{sign}(s'_1) \arccos(s'_2 / \sqrt{1 - (s'_3)^2}), \quad (8.13)$$

$$\gamma_s = \arccos(s'_3). \quad (8.14)$$



а)



б)

Рис. 8.7. Ориентация базиса излучателя в системах (C, γ) (а) и (B, β) (б)

– для системы (B, β) (рис. 8.7.б):

$$B_s = \text{sign}(s'_j) \arccos(s'_j / \sqrt{1 - (s'_j)^2}). \quad (8.15)$$

$$\beta_s = -\text{sign}(s'_j) \arccos(\sqrt{1 - (s'_j)^2}). \quad (8.16)$$

Для найденных углов C_s, γ_s или B_s, β_s непосредственное определение силы света $I(C_s, \gamma_s)$ или $I(B_s, \beta_s)$ осуществляется путем интерполяции исходных табличных значений сил света $I(C_j, \gamma_j)$ или $I(B_j, \beta_j)$, заданных в узлах прямоугольной сетки. Выбор типа интерполяции связан с требованиями точности расчета. Для большинства практических задач МКО рекомендует использовать линейную или квадратичную интерполяцию [8.10]. При необходимости более высокой точности может быть применена бикубическая сплайн-интерполяция [8.11]. Важным условием корректности применения нелинейных типов интерполяции является недостижимость пересечения интерполяционной кривой оси абсцисс, т.к. в этом случае возникают отрицательные значения силы света.

Линейный излучатель. Это такой излучатель, у которого по одному из размеров светящей поверхности не выполняется указанный выше критерий точности. При ручной технологии понятие линейного излучателя широко использовалось при расчете освещенности как от одиночного СП (например, светильника с ЛЛ) на близком расстоянии, так и от группы СП, установленных в линию. В качестве основной характеристики светораспределения такого излучателя выступала удельная (с единицы длины) КСС, получаемая делением реальной КСС СП либо непосредственно на его длину, либо на его длину плюс разрыв между соседними СП при их установке в линию с разрывами. При этом КСС в продольном и поперечном сечениях аппроксимировались аналитическими функциями, что позволяло произвести интегрирование по всей линии и получить компактные и удобные для расчета аналитические формулы. Понятно, что такой подход позволяет снизить трудоемкость расчета, но при этом возникают трудно оцениваемые погрешности, связанные с условностью аналитической аппроксимации КСС реальных СП с учетом разрывов в линии, неоднородностью светораспределения по длине светильника.

При компьютерной технологии проблема трудоемкости расчета таких задач снимается, и поэтому расчет от группы СП, установленных в линию, осуществляется простым суммированием освещенностей от каждого СП. Так, для линии из N СП освещенность в точке \vec{r}_p равна

$$E(\vec{r}_p) = \sum_{i=1}^N \frac{I(\hat{s}_i)}{|\vec{r}_p - \vec{r}_{s,i}|^2} |(\hat{s}_i \cdot \hat{n}_p)|. \quad (8.17)$$

На рис. 8.8.а показан пример расстановки трех СП с шагом Δu по линии OO' , заданной вектором $\vec{r}_{s,1}$ и ортом \hat{j} . Нацеливание принято таким, что оптические оси всех СП (орты \hat{k}') перпендикулярны линии расположения световых центров излучателей OO' и пересека-

ют линию нацеливания AA' , заданную вектором \vec{r}_A и ортом \hat{j} . В этом случае орт оптической оси \hat{k}' равен

$$\hat{k}' = \frac{\vec{r}_A - \vec{r}_{s,1}}{|\vec{r}_A - \vec{r}_{s,1}|}, \quad (8.18)$$

а угол наклона оптической оси относительно горизонта —

$$\varphi = \arccos(\hat{k}' \cdot \hat{i}). \quad (8.19)$$

Отметим, что для данной ориентации угол $\psi = 0$ (рис. 8.6. б).

Входящий в (8.17) вектор $\vec{r}_{s,i}$ определяется как

$$\vec{r}_{s,i} = \vec{r}_{s,1} + (i-1)\Delta u \hat{j}, \quad i = 1, 2, 3, \quad (8.20)$$

а вектор \hat{s}_i — по формуле (8.7) для соответствующего вектора $\vec{r}_{s,i}$.

К этому же случаю относится расчет освещенности от протяженного щелевого световода. Если его светораспределение задано одной усредненной удельной (с единицы длины) КСС $J_{cp}(C, \gamma)$ [кд/м] или набором из N удельных КСС $\{J_i(C, \gamma)\}$, полученных для каждого i -го участка оптической щели световода длиной $l_{щс}$, то освещенность $E(\vec{r}_p)$ в расчетной точке P определится как

$$E(\vec{r}_p) = \frac{l_{щс}}{N} \sum_{i=1}^N \frac{J_i(\hat{s}_i)}{|\vec{r}_p - \vec{r}_{s,i}|^2} |(\hat{s}_i \cdot \hat{n}_p)|. \quad (8.21)$$

Сюда же относится случай, часто встречающийся в практике архитектурного освещения. Протяженный светильник (или группа светильников) располагается вдоль и близко от РП, например, стены. В первом приближении такой светильник можно представить в виде совокупности N светильников с КСС $I_i(\hat{s}) = I(\hat{s})/N$, расположенных в линию, и рассчитать освещенность на РП от таких светильников по формуле (8.17). Для более корректных расчетов необходимо учитывать светораспределение таких излучателей в ближней зоне (см. ниже).

Другим важным случаем является расположение СП по окружности. Показанный на рис. 8.8. б пример соответствует размещению четырех СП по окружности радиусом R на высоте h над РП. При этом нацеливание СП принято таким, что их оптические оси (орты \hat{k}') перпендикулярны этой окружности и параллельны на окружности радиусом R_A , расположенную в плоскости, параллельной РП, на высоте h_A . Для такого случая —

$$\hat{k}' = \frac{\vec{r}_{A,1} - \vec{r}_{s,1}}{|\vec{r}_{A,1} - \vec{r}_{s,1}|}, \quad (8.22)$$

где $\vec{r}_{A,1} = R_A \hat{i} + h_A \hat{k}$, а угол наклона оптической оси φ относительно горизонта определяется по формуле (8.19) со знаком минус перед ортом \hat{k}' . Как и в предыдущем случае, угол $\psi = 0$.

Поверхностный излучатель. Это такой излучатель, у которого по обоим размерам светящей поверхности не выполняется критерий точности. Как и

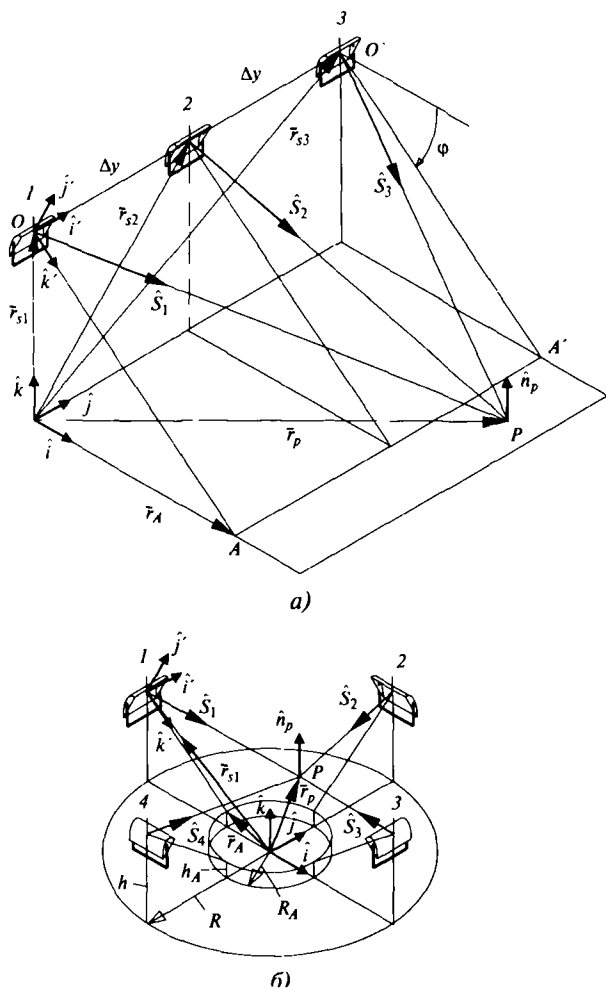


Рис. 8.8. К расчету освещенности от линейного излучателя при расположении излучателей в линию (а) и по окружности (б)

в случае линейного излучателя, этот тип излучателя широко использовался при ручной технологии расчета. При этом большинство практических случаев базируется на двух важных допущениях: излучение имеет диффузный (ламбертовский) характер и равномерно распределено по поверхности излучателя. Это позволяет при расчетах прямого переноса излучения с одной поверхности на другую оперировать только геометрическими параметрами: формой и размерами поверхностей, участвующих в таком переносе, а также их взаимным расположением. Влияние этих факторов учитывается параметром, называемым *угловым коэффициентом*, определяемым как доля светового потока одной поверхности, попавшая непосредственно на другую.

Этот показатель имеет в литературе много разных наименований: угловой коэффициент, коэффициент использования, коэффициент связи, коэффициент формы, форм-фактор и др. В наибольшей степени терминология по данному вопросу получила развитие в

теплотехнике, где различают следующие типы угловых коэффициентов [8.12]:

- *элементарный*, определяющий условия обмена излучением между двумя элементарными площадками;
- *локальный* — то же, между элементарной площадкой и поверхностью конечных размеров;
- *средний* — то же, между двумя поверхностями конечных размеров.

Те же коэффициенты с учетом многократных отражений называются *разрешающими*, а при наличии поглощающей среды — *обобщенными*.

Угловые коэффициенты обладают рядом важных свойств, которые позволяют эффективно использовать эти параметры в практических расчетах. К таким свойствам относятся [8.12]:

- *свойство замыкаемости*, в силу которого для замкнутой системы, состоящей из N тел, $\sum_{j=1}^N F_{ij} = 1$

($i = 1, 2, \dots, N$), где F_{ij} — угловой коэффициент i -й поверхности относительно j -й;

- *свойство взаимности*, в силу которого $F_{ij} A_i = F_{ji} A_j$, где A_i и A_j — площади i -й и j -й поверхностей;

- *свойство совмещаемости*, в силу которого $F_{12} = F_{13} = F_{10}$, если освещаемые поверхностью A_1 поверхности A_2 и A_3 имеют общую проекцию A_0 . (рис. 8.9);

- *свойство распределительности*, в силу которого $F_{ij} = F_{i1j} \frac{A_{i1j}}{A_i} + F_{i2j} \frac{A_{i2j}}{A_i}$, если поверхность A_j состоит из двух частей: $A_j = A_{j1} + A_{j2}$;

- *свойство затеняемости*, в силу которого $F_{12} = F_{21} = 0$, если между поверхностями 1 и 2 имеется третья поверхность, препятствующая распространению излучения между ними.

На базе этих свойств были разработаны различные эффективные методы расчета угловых коэффициентов, например, *алгебра угловых коэффициентов* [8.13], позволяющие решать многие практические задачи в области теплотехники и светотехники. Для большого разнообразия геометрических тел, их дифференциальных элементов и их взаимного расположения угловые коэффици-

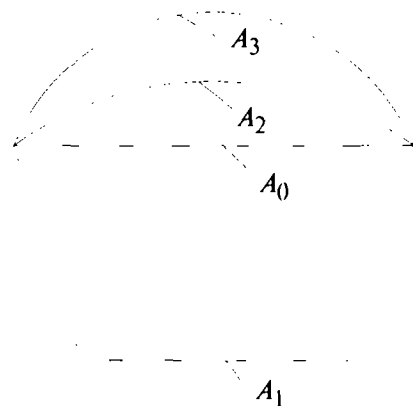


Рис. 8.9. Иллюстрация к свойству совмещаемости угловых коэффициентов

циенты определены в аналитической форме и приводятся во многих справочных изданиях, например, [8.12], [8.14], [8.15].

Однако в компьютерной технологии используется более универсальный подход, свободный от указанных допущений и не связанный с конкретной формой и расположением излучателя. Светящая поверхность разбивается на совокупность элементов, для каждого из которых должен удовлетворяться критерий точечности. Такой элемент заменяется точечным излучателем с эквивалентным светораспределением относительно центра элемента. Так, если i -й элемент площадью ΔA_i и нормалью \hat{n}_i имеет распределение яркости $L_i(\vec{r}_s, \hat{s})$, то сила света эквивалентного точечного излучателя —

$$I_i(\hat{s}) = \int_{\Delta A_i} L_i(\vec{r}_s, \hat{s}) (\hat{s} \cdot \hat{n}_i) dA_i, \quad (8.23)$$

В случае однородности излучения по светящей поверхности излучателя, т.е. $L_i(\vec{r}_s, \hat{s}) = L(\hat{s})$ (что имеет место, например, в световых потолках), выражение для силы света любого точечного излучателя может быть упрощено: $I(\hat{s}) = L(\hat{s}) (\hat{s} \cdot \hat{n}) \Delta A$. В результате освещенность $E(\vec{r}_p)$ в точке РП от всего поверхностного излучателя, замененного совокупностью N эквивалентных точечных излучателей, определяется суммированием освещенностей от всех таких точечных излучателей (см. формулу (8.17)).

Существует ряд задач, где допущение об однородности излучения по светящей поверхности некорректно. Сюда относятся случаи расчета распределения освещенности на поверхности потолка от близко расположенного подвесного светильника, излучающего в верхнюю полусферу. Другой важный случай относится к области архитектурного освещения, когда необходимо определить распределение освещенности на стене от близко установленного прожектора, свет которого скользит по стене. Очевидно, что здесь критерий точечности не выполняется, и использование в расчетах КСС приводит к большим ошибкам.

В западной литературе [8.15] подход к решению задачи расчета светораспределения в такой ближней зоне получил название *фотометрия ближней зоны (near-field photometry)*, в отличие от *фотометрии дальней зоны (far-field photometry)*, где критерий точечности выполняется. Общие подходы к решению такой задачи, базирующиеся на понятии светового поля, были известны давно [8.16], [1], однако в последние годы была более четко сформулирована их практическая интерпретация. В настоящее время выделяются два основных метода для определения освещенности в *ближней зоне*.

В первом методе, названном *фотометрией расчетных плоскостей (application-distance photometry)*, светильник фотометрируется в нескольких параллельных плоскостях, расположенных перпендикулярно оптической оси светильника [8.17]. По этим данным путем интерполяции может быть рассчитано распределение освещенности в любой промежуточной плоскости.

Во втором методе, названном *фотометрией поля яркости (luminance-field photometry)*, выделяется массив точек окружающего СП пространства, расположенных на равном расстоянии от его светового центра, в каждой из которых фотометрируется индикатриса яркости [8.18]. Для получения таких данных может быть использовано устройство с цифровым сканированием (CCD video camera) [8.19]. В отличие от предыдущего метода здесь освещенность может быть найдена не только для любого расстояния от светильника, но и при любой ориентации расчетной плоскости.

8.4.2. Метод коэффициента использования

В эпоху ручной технологии *метод коэффициента использования* являлся одним из базовых методов и широко применялся в проектной практике, позволяя быстро (в рамках указанной технологии) оценить предлагаемое решение. Особенно широкое развитие этот метод получил в работах Г.М. Кнорринга [13]. Однако с переходом на компьютерную технологию его роль существенно снизилась. В силу указанных ниже допущений он используется в основном для приближенных оценок при проектировании ОУ.

В своем основном практическом применении метод предназначен для расчета средней освещенности на РП в помещении. Основными допущениями метода являются:

- однородность (т.е. равномерное распределение) светимости отражающих поверхностей (как вторичных излучателей), окружающих освещаемое помещение;
- диффузность (т.е. ламбертовский характер) светимости этих поверхностей;
- усреднение коэффициентов отражения по отражающим поверхностям.

Основной расчетной формулой метода является:

$$E_{\text{ср}} = \frac{N \Phi_{\text{сп}} \eta_{\text{оу}}}{A_p K_3}, \quad (8.24)$$

где $E_{\text{ср}}$ — средняя освещенность РП; N — число СП в ОУ; $\Phi_{\text{сп}}$ — световой поток одного СП; $\eta_{\text{оу}}$ — коэффициент использования светового потока СП относительно РП; A_p — площадь РП; K_3 — коэффициент запаса*.

Главной проблемой метода является нахождение параметра $\eta_{\text{оу}}$, определяющего долю светового потока СП, попавшую на РП как непосредственно, так и в результате многократных отражений в ОУ. В общем случае $\eta_{\text{оу}}$ зависит от большого числа факторов, каждый из которых имеет комплексный характер. К таким факторам относятся:

- светораспределение СП;
- расположение и ориентация СП относительно РП и отражающих поверхностей;
- коэффициенты отражения окружающих поверхностей;
- геометрия помещения.

* Обычно эта формула используется для расчета освещенности с учетом эксплуатационного срока службы ОУ, поэтому в нее вводится этот коэффициент.

Существует несколько подходов к определению коэффициента использования $\eta_{\text{ой}}$. В методе МЭИ [11], разработанном для прямоугольных помещений, решение задачи представляется в виде системы из трех линейных уравнений, определяющих искомые световые потоки $\Phi_{\text{ф}}$, $\Phi_{\text{с}}$ и $\Phi_{\text{р}}$, установившиеся в результате многократных отражений соответственно на фиктивной поверхности (ФП), стенах и РП, через соответствующие первичные световые потоки $\Phi'_{\text{ф}}$, $\Phi'_{\text{с}}$ и $\Phi'_{\text{р}}$, упавшие на эти же поверхности непосредственно от СП, и разрешающие угловые коэффициенты k_{ij} :

$$\begin{cases} \Phi_{\text{ф}} = \Phi'_{\text{р}} k_{\text{рр}} + \Phi'_{\text{с}} k_{\text{ср}} + \Phi'_{\text{ф}} k_{\text{фф}}, \\ \Phi_{\text{с}} = \Phi'_{\text{р}} k_{\text{рс}} + \Phi'_{\text{с}} k_{\text{сс}} + \Phi'_{\text{ф}} k_{\text{фс}}, \\ \Phi_{\text{р}} = \Phi'_{\text{р}} k_{\text{рр}} + \Phi'_{\text{с}} k_{\text{ср}} + \Phi'_{\text{ф}} k_{\text{фр}}. \end{cases} \quad (8.25)$$

Под ФП здесь понимается плоскость, проходящая на уровне световых центров СП и ограниченная стенами, которая по своему фотометрическому действию заменяет расположенную выше нее полость помещения, образуемую потолком и частью стен помещения выше ФП (рис. 8.10). Этой поверхности приписывается некий условный коэффициент отражения $\rho_{\text{ф}}$, равный

$$\rho_{\text{ф}} = \frac{\rho_{\text{ср.ф}} u_{\text{ф}}}{1 - \rho_{\text{ср.ф}} (1 - u_{\text{ф}})}, \quad (8.26)$$

где $\rho_{\text{ср.ф}}$ — средневзвешенный (по площади) коэффициент отражения верхней полости, определяемый через коэффициенты отражения потолка $\rho_{\text{пот}}$ и стен $\rho_{\text{с}}$, длину a и ширину b помещения и высоту верхней полости $h_{\text{ф}}$:

$$\rho_{\text{ср.ф}} = \frac{\rho_{\text{пот}} ah + 2\rho_{\text{с}} h_{\text{ф}} (a + b)}{ab + 2h_{\text{ф}} (a + b)}; \quad (8.27)$$

$u_{\text{ф}}$ — коэффициент использования светового потока верхней полости относительно ФП:

$$u_{\text{ф}} = \frac{ab}{ab + 2h_{\text{ф}} (a + b)}. \quad (8.28)$$

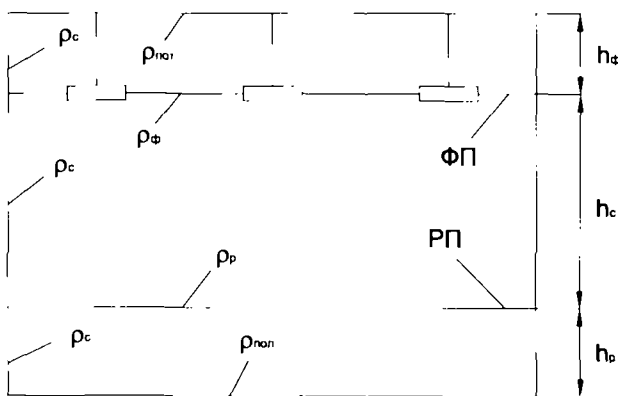


Рис. 8.10. Схема расположения ФП и РП (в вертикальном разрезе помещения)

Аналогично определяется условный коэффициент отражения РП $\rho_{\text{р}}$ для нижней полости высотой $h_{\text{р}}$, между полом с коэффициентом отражения $\rho_{\text{пол}}$ и РП:

$$\rho_{\text{р}} = \frac{\rho_{\text{ср.р}} u_{\text{р}}}{1 - \rho_{\text{ср.р}} (1 - u_{\text{р}})}, \quad (8.29)$$

где средневзвешенный коэффициент отражения нижней полости $\rho_{\text{ср.р}}$ и коэффициент использования светового потока нижней полости относительно РП $u_{\text{р}}$ —

$$\rho_{\text{ср.р}} = \frac{\rho_{\text{пол}} ab + 2\rho_{\text{с}} h_{\text{р}} (a + b)}{ab + 2h_{\text{р}} (a + b)}, \quad (8.30)$$

$$u_{\text{р}} = \frac{ab}{ab + 2h_{\text{р}} (a + b)}. \quad (8.31)$$

Все четыре стены в методе рассматриваются как единая вогнутая поверхность, что позволяет сократить число уравнений в системе (8.25) с шести до трех. Многократные отражения, возникающие внутри такой вогнутой поверхности учитываются коэффициентом многократных отражений стен $\gamma_{\text{с}}$:

$$\gamma_{\text{с}} = \frac{1}{1 - \rho_{\text{с}} (1 - F_{\text{сф}} - F_{\text{ср}})}, \quad (8.32)$$

где $F_{\text{сф}}$ и $F_{\text{ср}}$ — угловые коэффициенты стен относительно ФП и РП соответственно, выражаемые через $F_{\text{фр}}$ — угловой коэффициент ФП относительно РП:

$$F_{\text{сф}} = F_{\text{ср}} = (1 - F_{\text{фр}}) \frac{ab}{2h_{\text{с}} (a + b)}, \quad (8.33)$$

где $h_{\text{с}}$ — высота стен от РП до ФП, или вводя понятие *индекса помещения*

$$i = \frac{ab}{h(a + b)}, \quad (8.34)$$

выражение (8.33) принимает вид (в данном случае $h = h_{\text{с}}$):

$$F_{\text{сф}} = F_{\text{ср}} = (1 - F_{\text{фр}}) \frac{i}{2}. \quad (8.35)$$

Используя свойства угловых коэффициентов, можно выразить разрешающие угловые коэффициенты k_{ij} через $F_{\text{фр}}$, i , $\gamma_{\text{с}}$ и соответствующие коэффициенты отражения ФП, РП и стен. Так, для первого уравнения системы (8.25), определяющего установившийся световой поток на РП, соответствующие коэффициенты выражаются следующими формулами [11]:

$$k_{\text{рр}} = [1 - \rho_{\text{ф}} (1 - F_{\text{фр}}) G] / D, \quad (8.36)$$

$$k_{\text{ср}} = (1 + \rho_{\text{ф}} F_{\text{фр}}) G / D. \quad (8.37)$$

$$k_{\text{фр}} = \rho_{\text{ф}} [F_{\text{фр}} + (1 - F_{\text{фр}}) G] / D, \quad (8.38)$$

где

$$G = \rho_{\text{с}} \gamma_{\text{с}} (1 - F_{\text{фр}}) \frac{i}{2}, \quad (8.39)$$

$$D = 1 - [(1 - F_{\text{фр}}) (2\rho_{\text{ф}} \rho_{\text{р}} F_{\text{фр}} + \rho_{\text{ф}} + \rho_{\text{р}}) G + \rho_{\text{ф}} \rho_{\text{р}} F_{\text{фр}}^2]. \quad (8.40)$$

Входящий в эти формулы коэффициент $F_{\text{ФП}}$, определяющий долю потока ФП, упавшую на РП, определяется уравнением [8.12]:

$$F_{\text{ФП}} = \frac{2}{\pi} \left\{ \frac{1}{2AB} \ln \left[\frac{(1+A^2)(1+B^2)}{1+A^2-B^2} \right] + \frac{\sqrt{1-A^2}}{A} \operatorname{arctg} \frac{B}{\sqrt{1+A^2}} + \frac{\sqrt{1+B^2}}{B} \operatorname{arctg} \frac{A}{\sqrt{1-B^2}} - \frac{1}{A} \operatorname{arctg} B - \frac{1}{B} \operatorname{arctg} A \right\}, \quad (8.41)$$

где $A = a/h_c$, $B = b/h_c$.

Значение коэффициента использования ОУ $\eta_{\text{ОУ}}$ определяется из первого уравнения системы (8.25):

$$\eta_{\text{ОУ}} = (\Phi'_p k_{\text{РП}} + \Phi'_c k_{\text{СР}} + \Phi'_f k_{\text{ФП}}) / \Phi_{\text{СП}}, \quad (8.42)$$

где $\Phi_{\text{СП}} = \Phi'_p + \Phi'_c + \Phi'_f$, а средняя освещенность РП площадью A_p —

$$E_p = \eta_{\text{ОУ}} \Phi_{\text{СП}} / A_p. \quad (8.43)$$

Приведем здесь также соответствующие формулы разрешающих коэффициентов [11] для ФП:

$$k_{\text{РФ}} = \rho_p |F_{\text{ФП}} + (1 - F_{\text{ФП}})G| / D, \quad (8.44)$$

$$k_{\text{СФ}} = (1 + \rho_p F_{\text{ФП}})G / D, \quad (8.45)$$

$$k_{\text{ФФ}} = |1 - \rho_p (1 - F_{\text{ФП}})G| / D, \quad (8.46)$$

и стен:

$$k_{\text{ЗС}} = \rho_p \gamma_c (1 - F_{\text{ФП}}) (1 + \rho_p F_{\text{ФП}}) / D, \quad (8.47)$$

$$k_{\text{СС}} = \gamma_c (1 - \rho_p \rho_f F_{\text{ФП}}^2) / D, \quad (8.48)$$

$$k_{\text{ФС}} = \rho_f \gamma_c (1 - F_{\text{ФП}}) (1 + \rho_p F_{\text{ФП}}) / D. \quad (8.49)$$

Для определения первичных потоков Φ'_f , Φ'_c и Φ'_p существуют разные методы. При ручной технологии наибольшее распространение получил метод Джонса—Нейхарта, базирующийся на использовании таблиц зональных множителей [84], составленных для определенных наборов индекса помещения, формы КСС СП и отношения шага между СП к расчетной высоте — l/h . При этом для облегчения расчетов используют эффект свода [11], связанный с введением ФП. Это позволяет избежать необходимости расчета прямого потока на потолок $\Phi'_{\text{П}}$, который заменяют потоком Φ'_f , упавшим на ФП, равным потоку в верхнюю полусферу. Тем не менее, расчет прямого потока на РП Φ'_p этим методом достаточно трудоемок и индивидуален для каждого СП с разным светораспределением. Поэтому в проектной практике обычно пользуются готовыми таблицами коэффициентов $\eta_{\text{ОУ}}$ в зависимости от коэффициентов отражения ФП, стен и РП и индекса помещения, рассчитанными либо для типовых КСС [84], либо для конкретных СП. При этом учитывается наиболее характерное для данного СП отношение l/h . Многие фирмы-производители приводят подобные таблицы в каталогах своей продукции.

При компьютерной технологии расчет первичных потоков может базироваться на распределении прямой составляющей освещенности по РП $E_{\text{пр}}(\vec{r}_p)$, стенам

$E_{\text{пр}}(\vec{r}_d)$ и ФП $E_{\text{пр}}(\vec{r}_f)$ в соответствии с (8.6). В этом случае прямой поток на какой-либо из этих поверхностей (обозначенной индексом j) равен:

$$\Phi'_j = \frac{A_j}{N_j} \sum_{i=1}^{N_j} E_{\text{пр}}(\vec{r}_{j,i}), \quad (8.50)$$

где A_j — площадь j -й поверхности; N_j — число точек j -й поверхности, в которых определяется освещенность.

Если СП ориентированы оптической осью вниз, перпендикулярно РП и известны их потоки в верхнюю полусферу Φ'_f , то достаточно рассчитать только поток на РП Φ'_p , а поток на стены определить как $\Phi'_c = \Phi'_{\text{СП}} - \Phi'_p - \Phi'_f$.

В случае необходимости более детального учета распределения освещенности по РП и оценки неравномерности освещенности применяют комбинированный метод. Распределение прямой составляющей освещенности рассчитывают точечным методом, а отраженную составляющую — методом коэффициента использования. При этом коэффициент использования ОУ за счет отраженного потока определяется по следующей формуле [11]:

$$\eta_{\text{ОУ,отр}} = [\Phi'_p (k_{\text{РП}} - 1) + \Phi'_c k_{\text{СР}} + \Phi'_f k_{\text{ФП}}] / \Phi_{\text{СП}}. \quad (8.51)$$

Тогда окончательно распределение освещенности на РП выражается суммой прямой и отраженной составляющих:

$$E(\vec{r}_p) = E_{\text{пр}}(\vec{r}_p) + \frac{N \Phi_{\text{СП}} \eta_{\text{ОУ,отр}}}{A_p K_3}. \quad (8.52)$$

причем при определении прямой составляющей $E_{\text{пр}}(\vec{r}_p)$ необходимо учитывать коэффициент запаса K_3 .

Формулу (8.24) можно использовать для *обратной задачи* — определения количества СП, необходимого для обеспечения нормируемого уровня освещенности E_n в ОУ. Однако, учитывая, что в отечественных нормах [44] базисным показателем является не средняя, а минимальная освещенность, в эту формулу вводится коэффициент минимальной освещенности z , равный отношению $E_{\text{ср}} / E_{\text{min}}$. При ручной технологии его, как правило, не рассчитывают, а пользуются рекомендованными значениями, например, $z = 1,15$ [13]. Тогда

$$N = \frac{E_n z A_p K_3}{\Phi_{\text{СП}} \eta_{\text{ОУ}}}, \quad (8.53)$$

а при необходимости определения суммарного потребного светового потока СП используется выражение

$$\Phi_{\text{потр}} = N \Phi_{\text{СП}} = E_n z A_p K_3 / \eta_{\text{ОУ}}. \quad (8.54)$$

Для *обратной задачи*, когда число N и расположение СП заранее не известны, предварительно задаются некоторым числом СП \bar{N} и при их равномерном размещении пад РП по (8.52) определяется предварительное распределение освещенности на РП $\bar{E}(\vec{r}_p)$ и соответственно \bar{E}_{min} . После чего число \bar{N} корректируется, т.е. определяется уточненное число СП: $N = \bar{N} \frac{E_n}{\bar{E}_{\text{min}}}$.

8.5. МЕТОДЫ ГЛОБАЛЬНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

8.5.1. История вопроса и общие положения

Начиная с 80-х годов XX века происходит бурное развитие компьютерной техники в направлении повышения быстродействия и объема памяти, появляются мощные графические станции, а также цветные крупноформатные мониторы с высоким разрешением. Это послужило толчком к появлению нового направления — компьютерной графики, позволившей с помощью математических моделей исследуемого объекта или процесса получать их статическое или динамическое трехмерное цветное изображение, воспринимаемое близко к реальному прототипу. На базе современных математических методов была создана теоретическая база и разработаны компьютерные графические программы — *программы реалистической визуализации*.

На первом этапе своего развития такие программы предназначались, главным образом, для технического дизайна, машиностроительного и архитектурного проектирования и т.п. Реалистичность здесь используется как средство либо оценки качества выбранных решений (архитектурное проектирование, технический дизайн), либо повышения эмоционального воздействия (реклама), либо создания адекватного восприятия реальной обстановки при имитации (видеотренажеры, системы распознавания образов). Освещение же играет хотя и важную, но вспомогательную роль: позволяет выявить форму, цвет, текстуру поверхностей объектов сцены. В качестве ИС в таких программах, как правило, используются условные излучатели, например, в виде равномерно светящейся точки или шара (omni), параллельного или расходящегося пучка лучей (spot), а также в виде некоего фантомного источника для создания фоновое освещение (ambient), который не имеет местоположения и не создает теней. При этом могут использоваться различные световые эффекты: затухание света в пучке, изменение его ширины и формы, цвета и интенсивности. Главное, что такие источники не связаны с реальными СП ни по светораспределению, ни по энергетическим параметрам*.

Первые программы визуализации использовали упрощенные модели, в которых рассматривалось только прямое освещение от конечного числа точечных источников, а процессы переотражения света не учитывались. Это существенно облегчало расчеты, но при этом изображение сцены было далеким от реальности: резкие тени, не освещенная прямым светом поверхность объекта становится черной, а освещенная — выглядит несущественной (пластмассовой). Такое освещение получило название *локального освещения* (*local illumination*).

Начиная с 90-х годов стало оформляться второе направление: появились программы, непосредственно предназначенные для создания фотореалистических образов моделируемых ОУ. Такие программы используются, в основном, в архитектурном освещении для создания цветосветового образа будущей установки. Здесь роль освещения — первостепенна. Должны быть

максимально точно переданы все нюансы, определяющие эмоциональное восприятие моделируемого интерьера или экстерьера. При этом важнейшим принципом такого моделирования является то, что принятые при проектировании модели средства и приемы освещения должны быть адекватны, т.е. обеспечивать в максимальной степени воспроизведение цветосветового образа модели в реальных условиях, и реализуемы на практике. Понятно, что выполнение такого принципа базируется на достаточно точном воспроизведении реальных характеристик ОП и оптических свойств отражающих и пропускающих свет поверхностей, учете процессов переотражения света, затенения ИС и экранирования одних поверхностей другими. Кроме того, в таких программах для большей реалистичности модели широко используются различные цветовые и рельефные текстуры поверхностей; учитывается изменение цветности излучения при его взаимодействии с отражающими и пропускающими поверхностями; присутствует глубокая детализация сцены: большое число элементов интерьера (мебели, офисного и другого оборудования и т.п.), строительные и архитектурные детали в экстерьере зданий, растительность и элементы ландшафта; обеспечивается возможность использования естественного (рассеянного и прямого солнечного) света.

Такой подход к построению математических моделей для программ реалистической визуализации получил в зарубежной литературе по компьютерной графике название *глобального освещения* (*global illumination*). Несмотря на то, что программы визуализации второго направления по своей методологии и целям являются светотехническими, созданы они были не в светотехнической среде, а в среде компьютерной графики. Это наложило отпечаток на принятую здесь терминологию: многие понятия и термины, используемые в настоящее время в светотехнике, привнесены из компьютерной графики. Причем, так как в русскоязычной светотехнической литературе эти вопросы до последнего времени вообще не были освещены, то и русские эквиваленты различных английских терминов еще носят не устоявшийся характер.

Наиболее важными понятиями в глобальном освещении являются:

Сцена — совокупность пространственно расположенного набора геометрических объектов, источников света (СП) и камеры (см. ниже). Описание сцены обычно содержит спецификацию различных свойств ее элементов, включая оптические характеристики отражающих и преломляющих свет поверхностей объектов, их текстуру, цветовые характеристики излучения ИС, колориметрические свойства поверхностей, участвующих в перераспределении света, а при необходимости оптические свойства среды.

Камера (или **наблюдатель**) — условный фотоаппарат (или глаз человека), помещенный в сцену, характеризуемый точкой расположения в сцене, направлением наблюдения и полем охвата сцены, с которыми связывается изображение сцены. Как правило,

* В последних версиях таких программ появилась возможность подгружать ИС с реальным светораспределением в формате ис

изображение сцены строится в перспективной проекции, имитируя реальные условия видения со стороны камеры. Но есть возможность построения и параллельной проекции.

Экранная плоскость — условная плоскость, на которой формируется изображение сцены.

Рендеринг (rendering) — процесс воспроизведения компьютером трехмерного изображения сцены при ее визуализации.

Методология *глобального освещения* помимо основного вопроса — построения яркостной модели сцены — включает в себя и много других, включая построение трехмерных геометрических моделей объектов и их преобразование при перемещении камеры, затенение источников света, экранирование одних объектов другими при наблюдении, растраризация изображения, учет цвета, построение текстур и т.п. Здесь будут освещены только методологические вопросы построения яркостной модели, притом достаточно упрощенно и кратко. В наиболее полном виде информация по этим и связанным с ними вопросам представлена в трудах ежегодных конференций SIGGRAPH (The Special Interest Group for Computer Graphics) — специальной группы в составе ACM (Association for Computing Machinery), объединяющей специалистов по компьютерной графике. Из русскоязычных изданий можно указать [8.20], [8.21] и особенно [8.22], где в наибольшей мере увязаны вопросы компьютерной графики и теоретической фотометрии.

8.5.2. Уравнение визуализации

С фотометрической точки зрения построение изображения сцены сводится к нахождению распределения поля яркости, видимого в направлении камеры. Базисным уравнением *глобального освещения*, связывающим яркость точки отражающей поверхности сцены с яркостью окружающего пространства, является так называемое *уравнение визуализации*, предложенное Дж. Калжиа (J. Kajiya) [8.23]:

$$L(\vec{r}, \hat{s}) = \int_{2\pi} L(\vec{r}, \hat{s}') \rho(\vec{r}, \hat{s}, \hat{s}') |(\hat{s}' \cdot \hat{n})| d\omega(\hat{s}'), \quad (8.55)$$

где $L(\vec{r}, \hat{s})$ — яркость в точке \vec{r} поверхности объекта сцены в направлении камеры, определяемом вектором \hat{s} . Вектор \vec{r} координируется относительно выбранного базиса сцены ($\hat{i}, \hat{j}, \hat{k}$) (рис. 8.11);

$L(\vec{r}, \hat{s}')$ — яркость, видимая из точки \vec{r} в направлении вектора \hat{s}' ;

$\rho(\vec{r}, \hat{s}, \hat{s}')$ — функция *двунаправленного распределения отражения* (bidirectional reflection distribution function), сокращенно — BRDF;

$(\hat{s}' \cdot \hat{n})$ — скалярное произведение вектора падающего луча \hat{s}' и вектора нормали \hat{n} в точке \vec{r} . Для принятого направления вектора \hat{s}' — по ходу луча — эта величина

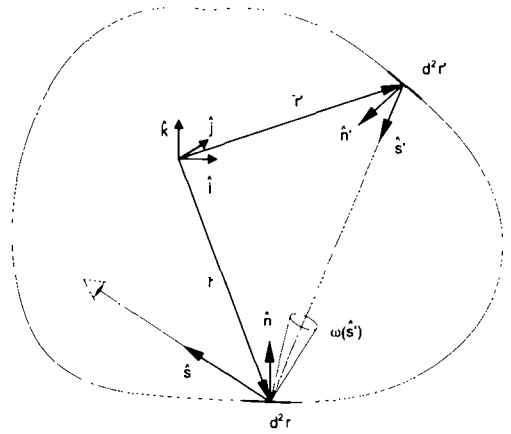


Рис. 8.11. К выводу уравнения визуализации

имеет отрицательное значение, поэтому в уравнении (8.55) берется по модулю:

$d\omega(\hat{s}')$ — элементарный телесный угол относительно вектора падающего луча \hat{s}' .

Функция $\rho(\vec{r}, \hat{s}, \hat{s}')$ характеризует направленность отражающих свойств поверхности и определяется как отношение яркости элемента поверхности, содержащего точку \vec{r} , в направлении \hat{s} , к освещенности этого элемента, обусловленную световым потоком, упавшим на этот элемент в телесном угле $d\omega(\hat{s}')$ в направлении \hat{s}' , т.е.

$$\rho(\vec{r}, \hat{s}, \hat{s}') = \frac{L(\vec{r}, \hat{s})}{dE(\vec{r}, \hat{s}')} = \frac{L(\vec{r}, \hat{s})}{L(\vec{r}, \hat{s}') |(\hat{s}' \cdot \hat{n})| d\omega(\hat{s}')} \quad (8.56)$$

Как видно из определения, функция BRDF имеет размерность $[\text{стер}^{-1}]^*$.

По аналогии с отражающими поверхностями для пропускающих поверхностей используется *функция двунаправленного распределения пропускания* BTDF (bidirectional transmittance distribution function) — $\tau(\vec{r}, \hat{s}, \hat{s}')$. В случае необходимости учета как отражения, так и пропускания удобно использовать обобщенную *функцию двунаправленного распределения рассеяния* BSDF (bidirectional scattering distribution function) — $\sigma(\vec{r}, \hat{s}, \hat{s}')$, определяемую в следующем виде:

$$\sigma(\vec{r}, \hat{s}, \hat{s}') = \begin{cases} \rho(\vec{r}, \hat{s}, \hat{s}') & \text{при } (\hat{s}' \cdot \hat{n}) \leq 0, \\ \tau(\vec{r}, \hat{s}, \hat{s}') & \text{при } (\hat{s}' \cdot \hat{n}) > 0. \end{cases} \quad (8.57)$$

Если точка \vec{r} расположена на светоизлучающей поверхности (т.е. на источнике), то в правую часть уравнения (8.55) необходимо добавить слагаемое, определяющее яркость этой поверхности за счет собственного излучения — $L_0(\vec{r}, \hat{s})$:

$$L(\vec{r}, \hat{s}) = L_0(\vec{r}, \hat{s}) + \int_{2\pi} L(\vec{r}, \hat{s}') \rho(\vec{r}, \hat{s}, \hat{s}') |(\hat{s}' \cdot \hat{n})| d\omega(\hat{s}'). \quad (8.58)$$

* В отечественной литературе вместо BRDF используется коэффициент яркости, являющийся безразмерным и численно равным функции BRDF, умноженной на π . Учитывая, что практически вся литература по глобальному освещению базируется на BRDF, при изложении данного раздела также использован этот параметр.

Это выражение представляет собой интегральное уравнение Фредгольма 2-го рода, для которого характерно наличие неизвестной функции $L(\vec{r}, \hat{s})$ в левой части и под интегралом. Часто для удобства в этом уравнении переходят от интегрирования по телесному углу к интегрированию по поверхности сцены, для чего выражают элемент телесного угла $d\omega(\hat{s}')$ через элемент поверхности $d^2\vec{r}'$ с нормалью \hat{n}' , на который опирается (рис. 8.11):

$$d\omega(\hat{s}') = \frac{(\hat{s}' \cdot \hat{n}')}{|\vec{r} - \vec{r}'|^2} d^2\vec{r}' \quad (8.59)$$

При этом в уравнение (8.58) вводят функцию видимости $V(\vec{r}, \vec{r}')$, определяемую таким образом:

$$V(\vec{r}, \vec{r}') = \begin{cases} 1, & \text{если точка } \vec{r}' \text{ видна из точки } \vec{r}, \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (8.60)$$

Тогда уравнение (8.58) принимает вид:

$$L(\vec{r}, \hat{s}) = L_0(\vec{r}, \hat{s}) + \int_{\Sigma} L(\vec{r}, \hat{s}') \rho(\vec{r}, \hat{s}, \hat{s}') \times \\ \times \frac{(\hat{s}' \cdot \hat{n}')(\hat{s} \cdot \hat{n}')}{|\vec{r} - \vec{r}'|^2} V(\vec{r}, \vec{r}') d^2\vec{r}' \quad (8.61)$$

где Σ — поверхность всех элементов сцены, а вектор \hat{s}' определяется выражением: $\hat{s}' = \frac{\vec{r} - \vec{r}'}{|\vec{r} - \vec{r}'|}$.

Даже при предположении ламбертовского характера отражения, существенно упрощающего уравнение (8.61), получение аналитического решения возможно для исключительного числа случаев (фотометрическая сфера, точечный источник между двух бесконечных плоскостей [8.24]), которые представляют скорее теоретический интерес. Для практических задач были разработаны специальные численные методы. К настоящему времени выявились два главных методологических подхода: *метод излучательности* (radiosity method) и *метод трассировки лучей* (ray tracing method). Каждый из этих методов к настоящему времени имеет много различных вариаций, повышающих их эффективность. Здесь будет изложена только принципиальная сторона каждого метода и даны ссылки для более детального ознакомления.

8.5.3. Метод излучательности

При рассмотрении метода вводится допущение об идеальном диффузном (ламбертовском) отражении, что позволяет легко перейти от яркости к светимости (или освещенности). В этом случае уравнению (8.61) можно придать следующий вид:

$$M(\vec{r}) = M_0(\vec{r}) + \rho(\vec{r}) \int_{\Sigma} M(\vec{r}') V(\vec{r}, \vec{r}') dF(\vec{r}, \vec{r}') \quad (8.62)$$

где $M(\vec{r})$ — светимость в точке поверхности объекта сцены; $M_0(\vec{r})$ — то же, за счет светового потока, упавшего непосредственно от источников (первичная све-

тимость); $\rho(\vec{r})$ — коэффициент отражения поверхности в точке \vec{r} ; $dF(\vec{r}, \vec{r}') = \frac{(\hat{s}' \cdot \hat{n})(\hat{s} \cdot \hat{n}')}{\pi |\vec{r} - \vec{r}'|^2} d^2\vec{r}'$ — элементарный угловой коэффициент, равный доле светового потока элемента площади $d^2\vec{r}'$, упавшей на элемент площади $d^2\vec{r}$ (рис. 8.11).

Метод излучательности реализуется путем замены интеграла в уравнении (8.62) конечной суммой N слагаемых в соответствии с разбиением на элементы всех поверхностей сцены, участвующих в процессе перераспределения света. В пределах таких элементов светимость M_i и коэффициент отражения ρ_i принимаются постоянными. При этом функцию видимости V_{ij} удобно включить в (средний) угловой коэффициент F_{ij} , который в этом случае определяет долю светового потока конечного элемента ΔA_j , упавшую на конечный элемент ΔA_i , с учетом выполнения условия видимости (8.60), тогда:

$$M_i = M_{0,i} + \rho_i \sum_{j=1}^N M_j F_{ji} \quad (8.63)$$

где

$$F_{ji} = \frac{1}{\Delta A_i} \int_{\Delta A_i} \int_{\Delta A_j} \frac{\cos \delta_i \cos \delta_j}{\pi r_{ij}^2} V_{ij} dA_i dA_j \quad (8.64)$$

где

$$r_{ij} = |\vec{r}_i - \vec{r}_j|, \quad \cos \delta_i = -((\vec{r}_i - \vec{r}_j) \cdot \hat{n}_i) / r_{ij}, \\ \cos \delta_j = ((\vec{r}_i - \vec{r}_j) \cdot \hat{n}_j) / r_{ij}.$$

Уравнение (8.63) можно представить в виде системы N линейных уравнений:

$$\begin{bmatrix} 1 - \rho_1 F_{11} & -\rho_1 F_{12} & \dots & -\rho_1 F_{1N} \\ -\rho_2 F_{21} & 1 - \rho_2 F_{22} & \dots & -\rho_2 F_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ -\rho_N F_{N1} & -\rho_N F_{N2} & \dots & 1 - \rho_N F_{NN} \end{bmatrix} \times \\ \times \begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ \dots \\ M_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{0,1} \\ M_{0,2} \\ \dots \\ M_{0,N} \end{bmatrix} \quad (8.65)$$

для решения которой могут быть использованы разные методы, в частности, в [8.20] указывается на эффективность использования итерационного метода Гаусса–Зейделя.

Метод излучательности хорошо работает с диффузными отражающими поверхностями. В случае же поверхностей с зеркальными и направленно-рассеянными отражениями, а также с прозрачными преломляющими материалами он практически не применяется. К другим недостаткам метода можно отнести то, что в сложных насыщенных сценах существенно затруднен

учет экранирования одних объектов другими, в частности, при расчете угловых коэффициентов. Для этой цели используется метод трассировки лучей.

8.5.4. Метод трассировки лучей

В основе метода лежит принцип построения траекторий лучей при их распространении в сцене. Он физичен, так как отражает реальные процессы при переносе излучения, и нагляден. Существуют два основных подхода при построении траекторий лучей: в прямом и обратном ходе.

Прямая трассировка лучей. При таком подходе имитируется реальное распространение света: от источника к приемнику (камере). Из источника выпускается пучок лучей и прослеживается путь каждого из них в пространстве сцены. При попадании луча на поверхность объекта сцены определяется отраженный (а в случае светопропускающего материала — и прошедший) луч и далее прослеживается его траектория. Процесс продолжается до тех пор, пока такой луч не попадет на приемник или не покинет сцену. В результате можно получить изображение сцены, видимое камерой.

Однако такой подход неэффективен, так как очевидно, что только незначительная доля вышедших из источника лучей сможет попасть на приемник. И поэтому, чтобы получить на приемнике достаточную информацию, необходимо затратить огромное количество лучей. Это основной недостаток прямой трассировки.

Обратная трассировка лучей. Здесь траектории лучей начинаются на приемнике в направлении объектов сцены и далее к источнику, т.е. в направлении, обратном физическому распространению света. При такой схеме исключаются все «непужные» (не попавшие на приемник) лучи. Однако если строить такие траектории, то очевидно, что очень малой доле вышедших из точки наблюдения лучей удастся попасть на источник. Поэтому применяют иную схему: при попадании луча на объект определяется его яркость в направлении наблюдателя, состоящая из двух составляющих: прямой — от источника света — и отраженной — от других объектов сцены. Однако учет отраженной составляющей, особенно при диффузном, а тем более при направленно-рассеянном отражении, представляет собой сложную задачу, требующую больших затрат расчетного времени. Поэтому во многих применяемых в настоящее время моделях трассировки лучей применяются упрощенные алгоритмы, базирующиеся на следующих допущениях:

- рассматриваются только точечные ИС,
- отражение от поверхности прямого света ИС разделяется на диффузную и направленно-рассеянную составляющие с заданными коэффициентами ρ_d и ρ_s ;
- индикатриса отражения направленно-рассеянной составляющей определяется зависимостью $f(\varphi) = C_0 \cos^n \varphi$, где C_0 — коэффициент, определяемый из условия нормировки и равный $C_0 = \frac{n+2}{2 \cos \Theta_0}$, где Θ_0 — угол падения луча (модель Фонга [8.25]);

– составляющая многократных отражений учитывается введением рассеянной составляющей яркости $L_a = \rho_a E_a / \pi$ путем приписывания всем поверхностям некой постоянной освещенности E_a и коэффициента рассеянного отражения ρ_a .

Для такой модели яркость луча (рис. 8.12), идущего из точки \vec{r} в направлении наблюдателя \hat{s} , при наличии N источников света определяется выражением:

$$L(\vec{r}, \hat{s}) = \rho_a \frac{E_a}{\pi} + \sum_{i=1}^N \frac{I_i(\hat{s}')}{\pi r_i^2} \times \left[\rho_d |(\hat{s}' \cdot \hat{n})| + \rho_s \frac{n+2}{2} (\hat{s} \cdot \hat{s}'_{s,i})^n \right], \quad (8.66)$$

где $I_i(\hat{s}')$ — сила света i -го источника в направлении \hat{s}'_i в точку \vec{r} ; r_i — расстояние от i -го источника до точки \vec{r} ; $\hat{s}'_{s,i}$ — вектор, зеркальный по отношению к падающему лучу \hat{s}'_i , определяемый как $\hat{s}'_{s,i} = \hat{s}'_i - 2(\hat{n} \cdot \hat{s}'_i)\hat{n}$.

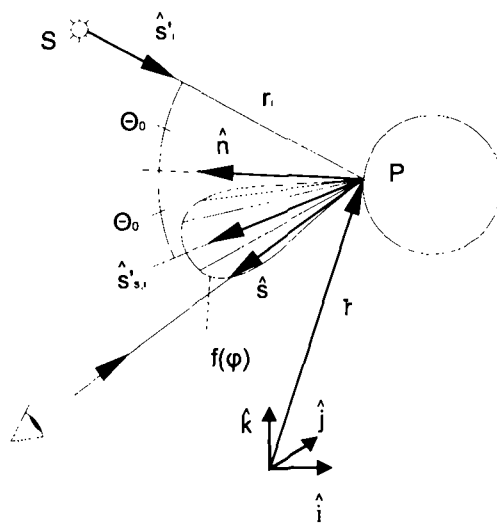


Рис. 8.12. Схема обратной трассировки лучей

Понятно, что при наличии светопропускающих элементов в сцене в уравнение (8.66) должны быть добавлены соответствующие члены с коэффициентами τ_a , τ_d и τ_s .

В более сложных моделях отраженная составляющая определяется с использованием статистических алгоритмов (Монте-Карло) [8.26]. Достоинством таких моделей является корректность при описании процесса распространения света в сцене. Однако при этом необходимо хранить большие объемы информации о сложных моделях направленного рассеяния при каждом акте отражения. Кроме того, имеется присущая статистическим методам медленная сходимость решения.

Существенным недостатком метода обратной трассировки является зависимость построенного изображения от позиции наблюдателя. При ее изменении необходимо строить изображение заново. Поэтому эффективным считается сочетание прямой и обратной трассировки.

сировки, когда обратная трассировка используется для просцирования изображения на плоскость экрана, а прямая — для учета затенения, экранирования и расчета прямой составляющей.

В наиболее развитых моделях используется синтез методов излучательности и трассировки. В частности, трассировка используется для расчета угловых коэффициентов с учетом затенения.

8.6. МЕТОДЫ РАСЧЕТА КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

В отличие от освещенности остальные нормируемые показатели традиционно относят к качественным показателям, хотя формально они выражаются в количественной мере и, естественно, подлежат расчету. В этом названии отражена та роль, которая отведена этим показателям: характеризовать качество освещения в ОУ.

8.6.1. Коэффициент пульсации

Нормами проектирования [44] предусмотрено ограничение значения коэффициента пульсации освещенности $K_{п}$ при освещении помещений РЛ, питаемыми частотой до 400 Гц.

Основной расчетной формулой для определения $K_{п}$ является [8.27] —

$$K_{п} = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{2E_{\text{ср}}}, \quad (8.67)$$

где E_{\max} , E_{\min} и $E_{\text{ср}}$ — соответственно максимальное, минимальное и среднее значения освещенности за период в расчетной точке.

При расчете $K_{п}$ удобно представить его в виде двух составляющих: $K_{п} = K_{п,и} K_{п,оу}$, где $K_{п,и}$ — коэффициент пульсации ИС, а $K_{п,оу}$ — коэффициент пульсации ОУ, определяемый условиями расфазировки СП и соотношением освещенностей, создаваемых в расчетной точке СП от разных фаз.

Коэффициент пульсации ИС $K_{п,и}$ определяется временной зависимостью светового потока ИС $\Phi(t)$, которая для РЛ с достаточной для практики точностью аппроксимируется формулой —

$$\Phi(t) = \Phi_{\min} + \Phi_a |\sin(\omega t)|^n, \quad (8.68)$$

где Φ_{\min} и Φ_a — соответственно минимальное и амплитудное значение светового потока ИС за период; ω — угловая частота; t — время, n — эмпирический показатель, равный 1,0 — для ЛЛ, 1,7 — для ДРЛ и ДРИ и 5,0 — для ДКсТ [8.27].

На основании экспериментальных и расчетных данных для основных типов ИС в табл. 8.2 приведены значения коэффициента $K_{п,и}$ с учетом схем расфазировки при установке двух или трех ИС в одной точке.

Коэффициент пульсации ОУ $K_{п,оу}$ определяется выражением [8.28]:

$$K_{п,оу} = \frac{a_A + a_B m_B + a_C m_C}{1 + m_B + m_C}, \quad (8.69)$$

Значения коэффициента пульсации ИС Кл.и, в % [71]

Тип ИС	Схема расфазировки ИС		
	в одну фазу	в две фазы	в три фазы
Лампа накаливания	10 15	6–8	1
Люминесцентные лампы:			
ЛБ	34	14,4	3
ЛД	55	23,3	5
ЛДЦ	40–72	17–30	3–7
ЛБЦТ	26	11	2
ЛХБ	33	14	3
ЛТБ	21	9	2
ЛЕЦ	64	27	6
КЛЛ	32	13,5	3
Разрядные лампы высокого давления:			
ДРЛ	58	28	2
ДРИ (Na, Sc)	48	23,5	1
ДРИ (Na, In, Tl)	37	18	2
ДНаТ	77	37,7	9
ДКсТ	130	65	5

где $a_i = F_{i,\min} - F_{i,\max}$, ($i = A, B, C$ фазы сети); $F_{i,\min}$ и $F_{i,\max}$ — минимальное и максимальное значение функции $F(t) = |\sin x|^n$ для соответствующих фаз; $m_B = E_B / E_A$, $m_C = E_C / E_A$ — отношения освещенностей в расчетной точке ОУ от СП, подключенных к соответствующим фазам.

В табл. 8.3а и табл. 8.3б приведены значения $K_{п,оу}$ при $E_A = 100\%$ для ЛЛ и РЛ ВД соответственно.

Таблица 8.3а

Значения коэффициента пульсации ОУ $K_{п,оу}$ с ЛЛ, в % [71]

0	$E_B / E_A, \%$										$\frac{E_B}{E_A}, \%$
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
100	88,5	79,3	71,5	64,9	59,9	54,5	51,2	48,0	45,0	42,3	0
	77,4	69,0	62,6	56,9	52,3	47,8	44,9	41,8	39,4	37,4	10
		60,8	54,8	49,5	45,2	41,5	39,4	36,8	34,4	32,3	20
			48,9	44,2	40,2	36,9	34,8	32,3	30,0	27,8	30
				39,2	35,4	32,6	30,2	27,9	25,9	23,4	40
					31,4	28,5	26,3	24,2	22,2	19,8	50
						25,7	23,4	21,2	19,2	17,2	60
							20,9	18,4	16,6	14,8	70
								16,3	14,2	12,4	80
									12,3	10,4	90
										8,9	100

Значения коэффициента пульсации ОУ $K_{п.оу}$ с ДРЛ и ДРИ, в % [71]

$E_B / E_A, \%$											$E_C, E_A, \%$
0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
100	88	79	71,5	66	61,5	58	54,5	52	50,5	49	0
	76	68	61,5	57	53	50	47,5	45	43,4	42,5	10
		59	53,5	49	45,5	42,5	40	38,5	37,5	36	20
			46,5	42	39	36,5	34,5	33	31,5	31	30
				36,5	33	31	29,5	27,5	27	26,5	40
					28,5	26,5	24,5	23,5	22	21,5	50
						22	18	16	16	15,4	60
							23	22	21	20	
							14,5	12,7	11,7	11,5	70
							19	18	17	16,4	
								9,9	8,4	7,9	80
								14,9	14,1	13,4	
									6	4,9	90
									11,2	10,6	
										2,6	100
										8	

Примечание. В числителе – для ДРЛ, в знаменателе – для ДРИ.

8.6.2. Показатель ослепленности

В отечественной практике для регламентации слепящего действия светильников в промышленных ОУ используется *показатель ослепленности* [84] –

$$P = 1000 \frac{K}{L_{рп}} \left[\sum_{i=1}^N \left(\frac{E_{v,i}}{\theta_i^2} \right)^{3/2} \right]^{2/3}, \quad (8.70)$$

где K – коэффициент, зависящий от яркости и спектрального состава источника блескости; $L_{рп}$ – яркость РП, кд/м²; $E_{v,i}$ – вертикальная освещенность на глазу наблюдателя от i -го СП, лк; θ_i – угол между линией зрения наблюдателя и направлением на i -тый СП, град; N – число СП, учитываемых при расчете.

Значение коэффициента K определяется в зависимости от максимальной яркости блеского источника в направлении глаза наблюдателя L_{max} :

$$K = \begin{cases} 9,46 & \text{при } L_{max} \geq 10^6 \text{ кд/м}^2, \\ (3 \lg L_{max} - 8,54) a & \text{при } L_{max} < 10^6 \text{ кд/м}^2, \end{cases} \quad (8.71)$$

где a – коэффициент неэквивалентности, учитывающий влияние спектрального состава излучения блеского источника, значения которого приведены в табл. 8.4.

Значение коэффициента неэквивалентности a для разных типов ИС [71]

Тип ИС	ЛП	ЛЛ					РЛ ВД		
		ЛТЬ	ЛБ, ЛБЦТ	ЛЕ	ЛХБ, ЛТБЦ	ЛДЦ	ДНаГ	ДРИ, ДРЛ(10)	ДРЛ(6)
a	1,0	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	0,9	1,2	1,3

Расчет показателя ослепленности P проводится для наблюдателя, располагаемого у середины торцевой стены помещения при горизонтальной линии зрения, направленной к середине противоположной стены и проходящей па высоте 1,2 м от пола. Яркость РП $L_{рп}$ определяется освещенностью, создаваемой всей совокупностью N СП на РП в точке P расположения наблюдателя на высоте 0,8 м от пола (рис. 8.13).

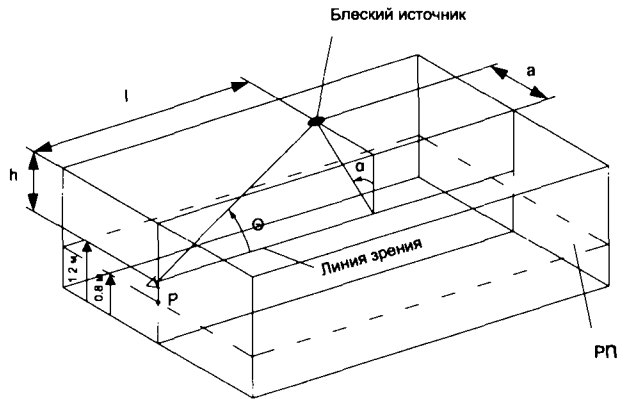


Рис. 8.13. К расчету показателя ослепленности. Точка P – расчетная точка для определения $L_{рп}$

За рубежом, в основном для дорожного и туннельного освещения, слепящее действие СП регламентируется *приращением пороговой разности яркостей* TI (Threshold Increment) (см. раздел 15).

8.6.3. Показатель дискомфорта

В отечественной практике для регламентации зон с повышенной яркостью (например, светящая поверхность СП, светящийся потолок и т.п.), создающих ощущение дискомфорта, используется *показатель дискомфорта* [84] –

$$M = \left[\sum_{i=1}^N \frac{L_i^2 \omega_i}{p_i^2 L_a} \right]^{0.5}, \quad (8.72)$$

где L_i – средняя яркость i -го пятна повышенной яркости в направлении наблюдателя, кд/м²; ω_i – телесный угол, стягивающий i -е пятно относительно наблюдателя, стер; L_a – средняя яркость поля адаптации наблюдателя, кд/м²; p_i – индекс позиции i -го пятна относи-

тельно линии зрения наблюдателя по Гуту (Guth S.); N — число пятен в поле обзора наблюдателя. Для определения индекса позиции блеского источника может быть использована следующая зависимость [8.15]:

$$p = \exp \{ (35,2 - 0,31889\alpha - 1,22e^{2\alpha/9}) 10^{-3} \theta + (21 + 0,26667\alpha - 0,002963\alpha^2) 10^{-5} \theta^2 \}, \quad (8.73)$$

где α — угол между вертикалью и плоскостью, проходящей через линию зрения наблюдателя и источник, град; θ — угол между линией зрения наблюдателя и направлением на источник, град. (рис. 8.13).

За рубежом при оценке блескости различают *слепящую блескость* (disability glare), характеризующую физиологическое снижение видимости за счет наличия в поле зрения источников большой яркости, и *дискомфортную блескость* (discomfort glare), связанную с психологическим состоянием неудовлетворенности и раздражения, вызванным наличием зон повышенной яркости в поле зрения. Для внутреннего освещения, в основном, ограничиваются рассмотрением только дискомфортной блескости.

В настоящее время практически повсеместно (за исключением США и Канады) для оценки дискомфортной блескости используется рекомендованный МКО *обобщенный показатель блескости UGR (Unified Glare Rating)* [8.29], позволивший перейти от качественной оценки дискомфортной яркости к расчетному показателю —

$$UGR = 8 \lg \left[\frac{0,25}{L_a} \sum_{i=1}^N \frac{L_i^2 \omega_i}{p_i^2} \right], \quad (8.74)$$

где все параметры аналогичны параметрам формулы (8.72).

Формула (8.74) справедлива для источников малого размера, у которых $0,003 \leq \omega \leq 0,1$.

Для больших светящихся равноярких поверхностей (светящие потолки) рекомендуется показатель GGR (*Large room «Great room» Glare Rating*) [8.30]:

$$GGR = \left(\frac{0,18}{CC} - 0,18 \right) 8 \lg \left(\frac{0,785}{E_{in}} \frac{L^2 \omega}{p^2} \right) + \left(1,18 - \frac{0,18}{CC} \right) \times \times 8 \lg \left[\frac{2 \left(1 + \frac{E_d}{220} \right)}{(E_d + E_{in}) \left(\frac{L^2 \omega}{p^2} \right)} \right], \quad (8.75)$$

где CC — (ceiling coverage) отношение светящей площади источника (потолка) к освещаемой площади (пола), деленной на число источников (например, в случае, если светящийся потолок состоит из ряда светящихся элементов); E_d и E_{in} — соответственно прямая (от источника) и отраженная (от окружающих поверхностей) составляющие освещенности на глазу наблюдателя, лк; L и ω — соответственно средняя яркость и телесный угол источника, кл/м² и стер; p — индекс позиции.

В американской практике распространен показатель VCP (*Visual Comfort Probability*), рекомендованный

Североамериканским светотехническим обществом (IESNA) [8.15]:

$$VCP = \frac{100}{\sqrt{2\pi}} \int_{\infty}^G e^{-t^2/2} dt, \quad (8.76)$$

где верхний предел интеграла $G = 6,374 - 1,3227 \ln DGR$ определяется через показатель DGR (*Discomfort Glare Rating*), аналог показателя UGR:

$$DGR = \left[\sum_{i=1}^N \frac{0,5 L_i Q_i}{p_i L_a^{0,44}} \right]^N 0,0914, \quad (8.77)$$

где $Q = 20,4\omega + 1,52\omega^{0,2} - 0,075$.

8.6.4. Цилиндрическая освещенность

Средняя цилиндрическая освещенность $E_{Ц}$, характеризующая насыщенность помещения светом при преимущественно горизонтальном направлении линии зрения, определяется средней плотностью светового потока Φ на боковой поверхности вертикального цилиндра с бесконечно малыми высотой h и диаметром d :

$$E_{Ц} = \lim_{\substack{d \rightarrow 0 \\ h \rightarrow 0}} \frac{\Phi}{\pi dh}. \quad (8.78)$$

Для случая точечного излучателя, располагаемого в точке \vec{r}_s (рис. 8.14) относительно произвольного базиса (\hat{i} , \hat{j} , \hat{k}), цилиндрическая освещенность $E_{Ц}$ в точке \vec{r}_p определяется по формуле:

$$E_{Ц}(\vec{r}_p) = \frac{I(\hat{s})}{|\vec{r}_p - \vec{r}_s|^2} \sqrt{1 - (\hat{s} \cdot \hat{k})^2}, \quad (8.79)$$

где $I(\hat{s})$ — сила света излучателя в направлении точки \vec{r}_p , определяемом вектором $\hat{s} = \frac{\vec{r}_p - \vec{r}_s}{|\vec{r}_p - \vec{r}_s|}$. Выражение $(\hat{s} \cdot \hat{k})$ представляет собой скалярное произведение векторов \hat{s} и \hat{k} , численно равное косинусу угла θ между направлением луча и осью цилиндра, следовательно, $\sqrt{1 - (\hat{s} \cdot \hat{k})^2} = \sin \theta$.

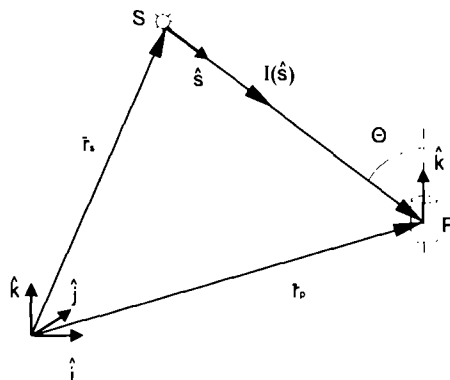


Рис. 8.14. К определению цилиндрической освещенности от точечного излучателя

При необходимости определения цилиндрической освещенности от линейного или поверхностного излучателя, такой излучатель, как и в случае расчета освещенности на плоскости (см. п. 8.4.1), представляется в виде совокупности точечных излучателей, и расчет проводится путем суммирования освещенностей $E_{ц,i}$ от каждого i -го излучателя с использованием формулы (8.79).

8.6.5. Показатель неравномерности освещенности

Для характеристики неравномерности распределения освещенности (яркости) используются разные показатели. Наибольшее распространение имеют *коэффициенты неравномерности*, определяемые в случае освещенности как:

$$U_1 = \frac{E_{\max}}{E_{\min}} \quad (8.80)$$

и

$$U_2 = \frac{E_{\max}}{E_{\text{ср}}}, \quad (8.81)$$

где E_{\max} , E_{\min} и $E_{\text{ср}}$ — соответственно максимальное, минимальное и среднее значение освещенности на РП. В ряде случаев берутся обратные величины, тогда эти показатели называются *коэффициентами равномерности*.

Подразумевается, что значения E_{\max} и E_{\min} выбираются из совокупности значений $\{E_i\}$ в расчетных точках, являющихся узлами прямоугольной сетки на РП, шаг и расположение которой оговаривается для данного вида освещения. Поэтому величины E_{\max} и E_{\min} являются глобальными экстремумами только в рамках данной совокупности $\{E_i\}$. Соответственно среднее значение $E_{\text{ср}}$, определяемое как среднее арифметическое совокупности N значений $\{E_i\}$:

$$E_{\text{ср}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N E_i, \quad (8.82)$$

также зависит от числа и расположения расчетных точек.

Несовершенство этих показателей давно является предметом дискуссий, и в последнее время другие подходы были не только предложены, но и введены в нормативные документы.

Один из таких подходов, приведенный в [8.15], базируется на использовании так называемой *критериальной оценки (criterion rating)*, определяемой как отношение числа расчетных точек N_c , удовлетворяющих данному критерию, к общему числу рассматриваемых точек N . Так, например, при нормировании средней освещенности $E_{\text{норм}}$, соответствующий критерий IL (*illuminance rating*) определяется как $IL = N_c / N$, где N_c — число расчетных точек, для каждой из которых выполняется условие: $E_i \geq E_{\text{норм}}$.

Более совершенным является показатель CV (*Coefficient of Variation*), т.е. *коэффициент вариации*, статистически учитывающий разброс значений $\{E_i\}$:

$$CV = \frac{\sigma(E)}{E_{\text{ср}}}, \quad (8.83)$$

где $E_{\text{ср}}$ — среднее значение, определяемое по (8.82); $\sigma(E)$ — среднее квадратическое отклонение значений $\{E_i\}$ относительно $E_{\text{ср}}$:

$$\sigma(E) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (E_i - E_{\text{ср}})^2}. \quad (8.84)$$

Этот показатель введен, в частности, в [8.31] для оценки равномерности освещенности для спортивного освещения. Отметим, что через показатель CV могут быть выражены и указанные выше традиционные коэффициенты неравномерности:

$$U_1 = \frac{1 + \alpha CV}{1 - \alpha CV}, \quad (8.85)$$

$$U_2 = \frac{1}{1 - \alpha CV}, \quad (8.86)$$

где α — число, определяющее доверительный интервал, в котором оценивается разброс значений $\{E_i\}$ относительно среднего значения $E_{\text{ср}}$. В выборе значения для этого коэффициента пока нет единого подхода: в одних работах, например, [8.32], $\alpha=1$, в других [8.33] — $\alpha=2$.

Отметим, что при нормальном распределении интервал $2\sigma(E)$ охватывает 95% расчетных значений. Таким образом, при такой оценке неравномерности освещенности не учитываются только самые крайние (минимальные и максимальные) значения E_i , которые на практике, как правило, играют незначительную роль, но которые и определяют степень неравномерности оцениваемого распределения освещенности при традиционном способе их расчета по формулам (8.80) и (8.81), что делает его излишне чувствительным.

В том же спортивном освещении для более детальной оценки равномерности горизонтальной освещенности применяется показатель *градиент равномерности* UG (*Uniformity Gradient*), регламентирующий перепад освещенности на каждом шаге расчетной сетки [8.15]:

$$UG_i = \frac{E_i}{E_{i-1}} \leq UG_{\text{норм}}, \quad (8.87)$$

где E_i и E_{i-1} — освещенности в соседних узлах расчетной сетки, при этом $E_i \geq E_{i-1}$, UG_i и $UG_{\text{норм}}$ — соответственно значение на i -м шаге и нормируемое значение показателя UG .

8.7. СВОТТЕХНИЧЕСКОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

В настоящее время на рынке имеется достаточно большой выбор программных продуктов, которые в той или иной степени могут использоваться в качестве *светотехнического программного обеспечения* (СПО) при проектировании ОУ.

8.7.1. Классификация и требования к СПО

Все разнообразие светотехнических программ можно условно разделить на три группы.

К первой группе относятся программы, которые предназначены для моделирования и фотореалистической визуализации трехмерных сцен. Алгоритмы таких программ базируются исключительно на методах *глобального освещения*, что позволяет наиболее полно описать исходные данные проекта, включая светораспределение СП, оптические и колориметрические свойства участвующих в перераспределении света поверхностей, их текстуры, дополнительные элементы сцены (мебель, деревья и т.п.) с учетом их затенения и экранирования. При оценке результатов работы таких программ на первое место выступают эстетические требования. Трудозатраты на создание сцены и ее визуализацию (рендеринг) в таких программах достаточно велики и могут составлять часы и десятки часов даже на высокопроизводительных компьютерах.

Во вторую группу входят программы, которые также могут воспроизводить визуализацию трехмерных сцен, но используют при этом упрощенные алгоритмы *глобального или локального освещения*. Это позволяет существенно снизить трудозатраты на получение резуль-

татов. Применяются эти программы, в основном, когда преобладают светотехнические требования к проекту.

Третью группу составляют программы, предназначенные в основном для расчета утилитарного освещения (освещение дорог и улиц, освещение автотранспортных туннелей, спортивное освещение, освещение открытых пространств, промышленное освещение и др.) с целью проверки удовлетворения принятых проектных решений нормативным требованиям. Эти программы базируются на упрощенных методах расчета. Визуализация объекта в них не обязательна и если используется, то как дополнительное средство визуального контроля правильности ориентации и расположения СП в установке. Трудозатраты на описание объекта здесь минимальны, а расчет выполняется практически мгновенно.

Понятно, что к программам разных групп предъявляются различные требования (табл. 8.5). При выборе программы необходимо учитывать следующие факторы:

- область применения программы: архитектурное или утилитарное освещение;
- характер использования программы: рабочее проектирование ОУ, дизайн-проект или средство для продвижения светотехнической продукции;

Таблица 8.5

Требования к светотехническим программам разных групп

Требование	Группа программ:		
	I	II	III
Наличие интуитивно понятного и удобного интерфейса	+	+	-
Наличие БД СП, позволяющей осуществлять быстрый поиск и просмотр КСС выбранного СП. Возможность подгрузки данных СП в стандартных форматах (ies, ldt)	+	+	-
Наличие удобных средств расположения и ориентации СП в сцене	+	+	-
Использование отечественных и зарубежных нормативных и стандартизированных показателей	-	+	-
Получение расчетных значений нормируемых параметров: освещенности, яркости, равномерности, показателя ослепленности или дискомфорта и др.	+	+	-
Визуализация расчетных показателей (построение изолюкс, люксбергов и т.п., нанесение линий равной яркости или освещенности на освещаемый объект)	-	+	-
Наличие собственных средств для построения трехмерных сцен или возможность их импорта из других программ	+	+	-
Использование оптических и колориметрических характеристик поверхностей сцены, их текстур	+	+	-
Наличие БД материалов и дополнительных элементов сцены (мебели, деревьев и т.п.)	+		-
Фотореалистическая визуализация результатов	+	+	-
Разнообразие форм представления результатов (по проекциям, по ракурсам, по яркостной и цветовой контрастности и др.)	+	-	-
Возможность активного диалога для итерационного расчета и выбора наилучшего варианта	+	+	-
Наличие технической поддержки	+	+	-

Примечание. Знаком «+» помечены необходимые требования, знаком «-» — не обязательные.

- ориентация БД СП: открытая для любых СП или ограниченная только номенклатурой одной фирмы;
- удобство и простота интерфейса, легкость освоения;
- время ввода исходных данных и получения результата;
- возможность многовариантных расчетов в поисках наилучшего решения;
- представление результатов (3D визуализация, двухмерные графики изолукс, таблицы), скомпонованный отчет;
- наличие русскоязычных интерфейса, БД СП, справочника и отчета;
- доступность приобретения и стоимость программы;
- необходимость, доступность и оперативность технической поддержки.

8.7.2. Рынок СПО

К настоящему времени рынок программных средств для светотехнического проектирования достаточно разнообразен и имеет ряд специфических особенностей (табл. 8.6).

Учитывая, что программы групп I и II представляют сложные программные комплексы, их разработка осуществляется, как правило, крупными специализированными фирмами (например, Autodesk). В качестве

разработчиков СПО группы III выступают как производители СП (Philips Lighting), так и небольшие фирмы-разработчики программного обеспечения, создавая продукт либо под заказ производителей СП (например, программа Faellite фирмы OxyTech для компании Facl Luce), либо для продажи на рынке (Lighting Reality, Англия).

Из программ I и II групп наибольшую известность в мире получили такие программные продукты компании Autodesk, как Lightscape, 3D Studio Max и 3D Studio Viz*. Кроме того, в ряде регионов имеют распространение и некоторые другие продукты:

- в Европе и России — программы DIALux и Relux;
- в Северной Америке — программа Radiance, разработанная в LBL (Lawrence Berkeley Laboratory), имеющая встроенный язык и позволяющая при необходимости создавать собственные приложения [8.34];
- в Японии — программа Inspiret фирмы Integra, в разработке которой принимал участие институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН.

Из утилитарных программ III группы отметим следующие:

- для освещения дорог и улиц: Lighting Reality (одноименной фирмы, Англия), Calculux Road (Philips Lighting, Нидерланды), Light-in-Night Road (Светосервис, Россия) (здесь же отметим программу DIALux 3.1, в которой предусмотрен режим расчета уличного освещения);

Таблица 8.6

Особенности рынка СПО

Категория	Группа СПО		
	I	II	III
Наиболее известные программы (фирмы-разработчики)	Lightscape, 3D Studio Viz (Autodesk, США); Radiance (IBL, США); Inspiret (Integra, Япония)	DIALux (DIAL, Германия); Relux (Relux Informatik, Швейцария)	Calculux (Philips Lighting, Нидерланды) — уличное и спортивное освещение, Faellite (Facl Luce, Италия), Lighting Reality (Lighting Reality, Англия) — освещение дорог, Tulip (Rayforge Services, Австралия) — освещение туннелей, а также программы таких известных фирм как Siteco, Thorn, Targetti, Beggelli, E.LGO, Gewiss, и др.
Базы данных СП	Открыта для подключения любых световых приборов в стандартных форматах (IES, LDT)		Закрыта, предназначена исключительно для собственной продукции фирм-производителей СП
Форма распространения, стоимость	В качестве товара на рынке, сотни и тысячи долларов	Путем свободной загрузки в Интернете (DIALux)	а) Для внутреннего пользования или в качестве дополнительной (бесплатной) услуги клиентам фирмы и для презентации фирмы (на рынке отсутствуют); б) Путем свободной загрузки в Интернете (Calculux); в) В качестве товара на рынке (Lighting Reality, Relux), сотни и тысячи долларов
Известность на рынке в России	Lightscape, 3D Studio Viz (Autodesk, США)	DIALux (DIAL, Германия), Relux (Relux Informatik, Швейцария)	Calculux Area (Philips Lighting, Нидерланды), Light-in-Night (Road) (Светосервис, Россия), WinELSO (ППК, Россия), Faellite (Реолог, Россия)

* В данную классификацию не включены такие программные продукты, как AutoCad, ArchiCad и т.п., предназначенные в основном для дизайнерских разработок и не являющиеся светотехническими, хотя в последнее время многие из них стали включать в себя возможности моделировать условия освещения с реальными СП.

– для туннельного освещения: TULIP (Rayforge Services, Австралия);

– для наружного, в частности, спортивного освещения: Calculux Area (Philips Lighting) и Faellite (Faell Luce, Италия).

Появились новые формы распространения программ. Программа DIALux предоставляется для свободной (бесплатной) загрузки с сайта в Интернете. Расходы разработчики возмещают за счет фирм-производителей СП, оплачивающих размещение в этой программе баз данных своих СП. К концу 2004 г. список таких фирм (лицензиатов) состоял из более чем 40 наименований, включая такие известные, как Philips Lighting, Sitecto, Silvania и др. По такому же пути пошли разработчики программы Relux. Это послужило причиной отказа ряда фирм-производителей СП (например, Philips Lighting) разрабатывать собственные программы, особенно для задач трехмерной визуализации.

Кроме того, практически все программы с открытыми БД СП позволяют загружать файлы с фотометрическими данными СП в стандартных форматах (IES, LDT и др.). Многие фирмы-производители СП, с целью продвижения своей продукции на рынке, стали выставлять в Интернете БД производимых светильни-

ков в указанных форматах для свободной загрузки всеми желающими.

8.7.3. Обзор светотехнических программ в России

В данном обзоре, базирующемся в основном на публикациях [8.24] и [8.35], приведены сведения о наиболее известных в России светотехнических программах по состоянию на конец 2004 г. Сводные данные о программах, предназначенных для освещения интерьеров и экстерьеров зданий, т.е. с возможностью визуализации, представлены в табл. 8.7, а для утилитарного наружного (уличного и спортивного) освещения — в табл. 8.8.

DIALux 3.1. Программа разработана германским институтом прикладной светотехники (DIAL). Распространяется свободно по сети Интернет. Позволяет загружать (в виде вспомогательных программ) базы данных СП около 40 ведущих фирм-производителей световых приборов. Кроме того, предоставляет возможность загружать файлы с фотометрическими данными СП в форматах IES и LDT. Программа предназначена для проектирования освещения интерьеров, экстерьеров и дорожного освещения. Она ориентирована на быстрый расчет, поэтому эффективно работает со све-

Таблица 8.7

Основные характеристики светотехнических программ для освещения интерьеров и экстерьеров (группы I и II)

Характеристика	Программа					
	LightScape 3.2	3D Studio Viz 4	DIALux 3.1	Relux Pro.	Faellite 6.0	WinElso 5.3
Разработчик	Autodesk, США		DIAL, Германия	Relux Informa-tik, Швейцария	OxyTech по заказу Faell Luce, Италия	ПИК ¹ , Россия
Сайт: www.	lightscape.com	autodesk.com	dial.de	relux.biz	reolog.ru	cad.ru
Распространение	платное		бесплатное	платное	бесплатное	платное
Поддержка форматов файлов LDT, IES	IES		LDT, IES		нет	
Наличие и качество моделиера	да, высокое		да, среднее		нет	
Поддержка форматов файлов 3ds, dxf	3ds, dxf		dxf		dxf	
Качество визуализации	высокое		среднее		низкое	
Расчет нормируемых показателей	нет		да		да	
Трудоемкость освоения	высокая		средняя		низкая	
Трудоемкость ввода исходных данных	высокая		средняя		низкая	
Трудоемкость расчета	высокая		средняя		низкая	
Русифицированный интерфейс	нет		да	нет	нет	да
Создание отчета	нет		да		да	
Русифицированный отчет	—		да	нет	да	
Соответствие российским методологии, нормам и ГОСТам	нет		нет		нет	да

¹ Российская Промышленная Компания.

Основные характеристики светотехнических программ утилитарного наружного освещения (группа III)

Характеристика	Программа			
	DIALux 3.1 (в режиме паружного освещения)	Calculux (Area, Road)	Faellite 6.0 (в режиме наружного освещения)	Light-in-Night (Road) 2.0
Разработчик	DIAL, Германия	Philips Lighting, Нидерланды.	OxyTech по заказу Fael Luce, Италия	Светосервис, Россия
Сайт: www.	dial.de	lighting.philips.com	reolog.ru	light-in-night.com
Назначение	уличное освещение	уличное и спортивное освещение		уличное освещение
Распространение	бесплатно			
Поддержка форматов файлов LDT, IES	да	нет		
Русифицированный интерфейс	да		нет	да
Русифицированный отчет	да			
Соответствие российским методологии, нормам и ГОСТам	нет			да

нами, не перегруженными мелкими деталями. Основным расчетным методом является метод излучательности. Возможности программы по созданию фотореалистических изображений в значительной степени расширяются при использовании дополнительного средства POV-Ray, вспомогательной программы (трассировщика), алгоритм которой базируется на адаптивной трассировке лучей. Кроме основной, имеются версия для наружного освещения DIALux Ext и упрощенная версия DIALux Light для проведения типовых расчетов. Интерфейс программы русифицирован, имеется также руководство пользователя (Manual) на русском языке.

LightScape 3.2. Этот программный продукт, производимый подразделением Discreet компании Autodesk, является одной из первых программ, в которой удалось реализовать большинство имеющихся на сегодняшний день алгоритмов по расчету распределения яркости в 3D сценах и построения фотореалистических изображений. Алгоритм программы базируется на двух основных методах глобального освещения: излучательности и трассировки лучей. В отличие от других светотехнических программ LightScape позволяет гибко изменять параметры настройки методов визуализации для достижения оптимального соотношения качество/скорость, что ставит этот продукт в один ряд с мощнейшими программами в области 3D графики и визуализации. Имеется также богатый набор инструментов по работе с материалами и текстурами, встроена возможность моделирования и расчета естественного освещения. Программа поддерживает файлы с фотометрическими данными СП в формате IES. К недостаткам программы следует отнести слабый редактор по построению 3D объектов. Поэтому часто для этой

цели используют более развитые в этом отношении программы, например, AutoCad, 3D Studio Max или 3D Studio Viz, тем более, что они тесно связаны между собой и поддерживают форматы файлов друг друга. Это позволяет создавать 3D модели объектов сцены, например, в 3D Studio Max, а затем импортировать их в Lightscape для проведения светотехнического расчета и рендеринга. Кроме того, в программе отсутствует возможность вывода результатов в виде отчета. Интерфейс, справочник и сопроводительная документация на английском языке. В отличие от DIALux это платный продукт и достаточно дорогой.

3D Studio Viz 4. Разработанный компанией Autodesk, этот программный продукт на сегодняшний день является одной из лучших в своем классе программ по светотехническому расчету и визуализации сложных 3D сцен. Она, по существу, явилась синтезом программ Lightscape и 3D Studio Max, предоставляя пользователю не только мощный инструмент для светотехнического расчета, имея все основные процедуры программы Lightscape, но и универсальный моделер, схожий по функциональности с моделером программы 3D Studio Max. Вместе с преимуществами своих прототипов программа 3D Studio Viz переняла и их недостатки: отсутствие выходного отчета, нерусифицированность, высокую стоимость.

Relux Professional. Разработанный компанией Relux Informatik AG (Швейцария) продукт представляет мощный инструмент расчета освещенности при работе с трехмерными объектами. Программа содержит большую базу данных, включающую фотометрические данные светильников около пятидесяти производителей, а также обеспечивает возможность подгружать

данные в форматах IES и LDT. Имеется широкий набор материалов и текстур, что позволяет представить изображение объекта в максимально реалистичном виде. Программа формирует отчет, в котором выводятся на печать результаты расчетов и трехмерное изображение помещения (в OpenGL). Предусмотрены средства для сохранения в базе данных любого желаемого вида объекта освещения вместе с расчетными данными. Кроме расчета освещенности Relux позволяет рассчитывать показатель дискомфорта UGR как для помещения, так и для конкретной точки наблюдения. При этом можно вывести таблицу UGR для каждого светильника. Существенным недостатком программы является отсутствие удобных средств работы с фотометрическими данными. Для каждого проекта необходимо создавать базу данных используемых СП, что затрудняет и замедляет работу с Relux. Программа является платной.

Calculux. Программа фирмы Philips Lighting существует в трех модификациях (INDOOR* — для интерьеров, AREA — для открытых площадок и ROAD — для дорог). Хотя основным форматом данных Calculux является Philips Phillum, программа позволяет вводить и другие фотометрические форматы (IES, LDT, TM14 и др.). Calculux дает возможность рассчитывать освещенность на прямоугольных поверхностях в любой плоскости, определяемой пользователем. В программе можно самостоятельно задавать количество расчетных точек, создавать группы светильников и при этом ориентировать как отдельный светильник, так и целую их группу. В программе AREA задано большое количество стандартных спортивных площадок, что очень удобно при расчете закрытых и открытых сооружений. Есть возможность выбора языка для интерфейса и отчета. Программа предоставляется для свободного скачивания с сайта компании Philips Lighting.

Faellite 6.0. Программа разработана компанией OxyTech (Италия) по заказу компании Fael Luce (Италия) для расчета освещенности и яркости в помещениях, на открытых площадках и на улице. Программа позволяет рассчитать горизонтальную, вертикальную и полуцилиндрическую освещенность, яркость поверхности и коэффициент дискомфорта. Для спортивных объектов и концертных залов программа обеспечивает расчет вертикальной освещенности по направлению к главной и вспомогательным телекамерам. Имеется возможность преобразования фотометрических данных светильников из своего внутреннего формата в другие, наиболее распространенные — TM14, LDT. Кроме того, Faellite 6.0 позволяет при создании сцены использовать созданные в AutoCAD трехмерные модели мебели (в формате DXF). Результаты светотехнических расчетов могут быть представлены в отчете в графическом, табличном или трехмерном виде. Имеется дружественный интерфейс на английском и других европейских языках и возможность вывода отчета на русском языке. Программа распространяется бесплатно.

Win ELSO 5.3. Программа разработана Российской Промышленной Компанией, занимающейся разработкой программного и аппаратного обеспечения для систем автоматизированного проектирования (САПР). Программа входит в состав пакета WinELSO, который представляет собой комплекс программ для проектирования и расчета систем силового электрооборудования и электроосвещения. Пакет внедряется как отдельное выпадающее меню в главное меню программы AutoCAD 2002-2005. В основе светотехнического модуля пакета алгоритмов лежат упрощенные методы расчета: точечный метод для заданной горизонтальной или вертикальной поверхности и метод коэффициента использования для расчета средней освещенности выпуклых помещений или числа СП при их равномерной расстановке в таких помещениях. Фотометрические данные СП формируются и хранятся в формате mdb (Access). Поддержка форматов файлов IES или LDT отсутствует. Программный комплекс является полностью русскоязычным и позволяет получать документацию, соответствующую российским стандартам. Выходные документы формируются в формате программ AutoCAD и Excel. Программа платная и достаточно дорогая, имеется система скидок при покупке вместе с программой AutoCAD 2002-2005.

Light-in-Night Road 2.0. Разработанная российской компанией ЗАО НПСР «Светосервис» программа является специализированным продуктом для расчета уличного и паркового освещения. Программа имеет закрытую БД СП, содержащую номенклатуру уличных и парковых светильников. Программа базируется на российской методологии расчета и отечественных нормах, а также принятых в России фотометрических характеристиках дорожных покрытий. Кроме основных расчетных параметров (распределение яркости и освещенности в графическом и табличном виде) программа позволяет определить другие нормируемые показатели: общий и продольный коэффициенты равномерности, показатель ослепленности, полуцилиндрическую освещенность. Программа, естественно, имеет русскоязычные интерфейс, справку и отчет и обеспечивается оперативной технической поддержкой. Распространяется программа бесплатно с сайта www.light-in-night.com или на CD-ROM через ТД «Светотехника».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 8.1. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. — М.: Наука. ГРФМЛ, 1986.
- 8.2. ГОСТ 16703-79. Приборы и комплексы световые. Термины и определения.
- 8.3. ГОСТ 8045-82. Светильники для наружного освещения. Общие технические условия.
- 8.4. Айзенберг Ю.Б., Ефимкина В.Ф. Осветительные приборы с люминесцентными лампами. — М.: Энергия, 1968.

* Эту версию Philips Lighting прекратил поддерживать и предлагает своим клиентам воспользоваться программой Dialux при решении задач внутреннего освещения.

8.5. Коробко А.А. О некоторых аспектах представления светораспределения световых приборов для программ расчета освещения. Светотехника. 2001, № 6.

8.6. *Publication*: CIE 102. Recommended file format for electronic transfer of luminaire photometric data. Vienna. 1993.

8.7. *TM-14* Standard file format for transfer of luminaire photometric data. CIBSE. 1988.

8.8. *EULUMDAT* File Format Specification \\ <http://www.helios32.com/Eulumdat.htm>

8.9. *IESNA* Recommended Standard File Format for Electronic Transfer of Photometric Data. IESNA LM-63-95. New York: Illuminating Engineering Society of North America, 1995.

8.10. *Publication*: CIE 140-2000. Road lighting calculations.

8.11. Шикин Е.В., Плис А.И. Кривые и поверхности на экране компьютера. Руководство по слайдам для пользователей. М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 1996.

8.12. Блох А.Г., Журавлев Ю.А., Рыжков Л.Н. Теплообмен излучением: Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1991.

8.13. Поляк Г.Л. Алгебра однородных потоков. Известия Энергетического института им. Кржижановского АН СССР, т. 3, вып. 1–2, 1935.

8.14. Хауэлл Дж., Зигель Р. Теплообмен излучением. М.: Мир, 1975.

8.15. *The IESNA* Lighting Handbook, 9-th Edition. IESNA, 2000.

8.16. *Yamauti Z.* Theory of field of illumination. Researches of the Electrotechnical Laboratory. 1932. No 339. Tokyo: Ministry of Communications.

8.17. *Lautzenheizer T., Weller G., Stannard S.* Photometry for near field applications. J. Illum. Eng. Soc. 1984. V. 21(2).

8.18. *Levin R.E.* Photometric characteristics of light controlling apparatus. Illum. Eng. 1971. V. 66(4).

8.19. *Ashdown I.* Near-field photometry: A new approach. J. Illum. Eng. Soc. 1993. V. 22(1).

8.20. Шикин Е.В., Боресков А.В. Компьютерная графика. Динамика, реалистические изображения. — М.: ДИАЛОГ МИФИ. 1996.

8.21. *Иванов В.П., Батраков А.С.* Трехмерная компьютерная графика / Под ред. Г.М. Полищука. М.: Радио и связь, 1995.

8.22. *Будак В.П.* Визуализация распределения яркости в трехмерных сценах наблюдения. — М.: Издательство МЭИ, 2000.

8.23. *Kajiya J.T.* The rendering equation // Computer Graphics (SIGGRAPH'86 Proceedings), 1986. Vol. 20. N 4.

8.24. *Будак В.П., Макаров Д.Н., Смирнов П.А.* Компьютерные программы для светотехнических расчетов осветительных установок // Светотехника. 2004, № 6.

8.25. *Dutré P., Bekaert P., Bala K.* Advanced Global Illumination. Publisher: A K Peters Ltd. 2003. (<http://www.cs.kuleuven.ac.be/~phil/G1/>)

8.26. *Csébfalvi B.* A Review of Monte Carlo Ray Tracing Methods. 1997. <http://www.fsz.bme.hu/~szirmay/mcrt/mcrt.html>

8.27. *Свиридов Ю.И.* Расчет коэффициента пульсации в осветительных установках с газоразрядными источниками света. Светотехника. 1967, № 6.

8.28. *Уткин В.Н.* К расчету коэффициента пульсации освещенности. Светотехника. 1987, № 7.

8.29. *Publication: CIE 117.* Discomfort glare in interior lighting. Vienna. 1995.

8.30. *Publication: CIE 147.* Glare from small, large and complex sources. Vienna. 2002.

8.31. *IESNA Recommended Practice for Sports and Recreational Area Lighting.* IESNA RP-6-01. New York: Illuminating Engineering Society of North America, 2001.

8.32. *Publication: CIE 119.* Gulati V.C., Pai T.R. Illuminance uniformity: need to redefine. Proceedings of the 23rd Session of the CIE, New Delhi 1995, V. 1.

8.33. *Armstrong J.D.* A new measure of uniformity for lighting installations. J. Illum. Eng. Soc. 1990. V. 19(2).

8.34. *Larson G.W., Shakespeare R.* Rendering with radiance: the art and science of lighting visualization. Morgan Kaufmann Publishers. San Francisco. California.

8.35. *Будак В.П., Макаров Д.Н.* Программы расчета и визуализации осветительных установок. Новости светотехники. Вып. 1(41) // Под ред. Ю.Б. Айзенберга. М.: Дом Света, 2004.

ФОРМАТ IES

Правила формирования фотометрических данных по формату IES в соответствии со стандартом IESNA:LM-63-1995

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Фотометрические данные СП записываются в виде текстового файла в кодировке ASCII. Основные параметры и примеры их записи приведены в табл. 8.9. Дополнительные параметры содержатся в Дополнениях 1 и 2 к Приложению.

2. В первой строке указывается формат файла IES по данному стандарту: **IESNA:LM-63-1995**.

3. Далее следуют необязательные (опциональные) параметры с ключевыми словами, значения и примеры записи которых приведены в табл. 8.9. Правила записи строк с ключевыми словами и дополнительные ключевые слова приведены в Дополнении 1.

4. Далее, начиная с первой позиции строки, записывается выражение **TILT=** (обязательная строка). Если световой поток используемой лампы не зависит от наклона СП, то эта строка принимает вид: **TILT=NONE**. В противном случае используются записи **TILT=INCLUDE** или **TILT=<имя файла>**. Правила записи дополнительных строк для этого случая приведены в Дополнении 2.

5. После строки с параметром **TILT=** записываются обязательные строки, состоящие из группы параметров. Значения параметров одной группы можно записывать построчно, как в табл. 8.9, или все в одну строку. Но каждую группу параметров, помещенную отдельной строкой в табл. 8.9, необходимо начинать с новой строки.

6. Последовательность строк и параметров в строке должна строго соответствовать табл. 8.9.

7. Длина всех строк после строки **TILT=** не должна превышать 132 символа. Если запись параметров превышает эту длину, она переносится на последующие строки.

8. Значения параметров в строке отделяются друг от друга разделителем: запятой, одним или несколькими пробелами или символом перевода головки принтера на новую строку.

9. Все числовые данные должны быть в формате REAL (числа с плавающей точкой) за исключением следующих параметров:

- <ориентация лампы> (в случае **TILT=INCLUDE**);
- <число пар углов наклона и множителей> (в случае **TILT=INCLUDE**);
- <число ламп в светильнике>;
- <число полярных углов>;
- <число азимутальных углов>;
- <тип фотометрии>;
- <система единиц>;

которые должны иметь формат INTEGER (целые числа).

10. В одном файле могут быть записаны данные нескольких СП. В этом случае сразу после последней строки предыдущего СП следует первая строка следующего СП.

11. Пример ies-файла приведен в Дополнении 4.

Таблица 8.9

Параметры и пример записи строки в формате IES

Помер строки	Параметр	Пример записи	Примечания
1.	IESNA:LM-63-	IESNA:LM-63-1995	Указатель стандарта
2.	[TEST]	[TEST] Протокол № 25/2	Номер протокола
3.	[DATA]	[DATA] 28.04.2003	Дата протокола (день.месяц.год)
4.	[MANUFAC]	[MANUFAC] ЛЗСИ «Светотехника»	Производитель СП
5.	[LUMCAT]	[LUMCAT] ЖКУ16-250-001 Б	Название СП по каталогу
6.	[LUMINAIRE]	[LUMINAIRE] Для улиц, дорог и площадей	Описание СП

Номер строки	Параметр	Пример записи	Примечания
7.	[LAMP CAT]	[LAMP CAT] ДНаТ 250	Обозначение ИС по каталогу
8.	[LAMP]	[LAMP] Натриевая лампа высокого давления, 250 Вт	Описание ИС
9.	[OTHER]	[OTHER] Отражатель перекрыт защитным стеклом из светостабилизированного поликарбоната	Дополнительная информация
10.	[MORE]	[MORE] Имеет широкую боковую КСС и может применяться для освещения улиц и дорог шириной до 40 м	Строка продолжения
11.	TILT=	TILT=NONE	См. Дополнение 2
12.	<число ламп в светильнике> <световой поток лампы> <множитель> <число полярных углов> <число азимутальных углов> <тип фотометрии> <система единиц> <ширина светильника> <длина светильника> <высота светильника>	1 27000 1 19 37 1 2 0.2 0.43 0.15	См. Пояснение 1 Номинальный световой поток ИС в лм. См. Пояснение 2. Множитель, на который при необходимости могут быть умножены все значения силы света СП. См. Пояснение 3. Углы α , β , γ в соответствующей системе. Углы A , B , C в соответствующей системе. Параметр принимает следующие значения: 1 - для системы (C , γ) 2 - для системы (B , β) 3 - для системы (A , α) Параметр принимает следующие значения: 1 - размеры СП в футах; 2 - размеры СП в метрах. Размер СП по оси 90° – 270° (рис. 8.15) Размер СП по оси 0° – 180° (рис. 8.15) См. Пояснение 4
13.	<коэффициент балласта> <признак версии> <мощность светильника>	1 1 275	Коэффициент, учитывающий различия в световом потоке СП при фотометрировании с лабораторным и реальным ПРА. При отсутствии такой информации принимается равным 1. Параметр, учитывающий версию стапшарта. Для совместимости с предыдущими версиями должен равняться 1. Полная мощность СП в Вт, включая потери в ПРА
14.	<полярные углы>	0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90	Список значений полярных углов в град. в нарастающем порядке. Для системы (C , γ) первое значение 0 или 90, соответственно последнее 90 или 180. Для систем (B , β) или (A , α) первое значение -90 или 0, последнее 90
15.	<азимутальные углы>	0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200 210 220 230 240 250 260 270 280 290 300 310 320 330 340 350 360	Список значений азимутальных углов в град. в нарастающем порядке. Для системы (C , γ) первое значение 0, последнее: 0 - при осесимметричном светораспределении СП (задается одно значение); 90 - при симметрии светораспределения СП относительно обеих главных плоскостей; 180 - при симметрии светораспределения СП относительно оси 0° – 180° ; 360 - при асимметричном светораспределении СП. При наличии симметрии относительно оси 90° – 270° первое значение 90, последнее 270.

Номер строки	Параметр	Пример записи	Примечания
			Для систем (B, β) и (A, α) первое и последнее значения равны соответственно: 0 и 90, если светораспределение симметрично относительно главной продольной плоскости; 90 и 90 в противном случае
16.	<силы света для всех полярных углов при первом азимутальном угле>	262.1 252.8 234.1 234.1 234.1 234.1 234.1 248.1 248.1 224.7 229.4 238.7 243.4 229.4 182.6 84.3 23.4 9.4 9.4	Списки значений сил света СП в $\text{кд/м}^2/1000$ лм по всем полярным углам для каждого азимутального угла. Каждый список значений сил света для каждого азимутального угла должен строго соответствовать списку значений полярных углов.
17.	<силы света для всех полярных углов при втором азимутальном угле>	262.1 224.7 243.4 243.4 262.1 262.1 262.1 262.1 271.5 252.8 299.6 355.8 365.1 402.6 309.0 103.0 28.1 18.7 18.7	Последовательность списков должна строго соответствовать списку значений азимутальных углов. Количество значений сил света каждого списка в строке может быть произвольным с последующим переносом на последующие строки, но в пределах длины строк (132 символа).
18.	<.....>	Первое значение силы света для каждого нового списка (азимутального угла) должно начинаться с новой строки
19.	<силы света для всех полярных углов при последнем азимутальном угле>	262.1 252.8 234.1 234.1 234.1 234.1 234.1 248.1 248.1 224.7 229.4 238.7 243.4 229.4 182.6 84.3 23.4 9.4 9.4	

Пояснения к табл. 8.9:

- В случае использования в одном СП ламп с разными световыми потоками, значение этого параметра должно соответствовать среднему значению светового потока, отнесенному к одной лампе. Таким образом, произведение параметров <число ламп в светильнике> и <световой поток лампы> должно равняться суммарному световому потоку ламп в СП.
- Если значения сил света вводятся в абсолютных единицах, а не приведенных к потоку лампы 1000 лм, то значение параметра <световой поток лампы> должно быть -1 (минус единица).
- Если значения сил света приведены к потоку лампы 1000 лм, то значение параметра <множитель> должно быть равно значению светового потока лампы, выраженного в килолюменах.
- Для имитации точечного СП каждый из параметров <ширина светильника>, <длина светильника> и <высота светильника> должен быть равен 0 (нулю). Для имитации СП в виде светящего круга диаметром D параметр <ширина светильника> должен быть равен $-D$ (минус D), а параметры <длина светильника> и <высота светильника> равны 0 (нулю). Другие возможности задания геометрии СП приведены в Дополнении 3.

Дополнение 1
к Приложению

Таблица 8.10

Дополнительные ключевые слова стандарта
IESNA:LM-63-1995

ПРАВИЛА

записи строк с ключевыми словами

- Ключевые слова заключаются в квадратные скобки и записываются на верхнем регистре, начиная с первой позиции в строке.
- После ключевого слова записывается содержание, соответствующее данному ключевому слову. Строка заканчивается символами конца строки и перевода каретки на новую строку (в ASCII кодировке).
- Полная длина строки не должна превышать 82 символа. Если необходимая запись превышает эту длину, то для продолжения записи в следующей строке используется с ключевое слово **[MORE]**. Число таких строк не ограничено.
- Основной набор ключевых слов приведен в табл. 8.9. Дополнительные ключевые слова, установленные стандартом, приведены в табл. 8.10.

Ключевое слово	Назначение
[NEARFIELD] D1, D2, D3	Указывает, что используются данные по методу фотометрии ближней зоны. D1 — расстояние от светового центра СП до горизонтальной поверхности. D2 — расстояние от светового центра СП до вертикальной поверхности вдоль плоскости 0° . D3 — расстояние от светового центра СП до вертикальной поверхности вдоль плоскости 90° .
[BALAST]	Тип используемого ПРА
[BALASTCAT]	Обозначение ПРА по каталогу
[MAINCAT]	Обозначение типа установки СП (1-6) [8.15]

Окончание таблицы 8.10

Ключевое слово	Пояснение
[DISTRIBUTION]	Основные показатели светораспределения СП, например, Type II, Medium, Direct, SC=1.5) [8.15]
[FLASHAREA]	Площадь проекции светящей поверхности СП на направление 76°, м ² . Используется при расчете показателя дискомфорта по методу МКО [15.19]
[COLORCONSTANT]	Используется при расчете показателя ослепленности по методу МКО [8.15]
[SEARCH]	Созданная пользователем поисковая строка, которая может быть использована программой для поиска фотометрических файлов, основанных на кодированных характеристиках

5. Для группирования дополнительных ключевых строк можно использовать блок строк, начинающийся строкой с ключом **[BLOCK]** и заканчивающийся строкой с ключом **[ENDBLOCK]**. Между этими строками могут быть любые другие ключевые строки. Количество блоков не ограничено.

6. Каждая ключевая строка, за исключением строки **[MORE]**, вне блока и в каждом блоке может присутствовать только один раз.

7. Кроме установленных стандартом могут использоваться ключевые слова, определенные пользователем. Такие слова должны начинаться с подчеркнутого пробела, например, **[_USERKEYWORD]**.

8. Длина ключевых слов (включая скобки) не должна превышать 20 символов.

Дополнение 2
к Приложению

ПРАВИЛА записи строк в случае зависимости светового потока лампы от наклона СП

1. Если световой поток используемой лампы зависит от наклона СП, то в строке с параметром **TILT=** используются запись **TILT=INCLUDE** или **TILT=<имя файла>**.

2. Если используется запись **TILT=INCLUDE**, то после этой строки размещаются четыре дополнительные строки, содержание которых приведено в табл. 8.11:

3. Эту же информацию (четыре строки 11.1–11.4) можно представить в виде отдельного текстового файла, например, с именем **tilt.tit**. В этом случае в строке с параметром **TILT=** используются запись **TILT=tilt.tit**. Длина имени файла не должна превышать 75 символов.

Таблица 8.11

Параметры и пример записи дополнительных строк при **TILT=INCLUDE**

Номер строки	Параметр	Пример записи	Примечания
11	TILT=	TILT=INCLUDE	Нумерация строк в соответствии с табл. 8.9
11.1	<ориентация лампы в светильнике>	2	Параметр принимает следующие значения: 1 — продольная ось лампы по оптической оси СП; 2 — продольная ось лампы по оси 90°–270° СП; 3 — продольная ось лампы по оси 0–180° СП; См. рис. 8.16
11.2	<число углов наклона>	7	Число углов наклона СП
11.3	<углы наклона>	0 15 30 45 60 75 90	Список значений углов наклона СП в град. в нарастающем порядке от 0 до 90 или 180
11.4	<множители>	1.0 0.95 0.94 0.9 0.88 0.87 0.94	Список множителей, учитывающих изменение светового потока лампы при наклоне СП. Последовательность значений множителей должна строго соответствовать списку значений углов наклона

ПРАВИЛА
выбора параметров,
задающих стандартную геометрию СП

1. С помощью присвоения соответствующих значений параметрам **<ширина светильника>**, **<длина светильника>** и **<высота светильника>** можно придать определенную геометрию используемым СП. Принятые в стандарте IESNA:LM-63-1995 вариации геометрических форм СП приведены в табл. 8.12 и на рис. 8.17.

Таблица 8.12

Значения параметров **<ширина светильника>**,
<длина светильника> и **<высота светильника>**
для задания стандартной геометрии СП

Геометрическая форма СП	Значения параметра		
	ширина	длина	высота
Точечный источник	0	0	0
Параллелепипед шириной W , длиной L и высотой H	W	L	H
Круг диаметром D	$-D$	0	0
Сфера диаметром D	$-D$	0	$-D$
Вертикальный цилиндр диаметром D и высотой H	$-D$	0	H
Горизонтальный цилиндр длиной L и диаметром D , расположенный:			
по оси X	0	L	D
по оси Y	L	0	$-D$
Эллиптический диск высотой H и осями L и W , расположенными соответственно:			
по осям X и Y	W	L	H
по осям Y и X	W	$-L$	H
Эллипсоид с расположением оси H по оси Z , а осей L и W соответственно:			
по осям X и Y	$-W$	L	H
по осям Y и X	W	L	$-H$

ПРИМЕРЫ
записи файлов фотометрических данных СП
в формате IESNA:LM-63-1995

Пример 1. Исходная таблица значений сил света светильника в системе (C, γ) . Свстораспределение — осесимметрично, поэтому значения силы света приведены только для одной плоскости C_0 .

Полярный угол γ , град	Сила света, кд/м ² /1000 лм
0	11
5	11
10	12
15	15
20	19
25	27
30	40
35	59
40	74
45	88
50	95
55	103
60	110
65	113
70	111
75	113
80	113
85	113
90	115
95	111
100	111
105	105
110	86
115	52
120	31
125	18
130	9
135	6
140	4
145	3
150	2
155	2
160	1
165	1
170	1
175	1
180	1

Пример записи файла этого свстораспределения в формате IES

```
IESNA:LM-63-1995
[TEST] Протокол №8-36-03
[DATA] 18.05.2003
[MANUFAC] ЛЭСИ "Светотехника"
[LUMCAT] ЖТУ08-100-001
[LUMINAIRE] Для скверов и парков
[LAMPCAT] Днат 100
[LAMP] Натриевая лампа высокого давления, 100 Вт
[OTHER] Отражатель перекрыт защитным стеклом из
[MORE] светостабилизированного поликарбоната
TILT NONE
1 10000 10 37 1 1 2 -0.25 0 0
1 1 100
```

5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125
135	140	145	150	155	160	165	170	175	180		
11	12	15	19	27	40	59	74	88	95	103	110
111	113	113	113	115	111	111	105	86	52	31	18
9	6	4	3	2	2	1	1	1	1		

Пример 2. Исходная таблица значений сил света от светильника в системе (С, γ). Светораспределение имеет две плоскости симметрии, поэтому значения силы света приведены только для одного квадранта.

Полярный угол γ, град	Сила света в кд/м ² /1000 лм для азимутальных углов С в град:										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	
0	226,4	226,4	226,4	226,4	226,4	226,4	226,4	226,4	226,4	226,4	226,4
5	234,8	234,8	234,8	239	239	230,6	230,6	230,6	230,6	230,6	230,6
10	222,2	222,2	218	222,2	222,2	222,2	226,4	226,4	230,6	230,6	230,6
15	226,4	230,6	222,2	222,2	213,8	205,4	201,2	205,4	218	222,2	222,2
20	230,6	230,6	213,8	205,4	201,2	192,9	184,5	169,9	181,7	201,2	201,2
25	239	234,8	213,8	197,1	180,3	166,3	164,1	150,1	142,8	170,1	170,1
30	247,4	234,8	205,4	192,9	171,9	136,9	137,8	131,3	120	151	151
35	255,7	234,8	197,1	180,3	143,4	120,8	114,4	125,7	102,3	126,5	126,5
40	276,7	247,4	192,9	156,5	132,1	112,8	95,1	104,7	89,4	112	112
45	272,5	239	188,7	159,9	128,9	97,5	92,6	88,6	75,7	92,6	92,6
50	310,3	247,4	184,5	147,5	116	103,9	72,5	74,1	67,7	75,7	75,7
55	348	264,1	180,3	136,9	113,6	90,2	74,9	58,8	57,2	64,4	64,4
60	423,5	293,5	159,3	119,2	106,3	91	84,6	54,8	48,3	54	54
65	461,2	318,6	159,3	108,8	92,6	82,2	68,5	45,9	41,1	44,3	44,3
70	431,8	297,7	159,3	110,4	88,6	68,5	60,4	42,7	30,6	32,2	32,2
75	192,9	176,1	92,2	57,2	60,4	50,8	49,1	33	18,5	18,5	18,5
80	50,3	50,3	25,2	19,3	18,5	28,2	22,6	20,9	11,3	11,3	11,3
85	12,6	12,6	12,6	8,9	8,9	8,9	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
90	8,4	8,4	8,4	6,4	7,3	5,6	4	4	3,2	3,2	3,2

Пример записи файла этого светораспределения в формате IES

```
IESNA:LM-63-1995
[TEST] Промекол №8-25-03
[DATE] 28.4.2003
[MANUFACT] ЛЗСИ "Светотехника"
[LUMEN] ЖКУ16-250-001
[LUMINAIRE] Для улиц, коридор и площадей
[LAMP] Днат 250
[LAMP] Натриевая лампа высокого давления, 250 Вт
[REFLECTOR] Отражатель перекрыт защитным стеклом из
[MATERIAL] сверхстабилизированного поликарбоната
UNIT=NONE
IESNA 27 19 10 1 2 0.4 0.2 0
11.50
```

0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
65	70	75	80	85	90							
0	10	20	30	40	50	60	70	80	90			
226,4	234,8	222,2	226,4	230,6	239	247,4	255,7	276,7	272,5	310,3	348	423,5
461,2	431,8	192,9	50,3	12,6	8,4							
226,4	234,8	222,2	230,6	230,6	234,8	234,8	234,8	247,4	239	247,4	264,1	293,5
318,6	297,7	176,1	50,3	12,6	8,4							
226,4	234,8	218	222,2	213,8	213,8	205,4	197,1	192,9	188,7	184,5	180,3	159,3
159,3	159,3	92,2	25,2	12,6	8,4							
226,4	239	222,2	222,2	205,4	197,1	192,9	180,3	156,5	159,9	147,5	136,9	119,2
198,8	110,4	57,2	19,3	8,9	6,4							
226,4	239	222,2	213,8	201,2	180,3	171,9	143,4	132,1	128,9	116	113,6	106,3
92,6	88,6	60,4	18,5	8,9	7,3							
226,4	230,6	222,2	205,4	192,9	166,3	136,9	120,8	112,8	97,5	103,9	90,2	91
82,2	68,5	50,8	28,2	8,9	5,6							
226,4	230,6	226,4	201,2	184,5	164,1	137,8	114,4	95,1	92,6	72,5	74,9	84,6
68,5	60,4	49,1	22,6	5,6	4							
226,4	230,6	226,4	205,4	169,9	150,1	131,3	125,7	104,7	88,6	74,1	58,8	54,8
45,9	42,7	33	20,9	5,6	4							
226,4	230,6	230,6	218	181,7	142,8	120	102,3	89,4	75,7	67,7	57,2	48,3
41,1	30,6	18,5	11,3	5,6	3,2							
226,4	230,6	230,6	222,2	201,2	170,1	151	126,5	112	92,6	75,7	64,4	54
44,3	32,2	18,5	11,3	5,6	3,2							

Пример 3. Исходная таблица значений сил света условного светильника в системе (B, β) . Светораспределение симметрично относительно главной продоль-

ной плоскости B_0 и ограничено нижней полусферой, поэтому значения силы света приведены только для диапазона плоскостей $B = [0^\circ + 90^\circ]$.

Полярный угол β , град	Сила света в $\text{кд/м}^2/1000$ лм для азимутальных углов B в град:						
	0	15	30	45	60	75	90
90	0	0	0	0	0	0	0
80	9	9	8	5	3	1	0
70	106	102	89	63	31	8	0
60	490	473	410	290	145	38	0
50	2430	2347	2033	1437	719	186	0
40	4000	3864	3346	2366	1183	306	0
30	4800	4636	4015	2839	1420	367	0
20	5100	4926	4266	3017	1508	390	0
10	5500	5313	4601	3253	1627	421	0
0	5600	5409	4684	3312	1656	429	0
10	5400	5216	4517	3194	1597	413	0
20	5000	4830	4183	2958	1479	383	0
30	4400	4250	3681	2603	1301	337	0
40	3600	3477	3011	2129	1965	276	0
50	2090	2019	1748	1236	618	160	0
60	470	454	393	278	139	36	0
70	146	141	122	86	43	11	0
80	9	9	8	5	3	1	0
90	0	0	0	0	0	0	0

Пример записи файла этого светораспределения в формате IES

```

IESNA: LM-63-199
[TITLE] Протокол № xx-xx
[DATE] 09.9.2002
[LAMPFAC] Unknown
[LUMCAT] XX-150
[LUMNA:RE
[LAMP:CAT]
[LAMP] Металлогалогенная лампа, 150 Вт
[ILT=NONE
. 1. 100 12 19 7 2 2 0 0 0
. 1 100
-90 -80 -70 -60 -50 -40 -30 -20 -10 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90
. 1E 30 45 60 75 90
. 1E 106 490 2430 4000 4800 5100 5500 5600 5400 5000 4400 3600 2090 470 146 9 0
. 1E 102 473 2347 3864 4636 4926 5313 5409 5216 4830 4250 3477 2019 454 141 9 0
. 1E 89 410 2033 3346 4015 4266 4601 4684 4517 4183 3681 3011 1748 393 122 8 0
. 1E 63 290 1437 2366 2839 3017 3253 3312 3194 2958 2603 2129 1236 278 86 5 0
. 2 3E 145 719 1183 1420 1508 1627 1656 1597 1479 1301 1065 618 139 43 3 0
. 1E 38 186 306 367 390 421 429 413 383 337 276 160 36 11 1 0
. 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
    
```

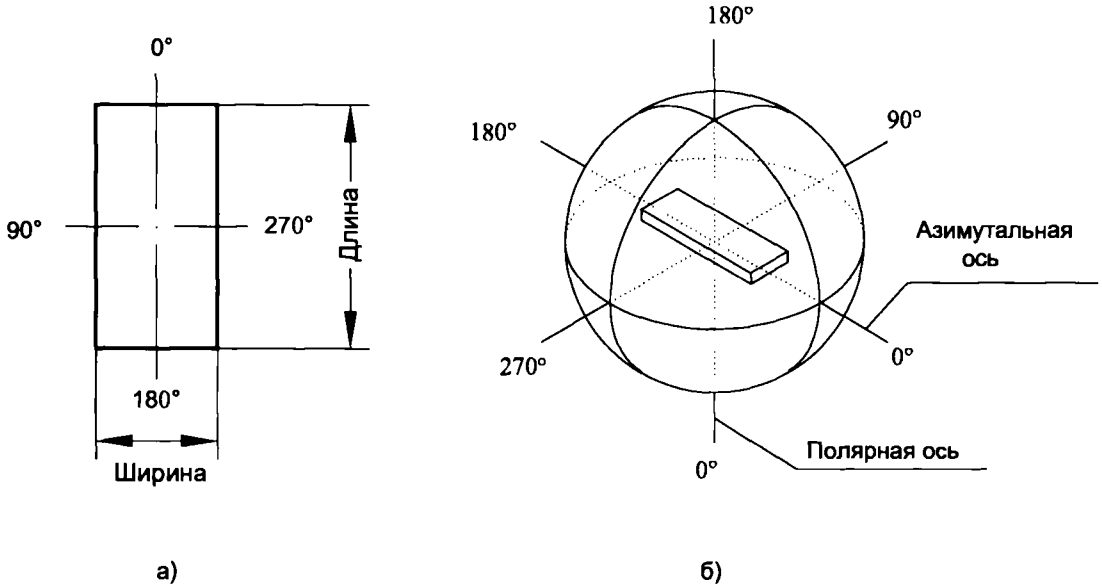


Рис. 8.15. Ориентация СП относительно полярных и азимутальных углов в системе (С, γ) в плане (а) и изометрии (б)

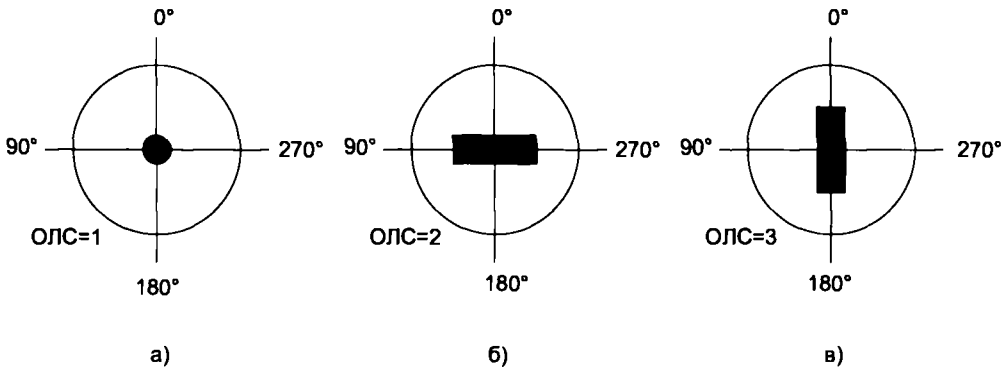


Рис. 8.16. Схемы расположения ИС относительно выходного отверстия СП. Продольная ось ИС расположена: а) по оптической оси СП; б) по азимутальной оси 90°–270°; в) по азимутальной оси 0°–180°. ОЛС — параметр <ориентация лампы в светильнике>

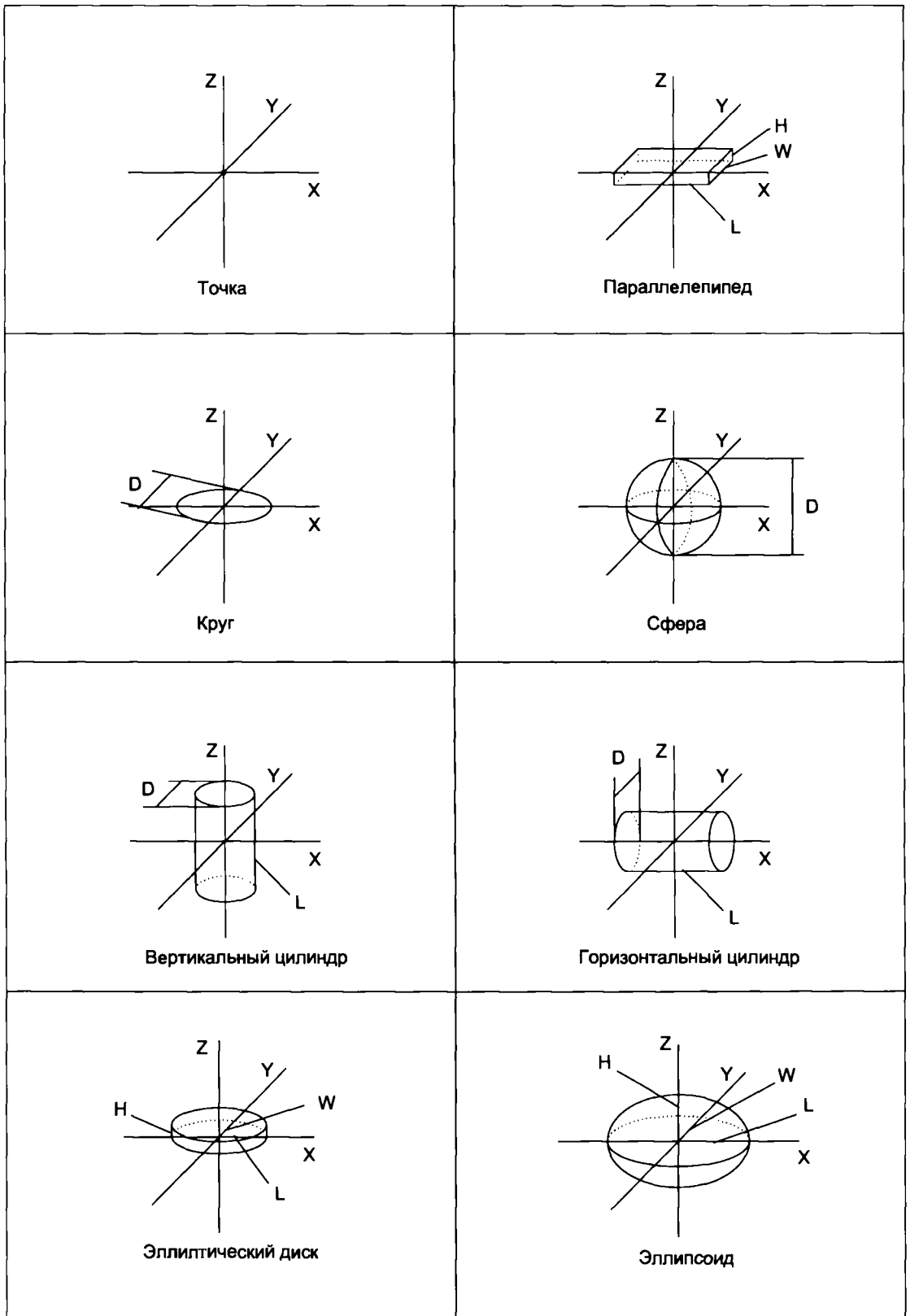


Рис. 8.17. Схемы условных геометрических форм СП. Обозначения: L — длина (ось); W — ширина (ось); H — высота (ось); D — диаметр

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

9.1. ВВЕДЕНИЕ

В данном разделе рассматриваются основные вопросы электрической части ОУ, связанные с питанием и управлением электрическим освещением: выявление электрических нагрузок ОУ, уровни и постоянство напряжения в осветительных сетях, источники и схемы питания, надежность и бесперебойность электроснабжения, способы управления освещением, расчет, защита и выполнение осветительных сетей, электробезопасность, электрооборудование и изделия, используемые в ОУ.

Приведены общие сведения и основные требования к электрической части ОУ.

9.2. РАСЧЕТНЫЕ ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ НАГРУЗКИ

Общие указания. Для выявления мощности трансформаторов и других источников электроэнергии, питающих разные электроприемники, в том числе электрическое освещение производственных предприятий, ОЗ, жилых домов, индивидуальных жилых домов частных сооружений, НО, а также для расчета отдельных звеньев осветительных сетей и выбора параметров электрооборудования требуется определять расчетные осветительные нагрузки. Они, как правило, подсчитываются, исходя из суммарной установленной мощности, полученной в результате светотехнического расчета или фактически имеющейся в данной ОУ.

Установленная мощность определяется суммированием мощности ИС стационарных ОП напряжением выше 50 В и номинальной мощности стационарных понижающих трансформаторов с вторичным напряжением 12–42 В. В ОУ с РЛ в установленную мощность входят потери мощности в ПРА.

В случаях, когда расчетную осветительную нагрузку в ТП бывает необходимо выявить до выполнения светотехнических расчетов, установленная мощность ОУ определяется по средним значениям удельной мощности освещения ($\text{Вт}/\text{м}^2$), выявленным ранее для аналогичных объектов, и размерам освещаемой площади.

Расчетная нагрузка определяется умножением установленной мощности на коэффициент спроса K_c , равный отношению расчетной длительной нагрузки 0-минутный максимум) к установленной мощности.

Коэффициент спроса. Для групповой сети рабочего освещения производственных и общественных зданий, их звеньев сетей АО до любых объектов, НО промышленных предприятий, уличного освещения и открытых спортивных сооружений $K_c=1,0$.

Для производственных зданий значение K_c равно: 1,0 — для мелких производственных зданий и линий, питающих отдельные групповые щитки;

0,95 — для зданий, состоящих из отдельных крупных пролетов;

0,85 — для зданий, состоящих из многих отдельных помещений;

0,8 — для административно-бытовых и лабораторных зданий и промышленных предприятий;

0,6 — для складских зданий, состоящих из многих отдельных помещений, электрических подстанций.

Расчетная нагрузка трансформаторов с вторичным напряжением 12–42 В складывается из установленной мощности стационарных ОП общего и местного освещения и нагрузки переносного освещения исходя из мощности одного ручного ОП, равной 40 Вт при 12 В и 50 Вт при 40 В с K_c , принимаемым в зависимости от степени использования переносного освещения. При отсутствии более точных данных значение K_c для ручных ОП принимается равным 0,5.

Для ОЗ K_c принимается по табл. 9.1.

Штепсельные сети. Расчетная нагрузка линий, питающих штепсельные розетки в ОЗ, определяется по формуле

$$P_{p,ш} = K_{c,ш} P_{y,ш}^n, \quad (9.1)$$

где $P_{p,ш}$ — расчетная нагрузка линии, кВт; $K_{c,ш}$ — расчетный коэффициент спроса, принимаемый по табл. 9.2; $P_{y,ш}$ — установленная мощность электроприемников, в том числе потребителей оргтехники, присоединяемых к штепсельной розетке, принимаемая равной 60 Вт; n — число штепсельных розеток.

Жилые здания. Расчетная нагрузка освещения и электробытовых потребителей жилых домов и общественных определяется в соответствии с нормами [9.1].

Соотношения между осветительными и силовыми нагрузками. При рассмотрении расчетных осветительных нагрузок необходимо отметить различия в соотношениях между осветительными и силовыми нагрузками для производственных и общественных зданий. Эти различия оказывают существенное влияние при выборе источников питания ОУ (см. § 9.4). На большинстве промышленных предприятий осветительная нагрузка колеблется в пределах 8–20% общей по предприятию. В ОЗ в зависимости от их назначения и степени оснащения инженерными системами осветительная нагрузка составляет 40–60% общей.

Коэффициенты спроса для расчета питающей сети рабочего освещения ОЗ и вводов в них

Здания или помещения	Коэффициент спроса при установленной мощности рабочего освещения, кВт								
	менее 5	5–10	10–15	15–25	25–50	50–100	100–200	200–500	более 500
Гостиницы, спальные корпуса и административные помещения детских оздоровительных лагерей	1,0	0,8	0,7	0,6	0,5	0,45	0,4	0,35	0,3
Предприятия общественного питания, детские ясли-сады, учебно-производственные мастерские, профтехучилища	1,0	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6	0,5
Организации и учреждения управления, финансирования, кредитования и государственного страхования, общеобразовательные школы, специальные учебные заведения, учебные здания профтехучилищ, предприятия бытового обслуживания	1,0	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6
Проектные и конструкторские организации, предприятия торговли, парикмахерские	1,0	1,0	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65
Актные залы, конференц-залы (освещение зала и президиума)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	—	—	—
Клубы и дома культуры	1,0	0,9	0,8	0,75	0,7	0,65	0,55	—	—
Кинотеатры	1,0	0,9	0,8	0,7	0,65	0,6	0,5	—	—

Таблица 9.2

Коэффициенты спроса для расчета линий питания штепсельных розеток

Здания или помещения	Для групповых сетей	Для питающих сетей	Для вводов в здания
Организации и учреждения управления, финансирования, кредитования и государственного страхования, проектные и конструкторские организации, общеобразовательные школы, специальные учебные заведения, учебные здания профтехучилищ	1,0	0,2	0,1
Гостиницы*, обеденные залы ресторанов, кафе и столовых, предприятия бытового обслуживания, библиотеки, архивы	1,0	0,4	0,2

* При отсутствии потолочного и карнизного освещения в жилых комнатах гостиниц расчет нагрузки розеточной сети, предназначенной для питания переносных ОП (например, напольных), следует выполнять с учетом коэффициентов спроса, приведенных в табл. 9.1.

9.3. УРОВНИ И ПОСТОЯНСТВО НАПРЯЖЕНИЯ

9.3.1. Напряжение осветительных сетей

Общее освещение. Для питания осветительных приборов общего внутреннего и наружного освещения, как правило, должно применяться напряжение не выше 220 В переменного тока или постоянного тока. В помещениях без повышенной опасности напряжение 220 В может применяться для всех стационарных осветительных приборов вне зависимости от высоты их установки [45].

Напряжение 380 В для питания осветительных приборов общего внутреннего и наружного освещения может использоваться при соблюдении следующих условий [45]:

1) Ввод в осветительный прибор и независимый, встроенный в прибор, пускорегулирующий аппарат выполняется проводами или кабелем с изоляцией на напряжение не менее 660 В.

2) Ввод в осветительный прибор двух или трех проводов разных фаз системы 660/380 В не допускается.

В помещениях с повышенной опасностью и особенно опасных при высоте установки светильников общего освещения над полом или площадкой обслуживания менее 2,5 м применение светильников класса защиты запрещается, необходимо применять светильники класса защиты 2 или 3. Допускается использование светильников класса защиты 1, в этом случае не должна быть защищена УЗО с током срабатывания 30 мА (см. § 9.12).

Указанные требования не распространяются на светильники, обслуживаемые с кранов или площадок, посещаемых только квалифицированным персоналом. При этом расстояние от светильников до настила моста крана должно быть не менее 1,8 м или светильники должны быть подвешены не ниже нижнего пояса ферм перекрытия, а обслуживание этих светильников с кранов должно выполняться с соблюдением техники безопасности.

В установках освещения фасадов зданий, скульптур, монументов, подсвета зелени с использованием осветительных приборов, установленных ниже 2,5 м от поверхности земли или площадки обслуживания, может применяться напряжение до 380 В при степени защиты осветительных приборов не ниже IP54.

В установках освещения фонтанов и бассейнов номинальное напряжение питания погружаемых в воду осветительных приборов должно быть не более 12 В.

Местное освещение. Для питания светильников местного стационарного освещения с лампами накаливания должны применяться напряжения: в помещениях без повышенной опасности — не выше 220 В и в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных — не выше 50 В. В помещениях с повышенной опасностью и особо опасных допускается применение напряжения до 220 В для светильников, в этом случае должно быть предусмотрено или защитное отключение линии при токе утечки до 30 мА, или питание каждого светильника через разделяющий трансформатор (разделяющий трансформатор может иметь несколько электрически несвязанных вторичных обмоток).

Для питания светильников местного освещения с люминесцентными лампами может применяться напряжение не выше 220 В. При этом в помещениях сырых, особо сырых, жарких и с химически активной средой применение люминесцентных ламп для местного освещения допускается только в арматуре специальной конструкции.

Лампы ДРЛ, ДРИ, ДРИЗ и ДНАТ могут применяться для местного освещения при напряжении не выше 220 В в арматуре, специально предназначенной для местного освещения.

Для питания переносных светильников в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных должно применяться напряжение не выше 50 В.

При наличии особо неблагоприятных условий, а именно когда опасность поражения электрическим током усугубляется теснотой, неудобным положением работающего, соприкосновением с большими металлическими поверхностями (например, работа в котлах), и в наружных установках для питания ручных светильников должно применяться напряжение не выше 12 В.

Переносные светильники, предназначенные для полвеивания, а также настольные и напольные применяются при выборе напряжения к стационарным светильникам местного стационарного освещения.

Для переносных светильников, устанавливаемых на переставных стойках на высоте 2,5 м и более, допускается применять напряжение до 380 В.

Питание светильников напряжением до 50 В должно производиться от разделяющих трансформаторов или автономных источников питания.

9.3.2. Уровни напряжения

Напряжение у ЛН, а для РЛ у ПРА (см. § 9.8), в ОУ всех назначений должно быть не ниже 95 и не выше 105% их номинального значения. Значение снижения напряжения у ламп (или ПРА) не следует смешивать с допустимой потерей напряжения в осветительной сети, которая должна определяться исходя из номинального напряжения на стороне низшего напряжения трансформатора ТП и потери напряжения в нем (см. § 9.8). В сетях напряжением 12–50 В допускается потеря до 10% низшего напряжения понижающих трансформаторов.

9.3.3. Постоянство напряжения

Допустимые значения размахов изменений напряжения у ламп (для РЛ у ПРА) определяются по рис. 9.1 в зависимости от частоты их повторения.

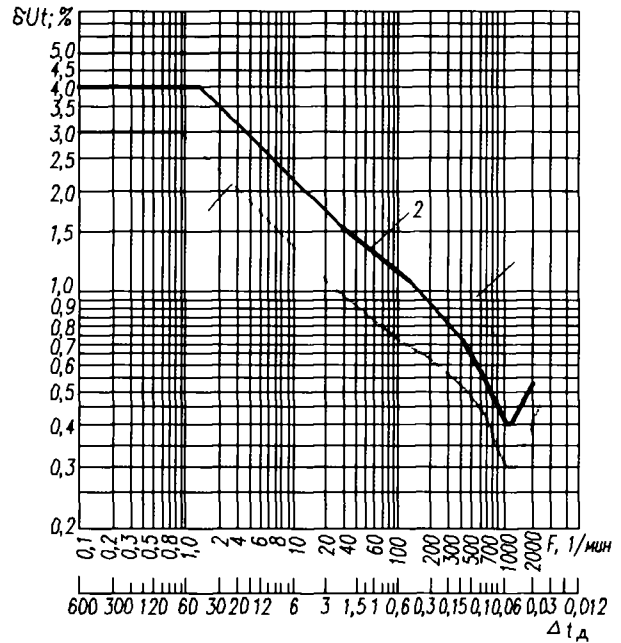


Рис. 9.1. Допустимые значения размахов изменений напряжения δU , %, в зависимости от частоты F , 1/мин, или интервала времени, Δt , с между размахами: 1 — ЛН в помещениях, где требуется значительное зрительное напряжение; 2 — то же в остальных помещениях, в том числе в жилых зданиях; 3 — РЛ всех типов

Эти требования не распространяются на ИС местного освещения какого-либо определенного механизма, если резкие изменения напряжения связаны с работой электродвигателя этого механизма. Для обеспечения надежной работы РЛ напряжение на них даже в аварийном режиме не должно быть ниже 90% номинального.

9.4. ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ

Общие положения. Питание электрического освещения, как правило, производится от общих для осветительных и силовых нагрузок трансформаторов с низким напряжением 400/230 В (напряжение сети 380/220 В). Питание ОУ промышленных предприятий допускается выполнять от силовых трансформаторов с низким напряжением 690/400 В (напряжение сети 660/380 В) при заземленной нейтрали при условии, что применяемые ОП и лампы предназначены для питания напряжением 380 В (см. § 9.3.1).

Самостоятельные осветительные трансформаторы применяются в следующих случаях:

1) когда характер силовой нагрузки не позволяет обеспечивать требуемое качество напряжения у ламп (см. § 9.3.3), например, при питании от трансформатора мощных сварочных аппаратов;

2) при большой мощности осветительной нагрузки, когда может быть экономически обоснована установка осветительных трансформаторов;

3) когда для силовой нагрузки принимается напряжение более 380/220 В, например 660/380 В, и при этом в ОУ используются ОП, не предназначенные для питания напряжением 380 В. В таких случаях должен производиться технико-экономический обоснованный выбор между питанием осветительных трансформаторов от сети высокого напряжения (6–10 кВ) или от силовых трансформаторов (690/400 В);

4) для ОУ в больших городах и на крупных промышленных предприятиях при наличии технико-экономических обоснований;

5) в крупных ОЗ при примерном равенстве осветительных и силовых нагрузок.

Не рекомендуется использование для питания ОУ промышленных предприятий трансформаторов, работающих в блоке с технологическими механизмами и отключаемых при остановке этих механизмов для ремонта или осмотра. При неизбежности питания от таких трансформаторов следует предусматривать возможность продолжения питания освещения при отключении подстанции путем устройства перемычки между шитами двух ближайших подстанций.

В связи с тем, что РЛ, включаемые в сеть с индуктивным или индуктивно-емкостными ПРА, вызывают протекание значительных токов высших гармоник в нулевых проводах трехфазных четырехпроводных линий (см. § 9.8), при выборе схем соединений обмоток трансформаторов необходимо руководствоваться следующими указаниями:

а) если нагрузка на трансформатор от РЛ (с потерями в ПРА) превышает 25% его номинальной мощности, должны применяться трансформаторы со схемой соединений обмоток «треугольник/звезда с нулем», при которой допустимая токовая нагрузка нулевого вывода стороны низкого напряжения составляет 75% тока фазных выводов;

б) при нагрузке на трансформатор от РЛ (с потерями в ПРА) менее 25% его номинальной мощности может применяться трансформатор со схемой соединения обмоток «звезда/звезда с нулем», допустимая токовая

нагрузка нулевого вывода которого составляет 25% тока фазных выводов.

Питание ОП с ЛН, требующих применения малого напряжения (до 50 В), должно производиться от трансформаторов с электрически разделыми обмотками высокого и низкого напряжения. Один из выводов, а также средняя точка или нейтраль обмотки низшего напряжения трансформатора должны быть заземлены или зашунты.

Питание аварийного освещения (освещение безопасности ОБ и эвакуационное освещение ЭО).

Осветительные приборы рабочего освещения и ОП ОБ в производственных и общественных зданиях и в зонах работы на открытых пространствах должны питаться от независимых источников [45].

Светильники и световые указатели эвакуационного освещения (ЭО) в производственных зданиях с естественным освещением и в общественных и жилых зданиях должны быть присоединены к сети, не связанной с сетью рабочего освещения, начиная от шита подстанции (распределительного пункта освещения) или при наличии только одного ввода, начиная от вводного распределительного устройства.

Питание светильников и световых указателей эвакуационного освещения в производственных зданиях без естественного освещения следует выполнять аналогично питанию светильников освещения безопасности (ОБ).

В производственных зданиях без естественного света в помещениях, где может одновременно находиться 20 и более человек, независимо от наличия освещения безопасности должно предусматриваться эвакуационное освещение по основным проходам и световые указатели «выход», автоматически переключаемые при прекращении их питания на третий независимый внешний или местный источник (аккумуляторная батарея, дизель-генераторная установка и т.п.), не используемый в нормальном режиме для питания рабочего освещения, или светильники эвакуационного освещения и указатели «выход» должны иметь автономный источник питания.

При отнесении всех или части светильников освещения безопасности и эвакуационного освещения к особой группе первой категории по надежности электроснабжения должно предусматриваться дополнительное питание этих светильников от третьего независимого источника.

Светильники эвакуационного освещения, световые указатели эвакуационных и (или) запасных выходов в зданиях любого назначения, снабженные автономными источниками питания, в нормальном режиме могут питаться от сетей любого вида освещения, не отключаемых во время функционирования здания.

Для помещений, в которых постоянно находятся люди или которые предназначены для постоянного прохода персонала или посторонних лиц и в которых требуется освещение безопасности или эвакуационное освещение, должна быть обеспечена возможность включения указанных видов освещения в течение всего времени, когда включено рабочее освещение, или освеще-

шение безопасности и эвакуационное освещение, должно включаться автоматически при аварийном погасании рабочего освещения.

Применение для рабочего освещения, освещения безопасности и (или) эвакуационного освещения общих групповых щитков, а также установка аппаратов управления рабочим освещением, освещением безопасности и (или) эвакуационным освещением, за исключением аппаратов вспомогательных цепей (например сигнальных ламп, ключей управления), в общих шкафах не допускается.

Разрешается питание освещения безопасности и эвакуационного освещения от общих щитков.

Использование сетей, питающих силовые электроприемники, для питания освещения безопасности и эвакуационного освещения в производственных зданиях без естественного освещения не допускается.

Допускается применение ручных осветительных приборов с аккумуляторами или сухими элементами для освещения безопасности и эвакуационного освещения взамен стационарных светильников (здания и помещения без постоянного пребывания людей, здания площадью застройки не более 250 м²).

Источниками питания ОУ общественных и жилых зданий обычно являются городские одно- и двухтрансформаторные подстанции. В крупных городах преобладают двухтрансформаторные подстанции с двухсекционным щитом низшего напряжения. Каждый из трансформаторов такой подстанции получает питание от разных секций одного распределительного пункта (РП) (напряжение 10 или 6 кВ) или от разных РП. Трансформаторные подстанции могут быть отдельно стоящими, встроенными в здание или пристроенными к нему.

При необходимости в качестве независимого автономного источника питания АО могут использоваться аккумуляторные батареи напряжением 220 и 40 В и в некоторых случаях — дизель-генераторные установки.

9.5. СХЕМЫ ПИТАНИЯ ОУ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

9.5.1. Общие положения

Сети внутреннего и наружного освещения разделяются на питающие, распределительные и групповые. К питающим сетям относятся линии от распределительного устройства ТП или ответвления от воздушных линий электропередачи до ВУ, ВРУ, ГРЩ; к распределительным сетям относятся линии от ВУ, ВРУ, ГРЩ до распределительных пунктов, групповых щитков и пунктов питания НО; к групповым сетям — линии от групповых щитков (пунктов питания НО) до светильников, штепсельных розеток и других электроприемников.

Схемы питания внутреннего и наружного освещения должны обеспечивать: необходимую степень надежности питания ОУ [45], регламентированные уровни и постоянство напряжения (см. § 9.3.2, § 9.3.3), простоту и удобство эксплуатации, требования к управ-

лению освещением (см. § 9.6), экономичность установки.

9.5.2. Питающая и распределительная сети ОУ

Питающие сети для ОУ и силового электрооборудования рекомендуется выполнять, как правило, раздельными.

Рабочее освещение, ОБ и ЭО допускается питать от общих линий с электросиловыми установками или от силовых распределительных пунктов (кроме производственных зданий без естественного освещения). При этом должны соблюдаться требования к допустимым отклонениям и колебаниям напряжения в осветительной сети в соответствии с ГОСТ 13109-87.

Линии питающей и распределительной сети рабочего освещения, а также линии, питающие иллюминационные установки и световую рекламу, должны иметь в распределительных устройствах, от которых эти линии отходят, самостоятельные аппараты защиты и управления для каждой линии.

Допускается устанавливать общий аппарат управления для нескольких линий одного вида освещения или установок, отходящих от распределительного устройства.

При использовании шинопроводов в качестве линий питающей осветительной сети вместо групповых щитков могут применяться присоединяемые к шинопроводу отдельные аппараты защиты и управления для питания групп светильников. При этом должен быть обеспечен удобный и безопасный доступ к указанным аппаратам.

В местах присоединения линий питающей осветительной сети к линии питания электросиловых установок или к силовым распределительным пунктам должны устанавливаться аппараты защиты и управления.

При питании осветительной сети от силовых распределительных пунктов, к которым присоединены непосредственно силовые электроприемники, осветительная сеть должна подключаться к вводным зажимам этих пунктов.

При питании внутреннего освещения от встроенных и пристроенных ТП или КТП целесообразно использовать для управления мощные линейные автоматы ТП, имеющие пропускную способность, значительно превышающую мощность линий питающей осветительной сети. Поэтому вблизи ТП и КТП устанавливаются магистральные щитки с автоматами или при устройстве дистанционного управления освещением — щиты станций управления (или ящики управления) с автоматами и магнитными пускателями, от которых питаются групповые щитки.

При рассмотрении схем питания освещения производственных и общественных зданий, приведенных на рис. 9.2—9.17, необходимо иметь в виду их следующие особенности:

1) на схемах в качестве аппаратов защиты и местного включения линий питающей сети показаны автоматические выключатели (автоматы) как наиболее распространенные для этих целей аппараты. Однако вместо автоматов могут использоваться плавкие предохра-

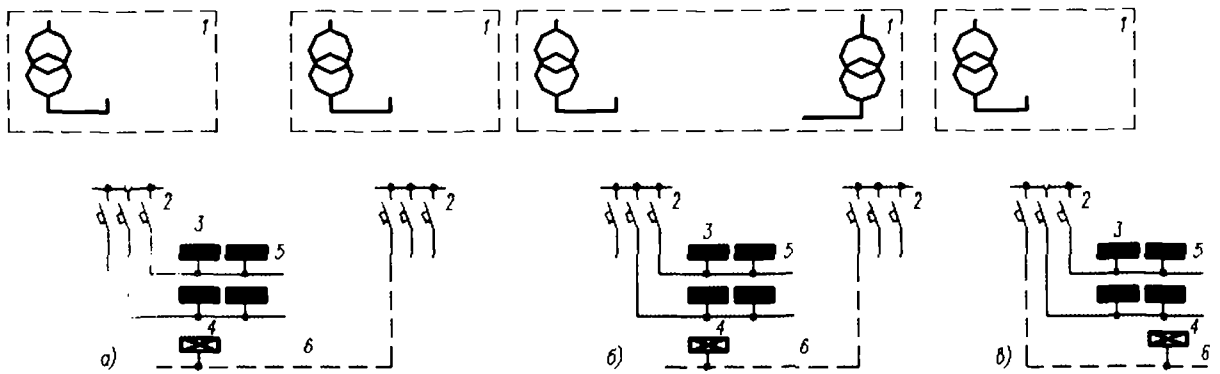


Рис. 9.2. Схемы питания рабочего и аварийного (безопасности и эвакуационного) освещения производственных зданий от КТП: а — от двух однитрансформаторных КТП; б — от одной двухтрансформаторной КТП; в — от одной однитрансформаторной КТП; 1 — КТП; 2 — магистральный щиток (пункт); 3 — групповой щиток рабочего освещения; 4 — групповой щиток АО; 5 — линия распределительной сети рабочего освещения; 6 — линия распределительной сети АО

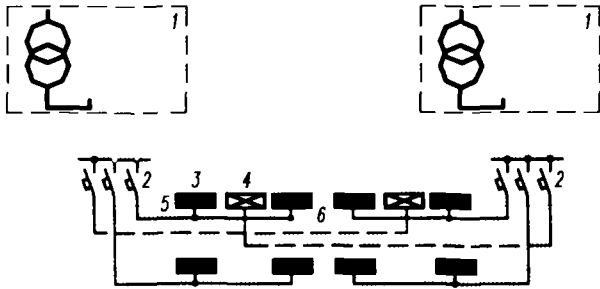


Рис. 9.3. Схема перекрестного питания рабочего и аварийного (безопасности и эвакуационного) освещения производственных зданий: 1 — КТП; 2 — магистральный щиток (пункт); 3 — групповой щиток рабочего освещения; 4 — групповой щиток АО; 5 — линия распределительной сети рабочего освещения; 6 — линия распределительной сети АО

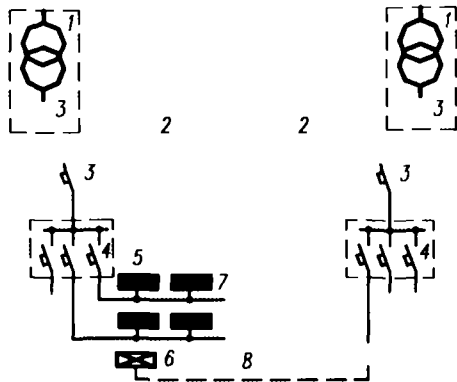


Рис. 9.4. Схема питания рабочего и аварийного (безопасности и эвакуационного) освещения производственных зданий от двух магистральных шинпроводов: 1 — КТП; 2 — магистральный шинпровод; 3 — автоматический выключатель, устойчивый к току короткого замыкания; 4 — магистральный щиток (пункт); 5 — групповой щиток рабочего освещения; 6 — групповой щиток АО; 7 — линия питающей сети рабочего освещения; 8 — линия питающей сети АО

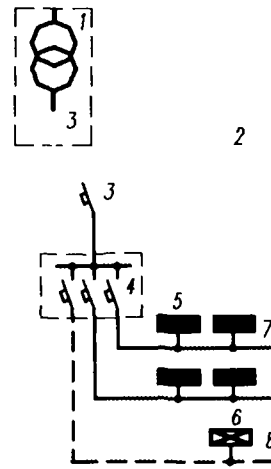


Рис. 9.5. Схема питания рабочего и эвакуационного освещения производственных зданий от одного магистрального шинпровода: 1 — КТП; 2 — магистральный шинпровод; 3 — автоматический выключатель, устойчивый к току короткого замыкания; 4 — магистральный щиток (пункт); 5 — групповой щиток рабочего освещения; 6 — групповой щиток АО; 7 — линия распределительной сети рабочего освещения; 8 — линия распределительной сети АО

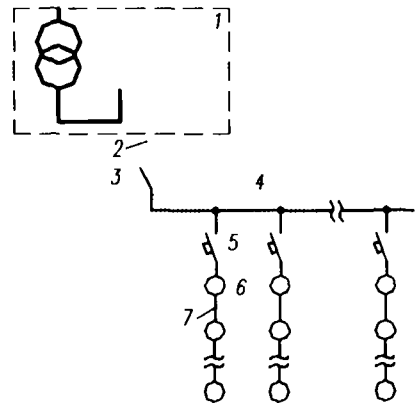


Рис. 9.6. Схема питания рабочего освещения производственных зданий от распределительного шинпровода: 1 — КТП; 2 — линия питающей сети рабочего освещения; 3 — выключатель или аппарат дистанционного управления освещением; 4 — распределительный шинпровод; 5 — автоматический выключатель на шинпроводе; 6 — ОП общего рабочего освещения; 7 — групповая линия рабочего освещения

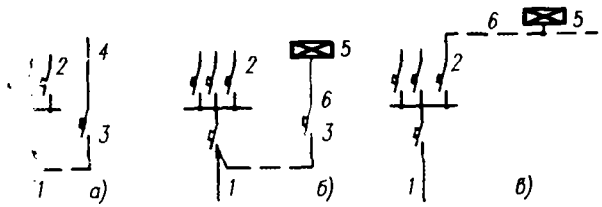


Рис. 9.7. Схемы питания аварийного (безопасности и эвакуационного) освещения от силовой сети: *а* и *б* — от ответвлениями от силовой сети; *в* — от силового РП; 1 — линия силовой распределительной сети; 2 — силовой РП; 3 — автоматический выключатель; 4 — линия к ОП АО; 5 — групповой щиток АО; 6 — линия распределительной сети АО

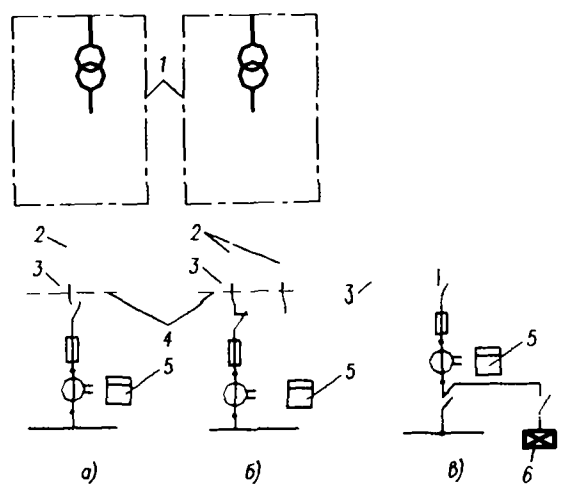


Рис. 9.10. Питание ОЗ с нагрузками третьей категории от отдельно стоящей ТП: *а* — с одной питающей линией; *б* — с двумя питающими линиями; *в* — вариант ВРУ; 1 — ТП; 2 — питающая линия; 3 — ВРУ здания; 4 — граница раздела с электроснабжающей организацией; 5 — расчетный счетчик электроэнергии; 6 — щиток АО

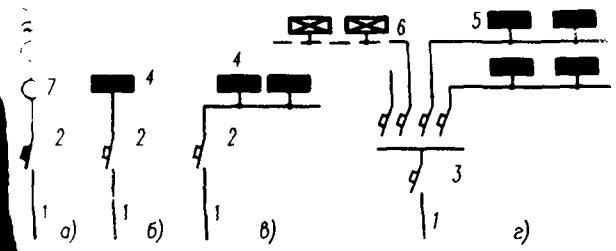


Рис. 9.8. Схемы питания освещения от вводов в здания: — питание ОП непосредственно от ВУ; *б* и *в* — питание ВУ одного или нескольких щитков рабочего освещения АО; 2 — питание от ВРУ щитков рабочего освещения ЭО; 1 — ввод в здание кабельной или воздушной линии; 2 — ВУ; 3 — ВРУ; 4 — групповой щиток рабочего освещения АО; 5 — групповой щиток рабочего освещения ЭО; 7 — ОП рабочего освещения АО

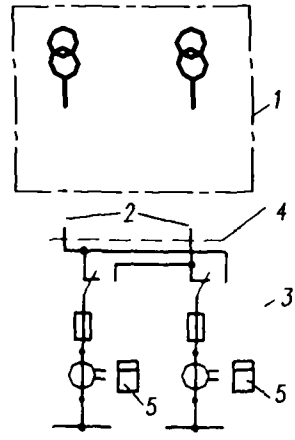


Рис. 9.11. Питание ОЗ с нагрузками второй категории от отдельно стоящей ТП: 1 — ТП (схема показана условно); 2 — питающие линии; 3 — ВРУ здания; 4 — граница раздела с электроснабжающей организацией; 5 — расчетный счетчик электроэнергии

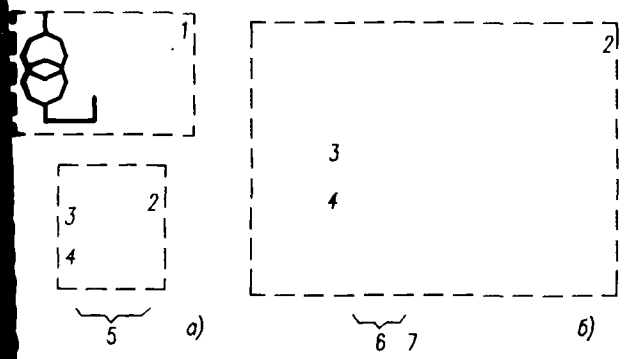


Рис. 9.9. Схемы питания промышленных предприятий: — через магистральный щиток (пункт); *б* — схема присоединения линии с выделением вечерних и ночных фаз; — КТП; 2 — магистральный щиток (пункт); 3 — аппарат щиты; 4 — аппарат дистанционного управления; 5 — ЛНО; 6 — фазы вечернего освещения; 7 — фазы ночного освещения

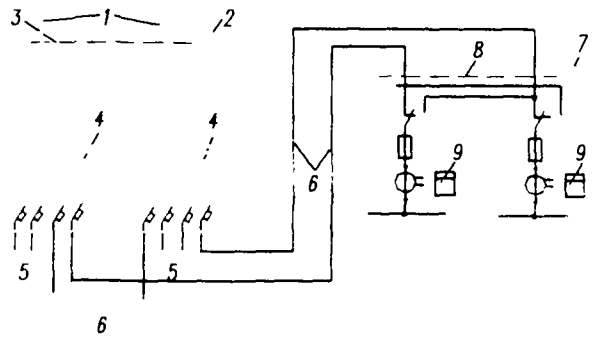


Рис. 9.12. Питание ОЗ с несколькими абонентами (нагрузка второй категории) от отдельно стоящей ТП: 1 — питающая линия от ТП; 2 — ГРЩ главного абонента; 3 — граница раздела с электроснабжающей организацией; 4 — расчетный счетчик электроэнергии; 5 — питающие линии главного абонента здания; 6 — питающие линии к ВРУ субабонента; 7 — ВРУ субабонента; 8 — граница раздела между главным и субабонентами; 9 — контрольный счетчик электроэнергии

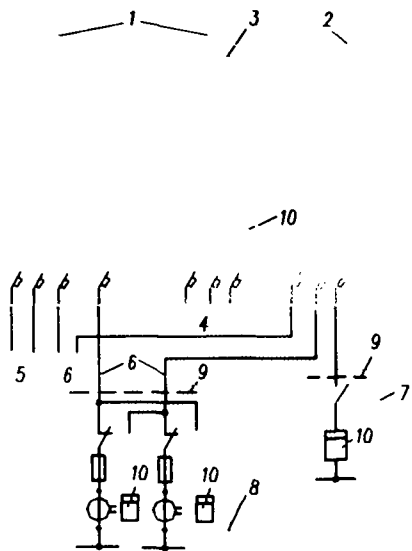


Рис. 9.13. Питание общественного предприятия, встроенного в жилой дом, от ВРУ жилого дома: 1 — питающие линии от ТП; 2 — ВРУ жилого дома (владельца здания); 3 — граница раздела с электроснабжающей организацией; 4 — распределительные линии АО, лифтов и других нужд жилого дома; 5 — распределительные линии квартир; 6 — распределительные линии к общественным предприятиям с нагрузками второй категории (магазины, кафе); 7 — ВРУ предприятий общественного назначения с нагрузкой третьей категории (приемный пункт прачечной, мастерская по ремонту обуви); 8 — ВРУ общественного предприятия; 9 — граница раздела между жилым домом и общественным предприятием; 10 — расчетный счетчик электроэнергии

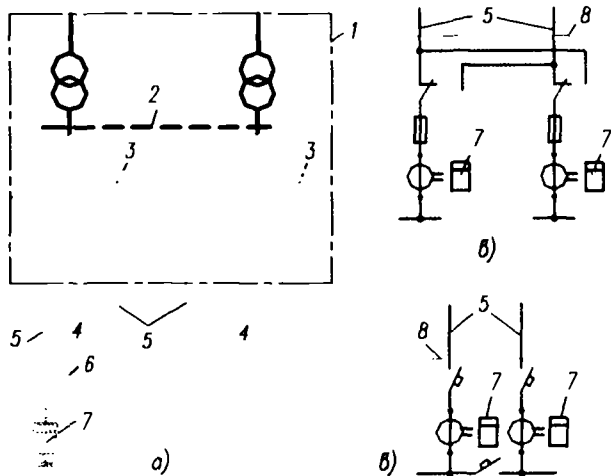


Рис. 9.14. Питание ОЗ от встроенной КТП (потребляется 100% мощности КТП): а — общая схема питания; б и в — схемы ВРУ субабонента; 1 — КТП; 2 — граница раздела с электроснабжающей организацией; 3 — расчетный счетчик электроэнергии; 4 — питающие линии главного абонента; 5 — питающие линии к ВРУ субабонента; 6 — ВРУ субабонента с нагрузками третьей категории; 7 — контрольный счетчик электроэнергии; 8 — граница раздела между главным абонентом и субабонентами

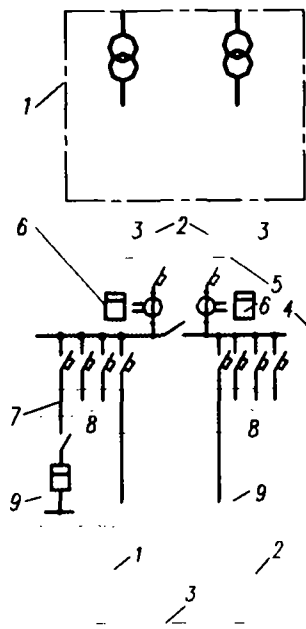


Рис. 9.15. Питание ОЗ от встроенной КТП (потребляется часть мощности КТП): 1 — КТП; 2 — питающие линии к ГРШ субабонента; 3 — питающие линии посторонних потребителей; 4 — ГРШ главного абонента; 5 — граница раздела с электроснабжающей организацией; 6 — расчетный счетчик электроэнергии; 7 — питающие линии к ВРУ субабонента; 8 — питающие линии главного абонента; 9 — ВРУ субабонента

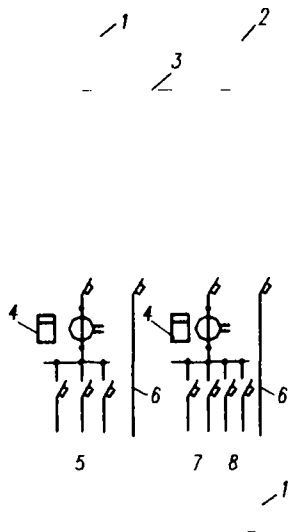


Рис. 9.16. Схема ВРУ жилого дома высотой 6—9 этажей: 1 — ввод № 1 от ТП; 2 — ввод № 2 от ТП; 3 — граница балансового раздела с электроснабжающей организацией; 4 — расчетный счетчик электроэнергии; 5 — линии рабочего освещения общедомовых помещений; 6 — питающие линии квартир; 7 — АО общедомовых помещений; 8 — питающие линии лифтов



Рис. 9.17. Схема ВРУ жилого дома высотой 17 и более этажей: 1 — ввод № 1 от ТП; 2 — ввод № 2 от ТП; 3 — граница раздела с электроснабжающей организацией; 4 — станция АВР; 5 — расчетный счетчик электроэнергии; 6 — щиток домоуправления; 7 — линии АО общедомовых помещений; 8 — распределительные линии систем дымозащиты; 9 — распределительные линии лифтов; 10 — распределительные линии квартир; 11 — линии рабочего освещения общедомовых помещений

нителю и ручные отключающие аппараты (рубильники, выключатели):

2) в случаях, когда для линий питающей сети необходимо устройство дистанционного управления, в дополнение к аппарату защиты в каждой управляемой линии устанавливается аппарат управления, например магнитный пускатель, не показанный на приведенных схемах;

3) при питании одной линией четырех и более групповых щитков на вводе в каждый щиток рекомендуется устанавливать отключающий аппарат. Для щитков, обслуживающих помещения без естественного освещения, установка отключающих аппаратов на вводе обязательна при питании одной линией трех и более щитков.

9.5.3. Схемы питания ОУ производственных зданий

Наиболее характерные схемы питания ОУ производственных зданий приведены на рис. 9.2–9.8.

Питание от встроенных ТП. Рабочее освещение и ОБ должно питаться от разных трансформаторов, присоединенных к независимым источникам [45]. Эвакуационное освещение предпочтительно питать также от независимых источников, а при их отсутствии — от трансформатора, не используемого для питания рабочего освещения данного участка здания. При невозможности или нецелесообразности такого питания ЭО может питаться от общего с рабочим освещением трансформатора. На рис. 9.2, а приведена схема питания рабочего освещения и ОБ (ЭО) от двух однотрансформаторных КТП, на рис. 9.2, б — от одной двухтрансформаторной КТП. На рис. 9.2, в дана схема питания рабочего освещения и ЭО от общего трансформатора.

В производственных зданиях с несколькими встроенными КТП применяются схемы перекрестного питания рабочего освещения и ОБ (ЭО) (см. рис. 9.3), при которых рабочее освещение одних участков здания питается от одной КТП, а ОБ (ЭО) — от другой, трансформатор которой не используется для питания рабочего освещения. Такой же принцип питания используется и для других участков здания.

Во многих больших производственных зданиях питание силовых электроприемников осуществляется по магистральной схеме, при которой на КТП отсутствует распределительный щит, а к трансформаторам через мощные автоматы присоединяются магистральные шинопроводы. В таких случаях питание ОУ производится ответвлениями от шинопроводов к магистральным щиткам (пунктам), от которых отходят линии питающей сети к групповым щиткам. Ответвления для питания освещения рекомендуется выполнять от начальных участков шинопровода, где потеря напряжения в шинопроводе еще невелика. Схема питания рабочего освещения и АО от двух магистральных шинопроводов приведена на рис. 9.4, питания рабочего освещения и ЭО от одного шинопровода — на рис. 9.5.

В цехах, где ОП устанавливаются на специальных стальных мостиках, применяются схемы питания ОУ распределительными шинопроводами на 250, 400 и

600 А, прокладываемыми по мостикам (см. рис. 9.6). Групповые линии, питающие ОП, присоединяются к шинопроводам через автоматы, устанавливаемые на шинопроводе. При этом отпадает необходимость в установке групповых щитков. Включение освещения осуществляется выключателем или аппаратом дистанционного управления. Такую схему целесообразно применять для больших производственных помещений при значительной суммарной мощности ОП общего освещения и допустимости одновременного включения освещения больших участков цеха.

При небольшой мощности АО в целях упрощения и удешевления электрической части ОУ бывает целесообразно не предусматривать самостоятельных линий от источников питания, а использовать линии силовой питающей сети. Характерные схемы питания АО от силовой сети приведены на рис. 9.7.

Питание от отдельного стоящих ТП. Освещение зданий, не имеющих встроенных ТП, питается вводами от кабельных и воздушных линий, прокладываемых от ближайших ТП. В зависимости от мощности ОУ здания и наличия или отсутствия в нем АО, в здании выполняют вводы одной или нескольких питающих линий. Допускается питание освещения и силовых потребителей от общих вводов при условии, что работа силовых электроприемников не будет вызывать недопустимых размахов изменений напряжения у ОП и снижение напряжения на них не превысит наибольших допустимых значений (см. § 9.3.2 и § 9.3.3).

На вводе каждой питающей линии в здание устанавливается ВУ или ВРУ с защитными и отключающими аппаратами (см. рис. 9.8). Для небольших зданий с малым числом ОП рабочего освещения или АО групповые линии, питающие ОП, могут присоединяться непосредственно к ВУ (см. рис. 9.8, а). При значительной мощности освещения в здании устанавливают один (рис. 9.8, б) или несколько (рис. 9.8, в) групповых щитков, питающихся от ВУ или ВРУ (рис. 9.8, г).

9.5.4. Схемы питания ОУ общественных зданий

Крупные ОЗ являются сложными и энергоемкими инженерными сооружениями. Кроме устройств освещения, в ОЗ действуют многие инженерные системы, обеспечивающие нормальное функционирование, жизнеобеспечение, комфорт и пожарную безопасность. Силовым электрооборудованием и автоматизацией всех этих систем проектировщики ОУ непосредственно не занимаются. Что касается выбора источников и схем питания, включая решение вопроса учета электроэнергии, то проектировщики ОУ ОЗ и жилых зданий занимаются ими в большей степени, чем проектировщики ОУ промышленных предприятий.

В зависимости от назначения ОЗ, удельная мощность освещения в целом по зданию составляет 15–30 Вт/м², а для отдельных помещений достигает 100 Вт/м² и более. Коэффициенты спроса для нагрузок электрического освещения изменяются в широких пределах (0,25–1,0) в зависимости от назначения и мощности ОУ.

Основной источник питания ОЗ — городские ТП — в больших городах обычно имеют устройства АВР на стороне низшего или высшего напряжения, а иногда то и другое одновременно.

Питание ОУ и силовых электроприемников производится, как правило, от общих трансформаторов, что позволяет более равномерно распределять нагрузки и увеличивать загрузку трансформаторов с учетом несовпадения во времени максимумов силовой и осветительной нагрузок (коэффициент несовпадения находится в пределах 0,8—0,95).

Силовые электроприемники обычно работают длительно, число их пусков в течение дня невелико. Поэтому создаваемые ими размахи напряжения у ламп находятся обычно в пределах, допускаемых стандартом на качество электроэнергии. Исключения составляют двигатели лифтов, работающие в повторно-кратковременном режиме. Расчеты показывают, что и в этом случае размахи изменений напряжения не выходят за пределы нормируемых.

По степени обеспечения надежности электроснабжения комплексы электроприемников ОЗ обычно относятся в соответствии с разделом 1 ПУЭ [45] ко 2-й или 3-й категориям. К 1-й категории принадлежат лишь некоторые комплексы электроприемников лечебных учреждений, АТС, главных телеграфов, почтамтов и некоторых других объектов, а также группы электроприемников противопожарных устройств и устройств дымозащиты. Представляется целесообразным относить к той или иной категории только один из видов освещения (например, ЭО). Необходимая надежность ОУ обеспечивается совместным действием всех видов освещения. При аварийном отключении рабочего освещения продолжает действовать ЭО или ОБ. При выходе из строя АО рабочее освещение позволит продолжать нормальную работу. Поэтому правильнее устанавливать такие требования к питанию отдельных видов освещения, которые обеспечили бы необходимую надежность функционирования ОУ в целом (см. § 9.4).

Особые требования к питанию АО предъявляются в зрелищных и крытых спортивных сооружениях со зрительными залами вместимостью 800 и более мест (кроме кинотеатров), а также в детских театрах, дворцах пионеров со зрительными залами любой вместимости, где для АО должна использоваться аккумуляторная установка.

Учет электроэнергии. В случае ОЗ требования к установке приборов учета активной энергии, задачи эксплуатационно-балансового разграничения между энергоснабжающей организацией и потребителем часто определяют выбор схемы ВУ.

Для расчетов с энергосистемой на вводах в ОЗ устанавливаются счетчики активной энергии.

Расчетные счетчики активной энергии должны устанавливаться в точках балансового разграничения с энергоснабжающей организацией отдельно для каждого самостоятельного абонента (гостиница, ресторан, магазин, столовая и т.п.).

Граница эксплуатационного и балансового раздела между потребителем и энергоснабжающей организаци-

ей указывается в технических условиях последней или определяется проектом. Обычно такая граница устанавливается на кабельных накопечниках линий, питающих ВРУ, ГРЩ, или на выводах низшего напряжения силовых трансформаторов ТП, шит низшего напряжения которой обслуживаются абонентами.

Главный абонент здания (ГА) — организация, в эксплуатации которой находится ГРЩ, — должен определяться проектом (обычно выбирается владелец здания или наиболее энергоемкий абонент). Вся мощность, потребляемая зданием, подается на ГРЩ, от которого производится питание ВРУ субабонентов. Расчетные счетчики устанавливаются на ГРЩ, на ВРУ СА размещаются контрольные приборы учета. Расчеты с энергоснабжающей организацией производится ГА, функции которого усложнились в связи с лимитированием электроэнергии для ОЗ.

Границей раздела между ГА и СА являются кабельные наконечники питающих линий на ВРУ СА, которые могут устанавливаться в отдельных щитовых помещениях, но могут размещаться и в щитовой ГА. Счетчики для учета осветительной и силовой электроэнергии устанавливаются общими.

Схемы питания. На рис. 9.10—9.15 приведены наиболее характерные схемы питания ОЗ. Схемы на рис. 9.10—9.13 относятся к случаям питания от отдельно стоящей ТП, а на рис. 9.14 и 9.15 — от встроеной КТП.

Если нагрузка ОЗ относится к 3-й категории, то в здании устанавливается односекционное ВРУ. Питание такого ВРУ производится от одного трансформатора, как правило, одной питающей линией (см. рис. 9.10, а). Разделение питающих линий рабочего освещения и АО производится, начиная с шин ВРУ. Возможен вариант схемы ВРУ (см. рис. 9.10, е), допускающий выполнение ревизии или ремонта основного распределительного щита без отключения АО. В отдельных случаях в целях повышения надежности электроснабжения потребителя резервируется наиболее уязвимый участок сети от ТП до здания (см. рис. 9.10, б). При этом одна из питающих линий является резервной и в нормальном режиме нагрузки не несет. Рабочая и резервная линии могут присоединяться к разным трансформаторам. Эта же схема может использоваться для питания потребителей 2-й категории. Для потребителей 3-й категории схема неэкономична и может быть допущена как исключение.

Наиболее распространенная схема питания ОЗ, нагрузки которого относятся ко 2-й категории, показана на рис. 9.11. Вводно-распределительное устройство потребителя представляет собой двухсекционный распределительный щит с двумя переключателями на вводе.

Питающие линии от ТП до ВРУ выбирают с учетом работы в режиме возможного выхода из строя одной линии (при выполнении линии кабеля с пропитанной бумажной, поливинилхлоридной или полиэтиленовой изоляцией допускается их перегрузка на время после аварии соответственно до 125, 115 и 110%). Однако ток послеаварийного режима независимо от положения вводных переключателей не протекает через аппарат

защиты и приборы учета каждой секции ВРУ. Такие ВРУ изготавливаются на токи, не превышающие 630 А. Необходимость выбора питающих сетей с учетом нагрузки послеаварийного режима обычно приводит к равенству сечений питающих линий обоих вводов. Наилучший режим нагрузки питающих линий в рабочем режиме обеспечивается при равномерной нагрузке каждой из них. Поэтому в случаях, когда нагрузка освещения составляет менее 50% общей нагрузки ОЗ, рекомендуется питать от одной секции ВРУ рабочее освещение и часть силовой нагрузки, характер которой позволяет такое объединение, а от второй секции — АО и остальную часть силовой нагрузки. Несовмещение максимумов силовой и осветительной нагрузки приведет в этом случае к некоторому снижению загрузки трансформаторов и питающих линий в рабочем режиме.

На рис. 9.12 изображена схема питания ОЗ, в котором размещены потребители разного назначения, один из них — ГА. В этом случае границей раздела с энергоснабжающей организацией являются наконечники питающих линий на ВРУ ГА, щит которого является ГРЩ здания. Субабоненты получают питание от ГРЩ, и на их ВРУ устанавливаются контрольные счетчики. Линии от ГРЩ до ВРУ СА по согласованию могут находиться в эксплуатации ГА или СА. Если в здании находится несколько арендаторов, выполняющих функции ГА, то у одного из них устанавливается безучетный ГРЩ на всю нагрузку здания, а расчетные счетчики размещаются на ВРУ каждого потребителя. Если по каким-либо причинам энергоснабжающая организация выражает против выполнения указанной схемы, питание каждого абонента выполняется по схеме, приведенной на рис. 9.11. Каждое из ВРУ абонентов может питаться от ТП самостоятельными линиями либо используется включение ВРУ нескольких абонентов в цепочку.

В современных жилых домах на первых этажах, как правило, размещаются разнообразные общественные предприятия. В этом случае целесообразно выполнять питание по схеме, указанной на рис. 9.13, тогда линия эксплуатационного раздела с энергоснабжающей организацией пройдет по вводам во ВРУ (ГРЩ) жилого дома, от которого питаются ВРУ всех общественных потребителей. Однако в отличие от схемы, данной на рис. 9.12, на ВРУ жилого дома не устанавливаются расчетные счетчики, общие для общедомовых потребителей и нагрузки общественных помещений. Расчетные счетчики устанавливаются на ВРУ каждого потребителя. Такая схема питания имеет преимущества перед схемой независимого питания жилого дома и встроенных в него общественных потребителей, поскольку приводит к экономии кабельных изделий и мест на сборках низшего напряжения ТП. Применение схемы, показанной на рис. 9.13, следует согласовывать с местными энергоснабжающими организациями.

Схема питания ОЗ от встроенных ТП в значительной мере зависит от установления границы раздела между энергоснабжающей организацией и абонентом. В качестве примера рассмотрим наиболее характерные случаи использования встроенной КТП. Если ее мощность полностью потребляется зданием, границу разде-

ла целесообразно установить на выводах низкого напряжения трансформаторов (см. рис. 9.14, а). В этом случае щит 0,4 кВ КТП служит ГРЩ потребителя или ГА (если в здании размещается несколько организаций), а помещение ТП является одновременно и шитовым помещением. В целях экономии линейных автоматических выключателей КТП в помещении подстанции могут устанавливаться двухсекционные щиты с менее дефицитными автоматами, шины которых глухо присоединяются к шинам щита КТП, как бы являясь их продолжением. Выделение для размещения ГРЩ отдельного помещения при сохранении той же схемы питания возможно, но целесообразно. Если ОЗ потребляет только часть мощности КТП, то граница раздела устанавливается на вводах к потребителям (см. рис. 9.15), тогда щитовая потребителя или ГА размещается в отдельном помещении, обычно прилегающем к помещению КТП.

В зависимости от мощности потребителей схемы ГРЩ и ВРУ могут выполняться с переключателями (до 600 А) (см. рис. 9.14, б) или в виде двухсекционного щита с вводными и секционными автоматами (см. рис. 9.14, в). В последнем случае при выборе вводных защитных аппаратов и трансформаторов тока на каждой секции следует учитывать, что в аварийных режимах по работающей секции протескает ток всей нагрузки потребителя. Кроме того, во избежание неправильных действий персонала при аварийных переключениях, могущих привести к включению трансформаторов на параллельную работу, на ВРУ, выполненных по схеме на рис. 9.14, в, следует предусматривать блокировочные устройства, препятствующие включению секционного автомата (или рубильника) без отключения одного из вводов. От ВРУ по схеме на рис. 9.14, в можно осуществлять питание потребителей 1-й категории надежности. Для этого предусматривают устройства АВР, выполняемые с помощью вводных и секционных автоматов, снабженных электроприводом. Если потребитель целиком относится к 1-й категории, то его ввод удобно выполнять по такой схеме независимо от нагрузки потребителя и расположения ТП. Для питания отдельных нагрузок потребителей, относящихся к 1-й категории, используются устройства АВР, выполняемые с помощью блоков автоматического переключения и устанавливаемые рядом с ВРУ (централизованное размещение) или непосредственно у потребителя. Рабочее и резервное питание, которое может быть выполнено по схемам на рис. 9.14, б, в, подается на блоки от разных секций ВРУ. Питающие линии к щитам и щиткам с нагрузками 1-й категории при централизованной установке АВР должны прокладываться изолированными проводами в трубах или выполняться кабелем.

На рис. 9.18 приведена схема питания АО от аккумуляторной батареи, используемая для крупных ОЗ с залами большой вместимости, например для зрелищных зданий с залом на 800 и более зрителей. В схеме использованы шкафы, выпускаемые для питания цепей оперативного тока на электростанциях. В шкафах смонтированы аккумуляторные батареи напряжением 110 В. Соединяя последовательно батареи двух шкафов, получают напряжение 220 В. В нормальном режиме,

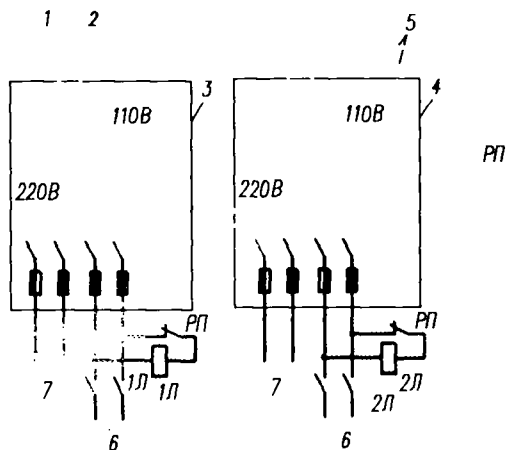


Рис. 9.18. Схема питания АО от аккумуляторной батареи: 1Л, 2Л — контакторы постоянного тока; РП — промежуточное реле; 1 — линия нормального питания 380/220 В; 2 — линия резервного питания 380/220 В; 3, 4 — шкафы серии ШУОТ02; 5 — напряжение сети 220 В (фаза и ноль) — групповая линия сети рабочего освещения зала; 6 — групповая линия к нормально не работающим ОП; 7 — групповая линия к нормально работающим ОП

когда шкафы получают питание от сети переменного тока, обеспечивается длительное питание АО постоянным током от аккумуляторных батарей, работающих в режиме постоянной подзарядки. При исчезновении переменного тока аккумуляторные батареи комплекта, состоящего из двух шкафов, обеспечивают питание АО мощностью 4,4 кВт в течение не менее 1 ч. В шкафах предусмотрена возможность переключения с рабочего на резервный источник переменного тока.

Построение распределительной сети освещения. Каждая отходящая от ГРЩ или ВРУ линия рабочего освещения питает один или несколько групповых щитков. Почти в любом ОЗ могут быть выделены планировочные зоны различного назначения: помещения вестибюльной группы, зона административных помещений, конференц-зал с прилегающими помещениями, зона столовой, технические помещения подвала и т.д. Целесообразно каждую из зон питать отдельными линиями. Для крупных зон могут устанавливаться собственные щитовые помещения со вторичными распределительными щитами, играющими роль ГРЩ рабочего освещения зоны. От них к групповым щиткам прокладываются распределительные линии. На вводах в зоны, к надежности питания которых предъявляются повышенные требования (конференц-залы, столовые), могут устанавливаться ВРУ, а если зона обособлена в хозяйственном отношении, то на вводах устанавливаются контрольные счетчики (например, в столовых, размещаемых в зданиях административного назначения и обслуживающих сотрудников учреждения). В отдельных случаях, если это целесообразно, на ВРУ зон могут устанавливаться устройства АВР.

Распределительные линии АО также могут выполняться отдельными по зонам. При большом числе маломощных питающих линий АО их можно присоеди-

нить ко вторичным распределительным щитам, устанавливаемым для этой цели в главном щитовом помещении здания.

Число щитков, присоединяемых к каждой питающей линии в ОЗ, не ограничивается. Для планировочных зон, занимающих один-два этажа, их количество обычно невелико (до 3—5 шт.). Для зон, размещаемых в многоэтажной части здания, питание которых, как правило, выполняется вертикально прокладываемыми линиями (стояками), число щитков обычно определяется числом этажей.

При построении распределительной сети здания для определения оптимального числа питающих линий и числа групповых щитков, присоединенных к каждой из них, следует выполнять технико-экономические сопоставления вариантов.

Число групповых щитков в каждой зоне определяется в зависимости от площади зоны и ее нагрузки. Отдельные группы помещений одного назначения внутри зоны по условиям эксплуатации целесообразно питать от собственных групповых щитков. Например в зоне крупных конференц-залов отдельные щитки могут устанавливаться для зала, группы фойе, вестибюля и т.п. Не следует питать от одних групповых щитков освещение помещений с различными условиями естественного освещения. Исключением являются случаи, когда нагрузки помещений одного назначения или с одноклассовыми условиями естественного освещения являются преобладающими. Тогда помещения, отличающиеся по назначению или естественному освещению, питаются разными групповыми линиями от общих щитков (например, коридоры на разных этажах, части коридоров, имеющие естественное освещение и не имеющие его, и т.п.).

Питание ОП АО в помещениях различного назначения, а также с естественным светом и без него от общих щитков, но разными групповыми линиями вполне допустимо.

Для питания стояков рабочего освещения используют схемы, приведенные на рис. 9.19. Выбор схемы для конкретного случая определяется технико-экономическим сопоставлением. Обычно более экономична схема, представленная на рис. 9.19, а, однако схемы на рис. 9.19, б, в, обладают большей надежностью. При использовании схемы 9.19, в число щитков верхних

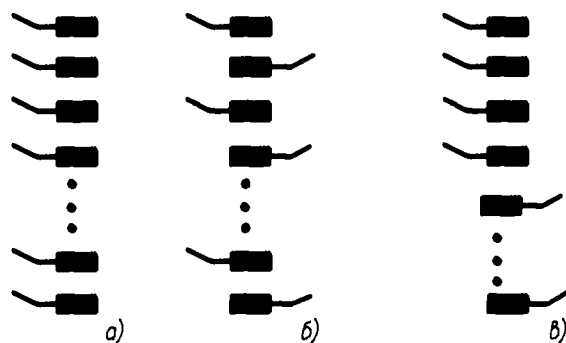


Рис. 9.19. Схемы стояков распределительных линий рабочего освещения в ОЗ повышенной опасности

этажей, присоединяемых к одной линии, следует выбирать меньшим, чем число щитков, подключаемых ко второй линии (примерно в соотношении 2:3).

9.5.5. Схемы питания жилых домов

Источником электроснабжения жилых домов служат, в основном, городские ТП.

Комплексы электроприемников жилых домов высотой более пяти этажей с плитами на газообразном и твердом топливе, а если в них установлены электроплиты, то независимо от этажности (кроме одно- — восьмиквартирных домов) относятся ко 2-й категории надежности электроснабжения. Остальные жилые дома относятся к 3-й категории. Отметим, что в жилых домах и общежитиях свыше 16 этажей группы электроприемников противопожарных устройств (дымозащита, пожарные насосы, пожарная сигнализация), АО, огни светового ограждения относятся к 1-й категории надежности электроснабжения. В каждом жилом доме устанавливается одно (реже два) ВРУ, к которому от ТП прокладывается, в зависимости от категории надежности, один или два (в городах и крупных поселках) кабельных ввода. Вводно-распределительное устройство жилого дома, относящегося ко 2-й категории, представляет собой двухсекционный распределительный щит с двумя переключателями на вводе. Питающие линии от ТП до ВРУ выбирают с учетом работы в послепеиковом режиме, когда выходит из строя одна питающая линия (см. § 9.5.3).

В жилых домах высотой 10 и более этажей устанавливаются системы дымозащиты при пожаре, питание которых производится от самостоятельного щита с АВР линиями, присоединяемыми до вводных аппаратов ВРУ. К такому щиту присоединяются также линии, питающие АО и огни светового ограждения, а в домах высотой 17 этажей и выше — и линии питания лифтов.

Для учета расхода электроэнергии каждой квартиры в квартирном щитке устанавливается один однофазный счетчик.

На ВРУ устанавливаются приборы учета расхода электроэнергии других потребителей рабочего освещения и АО общедомовых помещений, лифтов, устройств дымозащиты, причем рабочее освещение и АО общедомовых помещений присоединяются к разным вводам.

Таковы основные нормативные требования [9.1], определяющие схему питания жилого дома. Получившее значительное распространение схема питания жилого дома, когда к одной секции ВРУ присоединяются, в основном, силовые электроприемники, составляющие небольшую часть общей нагрузки дома, а к другой — квартиры и рабочее освещение общедомовых помещений, неэкономична и приводит к перерасходу вводного материала и увеличенным потерям электроэнергии во внешней питающей линии.

Следует стремиться к возможно равномерной нагрузке магистралей в рабочем режиме. Для этого часть нагрузки квартир рекомендуется питать от «силового» ввода. Конечно, при этом необходимо убедиться в том, что размахи изменений напряжения в квартирах, вызванные пусковыми токами лифтов, находятся в допус-

тимых пределах (см. рис. 9.1). Проведенные расчеты показывают, что требования к качеству электроэнергии выполняются в большинстве случаев при системе питания 380/220 В и при этом не требуется специально увеличивать сечение питающих сетей. При расчетах рекомендуется для многоэтажных жилых домов число пусков каждого лифта принимать равным 60 в час.

На рис. 9.16 приведена схема питания жилого дома высотой 6—9 этажей без щита дымозащиты, а на рис. 9.17 — схема питания дома высотой 17 и более этажей. Схема питания жилого дома высотой 10—16 этажей отличается от изображенной на рис. 9.17 тем, что линии к лифтам присоединяются к вводу № 1.

Желательность уменьшения числа расчетных счетчиков электроэнергии и имеющийся положительный опыт применения дифференцированного тарифа на электроэнергию делают целесообразным установку перед щитом дымозащиты одного счетчика, несмотря на то, что силовая и осветительная (АО) нагрузки имеют разные тарифы.

При присоединении к одной горизонтальной питающей линии нескольких стоек на ответвлении к каждому необходимо устанавливать коммутационный аппарат для ремонтных целей (обычно в шкафу первого этажа).

9.5.6. Схемы питания наружного освещения

Наружное освещение промышленных предприятий обычно питается от тех же ТП, что и внутреннее освещение, но самостоятельными линиями, не используемыми для питания внутреннего освещения. Линии НО отходят от распределительных щитов ТП или магистральных щитков (пунктов). При питании НО от магистральных щитков линии питающей сети от щитов ТП до магистральных щитков могут быть общими для внутреннего и наружного освещения.

В случаях, когда для НО предусматривается централизованное дистанционное, телемеханическое или автоматическое управление (см. § 9.9.6), для линий НО на магистральных пунктах устанавливаются защитные и коммутационные аппараты — автоматы и магнитные пускатели.

На рис. 9.9, а приведена схема питания НО от магистрального щитка (пункта) через автомат и магнитный пускатель, на рис. 9.9, б — схема присоединения трехфазной четырехпроводной линии НО, в которой две фазы используются для питания ОП, включаемых только в вечернее время (вечерние фазы) и отключаемых ночью, когда интенсивность движения транспорта уменьшается, а третья фаза питает ОП, включаемые как в вечерние, так и в ночные часы (ночная фаза).

Источником питания НО улиц, площадей и микрорайонов городских территорий, как правило, являются городские ТП. Имеются группы ОП НО, которые можно присоединять в ВРУ ОЗ и жилых домов. К ним относятся ОП территорий детских садов-яслей, школ, больницы, санаториев, домов отдыха и т.п., освещение домовых знаков, световые указатели пожарных гидрантов. Установки праздничной иллюминации на улицах и площадях категорий А и Б могут получать питание от

сетей расположенных на них зданий (например, от самостоятельных групповых щитков жилых домов, подключенных к панелям рабочего освещения общедомовых помещений ВРУ).

По надежности электроснабжения ОУ НО городских территорий относятся к 3-й категории, 2-я категория должна быть обеспечена лишь для ОУ транспортных и пешеходных туннелей, а также для ОУ улиц и площадей категории А.

Распределительные линии НО присоединяются непосредственно к пунктам питания НО, размещаемым как в специальных пристройках к ТП, так и на открытом воздухе в шкафах соответствующего исполнения. Электрические схемы пунктов питания содержат как вводное устройство с прибором учета электроэнергии, так и распределительный щит с аппаратами защиты отходящих линий (обычно предохранители) и устройствами, обеспечивающими возможность раздельного централизованного управления вечерним и ночным режимом освещения (с помощью пускателей или контакторов).

На рис. 9.20 изображена характерная схема пункта питания НО, относящегося ко 2-й категории надежности электроснабжения. Схема пункта питания НО, обеспечивающая 3-ю категорию надежности, аналогична, но вместо переключателя на вводе устанавливается выключатель (рубильник).

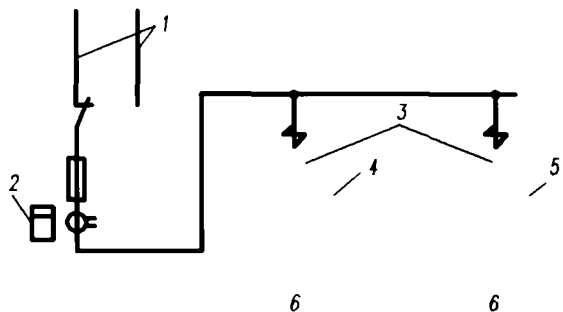


Рис. 9.20. Схема пункта питания НО по 2-ой категории надежности электроснабжения: 1 — вводы от ТП; 2 — расчетный счетчик электроэнергии; 3 — контакторы; 4 — щит вечернего освещения; 5 — щит ночного освещения; 6 — распределительные линии НО

Некоторые распределительные линии НО городских территорий, помимо основного назначения, играют также и роль сети управления для обеспечения последовательного (каскадного) включения соседних пунктов питания. К таким линиям присоединяются катушки пусковых аппаратов этих пунктов.

Линии распределительной сети НО промышленных предприятий, городов и населенных пунктов, как правило, выполняются трехфазными четырехпроводными, с поочередным подключением ОП к разным фазам. Отдельные линии небольшой протяженности и ответвления от основных линий, питающие небольшое число ОП, выполняются трех- и двухпроводными (две фазы и нуль или фаза и нуль). Если каждой фазой линии производится питание не более 20 ОП, отдельных аппаратов защиты для каждого ОП не предусматривается, при

числе ОП более 20 на фазу каждый ОП должен защищаться самостоятельным аппаратом защиты.

9.5.7. Схемы групповых линий

При трехфазной системе с нулевым проводом и при питании ОП фазным напряжением групповые линии могут быть: двухпроводными или трехпроводными (однофазными) (рис. 9.21, а, б), трехпроводными или четырехпроводными (двухфазными) (рис. 9.21, в) и четырехпроводными или пятипроводными (трехфазными) (рис. 9.21, г, д).

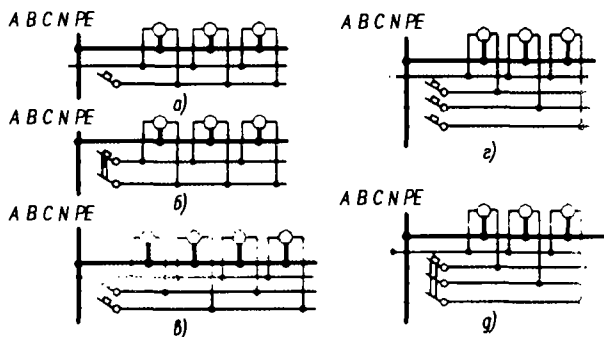


Рис. 9.21. Схемы групповых линий при трехфазной системе с нулевым проводом и питании ОП фазным напряжением: а, б — двухпроводные (однофазные); в — трехпроводные (двухфазные); г, д — четырехпроводные (трехфазные)

При трехфазной системе напряжения 380/220 В и при питании ОП линейным напряжением 380 В групповые линии могут быть трехпроводными или четырехпроводными (две фазы и нуль) (рис. 9.22, а) и четырехпроводными или пятипроводными (три фазы и нуль) (рис. 9.22, б).

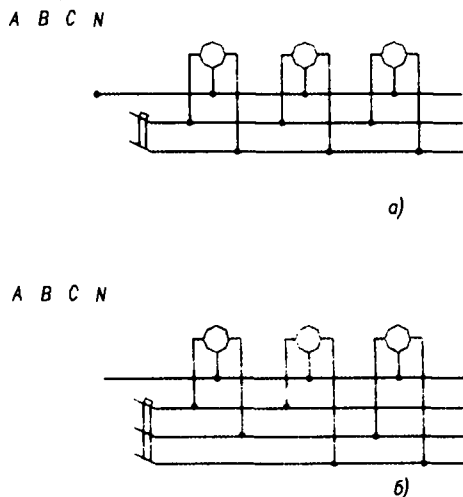


Рис. 9.22. Схемы групповых линий при трехфазной системе с нулевым проводом и питании ОП линейным напряжением: а — двухпроводные двухфазные (две фазы и нуль); б — четырехпроводные трехфазные (три фазы и нуль)

В трехфазных сетях без нейтрали, а также в трехфазных сетях с нулевым проводом при питании ОП линейным напряжением и при отсутствии необходимости заземления или зануления ОП (см. § 9.12) применяются двухпроводные (двухфазные) (рис. 9.23, а) и трехпроводные (трехфазные) (рис. 9.23, б) групповые линии, для защиты которых рекомендуются двух- и трехполюсные автоматы.

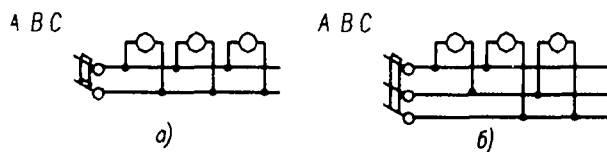


Рис. 9.23. Схемы групповых линий при трехфазных сетях без нейтрали и при отсутствии необходимости зануления: а — двухпроводные (двухфазные); б — трехпроводные (трехфазные)

Групповые сети, питающие светильники общего освещения в производственных и общественных зданиях, могут выполняться однофазными, а при наличии большого количества устанавливаемых ОП — по системам «2 фазы и нуль» и «3 фазы и нуль» с общим рабочим нулевым проводником и с защитой однополюсными автоматами или плавкими предохранителями, устанавливаемыми на групповом щите. При этом каждой фазе двух- и трехфазной линии следует питать ОП, устанавливаемые в одном или нескольких небольших помещениях, или группы ОП, освещающих часть большого помещения.

Применение двух- и трехфазных групповых линий общего освещения экономически целесообразно, так как это дает существенное сокращение протяженности проводников групповой сети.

Для зануления ОП должен использоваться самостоятельный нулевой защитный проводник, прокладываемый от группового щитка. Одно-, двух- и трехфазные групповые линии, питающие ОП общего освещения, должны быть соответственно трех-, четырех- и пятипроводными [45].

Групповые линии, питающие ОП общего освещения в жилых зданиях, должны выполняться однофазными с прокладкой самостоятельного нулевого защитного проводника, начиная от группового или этажного щитка.

Групповые линии, питающие штеспельные розетки административно-бытовых и производственных зданий, могут выполняться однофазными, а при большом количестве устанавливаемых штеспельных розеток — по системе «2 фазы и нуль» и «3 фазы и нуль» с общим рабочим нулевым проводником и с защитой однополюсными автоматами или плавкими предохранителями, устанавливаемыми на групповом щите. При этом каждой фазой двух- и трехфазной линии могут питаться штеспельные розетки, устанавливаемые как в одном, так и в нескольких небольших помещениях или в какой-то части одного большого помещения.

Применение двух- и трехфазных групповых линий для питания штеспельных розеток экономически целесообразно, так как это дает существенное сокращение протяженности проводников групповой сети.

Одно-, двух- и трехфазные групповые линии, питающие штеспельные розетки, должны иметь самостоятельный нулевой защитный проводник, начиная от группового щитка, т.е. групповые линии должны быть соответственно трех-, четырех- и пятипроводными. Нулевой защитный проводник должен присоединяться к защитному контакту штеспельных розеток [45].

В жилых зданиях групповые линии, питающие штеспельные розетки, должны быть однофазными трехпроводными, с прокладкой самостоятельного нулевого защитного проводника, начиная от группового или этажного щитка. Нулевой защитный проводник должен присоединяться к защитному контакту штеспельных розеток.

При компоновке групповых линий необходимо руководствоваться следующими общими указаниями: на каждую фазу групповой линии должно включаться не более 20 ЛН, ламп типа ДРЛ, МГЛ, НЛВД или 50 ЛЛ. К групповым линиям освещения лестниц, поэтажных коридоров, холлов, вестибюлей, технических подполий и чердаков жилых и общественных зданий допускается присоединять на фазу до 60 ЛН и ЛЛ мощностью до 65 Вт. Аппараты защиты в нулевых проводах устанавливать запрещается, за исключением взрывоопасных зон класса В-1. Автоматы для трехфазных линий могут быть однополюсные и трехполюсные. Последние применяются: при необходимости одновременного отключения всех ОП, питаемых группой; когда к трехфазной групповой линии присоединен трехфазный конденсатор для повышения коэффициента мощности (см. § 9.10); для линий, питающих трехфазные понижающие трансформаторы.

Трехфазные групповые линии используются в больших производственных помещениях, освещаемых ОП с РЛВД, а также при большом количестве ОП с ЛЛ. В ОЗ распространение получили трехфазные линии, которые используются для питания освещения не только помещений большой площади (вестибюли, фойе, залы), но и групп небольших однотипных помещений. В каждом таком помещении ОП подключаются к одной фазе сети с чередованием фаз А-В-С, С-В-А. В этом случае при числе помещений не менее 10 сеть может рассчитываться как трехфазная, несмотря на возможность отключения ОП в каждом помещении, поскольку вероятность одновременного выключения ОП во всех помещениях, присоединенных к одной фазе, невелика.

Одно- и двухфазные линии используются для питания небольших производственных и вспомогательных помещений, коридоров, лестниц, небольших ОЗ, а также в сетях АО.

Использование двух- и трехфазных групповых линий обязательно, если иными способами не удастся обеспечить необходимое снижение коэффициента пульсации в ОУ с РЛ (например, при применении РЛВД или при выполнении освещения одноламповыми ОП с ЛЛ с однотипными ПРА).

9.6. УПРАВЛЕНИЕ ОСВЕЩЕНИЕМ

9.6.1. Общие указания и рекомендации

Системы и способы управления внутренним и наружным освещением приведены в табл. 9.3. В качестве аппаратов управления разрешается использовать автоматы групповых и магистральных щитков (распределительных пунктов).

В сетях с заземленной нейтралью аппараты управления устанавливаются во всех фазных проводах. Во взрывоопасных зонах помещений класса В-І в двухпроводных однофазных групповых линиях должно предусматриваться одновременное отключение фазного и нулевого проводов.

В сетях с изолированной нейтралью и без нейтрали и в сетях постоянного тока аппараты управления уста-

Таблица 9.3

Системы и способы управления освещением

Система управления	Способ управления	Способ осуществления	Область применения
Местное*		Установка аппаратов управления (выключатели, автоматы) вблизи освещаемых помещений или перед входами в них, у рабочих мест для местного освещения, на отдельных участках территорий	Небольшие и средние по размерам помещения, большие помещения при включении общего освещения частями, местное освещение. Освещение участков территории, включаемое периодически, площадки наружных работ, погрузочно-разгрузочные участки, открытые склады и т.п. Освещение входов в здания
	Прямое	Установка аппаратов управления (выключатели, автоматы) в линиях питающей сети внутреннего освещения и в линиях НО: на щитах подстанций, магистральных щитках, на вводах в здания, на ответвлениях от шинпроводов. Использование вводных автоматов групповых щитков	Большие помещения производственных и общественных зданий, общее освещение которых включается и отключается одновременно. Освещение небольших территорий. Освещение отдельных участков территорий, включаемое периодически, площадки наружных работ, погрузочно-разгрузочные участки, открытые склады и т.п.
Централизованное**	Дистанционное	Установка магнитных пускателей в линиях питающей и групповой сетей внутреннего освещения и в линиях НО. Использование дистанционно управляемых автоматов	При управлении с диспетчерского или командного пункта общим освещением больших помещений, питаемых несколькими линиями, или от нескольких подстанций. При необходимости включения общего внутреннего освещения из двух и более мест. Наружное освещение промышленных предприятий при удалении пункта управления от источников питания (практически необходимо при питании от двух и более подстанций). Освещение больших открытых спортивных сооружений. Наружное освещение городов и населенных пунктов с населением до 20 тыс. жителей
	Автоматическое программное и фотоавтоматическое***	Установка магнитных пускателей в линиях внутреннего и наружного освещения и программного реле времени, фотореле или фотоэлектрического автомата, включающих освещение в зависимости от времени суток или от уровня естественной освещенности	Для внутреннего и наружного освещения
	Телемеханическое	Установка магнитных пускателей в линиях НО. Включение и выключение магнитных пускателей из диспетчерского или командного пункта с помощью телемеханических устройств	Наружное освещение предприятий, на которых предусматривается телемеханическое управление электроснабжением. Наружное освещение городов с населением более 50 тыс. жителей ^{*1}

* При необходимости может применяться для отдельных помещений и участков территорий в дополнение к централизованному (дистанционному, автоматическому и телемеханическому).

** При необходимости может применяться для отдельных помещений и участков территорий в дополнение к дистанционному, программному, фотоавтоматическому и телемеханическому.

*** При устройстве программного и фотоавтоматического управления должна предусматриваться возможность переключения этих способов управления на дистанционное.

*1 В городах с населением от 20 до 50 тыс. жителей может применяться дистанционное или телемеханическое управление НО.

навливают во всех незаземленных проводах линии и обеспечивают их одновременное отключение. Для помещений без повышенной опасности в двухпроводных линиях допускается установка аппаратов управления в одном проводе.

В сетях малого напряжения (до 50 В) аппараты управления устанавливаются: в трехфазных линиях — во всех проводах, в однофазных — в одном незаземленном проводе.

Управление общим внутренним освещением. Для небольших помещений выключатели устанавливаются у входа, как правило, со стороны дверной ручки, для редко посещаемых помещений (вентиляционные камеры, кладовые и т.п.) — вне помещений, в остальных случаях — в помещениях. Управление освещением отдельных участков помещений с разной естественной освещенностью должно быть раздельным. Выключатели для ОП, установленные в помещениях с тяжелыми условиями среды, рекомендуется выносить в смежные помещения с лучшими условиями.

В помещениях с боковым естественным освещением рекомендуется предусматривать включение ОП рядами, параллельными окнам. В больших производственных помещениях (более 200 м²), не используемых круглосуточно и не имеющих АО, рекомендуется выделять на отдельное включение небольшое число ОП, создающих освещенность, необходимую для уборки и охраны помещения (дежурное освещение).

В протяженных помещениях с несколькими входами, посещаемых только специальным персоналом (кабельные, водопроводные, теплофикационные туннели и др.), необходимо предусматривать управление освещением от каждого входа или части входов. Схемы управления освещением из нескольких мест приведены на рис. 9.24.

Местное управление освещением больших помещений обычно производится с групповых щитков автоматами групповых линий. Аппараты управления освеще-

нием и щитки, с которых производится управление освещением, размещают в местах, доступных и удобных для обслуживания.

Для запираемых помещений складов, где хранятся горючие материалы или материалы в горючей упаковке, вне склада устанавливают общий отключающий аппарат с приснособлагом для пломбирования, размещенный в несгораемом ящике на несгораемом основании (стене), а при его отсутствии — на отдельной опоре. При питании освещения зданий от отдельно стоящей ТП на вводах питающей сети в здания устанавливают отключающие аппараты.

В жилых домах для управления освещением лестничных клеток в целях экономии электроэнергии рекомендуется применять кнопки выключатели кратковременного действия, устанавливаемые на каждом этаже. При нажатии на кнопку такого выключателя освещение включается на 2–3 мин и затем выключается.

Управление местным освещением производится выключателями, являющимися конструктивной частью ОП или располагаемыми в стационарной части электропроводки. В сетях малого напряжения для включения освещения допускается использовать штепсельные розетки.

Управление НО предусматривается раздельным для следующих участков территорий предприятий и объектов: проходов и проездов, участков производства наружных работ, открытых технологических установок, открытых складов, ОП светового ограждения высотных препятствий, охранного освещения. При необходимости устройства на территории дежурного освещения должно предусматриваться раздельное управление ОП рабочего и дежурного освещения. Осветительные приборы для освещения входов в здания питаются, как правило, от сети внутреннего АО, управление ими производится местными выключателями или централизованно.

Для некоторых больших общественных зданий (административных, гостиниц и др.), а также для отдельных микрорайонов в городах и населенных пунктах предусматривается система диспетчерского управления различными инженерными устройствами — водо-, тепло- и электроснабжением, противопожарными устройствами, лифтами. В систему диспетчерского управления обычно входит также управление освещением вестибюлей, лестничных клеток и коридоров зданий, а иногда и НО внутриквартальных участков территории. В таких случаях отпадает необходимость разработки самостоятельных систем управления внутренним и наружным освещением. Наряду с диспетчерским управлением освещением указанных объектов в ряде случаев предусматривают также автоматическое управление в зависимости от уровня естественной освещенности.

9.6.2. Дистанционное, автоматическое и телемеханическое управление

Дистанционное управление внутренним освещением производственных помещений осуществляют в зависимости от характера и особенностей производственного корпуса из одного или нескольких мест

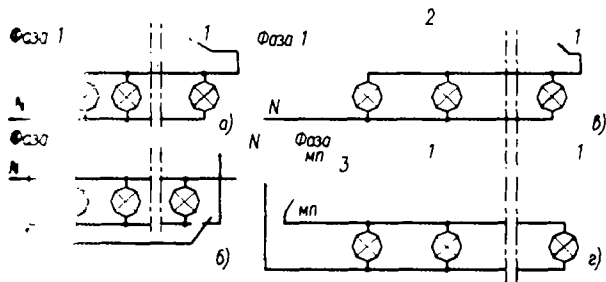


Рис. 9.24. Схемы управления освещением из нескольких мест: а — из двух мест; б — из двух мест с транзитной фазой; в — из трех мест (при увеличении числа переключателей из любого числа мест); г — с помощью магнитного пускателя (для управления им применяют схемы а, б, в); 1 — переключатель однополюсный на два направления без нулевого положения; 2 — переключатель двухполюсный на два направления без нулевого положения; 3 — переключатель однополюсный с нулевым положением (необходим при отсутствии аппарата, отключающего ОП и магнитный пускатель)

(диспетчерский пункт, контора цеха и т.п.). Дистанционное или телемеханическое управление освещением территорий предприятий производят, как правило, из одного пункта, обеспеченного постоянным или периодически посещаемым дежурным персоналом, для больших территорий допускается предусматривать 2—3 пункта управления. Для мест производства открытых работ при цехах, открытых технологических установок, складских площадок управление НО допускается выполнять из цеховых пунктов управления внутренним освещением или аппаратами местного управления.

Управление НО городов должно осуществляться из одного центрального или центрального и нескольких районных диспетчерских пунктов. Районные диспетчерские пункты должны предусматриваться в крупных городах, территории которых разобраны естественными перегородками рельефа местности, а также водными и лесными массивами [9.2].

Автоматическое управление освещением разделяется на фотоавтоматическое и программное.

При фотоавтоматическом управлении включение и выключение наружного и внутреннего освещения осуществляется в зависимости от освещенности, создаваемой естественным светом, и выполняется с помощью фотореле и фотоавтоматов [9.3].

Фотоавтоматическое управление используется преимущественно для предприятий, общественных и жилых зданий (вестибюли, лестницы, коридоры) и уличного освещения.

Программное управление применяется для внутреннего освещения промышленных предприятий. Оно предусматривает включение и выключение освещения в зависимости от времени начала и окончания рабочих смен и обеденных перерывов. Управление осуществляется с помощью программных реле времени [9.4].

Для включения и защиты линий внутреннего и наружного освещения при дистанционном, автоматическом и телемеханическом управлении применяют ящики или блоки управления с магнитными пускателями и автоматами (см. § 9.12). Управление магнитными пускателями производится: при дистанционном управлении — с постов, пультов или из шкафов управления, устанавливаемых в помещении управления освещением, при телемеханическом управлении — с пульта диспетчера. При устройстве автоматического управления в дополнение к фотоэлектрическим автоматам и программным реле времени предусматривается возможность перехода на дистанционное управление.

Для дистанционного управления внутренним и наружным освещением применяется многоканальная система передачи команд и сигналов с прокладкой между силовыми блоками (ящиками управления) и постами управления (пультами, шкафами) линий управления, в качестве которых используются специально выделенные жилы телефонных кабелей внутриобъектной связи или специально прокладываемые контрольные кабели. При автоматическом управлении предусматривается прокладка линий управления между силовыми блоками, программными реле времени, фотоэлектри-

ческими автоматами и выносными датчиками освещенности.

На предприятиях, где применяется телемеханическое управление электроснабжением, управление НО входит составной частью в общую систему телемеханизации и прокладки линий связи.

В городах и населенных пунктах управление освещением территорий детских яслей-садов, общеобразовательных школ, школ-интернатов, гостиниц, больниц, госпиталей, садов, стадионов и выставок, как правило, осуществляется от системы управления НО населенного пункта, в котором они расположены. При этом для установок НО указанных объектов, а также для ОУ пешеходных туннелей должна предусматриваться возможность местного управления.

Для уличного освещения городов и населенных пунктов, а также НО промышленных предприятий системы дистанционного и телемеханического управления освещением предусматривают два режима работы ОУ — вечерний и ночной. При вечернем режиме включаются все ОП; при ночном, когда интенсивность движения транспорта падает, часть ОП отключается.

В установках НО городов и населенных пунктов широко применяется каскадная схема дистанционного управления, при которой управление участками распределительных линий НО осуществляется путем подключения катушки магнитного пускателя второго участка в линию первого, катушки пускателя третьего участка в линию второго и т. д. Каскадные схемы управления существенно удешевляют установки НО благодаря сокращению протяженности сети управления освещением.

На рис. 9.25—9.28 приведены принципиальные схемы управления, на рис. 9.29—9.31 — схемы питания линий управления, в табл. 9.4 — данные о выборе схем управления, в табл. 9.5 — обозначения, принятые в схемах на рис. 9.25—9.31, и места установки отдельных аппаратов.

Схемы на рис. 9.25—9.28 относятся только к управляемым линиям, схемы на рис. 9.29—9.31 отражают варианты питания линий управления. В конкретных случаях применяются различные сочетания схем указанных двух групп (см. табл. 9.4).

Схемы управления характеризуются следующими особенностями: отсутствием нулевой защиты, чем обеспечивается автоматическое повторное включение освещения при восстановлении напряжения в линии сети освещения после его кратковременного исчезновения; наличием на постах, пультах или шкафах управления освещением двух сигнальных ламп для каждого магнитного пускателя, показывающих включенное или отключенное состояние освещения; наличием в силовых блоках (ящиках с магнитными пускателями и автоматами) избирателей управления, позволяющих осуществлять переход с дистанционного, фотоавтоматического и телемеханического управления на местное; возможностью перехода с фотоавтоматического или программного управления на дистанционное или телемеханическое.

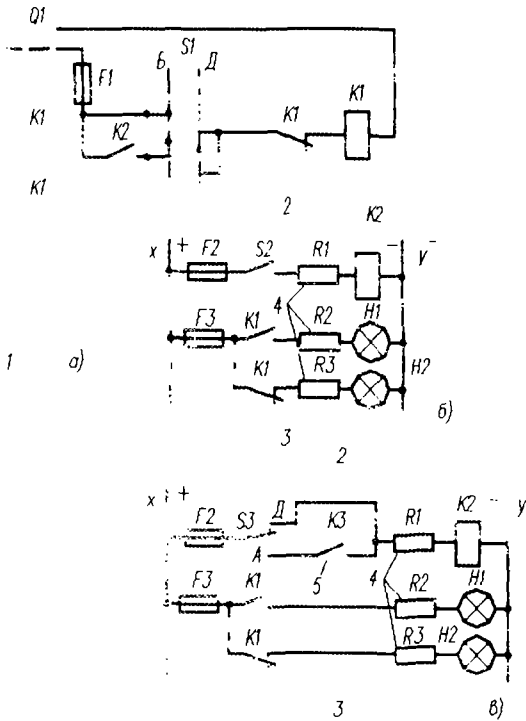


Рис. 9.25. Принципиальные схемы дистанционного фотоавтоматического и программного управления освещением по свободным жилам телефонных кабелей: *a + б* — дистанционное управление; *a + в* — фотоавтоматическое и программное управление; *1* — к потребителю; *2* — от источника питания сети управления 60 В (см. схемы на рис. 9.29 и 9.30); *3* — к аналогичным цепям управления других пускателей; *4* — вводится при напряжении источника питания выше напряжения катушки реле и сигнальных ламп; *5* — замкнут при включении освещения фотоавтоматом или программным реле времени

В схемах на рис. 9.25–9.27, 9.29–9.31 показан выходной контакт фотоэлектрического автомата, фотореле или программного реле времени, подключение самого фотоавтомата или реле времени к сети решается в зависимости от типа этого аппарата. Выносные датчики освещенности для фотоавтоматического управления устанавливаются в местах контроля освещенности, ориентированных на север. Датчики могут располагаться в помещениях перед окном или между рамами окна, а также вне помещений на наружных стенах зданий. Датчики должны быть защищены от случайной засветки, а снаружи — от атмосферных осадков.

При использовании для управления освещением телефонных кабелей линии управления следует питать постоянным током во избежание помех телефонным разговорам. В качестве источника постоянного тока могут использоваться аккумуляторные батареи слаботоковых устройств напряжением 60 В или выпрямительные устройства с выходным напряжением до 60 В.

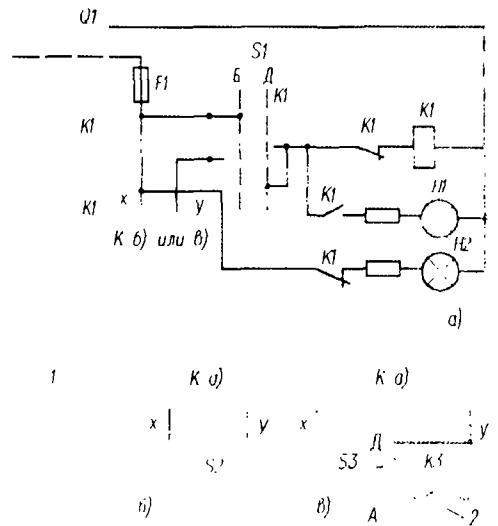


Рис. 9.26. Принципиальные схемы дистанционного фотоавтоматического и программного управления освещением по контрольным кабелям без промежуточных реле: *a + б* — дистанционное управление; *a + в* — автоматическое и программное управление; *1* — к потребителю; *2* — замкнут при включении освещения фотоавтоматом или программным реле времени

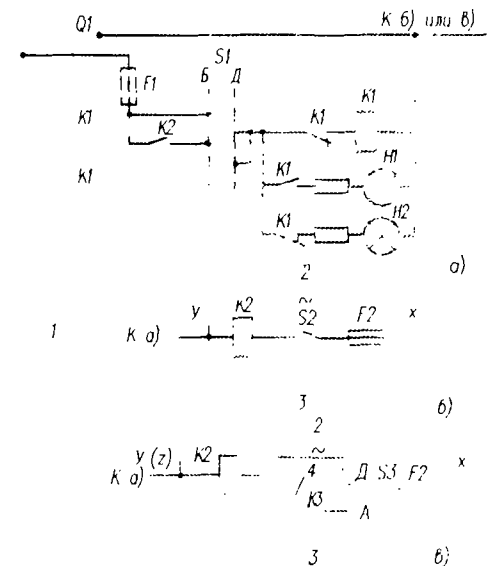


Рис. 9.27. Принципиальные схемы дистанционного фотоавтоматического и программного управления освещением по контрольным кабелям с промежуточным реле: *a + б* — дистанционное управление; *a + в* — автоматическое и программное управление; *1* — к потребителю; *2* — от источника питания сети управления 220 В; *3* — к аналогичным цепям управления других потребителей; *4* — замкнут при включении освещения фотоавтоматом или программным реле времени

~380/220В

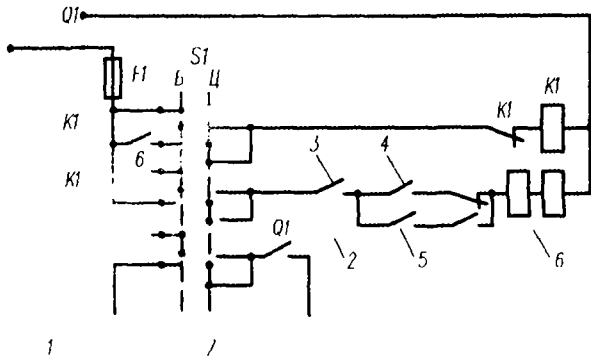


Рис. 9.28. Принципиальная схема телемеханического управления освещением: 1 — к потребителю; 2 — из схемы телеуправления; 3 — замкнут при подаче команды на включение или отключение; 4 — замкнут при подаче команды на включение; 5 — замкнут при подаче команды на отключение; 6 — двухпозиционное реле; 7 — цепь телемеханизации

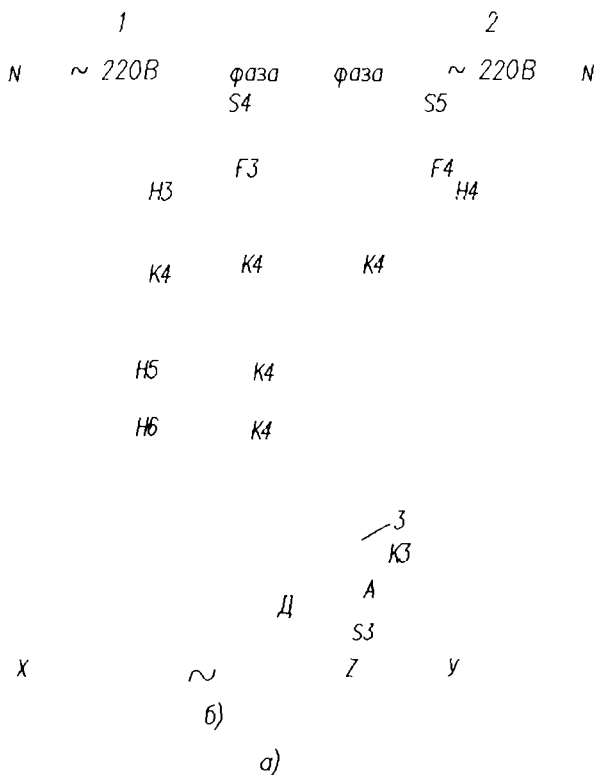


Рис. 9.30. Принципиальная схема питания сети управления переменным током: а — при дистанционном, фотоавтоматическом и программном управлении каждым пускателем (к схемам рис. 9.27, б и в); б — при дистанционном управлении каждым пускателем и фотоавтоматическом и программном управлении группой пускателей (к схеме рис. 9.27, б); 1 — основное питание (220 В); 2 — резервное питание (220 В); 3 — замкнут при включении освещения фотоавтоматом или программным реле времени

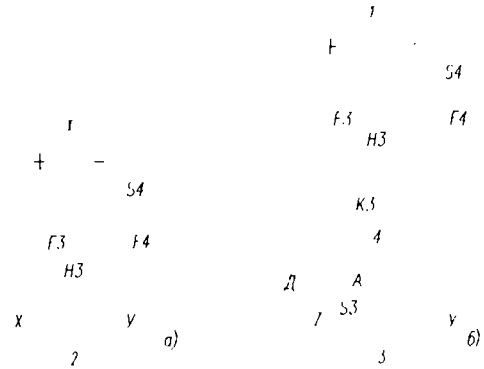


Рис. 9.29. Принципиальная схема питания сети управления постоянным током от аккумуляторной батареи: а — при дистанционном, фотоавтоматическом и программном управлении каждым пускателем; б — при дистанционном управлении каждым пускателем и фотоавтоматическом и программном управлении группой пускателей; 1 — от аккумуляторной батареи или выпрямительного устройства 60 В; 2 — к схеме рис. 9.25, б и в; 3 — к схеме рис. 9.25, б; 4 — замкнут при включении освещения фотоавтоматом или программным реле времени

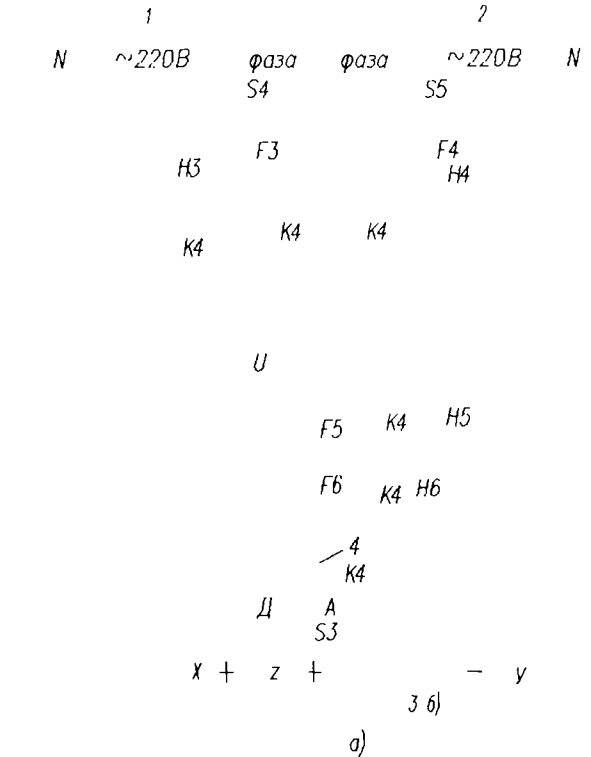


Рис. 9.31. Принципиальная схема питания сети управления постоянным током от выпрямителя: а — при дистанционном, фотоавтоматическом и программном управлении каждым пускателем (к схемам рис. 9.25, б и в); б — при дистанционном управлении каждым пускателем и фотоавтоматическом и программном управлении группой пускателей (к схеме рис. 9.25, б и в); 1 — основное питание (220 В); 2 — резервное питание (220 В); 3 — постоянный ток (60 В); 4 — замкнут при включении освещения фотоавтоматом или программным реле времени

Выбор схем управления

Способ управления	Характеристика линий управления	Питание линий управления			Номер рисунка схемы		Рекомендуемая область применения
		Источник питания	Род тока	Напряжение	управления	питания линий управления	
Дистанционное	Телефонные кабели	Аккумуляторная батарея*	Постоянный	60	9.25, а, б	9.29, а	Наружное освещение*
Дистанционное и фотоавтоматическое		Через выпрямитель			9.25, а, б	9.30, а	
		Аккумуляторная батарея			9.25, а	9.29, а***	
		Через выпрямитель			9.25, а, б	9.29, б*4	
Дистанционное	Контрольные кабели	От управляемой линии	Переменный	220	9.25, б*5 9.27, а, б***	— 9.31, а***	Внутреннее и наружное освещение
Дистанционное и фотоавтоматическое		От двух источников			9.27, а, б*6	9.31, б*4	Наружное освещение*
Телемеханическое*7	Кабели системы телеуправления	—	—	—	9.28	—	Наружное освещение*

Выбор источника питания линий управления производится с учетом местных условий проектируемого объекта.

При небольших расстояниях от помещения управления освещением до магнитных пускателей напряжения катушек промежуточных реле и источника питания линий управления принимаются одинаковыми; при значительных расстояниях напряжение катушек реле принимается ниже напряжения источника питания, а избыток напряжения гасится в специально рассчитываемых добавочных резисторах.

При дистанционном управлении и фотоавтоматическом управлении каждым пускателем.

При дистанционном управлении каждым пускателем и фотоавтоматическом управлении группой пускателей.

При небольших расстояниях от помещения управления освещением до магнитных пускателей.

При значительных расстояниях от помещения управления освещением до магнитных пускателей.

Применяется при наличии на предприятии телемеханизации систем электроснабжения.

Таблица 9.5

Обозначения в схемах на рис. 9.25—9.31 и места установки аппаратов

Обозначение	Наименование	Место установки
Q	Автоматический выключатель	В силовом блоке (ящике) управления
K1	Магнитный пускатель	
S1	Избиратель управления	
F1	Предохранитель в цепи управления	
K2	Промежуточное реле	Вблизи силового блока (ящика) управления
R1	Добавочное сопротивление в цепи катушки реле	
K3	Фотоэлектрический автомат, фотореле или программное реле времени	
K4	Магнитный пускатель	В помещении управления освещением
S2	Выключатель дистанционного управления	
S3	Избиратель режима управления	
S4, S5	Выключатель в цепи питания линий управления	
H1—H6	Сигнальная лампа	
F2—F7	Предохранитель в цепи управления	
R2	Добавочное сопротивление в цепи сигнальной лампы	
L	Выпрямитель	
Б	Обозначение у избирателей S1	
.I	местное управление	
.A	дистанционное управление	
.А	автоматическое управление	
.II	телемеханическое управление	

9.6.3. Выполнение и расчет сетей дистанционного управления освещением

Применение воздушных линий и электропроводов на роликах, изоляторах и других способов открытой прокладки для сетей дистанционного управления освещением не рекомендуется ввиду недостаточной их надежности. Использование общего контрольного кабеля и прокладка в общей трубе проводов для управления рабочим освещением и АО запрещается.

Количество жил в линиях управления между постом управления (нультом, шкафом), установленным в помещении управления освещением, и силовыми блоками с магнитными пускателями принимается из следующего расчета: для схем на рис. 9.25, $a + б$, 9.26, $a + б$, 9.27, $a + в - 5n$, на рис. 9.25, $a + в$, 9.26, $a + в - 6n$, на рис. 9.27, $a + б - 4n$, где n — число магнитных пускателей, обслуживаемых линиями управления.

Сети дистанционного управления рассчитывают на потерю напряжения от пускового тока втягивающих катушек магнитных пускателей и реле (при питании катушек переменным током) и от рабочего тока катушек (при постоянном токе). Эти аппараты надежно срабатывают при понижении напряжения до 85% номинального.

Телефонные кабели. При питании сети управления телефонными кабелями с медными жилами диаметром 0,5 мм от источника постоянного тока напряжением 60 В и при применении реле и сигнальных ламп на то же напряжение потеря напряжения в сети, %, определяется по формуле

$$с = 269I, \quad (9.2)$$

где I — рабочий ток катушки реле или сигнальной лампы, А; l — длина линии управления, км.

Расчет сети управления и сигнализации в случаях, когда напряжение источника питания больше напряжения катушек реле и сигнальных ламп, сводится к определению значения добавочного резистора, включаемого последовательно с катушкой или лампой для гашения излишка напряжения, не потерянного в кабеле.

Добавочное сопротивление при питании одной парой жил телефонного кабеля диаметром 0,5 мм одного реле (одной сигнальной лампы) определяют по формуле

$$R_{доб} = \frac{U}{0,85I} - 190I - r, \quad (9.3)$$

где $R_{доб}$ — добавочное сопротивление, Ом; U — напряжение источника питания, В; I — рабочий ток катушки реле (или сигнальной лампы при ее горении), А; l — длина кабеля от пункта управления освещением до места установки магнитного пускателя, км; r — активное сопротивление катушки реле (сигнальной лампы при ее горении), Ом.

Для упрощения определения значений добавочных сопротивлений в цепи катушек реле типа РПУ-2 постоянного тока и коммутаторных ламп (обычно применяемых в таких схемах) могут применяться графики, приведенные на рис. 9.32 и 9.33.

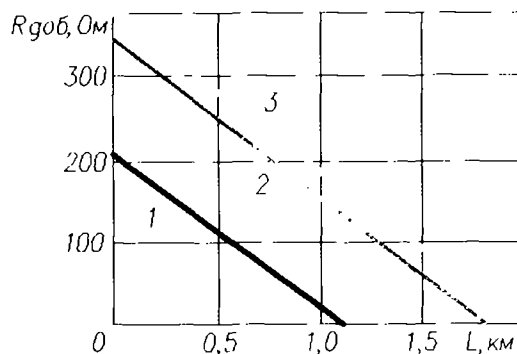


Рис. 9.32. График для определения значения добавочного сопротивления в цепи катушки реле типа РПУ-2 постоянного тока (сопротивление катушки 43 Ом при 12 В, 180 Ом при 24 В, 800 Ом при 48 В); напряжение на катушках: 1 — 12 В; 2 — 24 В; 3 — 48 В; напряжение сети управления 60 В

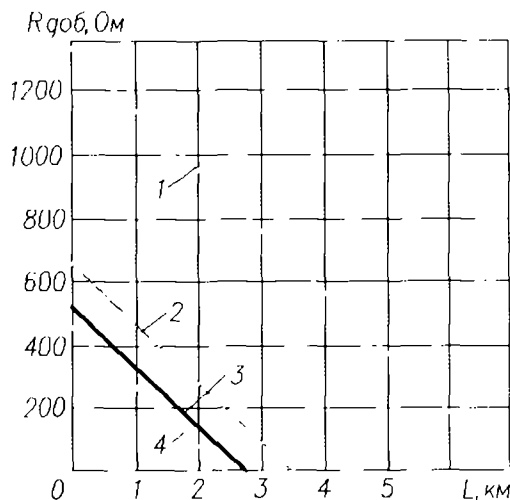


Рис. 9.33. График для определения значения добавочного сопротивления в цепи коммутаторных ламп при напряжении в цепи сигнализации 60 В: 1 — КМ 24-35; 2 — КМ 12-90; 3 — КМ 24-90; 4 — КМ 48-50

Контрольные кабели. Сечение жил контрольных кабелей при питании катушек магнитных пускателей (реле) переменным током определяют по формуле

$$S = I\beta, \quad (9.4)$$

где S — сечение, мм²; I — пусковой ток катушки магнитного пускателя (реле); l — длина кабеля от пункта управления освещением до места установки магнитного пускателя (реле), км; β — коэффициент, определяемый по табл. 9.6.

Значение коэффициента β

Значение $\cos \varphi$ катушки при пуске	Медные провода		Алюминиевые провода	
	напряжение на катушке, В			
	220	380*	220	380*
1,00	0,91	0,52	1,51	0,86
0,95	0,86	0,49	1,43	0,81
0,90	0,83	0,48	1,38	0,79
0,85	0,79	0,45	1,31	0,75
0,80	0,75	0,43	1,24	0,71
0,75	0,72	0,41	1,19	0,68
0,70	0,68	0,39	1,13	0,65
0,65	0,64	0,37	1,06	0,61
0,60	0,60	0,34	1,00	0,57
0,55	0,57	0,33	0,95	0,55
0,50	0,54	0,31	0,90	0,52
0,45	0,51	0,30	0,85	0,50
0,40	0,48	0,28	0,80	0,46
0,35	0,45	0,26	0,75	0,43
0,30	0,42	0,24	0,69	0,41
0,25	0,38	0,22	0,64	0,36
0,20	0,36	0,20	0,59	0,34

* Магнитные пускатели с катушками на напряжение 380 В для дистанционного управления освещением применять не рекомендуется.

9.7. ВЫПОЛНЕНИЕ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Осветительные сети должны обеспечивать:

1) надежность действия ОУ (соответствие условиям среды, механическая прочность жил проводов, защита от внешних механических воздействий);

2) безопасность в отношении пожара, взрыва, поражения электрическим током;

3) индустриализацию выполнения монтажных работ (использование монтажных изделий заводского изготовления, возможность предварительной заготовки элементов сети на заводах или в мастерских электро-монтажных заготовок (МЭЗ));

4) экономичность (наименьшую для данных условий стоимость);

5) удобства эксплуатации (по возможности доступность, ремонтпригодность);

6) требования эстетики и в ряде случаев гигиены.

Проводниковый материал в подавляющем числе случаев — алюминий. Медь, обладающая рядом преимуществ (лучшая проводимость, надежность контактов соединений, большая долговечность), должна использоваться в случаях, оговоренных нормами. В частности, применение медных проводов обязательно: в жилых, общественных, административных и бытовых зданиях во взрывоопасных зонах классов В-I и В-Ia, в помещениях со средой, агрессивной к алюминию, на сценах (эстрады, манежи), в студиях телецентров, в музеях, картинных галереях, библиотеках, архивах и храмах, в зданиях государственного значения, для зарядки ОП, для присоединения к сети настольных, ручных, переносных ОП и в некоторых других случаях.

По способам канализации электроэнергии сети (в том числе и осветительные) разделяются на электропроводки (ЭП), кабельные линии (КЛ) и воздушные линии (ВЛ).

К ЭП принято относить проводки внутри зданий, по их наружным стенам и на территориях, выполненные изолированными проводами всех сечений, а также небронированными силовыми кабелями с пластмассовой изоляцией сечением фазных жил до 16 мм². К ЭП относят также прокладку кабелей (независимо от их сечения) на несущем тросе.

К КЛ относят прокладки силовых небронированных кабелей сечением более 16 мм², а также бронированных силовых кабелей независимо от сечений фазных жил и контрольных кабелей. Кабельные линии могут прокладываться как в воздухе, так и в земле.

Проводки на открытом воздухе, выполняемые неизолированными проводами, относят к ВЛ. К ним принадлежат также ответвления от ВЛ к вводам с использованием как неизолированных, так и изолированных проводов.

Среди ЭП различают открытые и скрытые. Открытые ЭП прокладываются по поверхностям стен, потолков, по фермам и другим строительным элементам зданий, по опорам и т.п. Скрытая ЭП прокладывается внутри конструктивных элементов зданий (в подготовке полов, в стенах, полах, перекрытиях, непроходных полостях подвесных потолков, сборных перегородках и т.п.). Если в процессе эксплуатации скрытой ЭП возможна замена проводов на любом участке сети без нарушения строительных элементов здания, то такая ЭП называется скрытой сменяемой, в противном случае — скрытой несменяемой.

Открытая ЭП применяется, как правило, в осветительных сетях промышленных предприятий, а также в технических помещениях жилых и общественных зданий. В основных помещениях жилых и общественных зданий обычно используется скрытая проводка. При этом в любом случае предпочтительной является смонтированная ЭП.

При открытой ЭП в осветительных сетях применяются следующие основные способы прокладки:

1) непосредственно по строительным основаниям. На смену широко использованному креплению скобами, требующему значительных трудовых затрат, повсеместно приходит индустриальный способ, при котором к основанию пристреливаются с помощью монтажно-строительного пистолета стальные полосы, лента или струна, на которых бандажом закрепляются провода. Предварительно участки сети заготавливаются в МЭЗ;

2) прокладка на лотках и в коробах. Этот способ дает значительную экономию затрат труда в процессе монтажа. Жгуты проводов с необходимыми оттайками могут предварительно заготавливаться. При эксплуатации обеспечиваются удобный доступ к проводке и легкость ее замены;

3) тросовые проводки, выполняемые кабелями и проводами, подвешиваемыми к предварительно натянутому тросу (рис. 9.34). Это — индустриальный и сравнительно недорогой способ выполнения сети, часто используемый в промышленном строительстве (например, поперек ферм). Могут быть применены и тросовые провода;

4) проводки в стальных и неметаллических трубах (трубные проводки). Они обеспечивают высокую надежность сети, допускают возможность индустриальной заготовки элементов сети с последующей их сборкой в монтажной зоне;

5) в жилых и общественных зданиях перспективна прокладка проводов в электротехнических каналах (отсеках) плинтусов со съёмными крышками из трудносгораемой пластмассы. Такая ЭП может выполняться в помещениях с полностью завершённой строительной отделкой;

6) использование распределительных и осветительных шинпроводов — заводских комплектных изделий. Этот способ является наиболее индустриальным. Применение осветительных шинпроводов особенно целесообразно в условиях часто перестраиваемой технологии, когда в процессе эксплуатации приходится изме-

нять расположение ОП. Тормозом для широкого внедрения этого способа является высокая стоимость шинпроводов.

Скрытая ЭП выполняется следующими основными способами:

1) прокладка проводов в каналах и пустотах строительных оснований. Она является наиболее дешёвым способом ЭП и широко используется в жилых и общественных зданиях. В качестве каналаобразователя часто используются пластмассовые трубы, замоноличиваемые в строительные элементы при их изготовлении;

2) проводами в трубах, проложенных в подготовке полов, в монолитных перекрытиях, стенах и перегородках, полостях за непроходными подвесными потолками. Это основной способ ЭП, применяемый в ОЗ;

3) плоскими проводами в подготовке полов, в заштукатуриваемых бороздах стен. Это недорогой способ проводки со сравнительно малыми трудовыми затратами на монтаж, однако ЭП — несменяемая и малонадёжная, в силу чего ее использование должно быть ограниченным.

Применение стальных труб оправдано в случаях, когда имеется прямое нормативное указание об их использовании или если такая необходимость обоснована. Использование стальных труб предписывается нормами для ЭП: за непроходными подвесными потолками из сгораемых материалов (паряду с металлорукавами), в пределах сцен (манежей, эстрад), в кинопроекторных, перемоточных, зрительных залах с количеством мест 800 и более, зрелищных предприятий и спортивных сооружений, в групповых сетях основных помещений вычислительных центров, в стационарных проводках к ОП местного освещения напряжением выше 42 В и в некоторых других случаях.

Прокладываемыми в земле (траншеях) КЛ должны выполняться распределительные сети НО населённых пунктов на территориях детских садов-яслей, общеобразовательных школ, школ-интернатов, участков улиц с троллейбусным движением в местах наибольшей вероятности схода штамп, а также линии, питающие ОП подсветки зелени, фасадов зданий, скульптур и монументов. Использование проложенных в земле КЛ допускается в питающих и распределительных сетях НО и других частей застройки населённых пунктов (улицы и площади категорий А и Б в районах, застроенных зданиями выше 5 этажей, территории общегородских парков, садов, скверов, примыкающих к улицам и площадям категорий А и Б, стадионы с трибунами на 20 тыс. зрителей и более, выставки, больницы, госпитали, санатории, пансионаты, дома отдыха). В качестве КЛ НО следует использовать небронированные кабели с пластмассовыми оболочками и изоляцией (ПВХ полиэтиленовыми). Пересечения дорог, улиц, проездов выполняются КЛ, проложенными в асбоцементных трубах.

Воздушными линиями с прокладкой неизолированных проводов на изоляторах, закрепляемых к опорам, выполняются питающие сети 0,4 кВ застройки небольших населённых пунктов, питающие и распределительные сети НО территорий промпредприятий, распре-

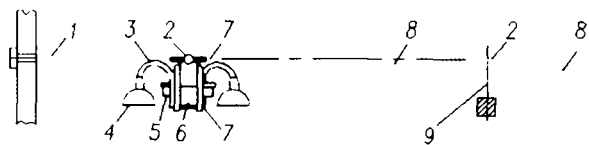


Рис. 9.34. Прокладка тросовой проводки поперек ферм: 1 — концевое крепление троса; 2 — ответвительная коробка; 3 — кронштейн ОП; 4 — ОП; 5 — ПРА; 6 — нижний пояс фермы; 7 — провод в изоляционной трубке; 8 — кабель, проложенный по тросу; 9 — ОП (условно не показан)

дательные сети освещения улиц, дорог, площадей, территорий микрорайонов в населенных пунктах, за исключением перечисленных выше случаев, когда сети выполняются КЛ.

В последнее время все более широкое распространение получают воздушные линии, выполняемые самонесущими изолированными проводами (ВИ) [9.5], состоящими из неизолированного несущего нулевого провода, вокруг которого скручены три изолированных фазных провода и, при необходимости, изолированные провода наружного освещения и контрольные провода (рис. 9.35).

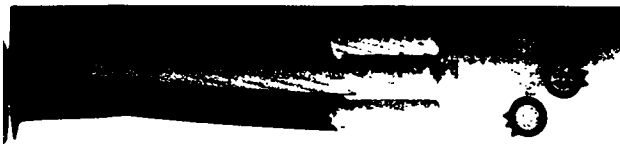


Рис. 9.35. Подвесной скрученный кабель

По сравнению с традиционными воздушными линиями электропередачи с неизолированными проводами ВИ 0,38, выполненные самонесущими изолированными проводами имеют ряд преимуществ:

- возможность сооружения ВИ без вырубki проектов, а на новых ВИ опор меньшей высоты;
- сокращение эксплуатационных расходов за счет исключения систематической расчистки трасс, замены поврежденных изоляторов; сокращение объемов аварийно-восстановительных работ;
- практически исключаются короткие замыкания между проводами фаз или на землю;
- повышенная надежность в зонах интенсивного гололедаобразования; меньший вес и меньшая интенсивность налипания снега, инея, льда;
- безопасность работ вблизи ВИ 0,38 кВ, выполненных СИП;
- снижение падения напряжения вследствие малого реактивного сопротивления (0,1 Ом/км для неизолированных проводов);
- упрощение проведения ремонтов, присоединения ответвлений в здания и сооружения.

Одним из элементов, обеспечивающих повышение индустриализации монтажных работ, является широкое использование электромонтажных изделий (ЭИ) заводского изготовления. В номенклатуре ЭИ — изделия для прокладки и крепления проводов, кабелей и труб (кабельные конструкции, лотки, короба, скобы, протяжные и ответвительные коробки, ящики, устройства для натяжки и крепления тросов и т.п.), изделия для крепления ОП (кронштейны, подвесы, стойки, короба для подвеса ОП с ЛЛ и т.п.) и др. Помимо готовых ЭИ, выпускается серия универсальных элементов (перфорированные профили и полосы, прижимы, скобы, трубины, крепежные изделия и т.п.), с помощью которых в монтажной зоне собираются разнообразные конструкции для установки ОП и прокладки сетей.

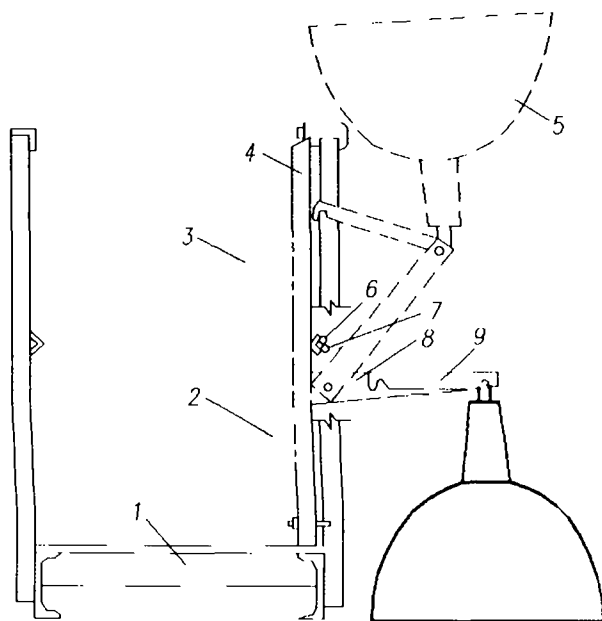


Рис. 9.36. Прокладка сети и установка ОП с РЛ на мостике: 1 — мостик; 2 — ответвительная коробка; 3 — ПРА; 4 — стойка кронштейна; 5 — ОП в положении для обслуживания; 6 и 7 — кабели, проложенные по конструкции ограждения мостика (6 — АР; 7 — рабочего освещения); 8 — консоль кронштейна; 9 — держатель кронштейна; 10 — ОП в рабочем положении

Рис. 9.36 иллюстрирует использование ЭИ для установки ОП и прокладки сетей на осветительных мостиках.

9.8. РАСЧЕТ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Рассчитать электрическую сеть значит определить сечения проводов во всех ее звеньях, которые бы гарантировали: нагрев проводов, не превышающий допустимые значения, что увеличит пожаробезопасность проводки и ее долговечность; допустимые значения потерь напряжения у наиболее удаленного от источника питания ИС, что обеспечит нормальную работу ОП и другого электрооборудования; достаточную механическую прочность проводов, что усилит эксплуатационную надежность сети.

Одной из основных задач расчета сети является определение достоверного значения расчетной нагрузки (см. § 9.2.).

9.8.1. Выбор сечений проводов по нагреву

Ток нагрузки, протекая по проводнику, нагревает его. Нормами установлены наибольшие допустимые температуры нагрева жил проводов и, исходя из этого, определены длительно допустимые токовые нагрузки для проводов и кабелей в зависимости от материала их изоляции и оболочки и условий прокладки [45]. Значения токов приняты для температуры окружающего воздуха +25°C и земли +15°C. В случае, если предусматри-

Значение коэффициентов K_T и C

Номинальное напряжение сети, В	Система сети	Коэффициент K_T для				Коэффициент C проводов	
		ЛН	РЛ при $\cos \varphi$ комплекта лампа — ПРА			медных	алюминисвых
			0,9	0,5	0,35		
660/380 380/220 220/127	Трехфазная с нулем	0,875	0,972	1,75	2,5	218,0	133,0
		1,52	1,69	3,04	4,34	72,2	44,0
		2,63	2,92	5,26	7,52	24,2	14,8
380 220	Трехфазная без нуля	1,52	1,69	3,04	4,34	72,2	44,0
		2,63	2,92	5,26	7,52	24,2	14,8
		40	14,4	16,0	28,9	41,2	0,8
36 12		16,0	17,8	32,1	45,8	0,648	0,395
		48,1	53,5	96,2	137,0	0,072	0,044
660/380 380/220 220/127	Двухфазная с нулем	1,32	1,46	2,63	3,76	96,8	59,0
		2,27	2,52	4,54	6,49	32,1	19,6
		3,94	4,37	7,87	11,2	10,7	6,56
660/380 220	Однофазная с нулем	2,63	2,92	5,26	7,52	36,1	22,0
		4,54	5,05	9,09	13,0	12,1	7,38
220 40 36 12	Двухпроводная, переменного и постоянного тока	7,87	8,75	15,7	22,5	4,03	2,46
		25,0	27,8	50,0	71,4	0,4	0,244
		27,8	30,9	55,5	79,4	0,324	0,198
		83,3	92,6	167	238,0	0,036	0,022

вастью длительная эксплуатация провода в среде с температурой, отличной от нормативной, допустимая токовая нагрузка определяется по формуле

$$I = I_n \sqrt{\tau_\phi / \tau_n}, \quad (9.5)$$

где I_n — нормативная токовая нагрузка, А [45]; τ_ϕ и τ_n — допустимое превышение температуры провода соответственно над фактической и нормативной температурой среды, °С.

Пользуясь (9.5), можно определить допустимые токовые нагрузки для тех видов проводов, для которых в [45] эти данные отсутствуют (например, для проводов с нагревостойкой изоляцией).

Расчет значений тока в линиях производится по формуле

$$I = P_p K_T, \quad (9.6)$$

где P_p — расчетная нагрузка, кВт; K_T — коэффициент, зависящий от напряжения и системы сети, коэффициента мощности нагрузки. Значения коэффициента K_T для случая равномерной загрузки фаз приведены в табл. 9.7.

9.8.2. Расчет сети по потере напряжения

Располагаемая (допустимая) потеря напряжения в осветительной сети, т. е. потеря напряжения на участке от источника питания (обычно шин низшего напряжения ТП) до последней лампы, в % номинального напряжения, подсчитывается по формуле

$$\Delta U_p = 105 - U_{\min} - \Delta U_T, \quad (9.7)$$

где 105 — напряжение холостого хода на вторичной стороне трансформатора, %; U_{\min} — наименьшее напряжение, допускаемое у ИС, % (принимается равным 95%, см. § 9.3.2.); ΔU_T — потери в трансформаторе, приведенные к вторичному номинальному напряжению и зависящие от мощности трансформатора, его загрузки β и коэффициента мощности нагрузки, %.

В табл. 9.8 приведены значения ΔU_T для коэффициента загрузки $\beta = 1$. Для определения ΔU_T его значение, найденное по таблице, следует умножить на фактическое значение β .

Сечение провода S , мм², при заданном значении потери напряжения ΔU , %, или потерю напряжения при заданном значении сечения можно определить по формулам

$$S = M / (C \Delta U); \quad \Delta U = M / (CS), \quad (9.8)$$

где M — момент нагрузки, кВт·м, равный произведению нагрузки, кВт, на длину участка линии L , м (расчет M иллюстрирует рис. 9.37); C — коэффициент, зависящий от материала провода и напряжения сети (определяется по табл. 9.7).

При расчете коэффициента C приняты следующие значения удельного электрического сопротивления проводов для средней эксплуатационной температуры нагрева жил +35°С: медных — $20 \cdot 10^{-9}$ Ом·м, алюминиевых — $33 \cdot 10^{-9}$ Ом·м. В табл. 9.9 приведены значения моментов нагрузок для проводов, в табл. 9.10 — для распределительных шинпроводов. Моменты рассчитаны для $\Delta U = 1\%$. Для определения потери напряжения в линии следует разделить фактическое значение момента нагрузки на значение, приведенное в табл.

Потери напряжения в трансформаторах, %

Мощность трансформатора, кВ·А	Коэффициент мощности нагрузки					
	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
160	1,7	3,3	3,8	4,1	4,3	4,4
250	1,5	3,2	3,7	4,1	4,3	4,4
400	1,4	3,1	3,7	4,0	4,2	4,4
630	1,2	3,4	4,1	4,6	4,9	5,2
1000	1,1	3,3	4,1	4,6	5,0	5,2
1600–2500	1,0	3,3	4,1	4,5	4,9	5,2

Таблица 9.9

Моменты нагрузки для алюминиевых проводов при $\Delta U=1\%$, кВт·м

Номинальное напряжение, В, система сети	Сечение проводов, мм ²																	
	2	2,5	3	4	5	6	8	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240
380, 3 фазы и нуль	266	332	399	532	665	798	1064	1330	2128	3325	4655	6650	9310	12635	15960	19950	24605	31920
380/220, 3 фазы и нуль; 380, 3 фазы	88	110	132	176	220	264	352	440	704	1100	1540	2200	3080	4180	5280	6600	8140	10560
220/127, 3 фазы и нуль; 220, 3 фазы	30	37	44	59	74	89	118	148	237	370	518	740	1036	1406	1776	2220	2738	3552
10, 3 фазы	0,976	1,22	1,46	1,95	2,44	2,93	3,90	4,88	7,81	12,2	17,1	24,4	34,2	46,4	58,6	73,2	90,3	117
6, 3 фазы	0,79	0,99	1,18	1,58	1,97	2,37	3,16	3,95	6,32	9,87	13,8	19,7	27,6	37,5	47,4	59,2	73,1	94,8
12, 3 фазы	0,09	0,11	0,13	0,18	0,22	0,26	0,35	0,44	0,70	1,10	1,54	2,2	3,08	4,18	5,28	6,6	8,14	10,6
380, 2 фазы и нуль	118	147	177	236	295	354	472	590	944	1475	2065	2920	4130	5605	7080	8850	10915	14160
220, 2 фазы и нуль	39,2	49	58,8	78,4	98	118	157	196	314	490	686	980	1372	1862	2354	2990	3626	4704
220/127, 2 фазы и нуль	13,1	16,4	19,7	26,2	32,8	39,4	52,5	65,6	105	164	230	328	459	623	787	984	1214	1574
380, 1 фаза и нуль	44	55	66	88	110	132	176	220	352	550	770	1100	1540	2090	2640	3300	4070	5280
220 двухпровод-	14,8	18,4	22,1	29,5	36,9	44,3	59,0	73,8	118	184	258	369	517	701	886	1107	1365	1771
	4,92	6,15	7,38	9,84	12,3	14,8	19,7	24,6	39,4	61,5	86,1	123	172	234	295	369	455	590
	0,49	0,61	0,73	0,98	1,22	1,46	1,95	2,44	3,90	6,10	8,54	12,2	17,1	23,2	29,3	36,6	45,1	58,6
	0,40	0,49	0,59	0,79	0,99	1,19	1,58	1,98	3,17	4,95	6,93	9,9	13,9	18,8	23,8	29,7	36,6	47,5
	0,04	0,05	0,07	0,09	0,11	0,13	0,18	0,22	0,35	0,55	0,77	1,1	1,54	2,09	2,64	3,3	4,07	5,28

Примечание. Для медных проводов значения моментов следует умножить на 1,64.

Таблица 9.10

Моменты нагрузки для шинпроводов серии ШПРА 73. Система 380/220 В (три фазы и нуль), $\Delta U=1\%$

Значение момента для шинпровода, кВт·м												
ШПРА 73, 250 А				ШПРА 73, 400 А				ШПРА 73, 630 А				
при коэффициенте мощности												
1,0	0,9	0,5	0,35	1,0	0,9	0,5	0,35	1,0	0,9	0,5	0,35	
6576	4632	2517	1870	9627	6215	3249	2387	14440	8861	4441	3224	

Значение коэффициента K_p для алюминиевых проводов

Сечение провода, $S, \text{мм}^2$	Кабели, провода в трубах, коробах и т.п., при $\cos \varphi$			Провода на изоляторах, клицах и т.п., при $\cos \varphi$		
	0,35	0,5	0,9	0,35	0,5	0,9
2	1,03	1,02	1,01	—	—	—
2,5	1,03	1,02	1,01	—	—	—
3	1,03	1,02	1,01	—	—	—
4	1,04	1,03	1,01	—	—	—
5	1,05	1,03	1,01	—	—	—
6	1,05	1,03	1,01	—	—	—
8	1,06	1,04	1,01	—	—	—
10	1,07	1,04	1,01	—	—	—
16	1,11	1,07	1,02	1,44	1,28	1,08
25	1,17	1,11	1,03	1,64	1,40	1,12
35	1,23	1,14	1,04	1,87	1,54	1,16
50	1,31	1,18	1,05	2,19	1,73	1,21
70	1,40	1,24	1,07	2,60	2,00	1,29
95	1,56	1,35	1,10	3,11	2,30	1,38
120	1,70	1,43	1,13	3,56	2,60	1,47
150	1,86	1,55	1,16	—	—	—
185	2,07	1,67	1,19	—	—	—
240	2,37	1,88	1,25	—	—	—

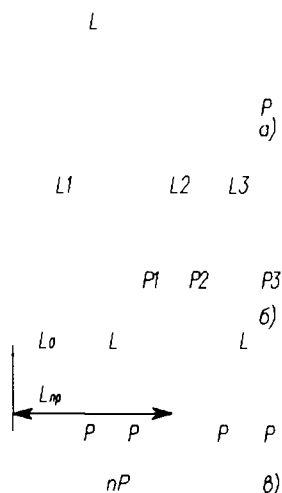


Рис. 9.37. Характерные примеры определения моментов в осветительных сетях: а — $M = PL$; б — $M = P_1 L_1 + P_2(L_1 + L_2) + P_3(L_1 + L_2 + L_3) = L_1(P_1 + P_2 + P_3) + L_2(P_2 + P_3) + L_3 P_3$; в — $M = nP[L_0 + L(n-1)/2] = nPL_{np}$, где L_{np} — приведенная длина до центра нагрузки

лицах. Для осветительных шинопроводов моменты выбираются по табл. 9.9, как для медных проводов с сечениями соответственно 6 и 3 мм^2 .

Для определения потери напряжения в сетях с РЛ значения ΔU , выбранные по табл. 9.9, следует умножить на коэффициент K_p , учитывающий реактивную составляющую потери напряжения и приведенный в табл. 9.11.

Формулы (9.8) предназначены для сетей с симметричным распределением нагрузок по фазам. Можно

считать, что это условие выполняется при примерном равенстве моментов, рассчитанных для каждой из фаз.

Как симметричные могут рассматриваться:

- 1) линии питающей сети;
- 2) групповые трехфазные четырехпроводные линии с чередованием фаз, к которым последовательно подключаются одинаковые ОП или их группы (установленные в одном помещении или его части) общей мощностью не более 1,2 кВт по схеме А–В–С. С–В–А... Если число ответвлений от каждой фазы не менее трех, то может быть допущена и схема А–В–С. А–В–С...;
- 3) групповые двухфазные трехпроводные линии с чередованием фаз в ответвлениях А–В–В, А... при числе ответвлений для каждой из фаз более двух;
- 4) групповые линии, питающие сложные многоламповые ОП с равномерной загрузкой всех фаз в каждой точке ответвления. При выполнении рекомендаций п. 2 и 3 в ОЗ расчет линий с местными выключателями можно проводить, как для трех- или двухфазных линий с нулевым проводом и симметричной нагрузкой. Исключение составляют линии, в которых возможны длительные режимы, преднамеренно создаваемые пофазным отключением ОП. В этом случае трех- и двухфазные линии с общим нулевым проводом должны рассчитываться как однофазные.

Для несимметричных линий потеря напряжения, %, в любой фазе трехфазных четырехпроводных линий определяется по формуле

$$\Delta U = \frac{M_{\phi 1}}{2CS_{\phi 1}} + \frac{M_{\phi 1} - 0,5(M_{\phi 2} + M_{\phi 3})}{2CS_0}, \quad (9.9)$$

где $M_{\phi 1}$ — момент нагрузки одной из фаз, кВт·м; $M_{\phi 2}$ и $M_{\phi 3}$ — моменты нагрузки двух других фаз, кВт·м;

$S_{ф1}$ и S_0 — сечения фазного и нулевого проводов, мм². Первый член формулы представляет собой потерю напряжения в фазном проводе, второй — в нулевом. Моменты, указанные в скобках, учитываются только до последнего ответвления к нагрузке той фазы, в которой рассчитывается потеря напряжения (фазы I), коэффициент C принимается как для двухпроводной линии.

Одной из важных задач расчета сети на потерю напряжения является установление рационального и наиболее экономичного распределения общей располагаемой потери напряжения между отдельными участками разветвленной сети. Метода расчета, который дал бы возможность однозначно установить распределение потерь напряжения по звеньям сети, обеспечивающее минимальное значение приведенных затрат по сети в целом, не существует. На практике используют метод расчета сети, обеспечивающий наименьший расход проводникового материала. Сеть, удовлетворяющую такому условию, в ряде случаев можно считать наиболее экономичной.

Расчет сети на наименьший расход проводникового материала ведется по формуле

$$S = \frac{\sum M + \sum \alpha \cdot m}{CAU} \quad (9.10)$$

где S — сечение участка, мм²; $\sum M$ — сумма моментов данного и всех последующих (по направлению потока энергии) участков с тем же числом проводов в линии, что и на данном участке, кВт·м; $\sum \alpha \cdot m$ — сумма моментов всех ответвлений, питаемых данным участком и имеющих иное число проводов линии, чем этот участок, кВт·м. Перед суммированием все моменты умножаются на коэффициент приведения моментов α , зависящий от числа проводов на участке и ответвлении (табл. 9.12); ΔU — расчетные потери напряжения, %, допускаемые от начала данного участка до конца сети.

Таблица 9.12

Значение коэффициента приведения моментов α

Линия	Ответвление	Значение коэффициента α
Трехфазная с нулем	Однофазное	1,85
	Двухфазное с нулем	1,37
Двухфазная с нулем	Однофазное	1,33
Трехфазная	Двухфазное	1,15

Формула (9.10) последовательно применяется ко всем участкам сети, начиная от участка, ближайшего к источнику питания. По выбранному сечению данного участка определяются потери напряжения в нем. Последующие участки рассчитываются по разности между расчетной потерей напряжения и потерями до начала данного участка. Сечения проводов, полученные при расчете на потерю напряжения, округляются до стандартных значений.

9.8.3. Выбор сечения проводов по механической прочности

В большинстве случаев обходятся без проведения расчетов. Достаточно соблюдать установленные ПУЭ минимальные сечения проводов и предельные расстояния между точками крепления проводов, приведенные в табл. 9.13. Следует также соблюдать наименьшие сечения заземляющих и нулевых проводов (см. § 9.12, табл. 9.16).

Помимо приведенных в табл. 9.13, наименьшие расстояния между креплениями для различных проводов указываются в руководствах и инструкциях по их монтажу.

Расчет механической прочности проводов выполняется при проектировании воздушных линий и тросовых проводов.

Окончательно в осветительной сети принимаются наибольшие из сечений проводов, выбранные по условиям нагревания, потерь напряжения и механической прочности. Заметим также, что сечения могут быть скорректированы при выборе устройства защиты линии, поскольку между током защитного аппарата и сечением провода устанавливается определенная зависимость (см. § 9.9.2).

9.9. ЗАЩИТА ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

9.9.1. Общие указания

Все осветительные сети должны иметь защиту от токов короткого замыкания (КЗ), а в некоторых случаях также от перегрузки. Защиту от перегрузки должны иметь: сети внутреннего освещения, выполненные открыто проложенными проводами с горючей наружной оболочкой или изоляцией; осветительные сети в жилых и общественных зданиях, в торговых помещениях, служебно-бытовых помещениях промышленных предприятий, включая сети для бытовых и переносных электроприемников (утюги, чайники, плитки, комнатные холодильники, пылесосы, стиральные и швейные машины и т.п.), при любых видах проводов, кабелей и способах прокладки; сети во взрывоопасных и пожароопасных зонах при любых видах проводов, кабелей и способах прокладки.

Защита осветительных сетей осуществляется аппаратами защиты — предохранителями и автоматическими выключателями (автоматами), отключающими защищаемую электрическую сеть при ненормальных режимах. Для защиты осветительных сетей наиболее распространены автоматы. Одним из преимуществ автоматов перед предохранителями является возможность их использования не только как защитных, но и как отключающих аппаратов (аппаратов управления).

Для защиты осветительных сетей следует применять автоматы с расцепителями, имеющими обратную зависимость от тока характеристику (с возрастанием тока время отключения уменьшается). Автоматы, имеющие только электромагнитные мгновенно действующие расцепители, для осветительных сетей применять не рекомендуется. Автоматы, применяемые для защиты

Наименьшие сечения проводов по механической прочности

Провода	Сечение жил, мм ²	
	медных	алюминиевых
Для зарядки ОП:		
общего освещения внутри зданий	0,5	—
то же вне зданий	1,0	—
местного освещения стационарных неподвижных конструкций	0,5	—
то же подвижных конструкций	1,0	—
Для присоединения к сети:		
настоенных, переносных и ручных ОП, а также местного освещения, подвешиваемых на проводах прожекторов	1,0	—
Скрученные двухжильные с многопроволочными жилами для прокладки на роликах	1,0	—
Незащищенные изолированные для стационарной проводки внутри помещений:		
по основаниям, на роликах, клипах и тросах	1,0	2,5
на лотках, в глухих коробах для жил, присоединяемых к винтовым зажимам	1,0	2,0
то же для жил, присоединяемых пайкой:		
однопроволочных	0,5	—
многопроволочных	0,35	—
на изоляторах	1,5	4,0
на изоляторах в виде перекидок между фермами, стенами или колоннами при расстоянии между опорами, м:		
до 6	2,5	4,0
более 6 до 12	4,0	10,0
более 12 до 25	6,0	16,0
Незащищенные и защищенные изолированные, прокладываемые в трубах, металлокавах, глухих коробах, в замкнутых каналах, в строительных конструкциях или под штукатуркой	1,0	2,0
Защищенные изолированные для стационарной проводки без труб, рукавов, глухих коробов для жил, присоединяемых к винтовым зажимам	1,0	2,0
для жил, присоединяемых пайкой:		
однопроволочных	0,5	—
многопроволочных	0,35	—
Незащищенные изолированные в наружных проводках:		
по стенам, конструкциям или по опорам на изоляторах	2,5	4,0
под навесами на роликах	1,5	2,5
Линии групповой сети в жилых и общественных зданиях	1,2	2,0
Линии до квартирных щитков и к расчетному счетчику	2,5	4,0
Линии, питающие сети в жилых и общественных зданиях, и стоянки для питания квартир и комнат общежитий	4,0	6,0
Воздушные линии напряжением до 1 кВ	—	16,0
Ответвления от воздушной линии к вводам на расстояние, м:		
до 10	4,0*	16,0
более 10 до 25	6,0*	16,0

* Должны применяться самонесущие провода (марок АРТ, АВТ и т.п.).

Таблица 9.14

Соотношения между наибольшими допустимыми токами проводов I_{II} и номинальными токами аппаратов защиты I_3

Помещения, здания	Тип провода при любом способе прокладки	Наибольший допустимый ток провода I_{II} при аппарате защиты		
		Предохранители	Автоматы с обратной зависимостью от тока характеристики	
			Нерегулируемый распеитель	Регулируемый распеитель
Всех назначений	Сети, не защищаемые от перегрузки			
	Всех типов	$I_{II} \geq 0,33 I_3$ $I_3 \leq 3 I_{II}$	$I_{II} \geq I_3$ $I_3 \leq I_{II}$	$I_{II} \geq 0,8 I_3$ $I_3 \leq 1,25 I_{II}$
Производственные, кроме взрывоопасных зон	Сети, защищаемые от перегрузки			
	Открыто проложенные, с горючей наружной оболочкой или изоляцией	$I_{II} \geq I_3$ $I_3 \leq I_{II}$	$I_{II} \geq I_3$ $I_3 \leq I_{II}$	$I_{II} \geq I_3$ $I_3 \leq I_{II}$
	С ПВХ, резиновой или аналогичной по тепловым характеристикам изоляцией	$I_{II} \geq 1,25 I_3$ $I_3 \leq 0,8 I_{II}$	$I_{II} \geq I_3$ $I_3 \leq I_{II}$	$I_{II} \geq I_3$ $I_3 \leq I_{II}$
Общественные и жилые, торговые, служебно-бытовые промышленных предприятий, в том числе сети для бытовых и переносных электроприемников	Всех типов	$I_{II} \geq I_3$ $I_3 \leq I_{II}$	$I_{II} \geq I_3$ $I_3 \leq I_{II}$	$I_{II} \geq I_3$ $I_3 \leq I_{II}$
Пожароопасные	Всех типов	$I_{II} \geq I_3$ $I_3 \leq I_{II}$	$I_{II} \geq I_3$ $I_3 \leq I_{II}$	$I_{II} \geq I_3$ $I_3 \leq I_{II}$
Взрывоопасные	То же	$I_{II} \geq 1,25 I_3$ $I_3 \leq 0,8 I_{II}$	$I_{II} \geq I_3$ $I_3 \leq I_{II}$	$I_{II} \geq I_3$ $I_3 \leq I_{II}$

* Для автоматов с регулируемым распеителем I_3 — ток трогания.

Условия, при которых допускается относить аппараты защиты от места ответвления

Длина линии от места ответвления до аппарата защиты, м	Требования к выполнению ответвления		Область применения
	Сечение провода	Способ прокладки	
До 6	Не менее сечения после аппарата защиты	Для проводов с горячей паружной оболочкой или изоляцией — в стальных трубах, металлорукавах или коробках; в остальных случаях (кроме кабельных сооружений, пожаро- и взрывоопасных зон) открыто по конструкциям при условии защиты проводов от возможных механических повреждений	Допускается, где это безусловно необходимо
До 30	Не менее сечения, определенного расчетным током, но не менее 10% пропускной способности питающей линии		Допускается для ответвлений в труднодоступных местах (например, на большой высоте)

Таблица 9.16

Наименьшие сечения нулевых защитных проводов

Наименование	Сечение, мм ²	
	медь	алюминий
Неизолированные провода	4	6
Изолированные провода	1	2
Защитные нулевые жилы кабелей и многожильных проводов в общей защитной оболочке с фазными жилами	1	2

защитных сетей, имеют следующие обратные зависимости от тока расцепителя: тепловые нерегулируемые, комбинированные (тепловые и электромагнитные) нерегулируемые; комбинированные (тепловые и электромагнитные) регулируемые.

9.9.2. Выбор токов аппаратов защиты и сечений проводов

Защита электрических сетей от токов КЗ должна обеспечивать отключение аварийного участка с наименьшим временем и по возможности с соблюдением требований селективности. Первое из указанных требований обеспечивается, если ток КЗ в конце линии при одно- и многофазных КЗ в сети с глухозаземленной нейтралью и двух- и трехфазных сетях с изолированной нейтралью имеет значения, не менее:

при защите предохранителями в невзрывоопасных зонах — $3I_3$, во взрывоопасных — $4I_3$;

при защите автоматами с расцепителями, имеющими обратную зависимость от тока характеристику, в невзрывоопасных зонах — $3I_3$, во взрывоопасных зонах — $6I_3$ где I_3 — номинальный ток аппарата защиты ближайший элемент предохранителя или расцепитель автомата.

Для обеспечения селективности защиты номинальные токи плавких элементов предохранителей или токи отключения автоматов каждого предыдущего по направлению к электроприемнику аппарата защиты рекомендуется применять не менее чем на 2 ступени ниже, чем у следующего, если это не приводит к завышению сече-

ния проводов. Разница не менее чем на одну ступень обязательна при всех условиях.

Номинальные токи уставок автоматов и плавких элементов предохранителей следует выбирать по возможности наименьшими по расчетным токам защищаемых участков сети. В случаях установки в шкафах или ящиках автоматов с тепловыми и комбинированными расцепителями, калибровка которых на заводах-изготовителях производится при температуре +25°C, при выборе расцепителей по расчетным токам линий указанные в каталогах номинальные токи расцепителей рекомендуется понижать на 10% вследствие возможного повышения температуры воздуха в шкафах и ящиках. Для расцепителей, калибруемых при температуре +40°C, указанное понижение предусматривать не следует (температура, при которой производится калибровка расцепителей, указывается в каталогах или технических условиях на автоматы). Проверку токов расцепителей на соблюдение указанных выше условий отключения при токах КЗ рекомендуется производить по указанным в каталогах или на автоматах номинальным токам расцепителей (без понижения на 10%).

Соотношения между наибольшими допустимыми токами проводов I_{II} и указанными в каталогах (или на аппаратах) номинальными токами аппаратов защиты I_3 должны соответствовать приведенным в табл. 9.14.

В случаях, когда требуемый по условиям защиты наибольший допустимый ток провода I_{II} не совпадает с данными таблиц допустимых длительных токовых нагрузок на провода и кабели [45], разрешается применение провода ближайшего меньшего сечения, но не менее, чем это требуется по расчетному току линии.

В сетях, защищаемых только от токов КЗ (не требующих защиты от перегрузки), допускается не выполнять расчетную проверку соблюдения указанного выше условия отключения линии при КЗ в ее конце, если обеспечено указанное в табл. 9.14 соотношение $I_{п1}$ и I_3 .

Номинальный ток аппаратов защиты (расцепители автоматов и плавкие вставки предохранителей) для групповых линий внутреннего освещения должен быть не более 25 А, а групповые линии, питающие РЛ мощностью 125 Вт и более, ЛН на напряжение до 50 В любой мощности и ЛН напряжением выше 50 В мощностью 500 Вт и более могут защищаться аппаратами защиты на ток до 63 А.

По нулевому проводу трехфазной четырехпроводной линии 380/220 В, питающей РЛ, даже при симметричной нагрузке фаз протекает ток высших гармоник, вызванный формой тока. В зависимости от соотношений индуктивного и емкостного сопротивлений ПРА ОП, значение этого тока изменяется от 40 до 83% тока в фазных проводах (чем меньше емкостное сопротивление ПРА, тем меньше ток). С учетом возможной несимметрии нагрузки фаз линии сечение нулевого провода выбирается на полный расчетный ток линии при компенсированных ПРА ($\cos \varphi$ комплекта лампы — ПРА равен 0,9 и выше) и на 50% тока линии при некомпенсированных ПРА ($\cos \varphi = 0,5$).

В сетях с РЛВД при групповой компенсации реактивной мощности трехфазными конденсаторами (см. § 9.10, рис. 9.37) на участках сети от источника питания до места подключения конденсатора сечение нулевого провода выбирается по току в фазных проводах, а от места подключения конденсатора до ОП — по 50%-ному току в фазных проводах.

9.9.3. Места установки аппаратов защиты

Аппараты защиты должны устанавливаться в следующих пунктах осветительной сети:

1) в местах присоединения сети к источникам питания (распределительные щиты ТП, распределительные пункты, магистральные шинопроводы и др.);

2) на вводах в здания;

3) в групповых щитках в начале каждой групповой линии;

4) в местах уменьшения сечения проводов по направлению к электроприемникам;

5) со стороны высшего напряжения понижающих трансформаторов. В этих случаях номинальные токи плавких элементов предохранителей или токи уставок автоматов должны быть возможно ближе к номинальному току трансформаторов. При питании одной группой не более трех трансформаторов защита может осуществляться общим защитным аппаратом в начале линии;

6) со стороны низшего напряжения понижающих трансформаторов.

Аппараты защиты в осветительных сетях допускаются не устанавливать в следующих местах:

1) при снижении сечения — по длине линии и на ответвлениях от нее, если защитный аппарат линии защищает также участок со сниженным сечением;

2) при снижении сечения — по длине линии и на ответвлениях от нее, если сниженное сечение не менее 50% сечения начального участка линии;

3) в местах ответвлений от линии к электроприемникам малой мощности (ОП, бытовые электроприборы и т. п.), если питающая линия защищается аппаратом с уставкой не более 25 А, без ограничения длины и сечения;

4) в местах ответвлений от линии к электроприемникам малой мощности (ОП, бытовые электроприборы и т. п.), если линия защищена аппаратом с уставкой выше 25 А, но не более 63 А при длине до 3 м при любом способе прокладки и при прокладке в стальной трубе без ограничения длины.

Аппараты защиты должны устанавливаться непосредственно в местах присоединения защищаемых проводов к питающей линии. Допускается отнесение аппаратов защиты от места ответвления на длину до 6 м при условии соблюдения требований, указанных в табл. 9.17.

Аппараты защиты должны устанавливаться в цепи следующих проводов:

1) при защите сетей предохранителями последние должны устанавливаться во всех нормально незаземленных полюсах или фазах. Установка предохранителей в нулевых рабочих проводах запрещается;

2) при защите сетей с глухозаземленной нейтралью автоматами их расцепители должны устанавливаться во всех нормально незаземленных проводах. В однофазных двухпроводных линиях во взрывоопасных зонах класса В-I расцепители автоматов должны устанавливаться в цепи фазного и нулевого рабочего проводов. При этом для одновременного отключения фазного и нулевого проводов должны применяться двухполюсные автоматы;

3) при защите сетей с изолированной нейтралью в трехпроводных сетях трехфазного тока и в двухпроводных сетях однофазного и постоянного тока допускается устанавливать расцепители автоматов в двух фазах при трехпроводной сети и в одной фазе (полюсе) при двухпроводных сетях. При этом в пределах одной и той же электроустановки защиту следует осуществлять в одной и тех же фазах (полюсах).

9.10. ПОВЫШЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ В ОУ

Многоламповые ОП с ЛЛ имеют ПРА, обеспечивающие коэффициент мощности ($\cos \varphi$) не ниже 0,92; одноламповые ОП, при условии применения равного количества ОП с опережающими и отстающими ветвями, — не ниже 0,85. Это дает возможность не принимать специальных мер по повышению $\cos \varphi$ в ОУ с ЛЛ. Большинство ОП НО с РЛВД имеют ПРА с конденсаторами, обеспечивающими $\cos \varphi$ не ниже 0,85, и принимать дополнительные меры по повышению $\cos \varphi$ также не требуется.

Осветительные приборы внутреннего освещения с РЛВД выпускаются с ПРА, создающими при питании ОП напряжением 220 В $\cos \varphi$, равный в среднем 0,5.

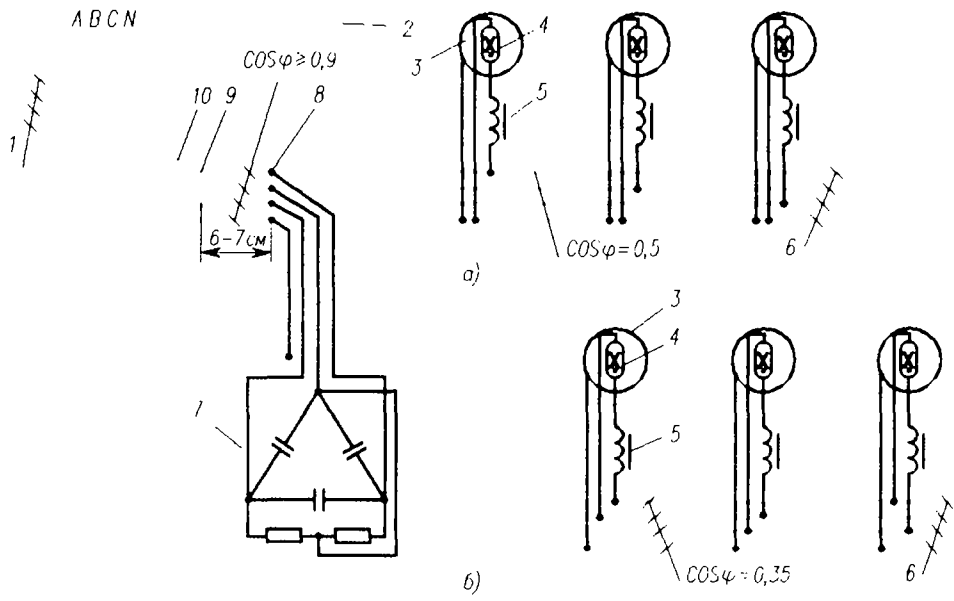


рис. 9.38. Схема присоединения трехфазного конденсатора к групповой линии: *a* — питание ОП напряжением 220 В; *b* — 380 В; 1 — линия питающей сети; 2 — групповой щиток; 3 — ОП; 4 — лампа; 5 — ПРА; 6 — линия групповой сети; 7 — трехфазный конденсатор; 8 — ответвительный зажим (размещается в шкафу щитка); 9 — контактный зажим группового щитка; 10 — трехполюсный автомат группового щитка

ри 380 В — 0.32. При большой мощности установок внутреннего освещения с РЛВД (сотни киловатт) проектировщиками ОУ совместно с проектировщиками электроснабжения и силового электрооборудования должен рассматриваться вопрос о необходимости и способах повышения $\cos \phi$. Одним из распространенных способов является групповая компенсация, заключающаяся в присоединении трехфазных конденсаторов к трехфазным групповым линиям, питающим ОП с РЛВД (рис. 9.38).

Мощность трехфазного конденсатора Q , кВ·Ар, для повышения $\cos \phi_1$ равного 0,5 или 0,35, до $\cos \phi_2 = 0,9$ определяется по формуле

$$Q = P (\operatorname{tg} \phi_1 - \operatorname{tg} \phi_2), \quad (9.11)$$

где P — установленная мощность РЛВД, включая потери в ПРА, кВт.

Подсчитано, что для повышения $\cos \phi$ с 0,5 или 0,32 до 0,9 на каждый киловатт мощности ламп и потерь в ПРА необходима мощность трехфазного конденсатора соответственно 1,2 и 2,5 кВ·Ар. На рис. 9.39 приведен график, позволяющий решать следующие задачи, связанные с применением конденсаторов:

- 1) при заданных суммарной мощности РЛВД с потерями в ПРА, равными P , и мощности конденсатора, присоединенного к групповой линии, равной Q , определить $\cos \phi$ на выводных контактных зажимах автомата групповой линии;
- 2) при заданной суммарной мощности РЛВД с потерями в ПРА, равными P , и заданном $\cos \phi$, который необходимо обеспечить на выводных контактных зажимах автомата линии групповой или питающей сетей,

определить мощность конденсаторов Q , присоединяемых к групповой или питающей линии.

Для решения задачи, указанной в п. 1, необходимо от значения заданного отношения Q/P , взятого на оси абсцисс, провести вертикальную прямую до пересечения с кривой 1 или 2, соответствующей $\cos \phi$ комплекта лампа — ПРА (0,5 или 0,32).

Проводя из точки пересечения горизонтальную прямую, находим на оси ординат искомое значение $\cos \phi$.

Для решения задачи, указанной в п. 2, необходимо на рис. 9.39 от заданного значения $\cos \phi$, взятого на оси ординат, провести горизонтальную прямую до пересечения

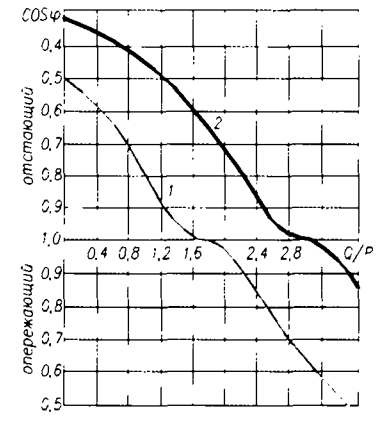


рис. 9.39. Определение $\cos \phi$ в установках с РЛВД для сети 380/220 В: P — общая мощность РЛВД с потерями в ПРА, кВт; Q — мощность трехфазных конденсаторов, кВ·Ар; $\cos \phi$ комплекта лампа — ПРА; напряжение питания ОП, В: 1 — 220; 2 — 380

чения с кривой 1 или 2, соответствующей $\cos \varphi$ комплекта лампы — ПРА (0,5 или 0,32). Проведя из точки пересечения вертикальную прямую, находим на оси абсцисс значение $Q/P = X$. Так как значение P является заданным, искомая мощность конденсатора определяется из соотношения $Q = PX$.

Сведения о трехфазных конденсаторах, применяемых для повышения $\cos \varphi$ в ОУ с РЛВД, приведены в § 9.14.

9.11. СТАБИЛИЗАЦИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

Напряжение на ИС не должно быть более 105% номинального (см. 9.3.2). На ТП многих промышленных предприятий в течение длительного времени может быть повышенное напряжение, что приводит к преждевременному выходу ламп из строя. В таких случаях на линиях питающей осветительной сети 380/220 В устанавливаются тристорные ограничители напряжения на токи 63 и 100 А [9.3] или аналогичные преобразователи, надежно работающие при отклонениях питающего напряжения в пределах от +30 до — 20% и имеющие регулировку уставки выходного напряжения в пределах 0,8–1,05 номинального. Повышения напряжения при его снижении на источниках питания ограничители не обеспечивают. Они могут использоваться также как бесконтактные коммутационные аппараты. В ОУ с лампами типа ДРЛ, МГЛ и НЛВД ограничители должны включаться только в некомпенсированные участки сети (рис. 9.40). (см. 9.10).

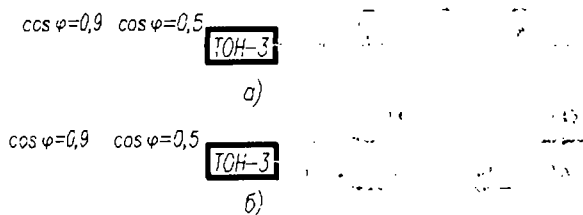


Рис. 9.40. Включение ограничителей напряжения типа ТОН-3 в сеть с лампами типа РЛВД, МГЛ и НЛВД: а — при конденсаторах на групповых линиях; б — при конденсаторах на линиях питающей сети

Для ОУ, в системах электроснабжения которых могут иметь место длительные повышения и понижения напряжения более чем на $\pm 5\%$, применяют трехфазные стабилизаторы напряжения мощностью от 10 до 100 кВт·А, обеспечивающие номинальное напряжение в сети при его изменениях на источниках питания от —15 до +10% [9.3]. Методы и средства регулирования напряжения в осветительных сетях рассмотрены в [9.4].

9.12. ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ ОУ

В любом освещаемом помещении промпредприятия, ОЗ и жилого дома имеются находящиеся под на-

пряжением элементы ОУ, многие из которых легко доступны для прикосновений. Наибольшую опасность представляет прикосновение к токоведущим частям ОУ, а в аварийных ситуациях, когда происходит замыкание па корпус, опасным становится и контакт человека с металлическими нормально нетоковедущими частями.

Вредное воздействие электрического тока на людей проявляется в виде электротравм; их степень зависит в основном от значения и длительности протекания тока через тело человека. Опасным для жизни человека в сетях переменного тока частотой 50 Гц можно считать ток, превышающий 20 мА при времени его протекания более 0,2 с.

При анализе условий безопасности электрическое сопротивление человека принято считать равным 1000 Ом, что примерно соответствует сопротивлению внутренних органов человека, если считать кожный покров поврежденным.

По опасности поражения человека электрическим током принята следующая классификация помещений и территорий, где размещается электрооборудование [45], [9.6]:

1. Помещения без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность.

2. Помещения с повышенной опасностью, характеризующиеся наличием одного из следующих условий, создающих повышенную опасность:

- сырость (при относительной влажности выше 75%) или токопроводящая пыль;

- токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т.п.);

- высокая температура (более 35°C);

- возможность одновременного прикосновения человека к металлоконструкциям зданий, имеющим соединение с землей, технологическим аппаратам, механизмам и т.п., с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования (открытым проводящим частям), с другой.

3. Особо опасные помещения, характеризующиеся наличием одного из следующих условий, создающих особую опасность:

- особая сырость (при относительной влажности, близкой к 100%);

- химически активная или органическая среда;

- одновременно два или более условий повышенной опасности (см. п. 2).

4. Территория открытых электроустановок в отношении опасности поражения людей электрическим током приравнивается к особо опасным помещениям.

Возможны два случая прикосновения человека к токоведущим частям: двухполюсное, когда человек коснулся двух неизолированных проводов электрической сети, и однополюсное, когда человек касается одного из проводов.

Более опасно двухполюсное прикосновение, особенно если к разным проводам человек прикоснулся двумя руками (рис. 9.41). При этом ток, проходящий

через тело человека, I_q в трехфазной четырехпроводной сети может достигнуть значения:

при прикосновении к двум фазам

$$I_q = U_{\Delta} / R_q; \quad (9.12)$$

при прикосновении к фазному и нулевому проводам

$$I_q = U_{\phi} / R_q, \quad (9.13)$$

где U_{Δ} и U_{ϕ} — соответственно линейное и фазное напряжение сети, В; R_q — сопротивление человеческого тела, Ом.

При однополюсном прикосновении человек касается либо одного из изолированных проводников электрической цепи, либо неизолированной металлической части электрооборудования, оказавшейся под напряжением в результате повреждения изоляции. В этом случае значение тока, проходящего через человека, зависит не только от приложенного напряжения, но и от режима нейтрали источника питания (т.е. системы заземления), активного сопротивления изоляции и емкости проводов по отношению к земле.

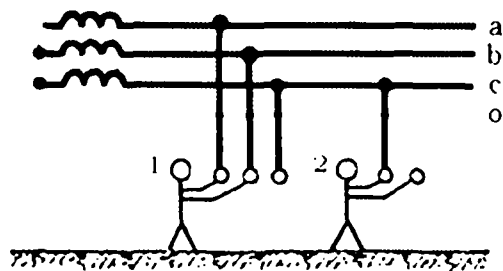


рис. 9.41. Прикосновение человека к проводам трехфазной четырехпроводной сети: к двум фазным проводам (1) и к фазному и нулевому проводам (2)

Термины и определения

Глухозаземленная нейтраль — нейтраль трансформатора или генератора в сетях трехфазного тока, вывод источника однофазного тока, средняя точка в трехпроводных сетях постоянного тока напряжением до 1 кВ, присоединенная к заземляющему устройству непосредственно.

Изолированная нейтраль — нейтраль трансформатора или генератора, не присоединенная к заземляющему устройству или присоединенная к нему через большое сопротивление.

Проводящие части — части, которые могут проводить электрический ток.

Токоведущие части — электропроводящие части электроустановки, находящиеся в процессе ее работы под рабочим напряжением.

Открытые проводящие части — доступные прикосновению проводящие части электроустановки, нормально не находящиеся под напряжением, но которые могут оказаться под напряжением при повреждении основной изоляции.

Сторонние проводящие части — проводящие части, являющиеся частью электроустановки.

Прямое прикосновение — электрический контакт людей или животных с токоведущими частями, находящимися под напряжением.

Косвенное прикосновение — электрический контакт людей или животных с открытыми проводящими частями, оказавшимися под напряжением при повреждении изоляции.

Защита от прямого прикосновения — защита от поражения электрическим током при отсутствии повреждений в электроустановке.

Защита при косвенном прикосновении — защита от поражения электрическим током при повреждении изоляции в электроустановке. Термин «повреждение изоляции», применяемый в главе, следует понимать как «единственное повреждение изоляции».

Заземлитель — проводящая часть или совокупность соединенных между собой проводящих частей, находящихся в электрическом контакте с землей непосредственно или через промежуточную проводящую среду.

Искусственный заземлитель — заземлитель, специально выполняемый с целью заземления.

Естественный заземлитель — сторонняя проводящая часть, находящаяся в электрическом контакте с землей непосредственно или через промежуточную проводящую среду, используемая для целей заземления.

Заземляющее устройство — совокупность заземлителя и заземляющих проводников.

Зона нулевого потенциала (относительная земля) — часть земли, находящаяся вне зоны влияния какого-либо заземлителя, электрический потенциал которой принимается равным нулю.

Зона растекания (локальная земля) — зона земли между заземлителем и зоной нулевого потенциала.

Термин «земля» следует понимать как «земля в зоне растекания».

Замыкание на землю — случайный электрический контакт между токоведущими частями, находящимися под напряжением, и землей.

Напряжение на заземляющем устройстве — напряжение, возникающее при стекании тока с заземлителя в землю между точкой ввода тока в заземлитель и зоной нулевого потенциала.

Напряжение прикосновения — напряжение между двумя проводящими частями или проводящей частью и землей при одновременном прикосновении к ним человека или животного.

Ожидаемое напряжение прикосновения — напряжение между одновременно доступными прикосновению проводящими частями, когда человек или животное их не касается.

Напряжение шага — напряжение между двумя точками на поверхности земли, находящимися на расстоянии 1 м одна от другой, которое принимается в качестве длины шага человека.

Сопротивление заземляющего устройства — отношение напряжения на заземляющем устройстве к току, стекающему с заземлителя в землю.

Эквивалентное удельное сопротивление земли с неоднородной структурой — удельное электрическое сопротивление земли с однородной структурой, в которой

сопротивление заземляющего устройства имеет то же значение, что и в земле с неоднородной структурой.

Термин «удельное сопротивление» для земли с неоднородной структурой следует понимать как «эквивалентное удельное сопротивление».

Заземление — преднамеренное электрическое соединение какой-либо точки сети, электроустановки или оборудования с заземляющим устройством.

Защитное заземление — заземление, выполняемое в целях электробезопасности.

Рабочее (функциональное) заземление — заземление точки или точек токоведущих частей электроустановки, выполняемое для обеспечения работы электроустановки (не в целях безопасности).

Защитное зануление (зануление) — в электроустановках до 1 кВ преднамеренное соединение открытых проводящих частей с глухозаземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с глухозаземленным выводом источника однофазного тока, с заземленной точкой в сетях постоянного тока, выполняемое в целях электробезопасности.

Уравнивание потенциалов — электрическое соединение проводящих частей для достижения равенства их потенциалов, выполняемое в целях электробезопасности.

Выравнивание потенциалов — снижение разности потенциалов (шагового напряжения) на поверхности земли или пола при помощи защитных проводников, проложенных в земле или в полу или на их поверхности и присоединенных к заземляющему устройству, или применение специальных покрытий земли с низким удельным сопротивлением.

Защитный проводник (РЕ-проводник) — проводник, предназначенный для целей электробезопасности.

Нулевой рабочий проводник (N-проводник) — проводник в электроустановках до 1 кВ, предназначенный для питания электроприемников и соединенный с глухозаземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с глухозаземленным выводом источника однофазного тока, с заземленной точкой в сетях постоянного тока.

Совмещенный нулевой защитный и нулевой рабочий проводник (PEN-проводник) — проводник в электроустановках до 1 кВ, совмещающий функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников.

Главная заземляющая шина — шина в электроустановках до 1 кВ, являющаяся частью заземляющего устройства электроустановки и предназначенная для присоединения нескольких проводников с целью заземления и уравнивания потенциалов.

Защитное автоматическое отключение питания — автоматическое размыкание цепи одного или нескольких фазных проводников (и, если потребуются, нулевого рабочего проводника), выполненное в целях электробезопасности.

Основная изоляция — изоляция токоведущих частей, в том числе в электроустановках до 1 кВ, обеспечивающая защиту от прямого прикосновения.

Дополнительная изоляция — в электроустановках до 1 кВ независимая изоляция, выполняемая дополни-

тельно к основной изоляции для защиты при косвенном прикосновении.

Двойная изоляция — в электроустановках до 1 кВ изоляция, включающая в себя основную и дополнительную изоляцию.

Усиленная изоляция — в электроустановках до 1 кВ изоляция, обеспечивающая степень защиты от поражения электрическим током, равноценную двойной изоляции.

Сверхнизкое (малое) напряжение (СНН) — напряжение, не превышающее 50 В переменного тока и 120 В постоянного тока.

Разделительный трансформатор — трансформатор, первичная обмотка которого отделена от вторичных обмоток при помощи защитного электрического разделения цепей.

Безопасный разделительный трансформатор — разделительный трансформатор, предназначенный для питания цепей сверхнизким напряжением.

Защитный экран — проводящий экран, предназначенный для отделения электрической цепи и/или проводников от опасных токоведущих частей.

Защитное электрическое разделение цепей — отделение одной электрической цепи от других цепей в электроустановках напряжением до 1 кВ при помощи:

- двойной изоляции;
- основной изоляции и защитного экрана;
- усиленной изоляции.

Непроводящие (изолирующие) помещения, зоны, площадки — помещения, зоны, площадки, в которых (на которых) защита при косвенном прикосновении обеспечивается за счет высокого сопротивления пола и стен и в которых отсутствуют заземленные проводящие части.

Все осветительные установки (ОУ) — электроустановки напряжением до 1 кВ.

Электроустановки до 1 кВ в отношении мер электробезопасности разделяются на:

- электроустановки напряжением до 1 кВ в сетях с глухозаземленной нейтралью;
- электроустановки напряжением до 1 кВ в сетях с изолированной нейтралью.

Для электроустановок напряжением до 1 кВ приняты следующие типы систем заземления.

Система **TN** — система, в которой нейтраль источника питания глухо заземлена, а открытые проводящие части электроустановки присоединены к глухозаземленной нейтрали источника посредством нулевых защитных проводников.

В зависимости от устройства нулевого рабочего и нулевого защитного проводников различают три типа системы TN:

- система **TN-C** — система TN, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике на всем ее протяжении (рис. 9.41);
- система **TN-S** — система TN, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники разделены на всем ее протяжении (рис. 9.42);
- система **TN-C-S** — система TN, в которой функции нулевого защитного и нулевого рабочего прово-

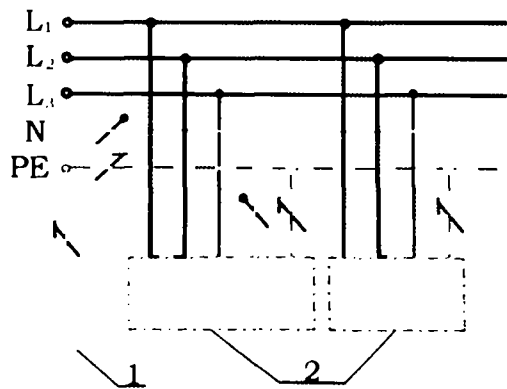


Рис. 9.42. Система TN-S (нулевой рабочий и нулевой защитный проводники работают раздельно): 1 — заземление источника питания; 2 — открытые проводящие части

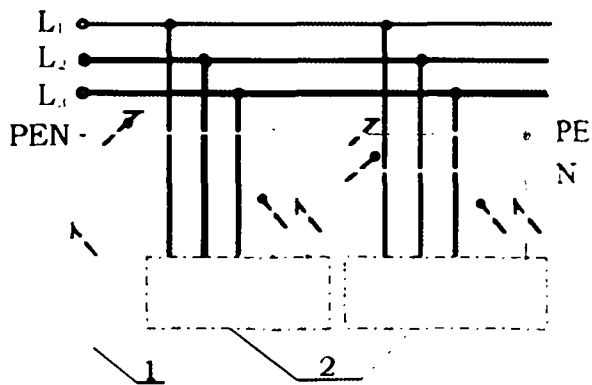


Рис. 9.43. Система TN-C-S (в части сети нулевой рабочий и нулевой защитный проводники объединены): 1 — заземление источника питания; 2 — открытые проводящие части

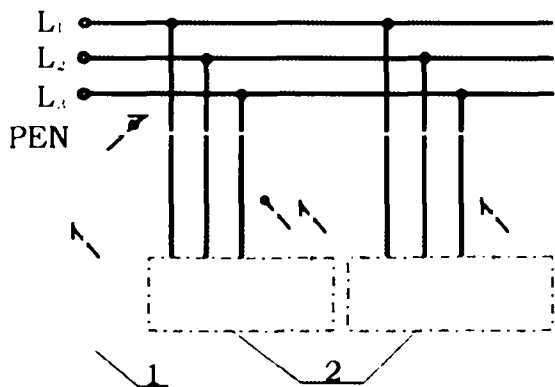


Рис. 9.44. Система TN-C (нулевой рабочий и нулевой защитный проводники объединены по всей сети): 1 — заземление источника питания; 2 — открытые проводящие части

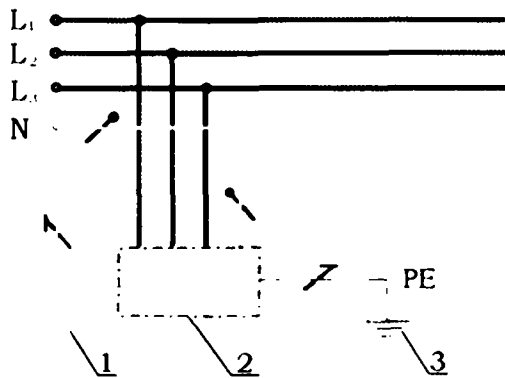


Рис. 9.45. Система TT: 1 — заземление источника питания; 2 — открытые проводящие части; 3 — заземление корпусов оборудования

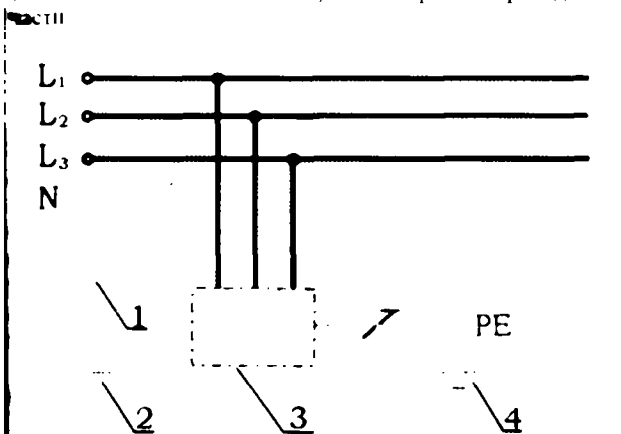


Рис. 9.46. Система TT: 1 — сопротивление; 2 — заземление источника питания; 3 — открытые проводящие части; 4 — заземление корпусов оборудования

проводников совмещены в одном проводнике в какой-то ее части, начиная от источника питания (рис. 9.43).

Система IT — система, в которой нейтраль источника питания изолирована от земли или заземлена через приборы или устройства, имеющие большое сопротивление,

а открытые проводящие части электроустановки заземлены (рис. 9.46).

Система TT — система, в которой нейтраль источника питания глухо заземлена, а открытые проводящие части электроустановки заземлены при помощи заземляющего устройства, электрически независимого от глухозаземленной нейтрали источника (рис. 9.45).

Первая буква в обозначении типа системы заземления определяет характер заземления источника питания:

- T — непосредственное присоединение одной точки токоведущих частей источника питания к земле;
- I — все токоведущие части изолированы от земли или одна заземлена через сопротивление.

Вторая буква определяет характер заземления открытых проводящих частей электроустановки:

- T — непосредственная связь открытых проводящих частей с точкой заземления источника питания, независимо от характера связи источника питания с землей;
- N — непосредственная связь открытых проводящих частей с точкой заземления источника питания.

В системе заземления TN последующие буквы определяют устройство нулевого рабочего и нулевого защитного проводников:

– S — функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников обеспечиваются раздельными проводниками;

– C — функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников объединены в одном проводнике (PEN-проводник).

В системе TN-S (рис. 9.42.) источник питания имеет глухозаземленную нейтраль. Все открытые проводящие части электроустановки имеют непосредственную связь с заземляющим устройством источника питания с помощью защитного РЕ-проводника.




В системе TN-C-S (рис. 9.43.) источник питания имеет глухозаземленную нейтраль. Все открытые проводящие части электроустановки имеют непосредственную связь с заземляющим устройством источника питания. На участке, прилегающем к источнику питания эта связь осуществляется с помощью совмещенного нулевого рабочего и защитного (PEN-проводник), а в остальной части сети с помощью защитного РЕ-проводника.

В системе TN-C (рис. 9.44) в отличие от системы TN-C-S нулевой рабочий и защитный проводники объединены во всей сети. Принципиальное отличие систем TN-C и TN-C-S от системы TN-S заключается в том, что в системе TN-S в защитном проводнике в нормальном режиме отсутствует ток, являющийся отрицательным возмущающим фактором. Как следствие, при прочих равных условиях, система TN-S обеспечивает самый высокий уровень безопасности. Очевидно, что при больших сечениях проводников, отрицательное влияние рабочего тока на надежность цепи защитного заземления (зануления) уменьшается. Минимальное значение сечения PEN-проводника в системе TN-C и TN-C-S составляет 10 мм² по меди или 16 мм² по алюминию.

В системе TT (рис. 9.45) источник питания имеет глухозаземленную нейтраль. Все открытые проводящие части электроустановки подсоединены к заземлителю, электрически независимому от заземлителя нейтрали источника питания.

В системе IT (рис. 9.46) источник питания не имеет непосредственной связи с землей. Все открытые проводящие части электроустановки подсоединены к заземлителю.

Обозначения:

-  — нулевой рабочий проводник (N);
-  — нулевой защитный проводник (PE);
-  — совмещенный нулевой рабочий и защитный проводник (PEN).

Электробезопасность определяется комплексом средств, среди которых имеются технические способы и средства защиты, специальные конструкции электроустановок, организационные мероприятия. Эти средства направлены на улучшение электроизоляционных свойств сетей и оборудования, снижение вероятности

опасных прикосновений, ограничение тока, протекающего через тело человека, и времени опасного контакта. Так, нормируются сопротивления изоляции сетей и оборудования, изоляционные расстояния между токоведущими частями, отдельные виды изделий снабжаются усиленной или двойной изоляцией. Регламентированы наименьшие высоты прокладки отдельных видов проводки и установки ОП, устройства ввода сети в ОП, конструкции ОП, затрудняющие в отдельных случаях доступ к их токоведущим частям (см. § 9.3.1).

Для дополнительной защиты от прямого прикосновения в электроустановках напряжением до 1 кВ следует применять устройства защитного отключения (УЗО) с номинальным отключающим дифференциальным током не более 30 мА.

Для защиты от поражения электрическим током в случае повреждения изоляции должны быть применены по отдельности или в сочетании следующие меры защиты при косвенном прикосновении:

- защитное заземление;
- автоматическое отключение питания;
- уравнивание потенциалов;
- выравнивание потенциалов;
- двойная или усиленная изоляция;
- сверхнизкое (малое) напряжение;
- защитное электрическое разделение цепей;
- изолирующие (непроводящие) помещения, зоны, площадки.

Защиту при косвенном прикосновении следует выполнять во всех случаях, если напряжение в электроустановке превышает 50 В переменного тока и 120 В постоянного тока.

В помещениях с повышенной опасностью, особо опасных и в наружных установках выполнение защиты при косвенном прикосновении может потребоваться при более низких напряжениях, например, 25 В переменного и 60 В постоянного тока или 12 В переменного и 30 В постоянного тока.

Для заземления электроустановок могут быть использованы искусственные и естественные заземлители. Если при использовании естественных заземлителей сопротивление заземляющих устройств или напряжение прикосновения имеет допустимое значение, а также обеспечиваются нормированные значения плотности тока на заземляющем устройстве и допустимые плотности токов в естественных заземлителях, выполнение искусственных заземлителей в электроустановках до 1 кВ не обязательно. Использование естественных заземлителей в качестве элементов заземляющих устройств не должно приводить к их повреждению или протеканию по ним токов короткого замыкания или к нарушению работы устройств, с которыми они связаны.

Для заземления в электроустановках разных назначений и напряжений, территориально сближенных, следует, как правило, применять одно общее заземляющее устройство.

Заземляющее устройство, используемое для заземления электроустановок одного или разных назначений и напряжений, должно удовлетворять всем требованиям, предъявляемым к заземлению этих электроустано-

ток: защиты людей от поражения электрическим током при повреждении изоляции, условиям режимов работы сетей, защиты электрооборудования от перенапряжения в течение всего периода эксплуатации.

Электроустановки напряжением до 1 кВ жилых, общественных и промышленных зданий и наружных установок должны, как правило, получать питание от источника с глухозаземленной нейтралью с применением системы TN.

Для защиты от поражения электрическим током при косвенном прикосновении в таких электроустановках должно быть выполнено автоматическое отключение питания.

При выполнении автоматического отключения питания в электроустановках напряжением до 1 кВ все открытые проводящие части должны быть присоединены к глухозаземленной нейтрали источника питания, если применена система TN, и заземлены, если применены системы IT или TT. При этом характеристики защитных аппаратов и параметры защитных проводников должны быть согласованы, чтобы обеспечивалось нормированное время отключения поврежденной цепи защитно-коммутационным аппаратом в соответствии с номинальным фазным напряжением питающей сети.

В электроустановках, в которых в качестве защитной меры применено автоматическое отключение питания, должно быть выполнено уравнивание потенциалов.

Для автоматического отключения питания могут быть применены защитно-коммутационные аппараты, реагирующие на сверхтоки или на дифференциальный ток.

В системе TN время автоматического отключения питания не должно превышать 0,4 с при напряжении 20 В и 0,1 с при напряжении 380 В. Эти значения времени отключения считаются достаточными для обеспечения электробезопасности, в том числе в групповых сетях, питающих передвижные и переносные электроприемники и ручной электроинструмент класса I.

В сетях, питающих распределительные, групповые, тажные и другие щиты и щитки, время отключения не должно превышать 5 с.

Для уверенного и достаточно быстрого автоматического отключения аварийного участка проводимость фазных и нулевых проводов (а следовательно, их сечение) выбирается такой, чтобы при замыкании на корпус возникал ток однофазного КЗ, превышающий не менее чем:

в 3 раза (для взрывоопасных зон в 4 раза) номинальный ток плавкого элемента предохранителя;

в 3 раза (для взрывоопасных зон в 6 раз) номинальный ток нерегулируемого расцепителя или уставку тока регулируемого автоматического выключателя, имеющей обратную зависимость от тока характеристику.

Полная проводимость нулевого защитного провода должна быть не менее 50% проводимости фазного.

Расчет тока однофазного короткого замыкания в фазе — нуль осветительной сети рекомендуется производить по приближенной формуле:

$$I_{K3} = U_{\phi} / (z_T / 3 + z_{\Pi}), \quad (9.14)$$

где I_{K3} — ток короткого замыкания, А; U_{ϕ} — фазное напряжение сети, В; z_T — полное сопротивление трансформатора току однофазного замыкания на корпус, Ом; z_{Π} — полное сопротивление петли фазный—нулевой провода электрической сети от трансформатора до точки замыкания на корпус, Ом.

Большинство практически используемых в осветительных сетях аппаратов защиты при нормируемых кратностях тока КЗ обеспечивают отключение линии в течение нескольких секунд и даже нескольких десятков секунд. Значительно большее быстродействие обеспечивают устройства защитного отключения (УЗО), являющиеся перспективным средством электробезопасности. Эти устройства за доли секунды автоматически отключают сеть как при металлическом замыкании на корпус, так и при частичном снижении уровня изоляции сверх определенного значения. Было бы особенно целесообразно совмещение в одном аппарате функций защиты от КЗ и перегрузки с защитным отключением. Весьма желательное широкое использование защитного отключения, особенно в сетях квартир, некоторых ОЗ и др.

Помимо защитных зануления и отключения, типичическими средствами электробезопасности являются напряжение не выше 50 В, разделительные трансформаторы и уравнивание потенциалов.

В понижающих трансформаторах (вторичное напряжение обычно 42, 36 или 12 В) следует запускать один из выводов низшего напряжения или среднюю точку вторичной обмотки. Эти мероприятия являются надежным средством защиты от опасного перехода высшего напряжения в сеть низшего.

Разделительные трансформаторы широко используются для питания щетельных розеток для электробрить, устанавливаемых в ванных квартирах, общежитий и гостиниц. Запрещается занулять (заземлять) вторичную обмотку разделительного трансформатора и питающийся от него электроаппарат. От разделительного трансформатора разрешается питать только один электроприемник, а устанавливаемый на первичной стороне аппарат защиты должен иметь номинальный ток не выше 15 А.

Для уравнивания потенциалов следует присоединять к сети зануления строительные и производственные конструкции, металлические корпуса технологического оборудования, трубопроводы и т.п. При этом считаются достаточными естественные контакты.

9.13. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ОУ

Внедрение САПР в проектирование электрической части ОУ позволяет:

— повысить производительность труда и сократить сроки проектирования;

— уменьшить число ошибок, неизбежных при неавтоматизированном проектировании, или полностью исключить такие ошибки.

В настоящее время известно достаточное количество программных продуктов, которые могут быть ис-

пользованы для проектирования как отдельных элементов, так и всей электрической части ОУ.

Одной из таких программ является программа Project Studios Электрика, предназначенная для создания проектов внутреннего электрического освещения зданий и предусматривающая мощную автоматизацию наиболее трудоемких и ответственных процессов проектирования [9.7].

Project Studios Электрика предоставляет возможность выпускать проектную документацию с использованием баз графических обозначений (УГО) и параметров электрооборудования, которая соответствует [9.7], [9.8–9.10].

Исходные данные: архитектурно-строительные чертежи здания, выполненные в среде Project Studios Архитектура, Autodesk Architectural Desktop 3.3 или AutoCAD 2002/2000(i).

Основные возможности программы

Светотехнические расчеты для помещений со сложной прямоугольной конфигурацией (Т-, П-, Г-образные помещения), выбор вариантов светильников из базы данных (БД) и автоматическое размещение их на плане.

Электрическая часть:

- компоновка групповых сетей;
- автоматический подсчет необходимого числа жил электрических кабелей;
- автоматическая проверка параметров электрических сетей на соответствие токам однофазного короткого замыкания, токам длительной нагрузки и заданной потере напряжения до наиболее удаленных потребителей;
- автоматическое формирование выносок и буквенно-позиционных обозначений;
- автоматическое формирование принципиальных схем питающей и распределительной сети;
- создание опросных листов для ВРУ;
- подсчет количества оборудования и длин кабелей;
- автоматическое формирование спецификаций в DWG-формате Microsoft Excel, которые могут быть преобразованы в формат Microsoft Word;
- *полуавтоматическое формирование ведомостей* в тех же выходных форматах.

Выходные документы:

- общие данные по рабочим чертежам (ведомость основных комплектов рабочих чертежей, ведомость рабочих чертежей основного комплекта, ведомость ссылочных и прилагаемых документов, общие указания);
- поэтажные планы здания с обозначениями установленного оборудования и трасс, выносными обозначениями и таблицами («Данные по групповым щиткам» и «Ведомость узлов установки оборудования»);
- принципиальная схема питающей сети;
- принципиальная схема распределительной сети;
- ведомость по токам однофазного короткого замыкания;
- опросные листы для ВРУ;

– спецификация оборудования, изделий и материалов.

Пример оформления чертежа фрагмента плана представлен на рис. 9.47.

Программа ElectricS Light в комбинации с программой Project Studios Электрика также обеспечивает возможность автоматизированной разработки проектной документации для внутреннего и наружного освещения.

9.14. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОУ

Ниже приведены краткие сведения об основном электрооборудовании, применяемом для ОУ. Более подробные сведения можно получить из справочных материалов по электрооборудованию, указанных в списке литературы.

Осветительные приборы. Основные сведения по ОП различного назначения приведены в соответствующих разделах и параграфах книги: для промышленных предприятий — в разд. 12, для ОЗ — разд. 14, для НО — в разд. 15.

Магистральные пункты и щитки. В качестве магистральных пунктов-щитков используются распределительные пункты, укомплектованные трехполюсными автоматическими выключателями с комбинированными (электромагнитными и тепловыми) рецепителями (см. § 9.9).

Вводно-распределительные устройства. Для ввода и распределения электроэнергии общественных и жилых зданий используются ВРУ с аппаратами защиты и управления. Устройства имеют разные схемы, они изготавливаются различными предприятиями.

Ящики управления. Для дистанционного управления освещением используются ящики управления, укомплектованные магнитными пускателями, томами и избирателями управления.

Групповые щитки. Для производственных общественных зданий наиболее широко применяются следующие типы групповых щитков: распределительные пункты с одно- и трехполюсными автоматами, распределительные шкафы с четырьмя трехполюсными автоматами.

Станции автоматического переключения на резерв. В ОУ применяется переключение отдельных групп потребителей (например, АО) с нормального (основного) источника электроэнергии на резервный в случае исчезновения напряжения на основном источнике. Применяются также схемы, в которых ОП АО нормально не горят и автоматически включаются на питание от резервного источника, когда исчезает напряжение в сети рабочего освещения. Автоматическое переключение или включение освещения осуществляется с помощью станции управления или конвексионных модулей.

Комплектные конденсаторные установки. Для повышения $\cos \phi$ в ОУ с РЛВД (см. § 9.10) применяются комплектные конденсаторные установки.

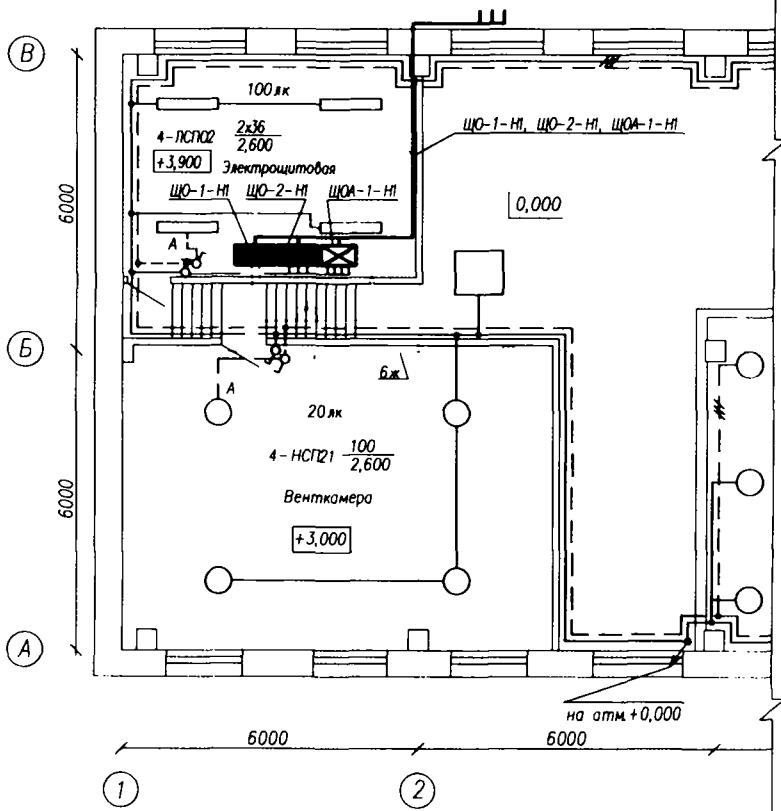


Рис. 9.47, а. Фрагмент чертежа электрического освещения

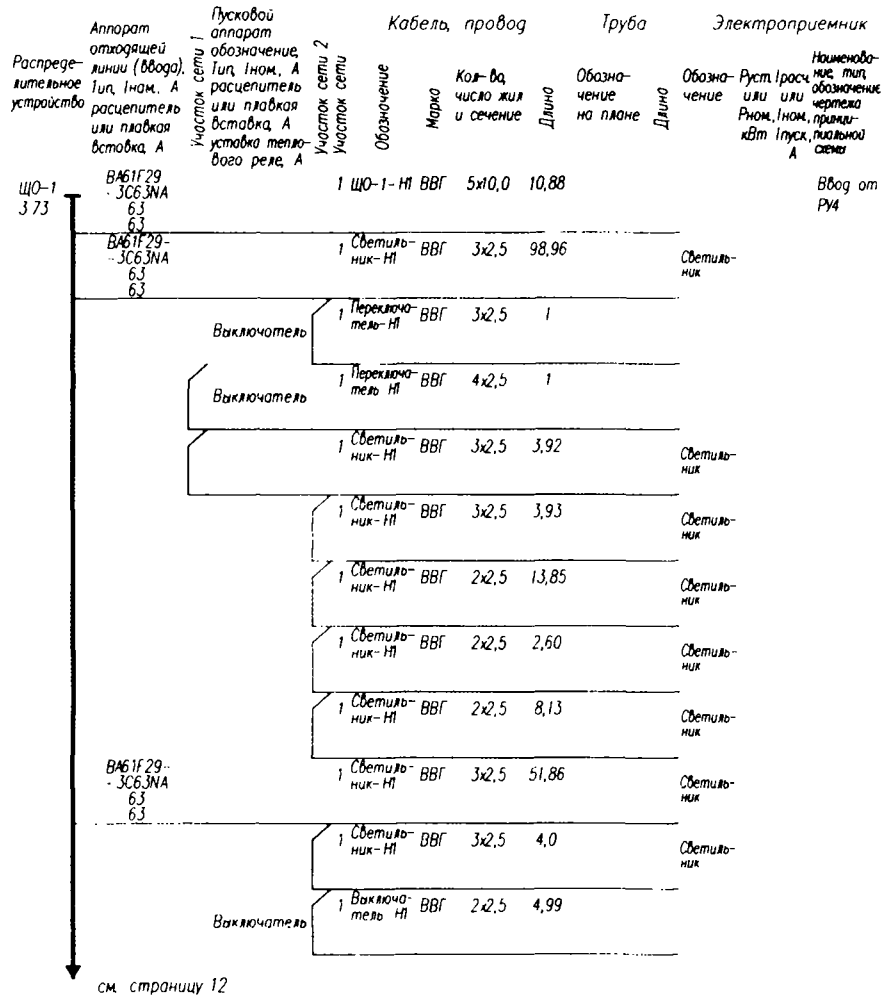


Рис. 9.47, б. Однолинейная схема группового щитка рабочего освещения

с трехфазными конденсаторами мощностью по 25 и $33\frac{1}{3}$ кВ·Ар.

Понижающие трансформаторы. В ОУ применяют одно- и трехфазные понижающие трансформаторы с естественным воздушным охлаждением с вторичным напряжением 12, 36 и 42 В.

Ограничители и стабилизаторы напряжения. Для стабилизации напряжения в осветительных сетях (см. § 9.9.11) применяются ограничители напряжения.

Электроустановочные устройства. В осветительных сетях широко используются ЭУ — выключатели, переключатели и штепсельные розетки.

Электромонтажные изделия. В осветительных сетях используется большое количество разнообразных электромонтажных изделий — шинпровода, короба, лотки, ответвительные и протяжные коробки, ящики и т.п. (рис. 9.48–9.51).

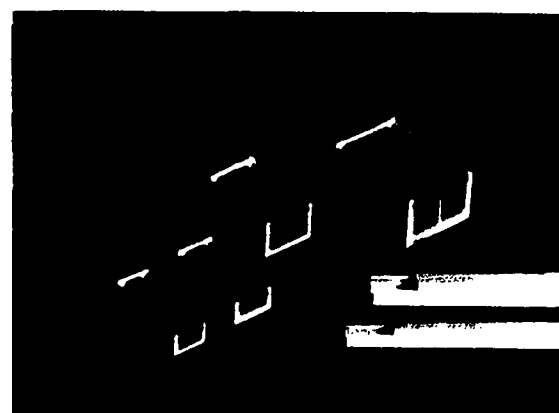
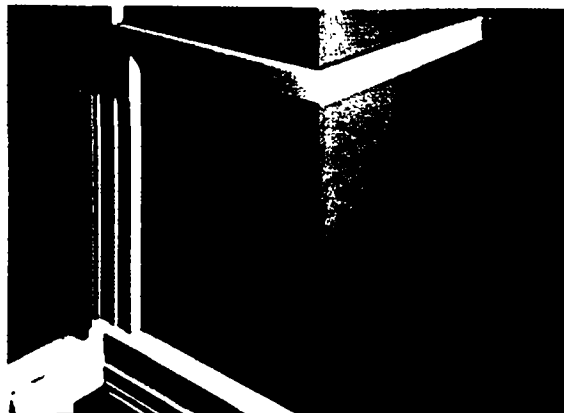
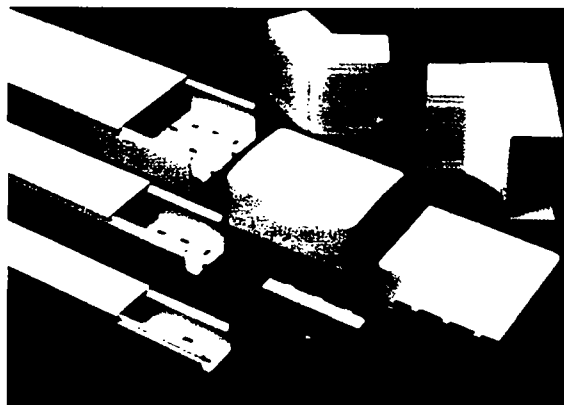


Рис. 9.48. Мишиканалы и магистральные короба

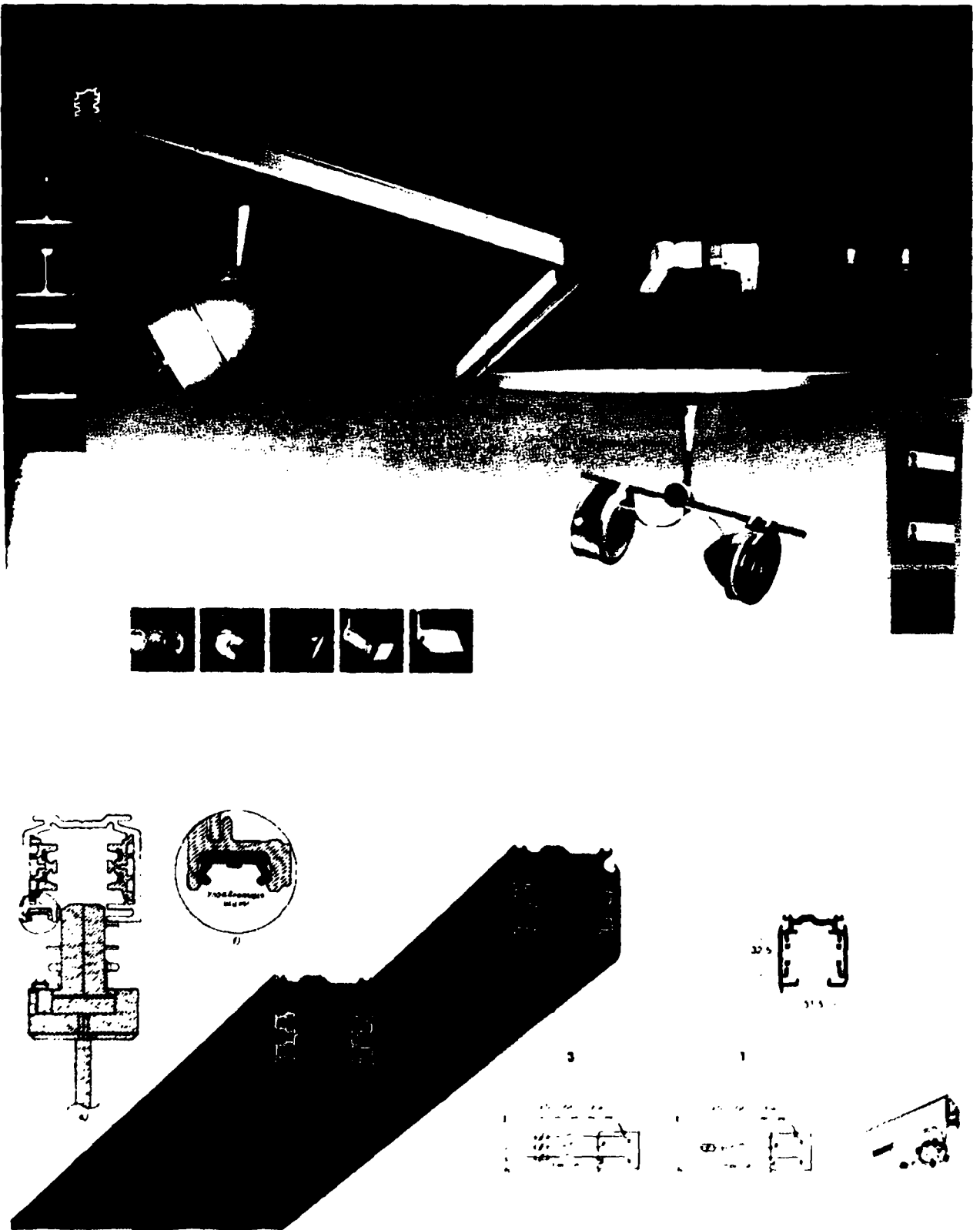
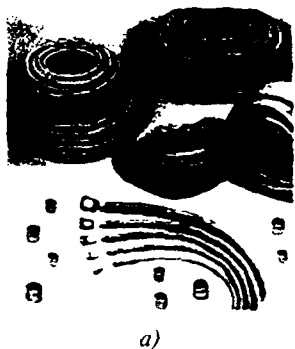


Рис. 9.49. Шинопровод для общественных зданий



a)



б)



в)



г)



д)

Рис. 9.50. Аксессуары для трубных прокладок: а — армированная труба; б, в, д — аксессуары; г — жесткая труба



Рис. 9.51. Оболочки для групповых шитков

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

9.1. *СП 31-110-2003*. Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий. Нормы проектирования.

9.2. *СН 541-82*. Инструкция по проектированию наружного освещения городов, поселков и сельских населенных пунктов.

9.3. *Фаермарк М.А., Кунгс Я.А.* Экономия электроэнергии в осветительных установках. М.: Энергоатомиздат, 1984. 160 с.

9.4. *Кунгс Я.А., Твардовский П.М.* Автоматизация управления и регулирование напряжения в осветительных установках. М. Энергия, 1979, 129 с.

9.5. *Ватава Ю.В.* Новые возможности повышения надежности работы установок наружного освещения. Энергонадзор и энергосбережение сегодня. 2001. № 4. С. 39–42.

9.6. *Карякин Р.Н.* Заземляющие устройства электроустановок. М. ЗАО «Энергосервис» 2000.

9.7. *Третьяков С.* Project Studios. Электрика. Итоги опыта перспективы. CAD MASTER. 2004. № 3. С. 52–54

9.8. *ГОСТ 21.608-84*. Система проектной документации для строительства. Внутреннее электрическое освещение. Рабочие чертежи.

9.9. *ГОСТ 21.101-97*. Система проектной документации для строительства. Основные требования к проектной рабочей документации.

9.10. *ГОСТ 21.614-88*. Система проектной документации для строительства. Изображения условные, графические электрооборудования и проводок на планах.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

10.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Проектирование ОУ подчиняется общим положениям «Инструкции о порядке разработки, согласования, утверждения и составе проектной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений» [10.1].

Основным документом на строительство объектов является Технико-экономическое обоснование строительства (ТЭО), которое в проектной практике носит название «ПРОЕКТ» (П).

На основе утвержденного П разрабатывается *рабочая документация* (РД).

Для объектов, строящихся по проектам массового и повторного применения, а также других технически сложных объектов, проектная документация может разрабатываться в одну стадию. В этом случае делается *рабочий проект* (РП), состоящий из утверждаемой части и рабочей документации, или содержит только РД.

При двухстадийном (П+РД) проектировании на первой стадии решаются такие основные вопросы, как выбор систем освещения, типов ИС, значений освещенности; выявляются установленная и потребляемая мощность, намечаются схемы питания освещения и составляются локальные сметные расчеты, которые обычно базируются на укрупненных сметных показателях для аналогичных ранее разработанных РП.

При этом степень глубины и детализации проработки разных вопросов может изменяться в значительных пределах в зависимости от полноты исходных данных для проектирования и требований Заказчика. Более подробные указания по объему проектных материалов для первой стадии проекта ОУ приводятся в ведомственных инструкциях и нормах.

В утверждаемой части рабочего проекта освещения решаются те же основные вопросы по светотехнической и электротехнической частям ОУ, как и для стадии П, и составляется локальный сметный расчет.

В следующей стадии двухстадийного проектирования разрабатывается рабочая документация, в объеме которой входит более детальная, чем в стадии П, проработка принятых технических решений.

В светотехнической части РД производится детальный выбор систем, видов и способов освещения, типов ИС и ОП, выполняются светотехнические расчеты, в процессе и в результате которых выявляются тип, мощность и расположение ОП.

В электротехнической части РД выбираются конкретные источники питания, решаются (при необходимости) вопросы компенсации реактивной мощности

для установок с РЛВД, намечаются способы управления освещением, разрабатываются схемы магистральных и групповых щитков, намечаются способы доступа к ОП для их обслуживания.

Все принимаемые решения отражаются в разрабатываемых рабочих чертежах внутреннего и наружного освещения, состав и правила оформления которых регламентируются стандартами «Системы проектной документации для строительства» — СПДС [10.2], [10.3].

При необходимости производится разработка чертежей узлов и деталей установки ОП и прокладок сетей, либо используются чертежи, разработанные ранее для аналогичных случаев.

Отметим, что стремительно развивающаяся технология автоматизированного проектирования и новые требования согласующих организаций (Энергосбыта и Госэнергонадзора) привели к необходимости пересмотра некоторых положений стандартов в части оформления проектной документации и ее объема. Так, например, в составе рабочей документации дополнительно разрабатываются схемы групповых щитков, что позволяет отказаться от приведения на чертежах Таблиц щитков; появление новых элементов схем, например устройств защитного отключения (УЗО), и многовариантность построения схем приводят к необходимости корректировки боковых схем и другим изменениям.

В объем рабочей документации на освещение каждого объекта входит спецификация на светотехническое и электротехническое оборудование, кабельную продукцию, электромонтажные изделия, трубы и другие необходимые для монтажа ОУ материалы.

В составе стадии РД локальные сметы составляются, если это предусмотрено договором на выполнение рабочей документации.

В процессе проектирования выдаются также строительные задания на электропомещения, ниши для установки щитков и другого оборудования, шахты, штрабы, проемы, трассы питающих, распределительных и групповых сетей, отверстия для прокладки сетей, задания на закладные детали в строительных конструкциях для крепления ОП и электрооборудования. В необходимых случаях составляются задания на устройства и приспособления для доступа к ОП.

Исходные данные для проектирования. При двухстадийном проектировании ОУ на стадии П требуется, как минимум, перечень объектов строительства с указанием их основного назначения, площади помещений для каждого объекта и краткой строительной характеристики здания (количество этажей, высота основных помещений, конструкции объекта, наличие или отсутствие

подвесных потолков). Для установок НО необходимо знать: площадь и назначение освещаемой территории для выявления участков, требующих дополнительного, аварийного или охранного освещения; режимы управления освещением территории.

Для проектирования внутреннего освещения на стадиях РП и РД необходимы архитектурно-строительные планы и разрезы зданий с указанием назначения отдельных помещений, чертежи металлических и железобетонных конструкций, технологические планы и разрезы, чертежи санитарно-технических коммуникаций, сведения о характере среды в помещениях, данные об особенностях технологического процесса и другие требования, влияющие на устройство освещения.

Для общественных зданий, где искусственное освещение должно увязываться с архитектурно-художественным решением интерьеров, необходимы дополнительные данные по архитектурно-строительным деталям и отделке помещений. Окончательные проектные решения по освещению помещений общественных зданий выявляются в результате совместных проработок проектировщиков-светотехников и архитекторов-дизайнеров (см. раздел 14).

Для разработки РП для НО промышленных предприятий, городов и населенных пунктов необходимы рабочие чертежи генплана освещаемых участков с указанием дорог, железнодорожных путей, линий ограды, контуров и этажности зданий и сооружений, мест производства открытых работ, открытых складов, подземных коммуникаций, влияющих на выбор мест установки опор и прокладку кабелей. В некоторых случаях подземные коммуникации указываются на отдельных планах, называемых чертежами геоподосновы.

Разработка РП для ОУ, как правило, выполняется одновременно с проектированием других разделов объекта (архитектурно-строительной, технологической и других частей), т.е. осуществляется так называемое параллельное проектирование. В таких случаях проектирование освещения приходится начинать, опираясь на промежуточные исходные данные с последующим уточнением и корректировкой проектных материалов в процессе разработки, а иногда и после окончания проекта, путем выпуска скорректированных (индексированных) чертежей или разработки новых, заменяющих ранее выполненные. В отдельных случаях корректировка проектных решений выполняется в порядке авторского надзора при монтаже ОУ.

Практически все светотехнические расчеты установок внутреннего и наружного освещения выполняются на ПК с использованием программ отечественных и зарубежных фирм (см. раздел 8). Имеются, но пока не нашли широкого применения программы расчета электротехнической части ОУ. Создается комплексная программа выполнения проекта ОУ в полном объеме.

На настоящий момент графическая часть проектов — чертежи расположения, принципиальные схемы питания и управления, схемы групповых щитков, таблицы основных технических показателей, спецификации — выполняется с использованием графических и текстовых программ для ПК. При использовании ПК

практически теряет смысл существовавшая ранее практика упрощенного оформления чертежей планов освещаемых помещений с использованием элементов планов повторяющихся помещений.

Организация светотехнического проектирования. Высокий технический уровень проектных решений и хорошее качество проектов ОУ в значительной степени зависят от организации светотехнического проектирования. Специфика ОУ обуславливает целесообразность выполнения проектов освещения специализированными проектными подразделениями. В составе светотехнического отдела (сектора), кроме проектировщиков-светотехников, целесообразно иметь конструкторов, специализирующихся на разработке рабочих чертежей для проектов освещения.

Отдельные части проектов ОУ — сложные схемы централизованного (дистанционного или автоматического) управления освещением, пульта управления, сметы — целесообразно выполнять в соответствующих специализированных подразделениях проектных организаций при обязательном участии проектировщиков-светотехников. Специализированные проектные светотехнические подразделения способствуют повышению квалификации проектировщиков, своевременному получению технической информации, обмену опытом с другими проектными организациями, облегчают организацию технической учебы проектировщиков.

Большое влияние на повышение качества проектов и монтируемых по ним ОУ оказывает участие проектировщиков в авторском надзоре за монтажом освещения, при котором могут быть выявлены и устранены допущенные ошибки. Важное значение также имеет наблюдение за смонтированными ОУ в первые годы их эксплуатации.

Основные нормативные материалы по проектированию. Проектирование ОУ регламентируется СНиП [44], МГСН [56-58], СН [81], СанПиН [79], отраслевыми нормами искусственного освещения, инструкциями по проектированию, ПУЭ [45] и другими нормативными документами (см. раздел 7).

При этом необходимо отметить, что нормы СНиП распространяются (за исключением случаев, указанных в самих СНиП) на проектирование освещения помещений вновь строящихся и реконструируемых зданий сооружений различного назначения, мест производства работ вне зданий и сооружений различного назначения, площадок промышленных и сельскохозяйственных предприятий, железнодорожных путей предприятий, наружного освещения городов, поселков и сельских населенных пунктов. Проектирование устройств местного освещения, поставляемых комплектно станками, машинами и производственной мебелью следует также осуществлять в соответствии с нормами.

Эти нормы [44] не распространяются на проектирование освещения подземных выработок, морских речных портов, аэродромов, железнодорожных станций и их путей, спортивных сооружений, лечебно-профилактических учреждений, помещений для хранения сельскохозяйственной продукции, размещения растений, животных, птиц, а также на проектирование спе

циального технологического и охранного освещения при применении технических средств охраны.

Нормы МГСН, разработанные в соответствии с требованиями СНиП 23-05-95* [44], не распространяются на проектирование освещения промышленных зданий, промышленных предприятий и мест производства работ вне зданий, метрополитена.

Необходимо обратить внимание на важность и целесообразность учета требований таких международных документов, как Европейский стандарт [82] и Рекомендации МКО [83] на освещение.

10.2. СВЕТОТЕХНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ПРОЕКТОВ

Выбор нормируемых параметров. В установках искусственного освещения нормами предписывается (см. раздел 7) обеспечение целого ряда количественных и качественных параметров. Количественными параметрами являются минимальная или средняя освещенность, средняя яркость дорожных покрытий. Нормами также ограничивается допустимое значение коэффициента неравномерности (отношения максимальной освещенности к минимальной) в пределах 1,3–3,0 в зависимости от разряда зрительной работы, типа ИС и высотностей установки светильников.

Качественными параметрами для производственных помещений являются показатель ослепленности и коэффициент пульсации; для общественных и жилых помещений — цилиндрическая освещенность, показатель дискомфорта и коэффициент пульсации.

В вышеуказанных нормативных документах отдельные нормируемые параметры могут различаться между собой. В этом случае следует руководствоваться наибольшими нормами освещенности и наиболее жесткими требованиями к качественным показателям.

Процессы интеграции стран Европы привели к созданию общеевропейских норм по освещению. В новых европейских нормах освещения EN 12464-1 приводятся нормы средней освещенности для различных объектов, сгруппированных в 9 разделов. Кроме значения освещенности, нормы предписывают значения UGR (обобщенный показатель слепящего действия) и R_a (индекс цветопередачи) (см. раздел 7). Таблица соответствия между показателями UGR и показателем дискомфорта приведена в [10.4].

Неизбежный процесс сближения российских и европейских норм приведет, очевидно, к необходимости изменения ряда положений СНиП; на первом этапе представляется необходимым решить следующие вопросы:

- осуществлять нормирование средней освещенности независимо от типа источника света и системы освещения;
- проводить оценку слепящего действия ОУ в помещении промышленных и общественных зданий по обобщенному показателю слепящего действия.

На данном этапе можно рекомендовать применять более высокие требования EN при проектировании типовых объектов общественного назначения: кино-

концертных залов, спортивных сооружений и других объектов городского или федерального уровня. Применение норм EN должно быть оговорено в задании на проектирование.

ВИДЫ ОСВЕЩЕНИЯ

Рабочее освещение следует предусматривать для всех помещений, а также участков открытых пространств, предназначенных для работы, прохода людей и движения транспорта.

Охранное освещение — разовидность рабочего освещения. Оно устраивается по линии охраняемых границ территорий промышленных предприятий и территорий некоторых общественных зданий. Охранное освещение (при отсутствии специальных технических средств охраны) должно предусматриваться вдоль границ территорий, охраняемых в ночное время. Нормируемая освещенность — не менее 0,5 лк на уровне земли в горизонтальной плоскости или на уровне 0,5 м от земли на одной стороне вертикальной плоскости, перпендикулярной линии границы.

Аварийное освещение разделяется на освещение безопасности и эвакуационное. Первое должно обеспечивать минимальные условия для возможности продолжения работы в случаях, когда отсутствие искусственного освещения может вызвать тяжелые последствия для людей, производственных процессов, нарушить нормальное функционирование жизненно важных центров предприятия и узлов обслуживания массовых потребителей, а также нарушение режима работы детских учреждений.

Эвакуационное освещение служит для безопасной эвакуации людей из помещений и с открытых пространств в случае отключения рабочего освещения.

Указания о том, в каких случаях следует предусматривать тот или иной вид аварийного освещения, содержатся в нормативных документах.

Освещение безопасности должно создавать на рабочих поверхностях в помещениях и на территориях освещенность равную 5% освещенности, нормируемой для рабочего освещения от общего освещения, но не менее 2 лк внутри зданий и не менее 1 лк для территорий предприятий. При этом создавать освещенность от освещения безопасности внутри зданий более 30 лк при разрядных лампах и 10 лк при лампах накаливания допускается только при наличии соответствующих обоснований.

Эвакуационное освещение должно обеспечивать наименьшую освещенность на полу или на земле и на ступенях лестниц: в помещениях — не менее 0,5 лк, на территориях — 0,2 лк. Неравномерность эвакуационного освещения (отношение максимальной освещенности к минимальной) по оси эвакуационных проходов должна быть не более 40:1.

При наличии освещения безопасности в помещении оно может использоваться для эвакуационного освещения.

Для аварийного освещения следует применять ЛЛ, КЛЛ и ЛН (в том числе ГЛН). ЛЛ могут использоваться в помещениях с температурой воздуха не ниже 5° и при

напряжении не ниже 90% номинального; применение ЛЛ при температуре ниже 5° возможно в случае, когда исполнение светильников для них рассчитано на работу при низких температурах (впрочем, вышеперечисленные требования относятся и к ЛЛ рабочего освещения).

Разрядные лампы высокого давления могут применяться для аварийного освещения при условии их мгновенного или быстрого повторного зажигания как в горячем состоянии после кратковременного отключения питающего напряжения, так и в холодном состоянии.

Более подробно об АО и ЭО см. п. 10.8.

Дежурное освещение — это освещение в нерабочее время. Область применения, величины освещенности, требования к равномерности и качеству для дежурного освещения не нормируются. Для установок НО также может предусматриваться устройство дежурного освещения на территориях промпредприятий или ночного освещения в городах и населенных пунктах.

Системы освещения. Для помещений любого назначения применяются системы общего или комбинированного (общего и местного) освещения. Выбор системы освещения в большинстве случаев предопределяется характером и особенностями зрительных работ, выполняемых в помещениях. В отраслевых нормах искусственного освещения обычно указывается рекомендуемая или предпочтительная система освещения. При выполнении в помещениях работ I—III, IVa, IVб, IVв, Va разрядов следует применять систему комбинированного освещения. Предусматривать систему только общего освещения допускается при технической невозможности или доказанной нецелесообразности устройства местного освещения.

Общее освещение может быть равномерным или локализованным. При наличии в одном помещении рабочих зон (где компактно расположено основное технологическое оборудование) и вспомогательных зон (где хранится запас материалов и полуфабрикатов, необходимых для работы в течение смены, а также готовая продукция в ожидании транспортировки) рекомендуется предусматривать локализованное освещение. При этом нормируемая освещенность должна быть обеспечена в рабочей зоне, а на вспомогательных площадях допускается менее интенсивное освещение по разряду VIIa.

В случае необходимости временного увеличения освещенности на отдельных рабочих местах при выполнении основных или ремонтных работ предусматриваются штепсельные розетки для включения переносных ОП.

Многие виды технологического оборудования поставляются вместе с устройством местного освещения, и тогда в проектах освещения необходимо предусматривать подводку для электрического питания этих устройств, если таковая не учитывается в проекте силового электрооборудования. При отсутствии устройств местного освещения в технологическом оборудовании они должны предусматриваться в проектах освещения.

Применение одного местного освещения в проектах ОУ не допускается.

В производственных и общественных зданиях в помещениях с недостаточным естественным освещением применяется система совмещенного освещения, при которой недостаток естественного света в светлое время суток восполняется искусственным.

Выбор источников света. При выборе ИС рекомендуется руководствоваться следующими указаниями:

- для общего внутреннего и паружного освещения использовать преимущественно РЛ;
- применять лампы наибольшей единичной мощности, при которой возможно выполнение нормативных требований к качеству освещения;
- при технической необходимости или по архитектурно-художественным соображениям допускается применять в пределах одного помещения РЛ и ЛН;
- не допускается применять РЛ в случаях, когда возможно снижение напряжения ниже 90% от номинального.

Для успешного выполнения многих зрительных работ при внутреннем освещении ИС должен обеспечивать хорошую цветоцветовую среду. Для рационального выбора ИС по цветовым характеристикам зрительные работы в промышленных и общественных зданиях классифицированы по двум признакам — уровню требований к цветопередаче и цветоразличению и точности зрительной задачи. Цветопередача и цветоразличение характеризуются значением цветовой температуры T_c в градусах по шкале Кельвина, и индексом цветопередачи R_a (табл. 10.1). Точность зрительной работы опосредованно характеризуется нормируемой освещенностью E .

Сочетания определенных значений параметров T_c , R_a позволяют обеспечить хорошие условия зрительной работы.

В многочисленных физиолого-гигиенических исследованиях выявлены как ограничения по применению некоторых ИС, так и рекомендации о сочетании различных РЛ или о предпочтении тех или иных ИС признакам большей экономичности или лучшей цветопередачи (подробнее см. раздел 3).

Рекомендации по выбору ИС для производственных помещений при системах общего и комбинированного освещения, а также для помещений жилых и общественных зданий в зависимости от освещенности требований к цветопередаче и цветоразличению с учетом энергетической эффективности различных ИС приведены в разделе 7.

Обобщенные рекомендации по выбору ИС внутреннего освещения, разработанные с учетом (в том числе цветовых) параметров ИС, сводятся к следующему. Для общего освещения рекомендуется применять, как правило, РЛ: ЛЛ — в основном в помещениях (до 6 м), РЛВД — в основном в средних и высоких. ЛН для внутреннего освещения могут применяться ограниченно в установках архитектурного освещения общественных зданий, в жилых помещениях, вспомогательных помещениях с временным пребыванием людей, для освещения помещений, где по тем

Основные энергетические и цветовые характеристики источников света

Тип источника света		Световая отдача, лм/Вт	Индекс цветопередачи R_g , не менее	Цветовая температура T_c , К
Общеввропейское обозначение по EN и ILCOS	Отечественные аналоги			
Люминесцентные лампы ¹				
FD 535	ЛБ	80	57	3500
	ЛБЦТ	75	83	4000
FD 640	ЛХБ	75	62	4300
FD 954	ЛДЦ	55	92	6000
FD 840	ЛФЦ	54	85	3900
	ЛХЕ	48	92	5200
	ЛЦДУФ	40	92	6000
Люминесцентные лампы T5 с диаметром трубки 16 мм				
LMP.LX PLUS/860 дневного света		96 104 ²	80–89	6000
LMP.LX PLUS/840 холодно-белая				4000
LMP.LX PLUS/830 тепло-белая				3000
Компактные люминесцентные лампы				
827	КЛТБЦ	65 80 ²	85	2800
Разрядные лампы высокого давления				
MT (MC)	ДРИ	66–99 ²	65	4700–6500
ST	ДНАТ	85 120 ²	25	2100
QE	ДРЛ (10–15) ³	50 54 ²	40	3800
Лампы накаливания				
IA, IB	Общего назначения	15,3	100	2800
HS (HD)	Галогенные	22	100	2800

¹ Значения приведены для мощности 40 Вт.

² Диапазон значений приведен в зависимости от мощности и цветности.

³ Среднее отношение.

Техническим требованиям недопустимо применение разрядных ламп, в моечных, душевых и парильных ваннах, для аварийного и эвакуационного освещения в помещениях, освещаемых РЛВД; для местного освещения — при технической невозможности установки ОП ЛЛ в помещениях, где недопустимы радиопомехи; в помещениях, когда по соображениям безопасности допустимо только низкое напряжение (ручные переносные лампы работы в замкнутых металлических объемах, например в котлах) и т.п.

Люминесцентные лампы следует применять в большем числе общественных зданий, в административных зданиях, в лабораторных помещениях, в учебных и лечебных помещениях, в помещениях для занятий подростками и слабовидящих, в промышленности

(в низких производственных помещениях), при работе с цветными объектами, где требуются хорошие цветопередача и цветоразличение (с использованием ЛЛ с улучшенной цветопередачей). При этом необходимо подчеркнуть особую перспективность ЛЛ типа T5 с ЭПРА (см. раздел 3).

Поскольку НЛВД имеют значительную пульсацию светового потока, ОУ с ними могут удовлетворять нормативным требованиям по ограничению пульсации при равномерной расфазировке ОП на три фазы питающего напряжения лишь при определенной высоте помещений. Нормируемые значения Кп при использовании ламп мощностью 250–400 Вт могут быть выполнены в помещениях не ниже 7,5 м, а при использовании маломощных ламп 70–150 Вт — 5,5 м. Таким обра-

зом, НЛВД можно применять при отсутствии требований к цветоразличению и цветопередаче — для освещения производственных помещений со зрительными работами разрядов IVб, IVв, IVг, V и ниже (например, шихтовых дворов, смесительных, заготовительных, литейных, штамповочных и тому подобных цехов, складов, компрессорных, технологических галерей и т.д.).

Лампы МГЛ имеют наилучшую цветопередачу и наименьшую пульсацию среди РЛВД, но обладают наибольшей яркостью.

Мощные МГЛ (250 Вт и выше) можно применять в основном для общего освещения высоких и средних производственных помещений, где выполняются точные зрительные работы.

Следует отметить, что лампы ДРЛ (ввиду наименьшей световой отдачей среди РЛВД) в настоящее время уступили свои позиции лампам МГЛ и НЛВД, и масштаб их применения сокращается.

Наружное освещение. В установках НО ЛН используются для охранного освещения, когда оно нормально не горит и включается автоматически от действия охранной сигнализации или других технических средств: у входов в здания, для архитектурно-декоративного освещения, в иллюминационных и рекламных установках. Для освещения улиц и дорог с транспортным движением следует использовать НЛВД. В прожекторных установках различного назначения используются МГЛ, а лампы ДКС нецелесообразно применять даже для освещения больших открытых пространств из-за низкой эффективности этих ИС (малые световая отдача — 22–25 лм/Вт и срок службы — см. раздел 3).

Научные разработки в области принципиально новых источников света, а также повышение качественных и экономических характеристик широко используемых стандартных источников света осуществляются весьма высокими темпами. Прежде всего необходимо отметить:

- эффективные и экономичные ЛЛ типа Т5 с колбой диаметром 16 мм и диапазоном мощностей 14...54 Вт, работающие с ЭПРА. Эти лампы имеют световую отдачу порядка 105 лм/Вт и срок службы до 16–20 тыс часов. Они характеризуются минимальным спадом потока (не более 5%) к концу срока службы; для этих ламп различными фирмами выпускается значительная номенклатура световых приборов;

- серию «холодных» ЛЛ 18...58 Вт в колбах диаметром 26 мм. Они разработаны специально для применения при пониженных температурах. При достаточно низких температурах (-20°) поток этих ламп хотя и уменьшается на 20–40% (в зависимости от мощности), но все же остается в 2,5–3 раза больше, чем поток стандартных ЛЛ той же мощности при тех же температурах. Срок их службы составляет 25–36 тыс. часов;

- мощные КЛЛ — 80, 120 Вт и более; можно прогнозировать во многих случаях их применение взамен ЛН: особо привлекательна перспектива их использования для аварийного освещения в установках с РЛВД;

- безэлектродные высокочастотные и сверхвысокочастотные лампы. Эти лампы отличаются высокой световой отдачей и высоким сроком службы — несколько де-

сятков тысяч часов, малогабаритность и равномерность светящего тела, экологическая чистота, возможность регулирования яркости.

Подробная информация об этих лампах приведена в разделе 3.

Выбор ОП и их размещение. Выбор ОП производится исходя из их назначения, светотехнических параметров, конструктивного исполнения и экономической эффективности. Общие сведения об ОП, указания по светотехническому выбору и размещению ОП в производственных помещениях содержатся в разделе 12, для архитектурного освещения — в разделе 13, в общественных зданиях — в разделе 14, в наружных ОУ — в разделе 15.

Во взрыво- и пожароопасных зонах следует применять светильники, удовлетворяющие требованиям глав 7.3 и 7.4 ПУЭ [45].

Минимально допустимую степень защиты светильников по ГОСТ 17677 и ГОСТ 14254 (см. раздел 6) для освещения непожаро- и невзрывоопасных помещений с разными условиями среды следует принимать по табл. 10.2.

При выборе размещения и высоты установки ОП для всех ОУ необходимо обеспечить удобный и безопасный доступ к ним для обслуживания.

Как известно, для разрядных ламп используются электромагнитные и электронные ПРА (см. раздел 4). Последние обладают рядом преимуществ перед электромагнитными, а именно: исключение пульсации светового потока и, вследствие этого, отсутствие стробоскопического эффекта; обеспечение благоприятного режима зажигания ламп; повышение светового потока ламп на 10–12%; повышение срока службы на 15–20%; уменьшение потерь в ПРА и, как следствие, уменьшение расхода ЭЭ на 15–20%.

Учитывая вышеизложенное, необходимо при проектировании ОУ и выборе ОП ориентироваться на постепенный отказ от применения электромагнитных ПРА в пользу электронных (при этом если использовать в этот переходный период ЭМПРА, то только с пониженными потерями (см. раздел 4).

Расчет освещения. Светотехнические расчеты, выполняемые при проектировании внутреннего и наружного освещения, являются комплексной задачей, процессе решения которой определяются тип, число, мощность и размещение ОП, необходимых для создания требуемых условий освещения (см. раздел 8). На практике проектирования ОУ наиболее характерно распространено считается такая последовательность решения этой задачи:

- 1) выбираются типы ИС и ОП. Выбор производится с учетом ранее приведенных рекомендаций, исходя из освещенности, характера помещения, высоты установки ОП, его КСС, условий среды в помещениях, коэффициента запаса. Коэффициенты запаса выбираются по таблице 3 в [44];

- 2) определяется число ОП и мощность ламп, необходимых для создания нормируемой освещенности (средней яркости дорожных покрытий), или при зада-

Минимально допустимые степени защиты ОП в непожаро- и невзрывоопасных помещениях с разными условиями среды и в наружных установках

№ в.п.	Минимально допустимая степень защиты светильников	Тип источника света	Условия среды						
			нормальные	влажные	сырые	особо сырые	химически активные	пыльные	жаркие
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	IP20	ЛЛ	+	*	—	—	—	-	+
2	То же	ЛН, РЛВД	+	*	—	—	—	*	+
3	IP23	ЛЛ, ЛН, РЛВД	+	+	*	—	*	—	—
4	2'0	ЛЛ	+	*	(-)	—	—	--	*
5	То же	ЛН, РЛВД	+	+	(-)	—	—	—	—
6	5'0	ЛН, РЛВД	(-)	(-)	—	—	*	+	+
7	5'3	ЛН, РЛВД	(-)	(-)	*	*	*	+	*
8	IP51	ЛН	()	(-)	+	+	*	+	*
9	5'4	ЛЛ	(-)	()	+	+	+	+	+
10	IP53	ЛН, РЛВД	(-)	(-)	+	+	+	+	+
11	IP54	ЛЛ	(-)	(-)	+	+	+	+	*
12	IP54	ЛН	(-)	()	+	+	+	+	*
13	То же	РЛВД	()	(-)	+	+	+	+	*

Примечания. 1. В таблице использованы следующие условные обозначения:

- - светильники рекомендуются;
- * - светильники допускаются;
- - светильники запрещаются;
- (-) - применение светильников возможно, но нецелесообразно.

Гр. 8 — предпочтительны светильники с корпусами и отражателями из влагостойкой пластмассы, фарфора, покрытые силиконовой эмалью; рекомендуются светильники, специально предназначенные для химически активной среды.

Поз. 2, 6 гр. 6 — допускаются при отсутствии капель воды, падающих на светильник, и при наличии фарфорового патрона.

Поз. 3, 7, 10 гр. 6—8 — при наличии брызг воды (растворов), падающих на светильник под углом более 60° к вертикали, установка светильников со степенями защиты IP23 и 5'3 с ЛН и РЛВД запрещается.

Поз. 12 гр. 8 - светильники, которые могут сверху заливаться водой или раствором, должны иметь боковой ввод проводов.

Поз. 8 гр. 6 - 8 — при наличии брызг воды (растворов), падающих на светильник под углом более 15° к вертикали, светильники с термостойким стеклом допускаются при условии установки в них ламп меньшей мощности, чем номинальная для данного светильника.

Гр. 9 — в пыльных помещениях рекомендуется применение в светильниках ламп с внутренним отражающим слоем и не рекомендуется применение светильников с экранирующими решетками, защитными сетками и подобными элементами, способствующими запылению.

Поз. 1, 3 гр. 9 — светильники допускаются при ограниченном количестве пыли в зоне их установки.

Поз. 6, 7 гр. 7 — светильники со степенью защиты 5'X (например 5'3) предпочтительнее светильников со степенью защиты 5X (например, IP53), в частности, в следующих случаях: количество пыли мало, пыль светлая, светильники располагаются в местах, неудобных для обслуживания, помещение жаркое; преимущественно с лампами-светильниками или рефлекторными ЛЛ.

Поз. 1, 4, 9, 11 гр. 10 — в светильниках рекомендуется устанавливать амальгамные ЛЛ.

Поз. 5, 8, 10, 12 гр. 10 — рекомендуется установка в светильниках указанных степеней защиты ламп накачивания меньшей мощности, чем номинальная для данного светильника.

Поз. 3 гр. 8 - допускаются при условии выполнения деталей светильников, контактов патронов и цоколей ламп из материала, не подверженного воздействию данной химически активной среды.

ных типе, мощности и числе ОП определяется значение освещенности;

3) производится проверка намеченного варианта на соответствие его нормативным требованиям к качеству освещения.

В области светотехнических расчетов в настоящее время преобладают методы расчета освещенности на ПК (см. раздел 8).

Компенсация УФ-недостаточности. Устройством установок для искусственного УФ (эритемного) облучения регламентируется «Санитарными нормами ультрафиолетового излучения в производственных помещениях» [81]. Эритемные ОСУ должны предусматриваться на промышленных предприятиях, расположенных в географических районах между 45° северной широты и Северным полярным кругом, в помещениях без естественного света или с недостаточным естественным освещением, в которых КФО менее 0,1%. Для объектов, расположенных севернее Северного полярного круга, эритемные ОСУ требуются на всех предприятиях, включая те помещения, в которых значение КФО равно или превышает 0,1%.

Эритемные ОСУ (см. раздел 16) бывают двух видов — длительного и кратковременного действия. Первые рекомендуются в производственных помещениях, где постоянно работают не менее 10 человек, при этом на каждого приходится не более 6 м² площади помещения. При меньшем количестве работающих и (или) при большей площади на одного человека экологически более целесообразны ОСУ кратковременного действия, называемые фотариями, в которых люди облучаются кратковременно.

Эритемные ОСУ длительного действия проектируются в составе проекта ОУ. Используются 2 вида таких установок: прямого и отраженного облучения. В обоих случаях облучатели с эритемными лампами размещаются равномерно в верхней зоне помещения, там же, где установлены ОП общего освещения, и находящиеся в помещении люди облучаются в течение всего времени работы.

Расчет эритемных ОСУ длительного действия сводится к определению мощности, числа и размещению эритемных облучателей, обеспечивающих необходимую и не превышающую допустимую дозу эритемной облученности (см. раздел 16). Для ОСУ прямого излучения рассчитываются минимальное и максимальное значения облученности. Расчет производится точечным методом.

Эритемные ОСУ кратковременного действия — фотарии — являются специальными технологическими устройствами, и разработка их в проектах освещения не предусматривается.

Подробные данные по облучательным светотехническим установкам приводятся в разделе 16.

Специальные правила должны применяться при проектировании световых ограждений высотных препятствий, т.к. высокие здания и сооружения создают в темное время суток и при плохой видимости опасность для движущихся воздушных судов.

Высотные препятствия подразделяются на аэродромные, расположенные на приаэродромной территории, и линейные, расположенные на местности в пределах воздушных трасс.

Высотой препятствия считается его высота относительно абсолютной отметки участка местности, на которой оно расположено. Если сооружение стоит на отдельной возвышенности, выделяющейся из общего ровного рельефа, высота препятствия считается от подошвы возвышенности.

Световое ограждение осуществляется заградительными огнями, дающими излучение красного цвета с доминирующей длиной волны не менее 610 нм и насыщенностью не менее 95%.

Это излучение может быть постоянным или проблесковым и должно обеспечивать наблюдение огня со всех направлений в пределах от зенита до 5° ниже горизонта с направлением максимальной силы света под углом 7–15° над горизонтом. Сила света огня должна быть для постоянных препятствий (стационарных сооружений) максимальной — не менее 70 кд (красных) и в пределах требуемого угла излучения — не менее 10 кд (красных); для временных препятствий (строительные краны, временные опоры линий электропередач и т.п.) — 10 и 3 кд соответственно.

Наиболее широко применяется заградительный огонь постоянного действия типа ЗОЛ-2М с ЛН тип СГ-5 (130 Вт, 220 В). Он имеет металлический корпус призматический преломлятель и внешнее прозрачное защитное стекло; нормальное рабочее положение — стеклом вверх, корпус навивчивается на вертикально закрепленную стальную трубу диаметром 3/4".

Несомненно, в дальнейшем в качестве сигнальных огня найдут широкое применение светодиодные осветительные приборы, перспективность которых подтверждается рядом их преимуществ по сравнению приборами с ЛН. Прежде всего это продолжительность работы (свыше 50000 часов).

Необходимость устройства светового ограждения для конкретных объектов, а также высота нижнего уровня заградительных огней устанавливаются соответствующими органами на стадии согласования строительства.

Размещение огня светового ограждения производится с учетом следующих требований. Препятствия должны иметь световое ограждение на самой верхней части и ниже через каждые 45 м; расстояния между промежуточными ярусами, как правило, должны быть одинаковыми. В верхних точках препятствий устанавливаются по два огня (основной и резервный), работающих одновременно, или по одному с устройством автоматического включения резервного огня в случае выхода из строя основного. Протяженные препятствия или группа расположенных близко один от другого одиночных препятствий ограждаются в верхних точках с интервалами не более 45 м по общему верхнему контуру, а наиболее высокие из них и угловые точки протяженного препятствия обозначаются двумя огнями.

Высокие здания и сооружения, расположенные внутри застроенных районов, ограждаются сверху ва

ю высоты 45 м над средним уровнем высоты застройки. В отдельных случаях, когда расположение ярусов аварийных огней нарушает архитектурное оформление общественных зданий, расположение огней по фасаду может быть изменено по согласованию с соответствующими органами. На дымовых трубах верхние ярусы размещаются на 1,5–3 м ниже трубы, а в нижнем ярусе должно быть расположено три или четыре огня, смещенных один относительно другого на 120 или 90° соответственно. Пример размещения огней на дымовой трубе приведен на рис. 10.1.

В строительной части проектов высотных зданий и сооружений должен предусматриваться доступ к огням

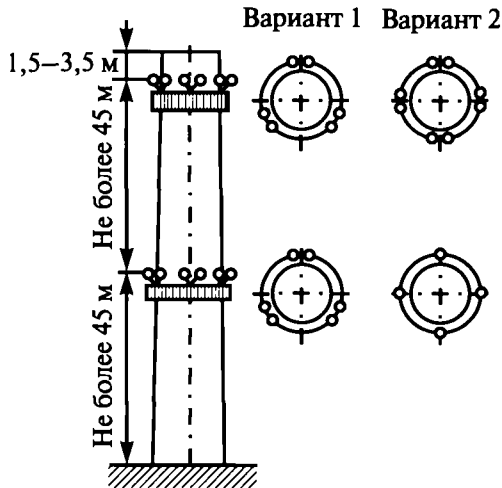


рис. 10.1. Варианты размещения огней светового ограждения на дымовой трубе

светового ограждения для обслуживания. Включение и выключение светового ограждения препятствий, расположенных в районе аэродрома, выполняется персоналом объектов и командно-диспетчерским пунктом аэродрома по заданному режиму работы. Допускается изменение надежных автоматических устройств с возможностью перехода на ручное управление.

Огни светового ограждения аэродромных препятствий относятся по надежности электроснабжения к потребителям первой категории по ПУЭ и должны иметь резервирование питания от независимого источника. Для огней светового ограждения аэродромных и линейных препятствий необходимо прокладывать самостоятельные линии от источников питания, не связанные с линиями потребителями. Для повышения надежности работы огней рекомендуется питать их двумя самостоятельными линиями с равномерным присоединением к каждой из них.

Пример схемы питания огней на дымовой трубе дан на рис. 10.2.

Питание огней светового ограждения, устанавливаемых на высоких опорах линий электропередачи, мо-

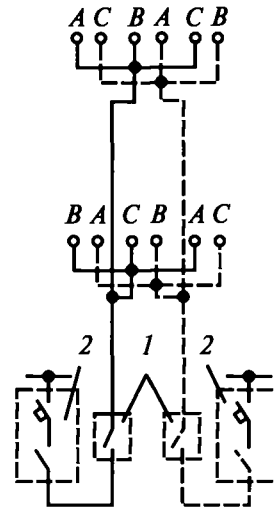


рис. 10.2. Пример схемы питания огней светового ограждения на дымовой трубе: 1 — запираемый ящик с аппаратом управления, устанавливаемый у основания дымовой трубы; 2 — шкаф питания с аппаратом защиты и дистанционного управления; A, B, C — фазы сети

жет осуществляться путем емкостного отбора мощности.

10.3. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ПРОЕКТОВ

Как указано в п. 10.1, для разных стадий проектирования в электротехнической части проектов ОУ решаются и отражаются вопросы питания освещения, компенсации реактивной мощности, управления освещением, выбора электрооборудования, мероприятий по электробезопасности, расчета и выполнения осветительных сетей, способы доступа к ОП для их обслуживания и др.

При двухстадийном проектировании, когда в первой стадии выполняется проект, решающий только основные принципиальные вопросы, по электротехнической части ОУ, как правило, составляется краткая текстовая часть общей пояснительной записки, в которой излагаются принимаемые технические решения. Для крупных объектов выполняется принципиальная схема питания освещения, обычно совмещаемая со схемой питания силового электрооборудования. В любом случае выявляются установленная и расчетная мощность ОУ.

Для второй стадии двухстадийного проектирования — рабочей документации (РД), а также при одностадийном проектировании, когда выполняется рабочий проект (РП), по электрической части ОУ выполняются рабочие чертежи в полном объеме в соответствии со стандартами СПДС.

В данное время в нормативных документах большое внимание уделяется электробезопасности электроустановок. Для защиты от поражения электрическим током предусматривается защитное заземление; устанавливаются в определенных ПУЭ случаях устройства защитного отключения (УЗО); устраивается самостоятельное технологическое заземление персональных компьютеров, систем связи и т.п. (по специальным заданиям); устраивается система уравнивания потенциалов на вводе инженерных коммуникаций с использованием главной заземляющей шины (ГЗШ).

Технические решения, принимаемые при разработке проектов электрической части ОУ, подробно излагаются в разделе 9.

10.4. УЧЕТ ТРЕБОВАНИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ В ПРОЕКТАХ

При разработке проектов ОУ предусматриваются меры, направленные на облегчение эксплуатации искусственного освещения и тем самым способствующие повышению его эффективности.

При проектировании ОУ необходимо продумывать способы обслуживания ОП. Для ОП, доступ к которым с обычных стремянок невозможен, следует предусматривать в проекте приобретение или индивидуальное изготовление устройств для доступа к ОП (telesкопические вышки, разборные лестницы и т.п.). При необходимости индивидуального изготовления устройств задание на их разработку светотехники должно передавать генеральной проектной организации.

В высоких цехах с фермами широко распространена практика устройства для персонала специальных проходных светотехнических мостиков, на которых размещаются ОП и электропроводка. В крупных помещениях ОЗ (зрительные залы и т.п.) желательно предусматривать возможность обслуживания ОП с верхнего технического помещения.

Светотехнические мастерские-лаборатории. На крупных промышленных предприятиях и в общественных зданиях с числом установленных ОП общего освещения свыше 4000, а для крупных общественных зданий — свыше 1000 целесообразно предусматривать светотехнические мастерские. При числе ОП свыше 15000 рекомендуется устройство светотехнической лаборатории. Для таких объектов рекомендуется выдавать организациям — генеральным проектировщикам или заказчикам проектов задания на проектирование мастерских и лабораторий. Разработка технологических проектов мастерских-лабораторий производится институтами-генпроектировщиками или привлеченными специализированными организациями.

Штаты обслуживающего персонала. На стадии разработки П, а для крупных зданий и сооружений разного назначения на стадии РП организации — генеральные проектировщики определяют штаты основного и вспомогательного персонала, необходимого для нормального функционирования объекта. В штаты персонала необходимо включать также инженерно-технических работников и электромонтеров для обслуживания ОУ.

10.5. ЭКОНОМИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ОУ

Бережливое, с наибольшим экономическим эффектом расходование электроэнергии на нужды освещения является важной задачей. Экономия электроэнергии на освещение не должна достигаться за счет снижения норм освещенности, отключения части ОП или отказа от использования искусственного освещения при недостаточном уровне естественного света, поскольку уменьшение освещенности приводит к снижению ЗР, ухудшению психофизиологического состояния людей, повышению травматизма, снижению производительности труда и качества продукции. Потери от ухудшения условий освещения значительно превосходят стоимость сэкономленной электроэнергии.

Ниже приводятся рекомендации по экономному и рациональному использованию электроэнергии в ОУ (подробнее см. раздел 19).

1. Сокращение областей применения ЛН (в соответствии с рекомендациями по выбору ИС) и расширение применения РЛ, преимущественно тех из них, которые обладают наибольшими световой отдачей и сроком службы.

2. В новых и реконструируемых ОУ использовать энергоэкономичные ИС, в первую очередь люминесцентные лампы нового поколения типа Т5.

3. Применение вместо ЛН ламп КЛЛ, имеющих в 8—10 раз больший срок службы и в 5 раз большую световую отдачу.

4. Использование в помещениях с тяжелыми условиями маломощных РЛВД (≤ 250 Вт) взамен ЛН; энергоэкономичных ЛЛ взамен обычных.

5. Применение ламп НЛВД, в соответствии с приведенными выше рекомендациями, которое может обеспечить экономию электроэнергии на 20—45%.

6. Использование РЛВД возможно большей единичной мощности при соблюдении нормативных требований к качеству освещения (ослепленность, прямая и отраженная блескость, пульсация освещенности), что обеспечивает экономию электроэнергии за счет роста световойдачи РЛВД с увеличением их мощности.

7. Применение системы освещения, наиболее рациональной для данных условий работы. В помещениях, где выполняются зрительные работы II—IV разрядов, экономия электроэнергии от 15 до 50% может быть получена за счет использования системы комбинированного освещения взамен общего.

8. Применение локализованного размещения ОП при системе общего освещения в помещениях с несимметричным расположением технологического оборудования и малой плотностью его размещения, что обеспечивает значительную экономию электроэнергии (на 20—60%) в зависимости от соотношения основных вспомогательных площадей и нормируемой для них освещенности.

9. Выбор ОП с наиболее целесообразным светораспределением и размещение ОП наиболее выгодным образом, что позволяет значительно экономить электроэнергию.

10. Применение осветительных устройств со штепсельными световодами для освещения помещений с тяже-

ными условиями среды (взрывоопасных, пыльных и т.п.), относящихся по точности зрительной работы к III–IV разрядам, а также при трудном доступе к ОП. Это может дать экономию электроэнергии 10–15% по сравнению с освещением ОП для тяжелых условий среды с ЛН или лампами типа ДРЛ.

11. Использование системы управления освещением, позволяющей своевременно полностью или частично включать и выключать ОУ. В производственных зданиях с боковым и комбинированным (верхним и боковым) естественным светом и в помещениях общественных зданий должно обеспечиваться раздельное включение рядов ОП, параллельных окнам, что приводит к снижению расхода электроэнергии в среднем на 5–10%.

В помещениях с совмещенным освещением рекомендуется производить включение и выключение отдельных групп ОП в зависимости от уровня освещенности, создаваемого естественным светом в различных зонах помещения. Эта мера дает экономию электроэнергии порядка 10–20%.

В отдельных зонах или помещениях общественных зданий, на лестницах и в холлах жилых домов практикуется использование выключателей с задержкой времени отключения, с датчиками движения, инфракрасными датчиками, реагирующими на появление человека, что автоматизирует включение/отключение освещения и способствует экономии ЭЭ.

Для НО промышленных предприятий, городов и населенных пунктов и для внутреннего освещения отдельных производственных помещений целесообразно устройство централизованного (дистанционного, автоматического или фотоавтоматического) управления, что дает экономию электроэнергии в размере 10–15%.

Более подробно способы и схемы управления освещением рассмотрены в разделах 4 и 9.

12. Питание ОУ большой протяженности напряжением 660/380 В (система с глухим заземлением нейтрально-без промежуточной трансформации), включая специально предназначенные для этого ОП на напряжении 380 В. Оно может обеспечить экономию электроэнергии на 3–6% за счет уменьшения потерь в сети ПРА.

13. Применение ПК при проектировании ОУ на основе светотехнических расчетов, что позволяет найти более экономичные, чем при ручном расчете, варианты решений снижать установленную мощность в ОУ с ЛЛ на 15–25%, в ОУ с РЛВД — на 18%.

14. Применение в ОУ, где мощность РЛВД значительна (сотни и более киловатт), групповых трехфазных конденсаторов, которые снижают потери электроэнергии и сокращают потребность в кабелях, проводах, коммутационных и защитных аппаратах для осветительных сетей.

15. Применение при проектировании освещения и планировании при строительстве объектов устройств и приспособлений для удобного и безопасного доступа к ОП.

16. Чистка остеклений окон и световых фонарей в производственных и общественных зданиях не реже двух раз в год, что позволит сократить время включения искусственного освещения и даст экономию электроэнергии в среднем 10–20%.

17. Повышение коэффициента использования естественного и искусственного освещения, для чего окрашивают помещения производственных и общественных зданий в светлые тона.

18. Реконструкция старых ОУ, не отвечающих современным требованиям.

Более подробное рассмотрение проблемы эффективного использования ЭЭ дано в разделе 19. Нормирование максимально допустимых значений удельных мощностей ОУ общественных зданий для различных освещенностей и показателей помещений приведено в МГСН [58].

10.6. МЕТОДЫ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ОУ

Для выбора оптимального проектного решения, наряду с разносторонней оценкой положительных и отрицательных факторов сравниваемых вариантов, осуществляется их технико-экономическое сопоставление путем выполнения ТЭР [10.5].

Технико-экономическая оценка вариантов ОУ производится по разным критериям экономичности. Ниже приводятся используемые в проектной практике критерии экономической оценки ОУ и сведения о методике выполнения ТЭР.

Экономическая эффективность улучшения осветительных условий в производственных помещениях

Некоторые производственные процессы отличаются большой отзывчивостью к увеличению освещенности и улучшению качества освещения, в результате чего повышаются производительность труда и качество продукции. Однако в проектной практике повышение нормативных требований к освещению применяется крайне редко (и только для внутреннего освещения) ввиду отсутствия достоверных данных о влиянии освещения на экономические показатели каждого конкретного производства. При отсутствии таких данных оценка экономичности вариантов производится методом приведенных затрат. Приведенными затратами для ОУ называется сумма годовых эксплуатационных расходов на содержание ОУ и 15% капитальных затрат на ее монтаж. Указанный процент соответствует коэффициенту эффективности капитальных вложений, равному 0,15.

При сопоставлении вариантов, равноценных по светотехническому эффекту, выполняются два вида расчетов:

— сравниваются различные варианты только ОУ, а остальные составляющие стоимости строительства и эксплуатации здания или сооружения (строительная, технологическая, санитарно-техническая и др.) не рассматриваются. Такие сравнения выполняются для установок как внутреннего, так и наружного освещения;

— проводится комплексное сопоставление различных вариантов здания, при котором учитывается стоимость строительства и эксплуатации всех составляющих частей объекта, в том числе внутреннего освещения.

В первом случае наиболее экономичный вариант выявляется по минимуму приведенных затрат, при определении которых не учитываются расходы на монтаж и эксплуатацию электротехнической части ОУ, поскольку эти расходы для сравниваемых вариантов мало отличаются и составляют небольшую часть общих затрат. Во втором случае отдельно подсчитываются капитальные вложения и годовые эксплуатационные расходы, а при необходимости определяются также приведенные затраты.

Равноценными по светотехническому эффекту считаются такие ОУ, для которых расчетные освещенности (а для НО городов, поселков и сельских населенных пунктов — расчетные средние освещенности или средние яркости дорожных покрытий) различаются не более чем на (+20)—(−10%), параметры качества освещения — показатели ослепленности или дискомфорта и коэффициент пульсации — не превышают требуемых по нормам, а цилиндрическая освещенность (являющаяся также показателем освещения) не ниже нормируемой.

Выполнение ТЭР повышенной точности. Такие расчеты выполняются при необходимости обоснования проектного решения для отдельных элементов ОУ (по светотехнической и электротехнической частям, для строительных элементов, средств доступа к ОП), для которых не могут приниматься усредненные значения амортизационных отчислений, входящих в эксплуатационные расходы, или должны учитываться дополнительные факторы, не отраженные в методике и расчетных формулах для выполнения ТЭР в случаях, указанных выше.

Технико-экономические сопоставления равноценных по светотехническому эффекту установок внутреннего освещения производятся по приведенным ниже соотношениям (10.1)—(10.4), установок НО — по формулам (10.5) и (10.6). При выполнении расчетов по формулам необходимо иметь в виду следующее.

1. Капитальные вложения в ОУ, учитываемые при определении приведенных затрат, складываются из стоимости ОП, их монтажа и стоимости одного комплекта ламп. Электротехническая часть ОУ в капитальные вложения не включается. При выполнении комплексных ТЭР необходимо учитывать составляющие стоимости ОУ и к указанным капитальным вложениям прибавлять стоимость приобретения и монтажа всех элементов электротехнической части.

2. Годовые эксплуатационные расходы, учитываемые при определении приведенных затрат, включают в себя оплату электроэнергии, затрачиваемой на освещение в течение года, стоимость заменяемых за год ламп, расходы на чистку ОП и амортизационные отчисления, принимаемые в размере 10% указанных выше капитальных вложений и 2% капитальных вложений на строительные элементы установок НО (опоры, прожек-

торные мачты и вышки). В полные годовые эксплуатационные расходы, которые бывает необходимо определять при комплексных ТЭР, кроме того, включаются амортизационные отчисления на электротехническую часть, принимаемые в размере 10% капитальных вложений на все элементы электротехнической части ОУ.

3. Для того чтобы определить по каждому сравнимому варианту ОУ приведенные затраты, капитальные вложения, годовые эксплуатационные расходы и полные приведенные затраты, необходимо знать следующие данные для каждого варианта, выявленные в результате светотехнических расчетов: тип ОП, их количество и мощность устанавливаемых в них ИС. Подсчет количества ОП можно вести для всего освещаемого объекта (помещения, установки НО) или для его части (например, одного строительного модуля для внутреннего освещения, 1 км освещаемой дороги для НО).

Основные показатели для установки внутреннего освещения, содержащей N светильников:
 приведенные затраты, руб.,

$$Q = N\{T(A + \alpha)n / \tau + [aPTqn + 150An + 250(B + M) + 1000mB] / 1000\}; \quad (10.1)$$

капитальные вложения, руб.,

$$K = N(An + B + M + 0,001\alpha PCn); \quad (10.2)$$

эксплуатационные расходы, руб.,

$$\mathcal{E} = N\{T(A + \alpha)n / \tau + [aPTqn + 100(B + M) + 0,1\alpha PCn + 1000mB] / 1000\}; \quad (10.3)$$

$$Q_{\text{п}} = 0,15K + \mathcal{E}, \quad (10.4a)$$

или

$$Q_{\text{п}} = N\{T(A + \alpha)n / \tau + [aPTqn + 150An + 250(B + M) + 0,25\alpha PCn + 1000mB] / 1000\}. \quad (10.4b)$$

Приведенные затраты, руб., для установок НО определяются следующим образом:

для N ОП или прожекторов каждого типа и мощности, используемых в ОУ,

$$Q = N\{T(A + \alpha)n / \tau + [aPTqn + 150An + 250B + 170\delta + 1000mB] / 1000\} + \lambda; \quad (10.5)$$

для 1 км освещаемой трассы улицы, дороги, охранной зоны

$$Q = [1000T(A + \alpha)n / \tau + aPTqn + 150An + 250B + 170\delta + 1000mB] / L + \mu. \quad (10.6)$$

В (10.1)—(10.6) приняты следующие обозначения: n — число ламп в одном ОП (прожекторе); P — мощность одной лампы, Вт; τ — номинальный срок службы лампы, ч; T — число часов использования максимума осветительной нагрузки в год; q — тариф на электроэнергию, руб/(кВт·ч); m — число чисток ОП в год; A — цена одной лампы, руб.; B — цена одного ОП, руб.; M — стоимость монтажа, руб. (для внутреннего осве-

Значения коэффициентов a ; δ ; λ ; μ

Вид ОУ	ИС	a	δ	λ	μ
Внутреннее освещение	ЛН	1,03	—	—	—
	ЛЛ	1,23	—	—	—
	РЛВД	1,14	—	—	—
Наружное освещение	ЛН	1,05	M/n_c	0	0
	ЛЛ	1,26	M/n_c	0	0
	РЛВД	1,16	M/n_c	0	0
Наружное освещение прожекторами и ОП с ксеноновыми лампами типа ДКСТ	ЛН	1,03	$M_{пр}$	$0,17(N_{мМм} + N_{вМв})$	—
	Типа ДКСТ	1,03	$M_{пр}$	$0,17(N_{мМм} + N_{вМв})$	—
	РЛВД	1,13	$M_{пр}$	$0,17(N_{мМм} + N_{вМв})$	—
Охранное освещение прожекторами	лп	1,03	$M_{пр}$	—	$0,17 \times M_{п} П$

Обозначения: n_c — число светильников на одной опоре НО; $M_{пр}$ — стоимость монтажа на мачте или вышке одного прожектора или ОП с лампами типа ДКСТ, руб.; N_m, N_v — количество прожекторных мачт, вышек в ОУ; M_m, M_v — стоимость изготовления и установки одной прожекторной мачты, вышки, руб.; $M_{п}$ — стоимость изготовления и установки одной промежуточной опоры без прожекторов, руб.; $П$ — количество промежуточных опор без прожекторов на 1 км охранной зоны.

С — стоимость монтажа электротехнической части ОУ на 1 кВт установленной мощности ламп и потерь в ПРА (для установок с РЛ), руб./кВт; a — стоимость работ по замене одной лампы, руб.; B — стоимость одной чистки одно-

го ОП, руб.; L — расстояние между ОП или прожекторами для освещения улицы, дороги или охранной зоны, м; a, δ, λ, μ — коэффициенты, указанные в табл. 10.3 (коэффициент a учитывает потери энергии в ПРА и в сети).

Таблица 10.4

Годовое число часов использования максимума осветительной нагрузки некоторых видов ОУ

Вид ОУ	Вид освещения	Режим работы	Географическая широта	Значение T , ч	
Внутреннее освещение промышленных предприятий:	Рабочее и аварийное	1 смена	Южнее 50° с.ш.	700	
			От 50 до 60° с.ш.	750	
			Севернее 60° с.ш.	850	
		То же	3 смены, непрерывная работа предприятия	Любая	2250
				Любая	4150
				Любая	4800
Эвакуационное	1, 2 и 3 смены	Любая	4800		
Внутреннее освещение без естественного освещения	Рабочее и аварийное	1 смена	Любая	2150	
			Любая	4300	
			Любая	6500	
		То же	3 смены, непрерывная работа предприятия	Любая	8760
				Любая	8760
				Любая	8760
Эвакуационное	1, 2 и 3 смены	Любая	8760		
Наружное освещение территорий промышленных предприятий:	Рабочее и аварийное	До 24 ч	Любая	2100	
		То же	Любая	2450	
		То же	Любая	3600	
		Охранное	Любая	3500	
	То же	Охранное	До 24 ч	Любая	1750
			То же	Любая	2060
			То же	Любая	3000
			То же	Любая	3500
Наружное освещение городов, поселков	Охранное	До 24 ч	Любая	1950	
		До 1 ч	Любая	2350	
		Всю ночь	Любая	3500	

Ориентировочная стоимость чистки одного ОП B и замены одной лампы c^{**}

Способ доступа к ОП для обслуживания	Стоимость чистки одного ОП B^* , руб., при		
	ЛН	РЛВД	ЛЛ
Лестницы, стремянки	0,4	0,5	0,6
Напольные передвижные подъемные устройства (вышки): несамоходные самоходные	0,5	0,6	0,75
	0,6	0,8	1
Мостовые технологические краны и кран-балки с прицепными мостиками при их технологической нагрузке до:	25%	1	1,25
	40%	0,9	1,5
	60%	1,2	2
Ремонтные мостовые краны и кран-балки с прицепными мостиками	0,7	0,9	1,1
Стационарные мосты, галереи, площадки	0,3	0,4	0,5

* Стоимость чистки одного ОП B приведена в ценах 1984 г. При расчетах ее следует переводить в текущие цены по действующим коэффициентам пересчета расчетного региона по регулярно выпускаемому Сборнику изменения сметной стоимости.

c^{**} — стоимость замены одной лампы: $c = 0,7B$.

Если в ОУ применяются ОП разных типов или с лампами разной мощности, подсчет производится раздельно для каждого случая и полученные результаты суммируются.

Для подсчета показателей Q , кроме типа, мощности и количества ОП, выявленных светотехническими расчетами, необходимо знать значения ряда других величин, влияющих на показатели стоимости. Срок службы ИС t принимается по данным стандартов, технических условий и каталогов. Срок службы некоторых типов ламп приведен в разделе 3. Годовое число часов использования максимума осветительной нагрузки ОУ T рекомендуется принимать по табл. 10.4, в которой приведены данные для некоторых распространенных ОУ. Тариф на электроэнергию q принимается по расценкам энергоснабжающих организаций. Количество чисток ОП в год m принимается по нормам [44] или по отраслевым нормам искусственного освещения. Цены ламп A и ОП B принимаются по действующим прейскурантам или по данным изготовителей без каких-либо начислений и транспортных расходов. Стоимость монтажа отдельных элементов ОУ, изготовления и установки опор, мачт и вышек для НО принимается по ценникам на электромонтажные и строительные работы. Стоимость монтажа электротехнической части ОУ на 1 кВт установленной мощности C выявляется из ранее разработанных аналогичных РП или РД освещения и составленных к ним смет, при этом из смет исключаются стоимость приобретения и монтажа ОП, стоимость ИС и все начисления и транспортные расходы. Стоимость чистки одного ОП B и замены одной лампы a принимается по данным эксплуатирующих организаций, а при отсутствии сведений — по табл. 10.5.

10.7. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОУ

Значительное сокращение времени, затрачиваемого на проектирование ОУ, и повышение качества принимаемых технических решений достигается при автоматизированном проектировании с использованием ПК. Основными инструментами, заменившими ручной труд проектировщиков, являются программа графического черчения «AUTOCAD», которая практически непрерывно обновляется разработчиками, текстовой и табличный редакторы «MS WORD» и «MS EXEL». Разработаны и эксплуатируются ряд программ, позволяющих получать наиболее целесообразные экономичные светотехнические и электротехнические проектные решения для заданных исходных условий, перечислять которые ввиду динамичного увеличения количества и расширения их возможностей в данном справочнике является нецелесообразным.

Скажем только, что наиболее насущной задачей являются светотехнические расчеты с помощью ПК (подробно в разделе 8).

Одной из наиболее сложных и трудоемких светотехнических задач является расчет прожекторных ОУ, особенно при большом количестве устанавливаемых прожекторов (открытые и закрытые спортивные сооружения, карьеры, морские и речные порты, большие открытые склады и т.п.). Для таких ОУ автоматизированный способ расчета является наиболее эффективным и находит весьма широкое применение в проектной практике.

Заключение. Задачами светотехнического проектирования всегда были и остаются разработка качественных проектов с применением современных достижений мировой науки в области светотехники и электротехни-

ки, а также минимизация капитальных вложений и затрат на монтаж и обслуживание ОУ. Эти две задачи находятся в неизбежном противоречии. Тем важнее находить новые идеи и защищать их перед заказчиками, убеждая последних в преимуществах предлагаемых решений по признакам, которые не обязательно являются наиболее выгодными в плане инвестиционных затрат. Надлежит и далее совершенствовать процесс и инструменты проектирования за счет полного исключения ручного труда как в области светотехнических и электротехнических расчетов, так и в части графических работ.

10.8. АВАРИЙНОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

В последние годы отмечается повышенное внимание к вопросам аварийного освещения. Вызвано это бурным развитием инфраструктуры крупных городов, в первую очередь, расширением сети предприятий торговли, спортивных и концертных сооружений, гостиниц, предприятий шоу-бизнеса и т.п., т.е. всего того, что связано с большим скоплением людей в закрытых пространствах и той опасностью, которая возникает в аварийных ситуациях, вызванных отключением основного освещения.

Важнейшим аспектом аварийного освещения является его нормирование. Исключительно большое значение придается этому вопросу за рубежом. Особенно это стало проявляться в последние годы в связи с интеграцией стран Европы и созданием единого политического, экономического и правового пространства на территории Евросоюза. Европейским комитетом по стандартизации (CEN) уже введен в действие ряд стандартов, касающихся вопросов нормирования искусственного освещения, часть стандартов еще находится на стадии разработки. Одним из первых был выпущен стандарт EN 1838 «Аварийное освещение» [10.6]. Стандарт был разработан техническим комитетом CEN/TC 169 «Light and Lighting» и в марте 1999 г. одобрен CEN для обязательного применения в странах — членах CEN в качестве национальных стандартов.

Учитывая современные тенденции по сближению и унификации требований в области нормирования, включая и аварийное освещение, в данном разделе приведены основные положения стандарта EN 1838 в сопоставлении с требованиями действующих российских стандартов [44] в части аварийного освещения.

Содержательная часть стандарта EN 1838 включает в себя пять основных разделов и три (одно обязательное и два информационных) приложения и занимает семь страниц формата А4. В российских нормах вопросы аварийного освещения выделены в подраздел вместе с охранным и дежурным освещением, где изложены в семи пунктах и занимают одну страницу того формата.

Во Введении приводится классификация видов аварийного освещения (рис. 10.3), имеющая более разветвленную структуру, чем в СНиП. Эвакуационное освещение подразделяется на три подвида. Первый — *освещение путей эвакуации* — отражает, по сути, содержание эвакуационного освещения в СНиП. Подвид *освещение*



Рис. 10.3. Классификация видов аварийного освещения

зон повышенной опасности здесь является частью эвакуационного освещения, а не самостоятельным видом аварийного освещения, как в СНиП. Введен новый подвид — *освещение больших площадей*, или *антипаническое освещение*. Наряду с эвакуационным освещением представлен такой вид как *резервное освещение*, также отсутствующий в СНиП.

В этом же разделе указаны цели, стоящие перед каждым видом и подвидом аварийного освещения. Учитывая важность этого вопроса, а также то, что формулировки целей более полно характеризуют данный вид освещения, чем определения, приведенные ниже в разделе *Терминология*, дадим более подробное изложение этого фрагмента.

Аварийное освещение предусматривается на случай отказа основного освещения и поэтому подключается к источнику питания, независимому от источника, обеспечивающего основное освещение.

Главной целью *эвакуационного освещения* является обеспечение безопасного выхода людей из помещения в случае отказа рабочего освещения.

Целью *освещения путей эвакуации* является обеспечение безопасного выхода из помещения находящихся в нем людей путем создания приемлемых визуальных условий и указания направлений по путям эвакуации в специальных помещениях, а также создание условий для надежного обнаружения оборудования для пожаротушения и средств безопасности.

Целью *освещения больших площадей (антипанического освещения)* является создание приемлемых визуальных условий для предотвращения паники и обеспечение безопасного движения людей в направлении путей эвакуации.

Целью *освещения зон повышенной опасности* является обеспечение безопасности людей, вовлеченных в процесс, связанный с потенциальной угрозой, а также создание условий по надлежащему прекращению работ, обеспечивая при этом безопасность персонала и других находящихся в помещении людей.

Указывается, что требования данного стандарта являются минимальными при проектировании и должны обеспечиваться при полном проектом сроке службы оборудования. Вклад в освещенность отраженного света не учитывается. Световой поток светильников для

путей эвакуации или больших площадей должен быть направлен вниз на рабочую плоскость, но при этом освещение должно обеспечивать видимость любых препятствий до высоты 2 м над этой плоскостью. Отмечается, что в этот стандарт не включены другие аварийные технические средства, применение которых для освещения путей эвакуации в дополнение к современным светильникам аварийного освещения может повысить их эффективность при авариях.

В первом разделе «Область применения» указывается, что стандарт устанавливает светотехнические требования для аварийного освещения в помещениях или местах, где такое освещение требуется. Это, в первую очередь, относится к помещениям, где производится работа и общественные мероприятия.

В разделе «Нормативные ссылки» приведен список из четырех международных нормативных документов [10.7–10.10], на которые имеются ссылки в стандарте.

В разделе «Терминология» представлены термины и определения, используемые в стандарте. Представляется полезным представить их полный перечень, а также дать соответствующие термины СНИП (табл. 10.6).

Основной раздел «Эвакуационное освещение» подразделяется на пять подразделов.

В подразделе «Общие положения» отмечается, что для обеспечения видимости в целях эвакуации требуется освещение всего пространства. Для этого рекомендуется размещать эвакуационные светильники на высоте не ниже 2 м над полом. Все аварийные выходы и пути эвакуации должны быть обеспечены освещенными знаками для указания однозначного пути эвакуации к безопасному месту. Там, где аварийный выход располагается вне направления линии зрения, должен быть предусмотрен освещенный направляющий знак (или группа знаков), чтобы помочь людям продвигаться в направлении аварийного выхода. Светильники аварийного освещения должны отвечать требованиям евростандарта [10.7], с которым гармонизирован российский стандарт [10.11].

Размещение светильников должно обеспечить необходимую освещенность вблизи каждой двери аварийного выхода, а также в местах, где необходимо подчеркнуть потенциальную опасность или где расположено оборудование безопасности. Список мест, где обязательно наличие эвакуационного освещения, приведен в табл. 10.7. Здесь же дано соответствие с аналогичными зонами эвакуационного освещения СНИП.

Сравнительный анализ показывает, что в российских нормах необходимость эвакуационного освещения увязывается либо с минимальной численностью эвакуируемых людей, либо с минимальной этажностью жилого здания. В ряде случаев имеется некоторая расплывчатость формулировки, например: «в местах опасных для прохода людей», а также делается акцент на производственные помещения. В EN 1838 зоны эвакуационного освещения указаны четко, однозначно и независимо от численности эвакуируемых, этажности здания или характера помещений.

В следующих трех подразделах «Освещение путей эвакуации», «Освещение больших площадей» и «Освещение

зон повышенной опасности» приведены нормативные показатели и их значения для соответствующих видов эвакуационного освещения, данные о которых представлены в сводной табл. 10.8 и проиллюстрированы рис. 10.4. Здесь же указаны соответствующие нормативы СНИП. По сравнению с отечественными европейские нормы имеют большую жесткость и дифференцированность по показателям (особенно для зон повышенной опасности), а также включают ряд дополнительных показателей (индекс цветопередачи ИС, время установления освещенности в зависимости от ее уровня, продолжительность работы эвакуационного освещения).

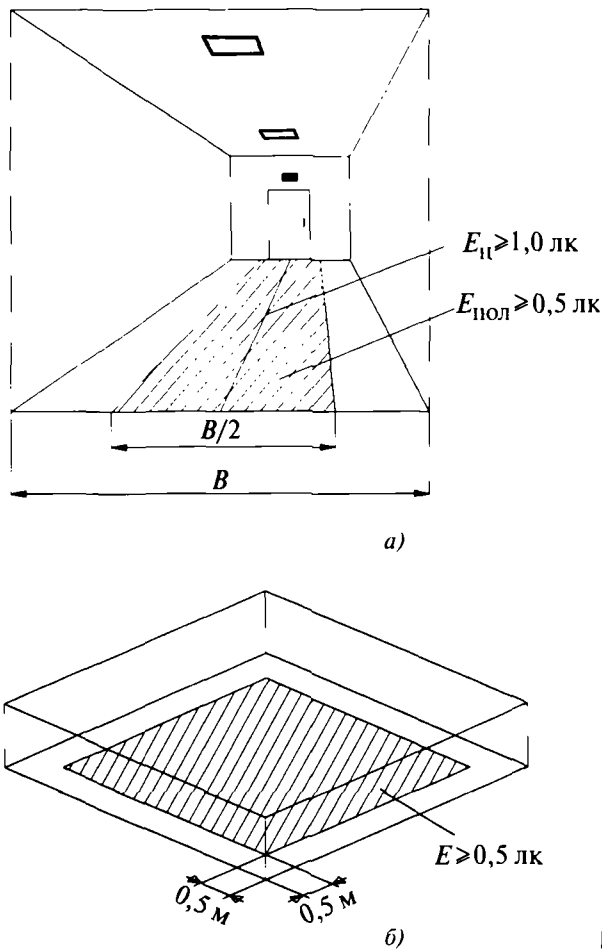


Рис. 10.4. Нормируемые зоны освещения путей эвакуации (а) и больших площадей (б)

Большое внимание в стандарте уделено вопросу регламентации слепящего действия светильников эвакуационного освещения. Отмечается, что высокий контраст между яркой светящей поверхностью светильника и окружающей поверхностью может вызвать слепоту и стать причиной плохого различения присутствующих препятствий и знаков безопасности на путях

Термины и определения аварийного освещения

по EN 1838		по СНиП 23-05-95	
Термин	Определение	Термин	Определение
аварийное освещение emergency lighting ¹	Освещение, предусматриваемое в случае выхода из строя рабочего освещения	Аварийное освещение ²	
эвакуационное освещение emergency escape lighting	Вид аварийного освещения для эвакуации людей или завершения потенциально опасного процесса	Эвакуационное освещение	Освещение для эвакуации людей из помещения при аварийном отключении
освещение путей эвакуации escape route lighting	Вид эвакуационного освещения для надежного определения и безопасного использования путей эвакуации		
освещение зон повышенной опасности high risk task area lighting	Вид эвакуационного освещения для безопасного завершения потенциально опасного процесса	Освещение безопасности ²	Освещение для продолжения работы при аварийном отключении рабочего
освещение больших площадей <i>предупреждающее освещение</i> open area lighting (<i>antipanic lighting</i>)	Вид эвакуационного освещения для предотвращения паники и безопасного подхода к путям эвакуации	—	—
резервное освещение standby lighting ¹	Вид аварийного освещения для продолжения работы как при рабочем освещении		
путь эвакуации escape route	Маршрут для выхода в случае аварии		
аварийный выход emergency exit	Выход, предназначенный для использования в случае аварии		
знак безопасности safety sign ³	Знак, дающий информацию безопасности с помощью комбинации цвета, формы и графических символов или текста	Указатель	
знак безопасности с внешней подсветкой externally illuminated safety sign	Знак, который при необходимости освещается внешним источником	Несветовой указатель	Указатель (без источника света) при освещении светильниками аварийного освещения
знак безопасности с внутренней подсветкой internally illuminated safety sign	Знак, который при необходимости освещается внутренним источником	Световой указатель	Указатель со встроенным в него источником света, присоединенным к сети аварийного освещения

Примечания:

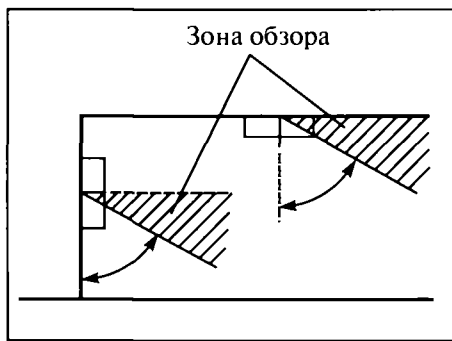
Приведена ссылка на Международный электротехнический словарь [10.10].

Отметим, что в Международном светотехническом словаре русскоязычные термины *освещение безопасности* (50-035) и *аварийное освещение* (50-040) перепутаны местами. Кроме того, по своему определению термин *аварийное освещение* соответствует термину *освещение путей эвакуации* стандарта EN 1838.

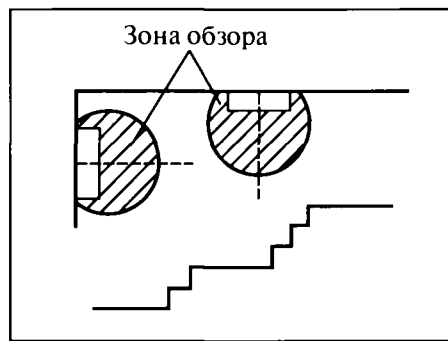
Приведена ссылка на стандарт [10.11].

эвакуации. С целью предотвращения такой ситуации введена регламентация предельно допустимой силы света эвакуационных светильников (табл. 10.9) в характерных зонах обзора. Для горизонтальных маршрутов обзора ограничена углами от 60° до 90° от вертикали по всем азимутальным углам (рис. 10.5, а). Для всех путей эвакуации и открытых пространств ограничение силы света должно соблюдаться по всем возможным направлениям (рис. 10.5, б). В СНиП этот вопрос не затрагивается.

Несмотря на то, что, согласно приведенной выше классификации, *резервное освещение* является самостоятельным видом аварийного освещения, в указанном выше стандарте информация о нем приведена в последнем подразделе раздела «*Эвакуационное освещение*». К сожалению, содержание этого вида освещения раскрыто недостаточно. Отмечается только, что в случае использования резервного освещения для целей эвакуационного освещения, оно должно полностью отвечать необходимым требованиям, предъявляемым этим



а)



б)

Рис. 10.5. Зоны обзора для горизонтальных путей эвакуации (а) и других путей эвакуации и открытых пространств (б)

Таблица 10.7

Зоны эвакуационного освещения

по EN 1838	по СНиП 123-05-95
<ul style="list-style-type: none"> • все выходные двери, используемые при аварии; • вблизи* лестниц, так чтобы каждый пролет был освещен прямым светом; • вблизи* любого изменения уровня пола; • предусмотренные аварийные выходы и знаки безопасности; • при каждом изменении направления движения; • на каждом коридорном перекрестке; • снаружи и вблизи каждого конечного выхода; • вблизи* каждого пункта первой медицинской помощи; • вблизи* каждого места с противопожарным оборудованием и места включения аварийной сигнализации 	<ul style="list-style-type: none"> • в местах, опасных для прохода людей; • в эвакуационных проходах и на лестницах при эвакуации более 50 чел.; • по основным проходам производственных помещений при работе более 50 чел.; • на лестничных клетках жилых зданий высотой не менее 6 этажей; • в производственных помещениях, где выход связан с опасностью травматизма из-за продолжения работы производственного оборудования; • в помещениях общественных и вспомогательных зданий промышленных предприятий при одновременном нахождении в них более 100 чел.; • в производственных помещениях без естественного света

* Под термином «вблизи» понимается расстояние не более двух метров в горизонтальном направлении.

стандартом к эвакуационному освещению. Кроме того, указывается, что, если уровень резервного освещения ниже уровня рабочего освещения, то такое освещение может применяться только для остановки или завершения рабочего процесса.

В заключительном разделе «Знаки безопасности» содержатся требования, предъявляемые к эвакуационным знакам и знакам пунктов первой медицинской помощи. В отличие от рассматриваемого стандарта, в отечественной нормативной литературе (СНиП, ПУЭ) вместо термина *знак безопасности* используется термин *указатель*. Также различны подходы к определению мест установки знаков безопасности (табл. 10.10). Российские нормы связывают необходимость установки знака безопасности либо с минимальной численностью людей, могущих одновременно оказаться в данном помещении, либо с минимальной площадью помещения, причем производственного характера и к тому же без естественного света. Более подробная информация о требованиях по размещению знаков безопасности приведена в [10.12].

В евро стандарте указаны следующие требования к знакам безопасности:

- яркость в любой точке знака должна быть не менее 2 кд/м^2 по всем видимым направлениям;
- время достижения половинной яркости знака должно быть не более 5 сек., а полной — не более 60 сек.;
- цвета знака должны соответствовать требованиям [10.9];
- отношение максимальной и минимальной яркости $L_{\text{max}}/L_{\text{min}}$ для белого цвета или цвета безопасности (зеленого) должно быть не больше 10:1;
- отношение яркости белого цвета к яркости цвета безопасности $L_{\text{white}}/L_{\text{green}}$ должно быть не меньше 5:1 и не больше 15:1.

Расстояние видимости знака безопасности d (м) определяется по формуле:

$$d = s \times p,$$

где p — высота самого знака (м), а s — коэффициент, равный 100 для знаков с внешней подсветкой и 200 для знаков с внутренней подсветкой (рис. 10.6).

Нормативные показатели аварийного освещения

Показатель	Значение	
	по EN 1838	по СНиП 23-05-95
Минимальная освещенность на полу: для путей эвакуации шириной до 2 м ¹ : по оси прохода по проходу для больших площадей для зон повышенной опасности, но не менее вблизи пункта первой помощи, места с противопожарным оборудованием или места включения аварийной сигнализации	1,0 лк 0,5 лк ² 0,5 лк ³ 10% ⁴ 15 лк 5 лк	0,5 лк ⁵ — 5% ⁴ 2 лк —
Максимальная неравномерность освещенности $E_{max} : E_{min}$: для путей эвакуации для больших площадей для зон повышенной опасности	40:1 40:1 10:1	40:1 — —
Минимальный индекс цветопередачи R_a ИС	40	
Минимальная продолжительность освещения: для путей эвакуации и больших площадей для зон повышенной опасности	1 час *6	—
Максимальное время Достижения освещения: для путей эвакуации и больших площадей: для уровня 50% для уровня 100% для зон повышенной опасности	5 сек. 60 сек. *7	— — —

Более широкие проходы можно рассматривать как сумму двухметровых полос или применять для них нормы освещения, как для больших площадей.

На полосе шириной не менее 50% ширины прохода, симметрично расположенной относительно оси прохода (рис. 10.4, а).

На всей свободной площади пола, за исключением полосы шириной 0,5 м по периметру помещения (рис. 10.4, б).

От освещенности рабочего освещения.

По всей ширине прохода.

Определяется временем, при котором существует опасность для людей.

100%-й уровень требуемой освещенности должен быть обеспечен постоянно или может быть прерван не более чем на 0,5 с в зависимости от применения.

Таблица 10.9

Предельные значения силы света светильников для предотвращения недопустимой слепимости

Высота установки светильников над полом h , м	Предельная сила света в зоне обзора, кд	
	для путей эвакуации и больших площадей	для зон повышенной опасности
$h < 2,5$	500	1000
$2,5 \leq h < 3,0$	900	1800
$3,0 < h < 3,5$	1600	3200
$3,5 \leq h < 4,0$	2500	5000
$4,0 \leq h < 4,5$	3500	7000
$h \geq 4,5$	5000	10000

Таблица 10.10

Места установки знаков безопасности

по EN 1838	по СНиП 23-05-95
На всех аварийных выходах и вдоль путей эвакуации	<ul style="list-style-type: none"> • Над выходами из помещений общественных и вспомогательных зданий предприятий, где могут находиться одновременно более 100 чел. • Над выходами из производственных помещений без естественного света, где могут находиться одновременно более 50 чел., или имеющих площадь более 150 м². • В местах поворота коридора. • На пути эвакуации на расстоянии не более 25 м друг от друга. • Над выходами из коридоров и рекреаций, примыкающих к указанным выше помещениям.

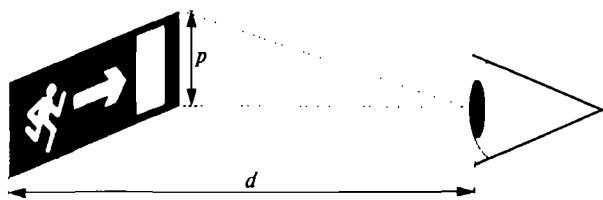


Рис. 10.6. К определению расстояния различения знака безопасности

Что касается СНиП, то здесь дается только ссылка на ГОСТ [10.13], который, необходимо сказать, полностью соответствует (гармонизирован) указанному международному стандарту [10.9].

Приложение А «Измерение яркости и освещенности», которое носит обязательный характер, имеет два раздела. В первом — излагается методика измерения яркости знаков безопасности. Приводится пример выбора точек измерения на знаке (рис. 10.7). Во втором — даются рекомендации по измерению освещенности, создаваемой системой аварийного освещения в ОУ.



Рис. 10.7. Точки измерения яркости знака безопасности (пример)

В Приложении В приводятся сведения об имеющихся отличиях требований национальных норм по аварийному освещению ряда стран — членов CEN/CENELEC от требований стандарта EN 1838.

Приложение С содержит библиографию проектов нормативных документов, подготавливаемых CEN/TC 169 в области освещения, а также ссылку на стандарт ISO по знакам безопасности [10.14].

Рассмотренный стандарт является наиболее полным документом по нормированию аварийного освещения и в настоящее время не только используется в странах — членах CEN, но и принят в качестве основы в большинстве остальных стран Европы. Как показал проведенный анализ, отечественные нормы (СНиП) имеют существенные отличия от указанного стандарта практически по всем вопросам, включая терминологию, структуру видов аварийного освещения, трактовку зон эвакуации и мест расположения знаков безопасности, объем количественных и качественных нормативных показателей и др. Поэтому вызывает сожаление тот факт, что при разработке новой редакции СНиП [44], вышедшей в конце 2003 г., ни одно из положений EN 1838 не нашло в ней какого-либо отражения (добавлена лишь ссылка на ГОСТ [10.13], касающийся знаков безопасности). Очевидно, что в такой редакции этот материал уже не удовлетворяет современным требованиям, предъявляемым и к установкам аварийного освещения и соответствующему светотехническому оборудованию для них. Кроме того, помимо указанных выше имеется немало других российских нормативных документов [10.15–10.19], носящих в основном ведом-

ственный характер, в которых содержатся требования к знакам безопасности. При этом в ряде случаев требования одного документа противоречат требованиям другого. Как следствие, у отечественных производителей продукции для аварийного освещения и проектных организаций возникает необходимость ориентироваться в своей работе не на отечественные нормы, а непосредственно на указанный евростандарт.

Необходимо также отметить, что некоторые важные вопросы остались за рамками рассмотренного стандарта. В частности, аварийное освещение в автотранспортных туннелях, где имеется своя специфика (см. п. 15.5). Так, во многих стандартах ведущих стран по освещению туннелей регламентируемая высота установки светильников эвакуационного освещения составляет 0,5–0,6 м над уровнем эвакуационного тротуара, а расстояние между ними 25–50 м. Очевидно, что при таких параметрах неравномерность распределения освещенности будет существенно выше предписанной данным стандартом. Нужно ли вообще в этом случае эвакуационное освещение или можно ограничиться световыми указателями, так как, учитывая практически прямолинейный характер пути эвакуации, в этом случае мы имеем хорошо ориентируемый знаками безопасности маршрут.

Другим таким вопросом является необходимость управления направлением эвакуации в зависимости от расположения места аварии (например, пожара). Понятно, что в случае расположения очага пожара, например, вблизи эвакуационного выхода или в нем самом, направление эвакуации знаков безопасности, ориентирующих на этот выход, должно быть изменено с тем, чтобы направить эвакуируемых на другие выходы. В существующих статических знаках такое переключение не предусмотрено. Возможный здесь путь — применение двоянных противоположно направленных знаков, позволяющих переключаться на тот или иной в зависимости от ситуации. В последнее время появились динамические системы эвакуационного освещения, знаки безопасности которых представляют собой двунаправленные стрелки (bi-directional arrow), выложенные из светодиоидов. Связанные через центральный контроллер с датчиками задымления, такие знаки автоматически обеспечивают безопасный путь эвакуации. Однако не ясно, как подобные знаки безопасности соотносятся с требованиями по цветности, уровню и распределению яркости и другим показателям, предъявляемыми стандартом [10.9].

Учитывая происходящие в России в настоящее время коренные изменения в области технического регулирования, направленные, в первую очередь, на вопросы безопасности предлагаемых рынком товаров и услуг, возникает необходимость создания отечественного нормативного документа по вопросам аварийного освещения, максимально отвечающего современным международным требованиям. Очевидно, что речь идет о разработке российского стандарта (или норм), гармонизированного с Евростандартом 1838.

10.9. ОСВЕЩЕНИЕ ПОМЕЩЕНИЙ С ВИДЕОТЕРМИНАЛАМИ

Во многих помещениях производственных и общественных зданий имеются рабочие места (РМ), оборудованные видеотерминалами (ВТ) [10.20].

Такие РМ характеризуются наличием нескольких разноудаленных и светотехнически разнородных зон зрительной работы: клавиатура ВТ и рабочая документация (а также элементы управления технологическим процессом в промышленности) на рабочем столе на расстоянии наилучшего зрения (около 350 мм); экран ВТ, обычно удаленный на расстоянии 450–600 мм. В постах управления и центральных операционных залах добавляется еще дальняя зона зрительной работы — технологическое оборудование в помещении либо центральный щит или мнемосхема в зале. Регулярные переводы взгляда ведут к большой нагрузке механизмов аккомодации и конвергенции. Изменение в процессе работы контраста объекта наблюдения с фоном (темные знаки на светлом фоне бумажного носителя либо яркие самосветящиеся знаки на темном экране) и переадаптация с большей яркости па меньшую и обратно также вызывают зрительное утомление рабочего.

При проектировании освещения помещений с ВТ необходимо также учитывать более высокую ослепленность от прямой блескости. Поскольку при считывании с экрана линия зрения пользователя горизонтальна и не направлена под углом вниз, как это имеет место при работе за столом), угол действия различных светящихся источников (ОП, окна и т.п.) уменьшается и соответственно их слепящее действие возрастает.

Поверхности экрана и клавиатуры формируют отраженные блики. Вероятность возникновения отраженных бликов увеличивается за счет наклона экрана назад на 10–20°. Отраженная блескость, помимо слепящего действия от яркого блика, ведет к падению контраста знака с фоном на экране ВТ и, соответственно, к снижению его видимости. Ряд способов, применяемых для снижения яркости бликов (химическое протравливание или механическое матирование экрана, использование противобликовых пленок, поляризационных фильтров и др.), также ведет к снижению контраста знаков с фоном и размыванию их границ.

На РМ с ВТ имеет место неблагоприятное распределение яркости в поле зрения, так как хорошо освещенные поверхности периферии поля зрения (потолок, стены, мебель и т.п.) оказываются более светлыми, чем центр поля зрения.

Успешное решение проблемы освещения РМ с ВТ возможно на ранних стадиях строительного и технологического проектирования.

При выборе помещения для РМ с ВТ необходимо учитывать, что окна могут создавать блики на экране и вызывать ослепленность у сидящих перед ним, особенно летом и в солнечные дни. Для размещения РМ с ВТ наиболее пригодны помещения с односторонним расположением светопроемов, обязательно снабженных защитными устройствами (шторы, жалюзи и т.п.). Площадь остекления не должна быть очень большой,

желательно в пределах 25% площади стены со светопроемами. Для минимизации засветки экранов солнцем окна должны быть ориентированы на север (северо-запад, северо-восток). Большие залы с разнотипными РМ, в том числе снабженными ВТ, нежелательны. Наиболее целесообразны относительно небольшие помещения с группами однотипных РМ. В больших залах рекомендуется [10.21] изолировать группы РМ друг от друга с помощью дополнительных перегородок (рис. 10.8).

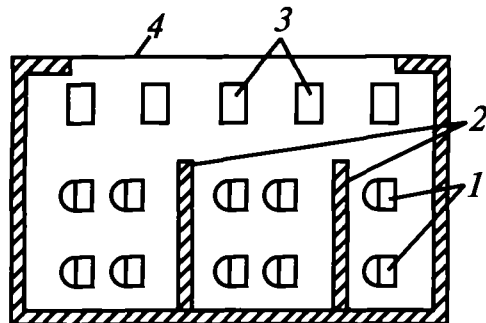


Рис. 10.8. Пример размещения разнотипных рабочих мест и использования перегородок в помещениях большого размера: 1 — рабочие места с дисплеями; 2 — перегородки; 3 — рабочие места без дисплеев; 4 — светопроем

В исключительных случаях при наличии в помещении двустороннего или углового расположения светопроемов РМ с ВТ должны быть изолированы от одного из рядов окон также с помощью дополнительных перегородок (рис. 10.9).

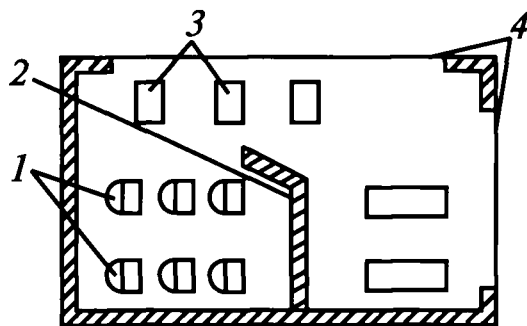


Рис. 10.9. Пример изолирования рабочих мест с дисплеями от световых потоков из светопроемов во второй стене помещения (обозначения см. на рис. 10.8)

Бликовать на экранах ВТ и слепить работающих могут не только окна, но и другие ярко освещенные светлые поверхности, в том числе потолок, стены, поверхности оборудования, столов, шкафов и даже одежда персонала. Поэтому все они должны иметь не слишком высокие коэффициенты отражения. Светлая и особенно блестящая одежда работающих также нежелательна. Рекомендуемые [10.22] коэффициенты отражения различных поверхностей в помещениях с ВТ приведены ниже.

Рабочий стол	0,2–0,5
Корпуса дисплея (Д) и клавиатуры	0,2–0,5
Потолок	0,6–0,7
Стены:	
все, кроме одной	0,3–0,7
находящаяся перед глазами наблюдателя	0,2–0,5
Пол	0,1–0,2
Большие поверхности (шкафы, стеллажи и т.п.)	0,25–0,35

Учитывая повышенную трудность зрительной работы с экраном, несущим знаки, резко контрастирующие с фоном, для отделки интерьеров, где размещаются РМ с ВТ, целесообразно использовать ненасыщенные пастельные тона. Все отделочные материалы (краска, пленка, пластик и т.п.) должны быть матовыми, блестящие элементы недопустимы. Крупный и чрезмерно контрастный рисунок на обоях, пленке, пластике и других применяемых при отделке интерьера материалах нежелателен.

Улучшение качества освещения может быть обеспечено при жесткой регламентации расположения РМ. Размещение в одном помещении разнотипных РМ не рекомендуется. При наличии в помещении РМ с ВТ и РМ без них последние целесообразно разместить вблизи окон, а РМ с ВТ — в глубине помещения (рис. 10.8, 10.9). Рабочие места с ВТ должны быть организованы в ряды, параллельные стене с окнами, а плоскости экранов ориентированы перпендикулярно ей (рис. 10.10). Размещение РМ и ориентация экранов, при которых работающий обращен лицом либо спиной к окнам, недопустимо.

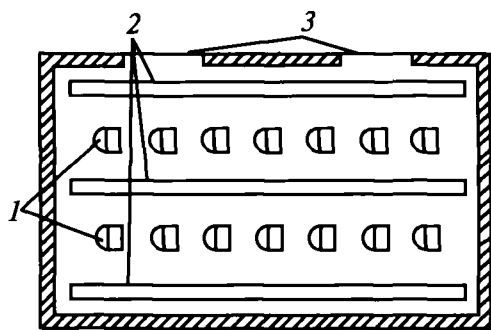


Рис. 10.10. Рекомендуемое размещение ОП с ЛЛ, имеющих полуширокое светораспределение, относительно рабочих мест с дисплеями: 1 — рабочие места с дисплеями; 2 — ОП; 3 — светопроемы

Светотехнические требования к ОУ РМ с ВТ специфичны. Вопросы выбора системы освещения, нормируемых уровней освещенности и требований к качеству освещения могут быть правильно решены только при их взаимосвязанном рассмотрении и учете множества различных, часто противоречивых требований.

Увеличение утомления при росте доли зрительной работы могло бы частично компенсироваться повышением освещенности. Однако отрицательное влияние пульсации с ростом освещенности увеличивается. Поэтому в целях улучшения качества освещения было бы желательно не повышение, а напротив, некоторое ог-

раничение освещенности. Наличие разных типов дисплеев (одноцветные и многоцветные, алфавитно-цифровые и графические) обуславливает возможность изменения как размера различаемых объектов, так и их контраста с фоном. Возникающие при этом вариации трудности зрительной задачи диктуют необходимость дифференциации требований к освещению с учетом особенностей экранов.

При определении уровней освещенности различных зон РМ необходимо также учитывать ряд противоречивых требований, в том числе целесообразность повышения освещенности на столе для улучшения условий зрительной работы с бумажным носителем и несомнимость исключения неблагоприятных перепадов яркости между хорошо освещенной поверхностью стола и сравнительно темным экраном. Увеличение вертикальной освещенности в плоскости экрана, которое может облегчить считывание знаков, стимулируя рост остроты зрения, затрудняет считывание из-за одновременного падения при этом видимого контраста знаков.

Пульсация яркости объекта наблюдения на экране с частотой 50 Гц визуально незаметна, так как она немного выше критической частоты слияния мельканий, но, воздействуя на высшие отделы органа зрения, вызывает утомление работающих [10.20]. Повышение уровня освещенности от искусственного освещения и повышение яркости знаков на экране усиливают влияние пульсации. В СНиП для точных зрительных работ (не осложненных наличием самосветящихся объектов пульсирующей яркости), где имеют место самые высокие уровни освещенности, нормируется коэффициент пульсации освещенности $K_{п} \leq 10\%$. Учитывая наличие на РМ с ВТ дополнительного источника пульсирующей яркости, рекомендуется пульсацию освещенности от источников искусственного света ограничить в этом случае более жестко — до 5%.

Ввиду большой опасности блескости (как прямой, так и отраженной) ужесточаются требования по ее ограничению. Применяемые ОП общего освещения должны иметь повышенный защитный угол (35–40°). Для ограничения ослепленности за счет прямой и отраженной блескости видимая яркость всех светящихся элементов должна быть ограничена, особенно в углах излучения 50–90° [10.21–10.25] (некоторые исследователи полагают необходимым ограничивать яркость лишь в углах 65–90°). По ряду зарубежных исследований средняя яркость в этих углах не должна превышать 200 кд/м², максимальная — 1000 кд/м². Для ограничения и снижения отраженной блескости средняя и максимальная яркости больших освещенных поверхностей (потолок, стены и т.п.) в помещениях также не должны превышать эти значения. То же ограничение относится к яркости солнцезащитных средств на окнах.

Первоначально ОУ помещений с ВТ проектировалось с использованием только системы общего освещения, поскольку применение комбинированного освещения имеет как преимущества, так и недостатки. Наличие ОП местного освещения позволяет обеспечить лучшие условия работы с документацией за счет увеличения горизонтальной освещенности стола. При этом не происходит дополнительной засветки экрана, и ра-

Работаящий получает возможность регулирования в определенных пределах уровня освещенности и направления падения светового потока в соответствии с индивидуальными потребностями. Расход электроэнергии в системе комбинированного освещения уменьшается. Использование местного освещения получило одобрение испытуемых в ряде специально поставленных опытов [10.26]. Однако увеличение перепада яркости в поле зрения, наступающее при комбинированном освещении, может несколько ухудшить комфортность зрительной работы. Ввиду указанной двойственности система комбинированного освещения имеет как противников, так и сторонников, количество которых в последнее время постепенно увеличивается. За рубежом разработан ряд специальных ОП местного освещения для РМ с ВТ.

В помещениях с ВТ освещение всегда должно выполняться как общее локализованное, которое может быть реализовано двумя способами: прямым или отраженным светом. В первом случае необходимо обеспечить падение света на РМ сбоку. Для этого могут быть использованы ОП, имеющие максимум силы света под углами 25–35° к вертикали. В этом случае целесообразно применять ОП с параболическими или параболическо-цилиндрическими отражателями и такими же экранирующими решетками, но имеющими не абсолютно зеркальное, а направленно рассеянное отражение, что обеспечивает уменьшение неравномерности распределения яркости в поле зрения за счет отсутствия резких теней.

Отраженное освещение рекомендуется использовать в основном в помещениях малой площади и небольшой высоты. Его целесообразно выполнять с помощью специальных напольных ОП либо ОП, встроенных в оборудование. Осветительные приборы должны направлять световой поток только в верхнюю полусферу и иметь широкую (Ш) или полуширокую (Ш1) диаграмму. В качестве ИС можно использовать МГЛ небольшой мощности или КЛЛ. При отраженном освещении ОП должны обеспечивать равномерное освещение только со средней яркостью, не превышающей 0,1 клд/м².

Для местного освещения должны использоваться ОП с непрозрачным отражателем и большим защитным углом (не менее 40°).

Для улучшения условий освещения помещений с ВТ большой интерес представляет обеспечение возможности регулирования одного или нескольких ближайших к рабочему месту ОП общего освещения непосредственно самим работающим.

На основании результатов различных исследований, а также изложенных выше соображений и рекомендаций сформулированы [10.27] следующие требования к освещению помещений с ВТ:

- 1) для освещения может применяться как система общего, так и система комбинированного освещения;
- 2) общее освещение и общее в системе комбинированного должны выполняться в виде локализованного (при использовании ОП прямого света) и в виде равномерного (при использовании ОП отраженного света) освещения;
- 3) местное освещение следует использовать исключительно для освещения зоны стола, где производится работа с бумажным носителем информации. Для местного освещения следует применять ОП с непрозрачными отражателями с защитным углом не менее 40°;
- 4) уровни нормируемой освещенности при работе с ВТ с положительным контрастом изображения (светлый знак на темном фоне) приведены в табл. 10.11;
- 5) коэффициент запаса для ОУ общего освещения с РЛ в помещениях с нормальными условиями среды не должен превышать 1,4, в производственных помещениях с тяжелыми условиями среды — 1,5;
- 6) коэффициент пульсации освещенности от общего освещения или общего в системе комбинированного не должен превышать 5%;
- 7) коэффициент пульсации освещенности от местного освещения во всех случаях не должен превышать 5%;
- 8) общее локализованное освещение следует выполнять (рис. 10.8) ОП с полусферическим специальным светораспределением, двухламповыми кососветами с максимумами силы света под углами 25–40°, яркость которых в зоне узлов излучения 50–90° не более 200 клд/м²;

Таблица 10.11

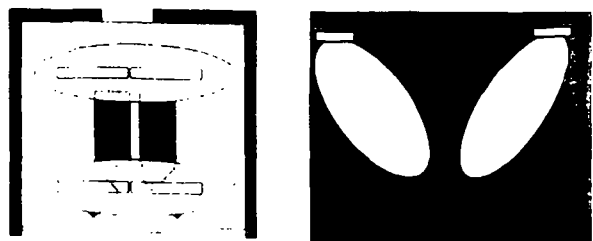
Рекомендуемые уровни освещенности

Характеристика дисплея и зрительной работы		Нормируемая освещенность, лк, в плоскости стола и клавиатуры E_r , а также экрана E_B при системе				
		общего освещения		комбинированного освещения		
Вид дисплея	Время работы на дисплее, % длительности смены	E_r , не менее	E_B	E_r , не менее	в том числе E_r от общего	E_B
		цифровой одноцветный	Более 50	300	100–150	400
цифровой многоцветный	Менее 50	400	150–200	500	400	150–200
аналоговый одноцветный	Более 50	300	75–100	—	—	—
аналоговый многоцветный	Менее 50	—	—	400	200	75–100

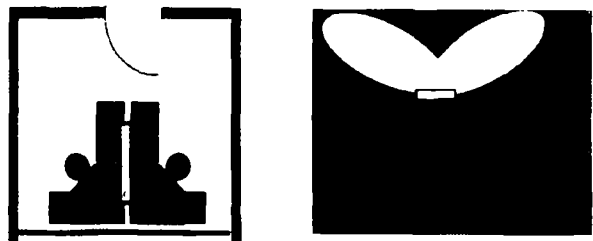
9) равномерное отраженное освещение целесообразно использовать только в достаточно низких помещениях (до 4 м), преимущественно там, где обеспечение требований по специальному расположению РМ и экранов ВТ невозможно;

10) для ограничения отраженной блескости ОП следует располагать сбоку от РМ с ВТ. При этом требуется регулярное размещение РМ с одинаковой ориентацией экранов ВТ, а соответственно и линии зрения работающих (рис. 10.8). Для ограничения прямой и отраженной блескости от светоприемов РМ с ВТ целесообразно располагать в помещениях с односторонним остеклением, имеющим солнцезащитные устройства (шторы, жалюзи и т.п.), и по возможности в максимальном удалении от окон. При этом экраны ВТ должны быть ориентированы перпендикулярно остекленной стене.

На рис. 10.11 даны три примера использования светильников прямого и отраженного света для освещения помещений с дисплеями.



Пример 1



Пример 2



Пример 3

Рис. 10.11. Примеры расположения светильников: 1 — светильник с зеркальной решеткой 1×58 W, прямого света, 4 светильника справа и слева от рабочего места; 2 — светильники отраженного света 2×55 WTC-I, висят непосредственно над рабочим местом; 3 — папильный светильник 4×55 W

Предельно допустимая яркость светильников, которые могут отражаться в экране, регламентируется по табл. 10.12 для дисплеев различных классов. При этом эргономически предпочтительный угол наклона дисплея $\delta = 15^\circ$, а зона ограничения яркости светильников $\gamma_M > 65^\circ$ от вертикали (рис. 10.12).

Таблица 10.12

Предельно допустимые яркости ОП при работе с различными дисплеями

Классы дисплеев по JSO 9241-7	I	II	III
Качество дисплеев	Хорошее	Среднее	Плохое
Предельно допустимая средняя яркость светильников	< 1000 кд/м ²		< 200 кд/м ²

Примечание. При использовании дисплеев с иным углом наклона δ , угол ограничения яркости должен составлять 55° .

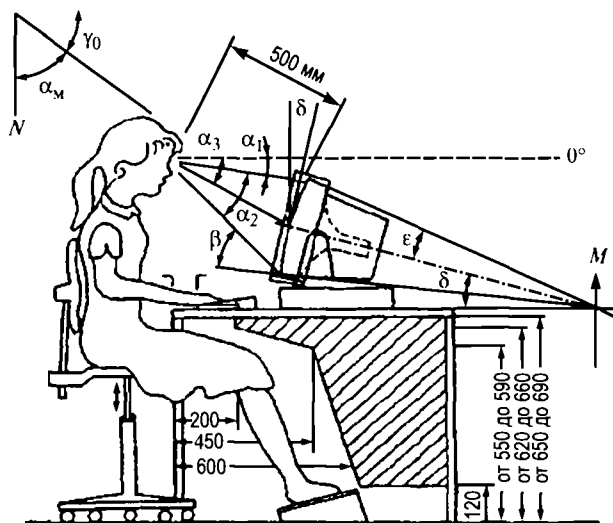


Рис. 10.12. Соотношение между угловыми параметрами зрительно-оптической геометрии рабочего места с дисплеем: α_M — угол, определяющий направление излучения светильников искусственного освещения; γ_0 — запятый угол светильников

Требования к дискомфорту, ограничиваемому величиной $UGR=19$, несколько мягче отечественных, поскольку соответствуют $M=25$ (табл. раздела 7), тогда как в СНиП 23-05-95 в помещениях с видеотерминалами регламентируется $M=15$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

10.1. *СНиП 11-01-95*. Инструкция о порядке разработки, согласования, утверждения и составе проектной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений.

10.2. *ГОСТ 21.608-84*. Внутреннее электрическое освещение. Рабочие чертежи.

10.3. *ГОСТ 21.607-82*. Электрическое освещение территорий промышленных предприятий. Рабочие чертежи.

10.4. *Петров В.И.* Новые европейские нормы освещения. Дом света. Серия Новости светотехники. 1998.

10.5. *Клюев С.А.* Справочная книга по светотехнике. М.: 1995 г., раздел 10.

10.6. *BS EN 1838:1999* (BS 5266-7:1999). British Standard. Lighting applications — Emergency lighting.

10.7. *EN 60598-2-22*, Luminaires — Part 2-22: Particular requirements — Luminaires for emergency lighting (IEC 60598-2-22: 1997, modified).

10.8. *EN 50172*. Emergency escape lighting systems.

10.9. *ISO 3864:1984*. Safety colours and safety signs.

10.10. *IEC 50* Chapter 845, International Electrotechnical Vocabulary — Chapter 845: Lighting.

10.11. *ГОСТ Р МЭК 60598-2-22-99*. Светильники. Часть 2-22. Частные требования. Светильники для аварийного освещения. Госстандарт России. М.: ИПК Издательство стандартов. 2000.

10.12. *Пашковский Р.И.* О световых указателях «Выход». Светотехника. 2002. № 6.

10.13. *ГОСТ Р 12.4.026-2001* Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная. Госстандарт России. М.: ИПК Издательство стандартов. 2001.

10.14. *ISO 6309*, Fire protection — Safety signs.

10.15. *ВСН 59-88*. Электрооборудование жилых и общественных зданий. Нормы проектирования. М., Стройиздат. 1990.

10.16. *ПУЭ*, изд. 7-е. Раздел 6, главы 7.1 и 7.2. М.: НИ ЭНАС. 1999.

10.17. *НПБ 104-95*. Проектирование систем оповещения людей о пожаре в зданиях и сооружениях. М.: ГУ ГПС МВД РФ. 1996.

10.18. *НПБ 160-97*. Цвета сигнальные, знаки пожарной безопасности. М.: ГУИ ЦПП. 1996.

10.19. *ППБ 01-93*. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации. СПб., ЦОТПБСП. 2000.

10.20. *Мартыросова В.Г., Терешкевич С.Г., Фаермарк М.А.* Специфика зрительных работ с видеотерминалами. Светотехника. 1989. № 5.

10.21. *Roll K.-F., Schüller H.* Arbeitsplatzorientierte Beleuchtung. Industrie-Anzeiger. 1987. Bd 109, № 21.

10.22. *Range H.D.* Die kunstliche Beleuchtung von Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen. Elektrische Bahnen. 1982. № 3.

10.23. *Hentschel H.-J., Roll K.-F.* Beleuchtung von Bildschirm und CAD Arbeitsplätzen. Licht. 1985. Bd 37, № 7.

10.24. *Range X.* Осветление на работах помещения с дисплеи. Энергетика. 1985. № 2.

10.25. *Herbst K.-H.* Akzeptanz yerschiedener Beleuchtungssysteme in Büro mit Bildschirmarbeitsplätzen. Mitt. Textilind. 1984. Bd 91, № 12.

10.26. *Erfahrungen über Beleuchtung am Bildschirmarbeitsplatz.* Hum. Prod. Hum. Arbeitsplätze. 1985. Bd 7, № 5.

10.27. *Терешкевич С.Г., Фаермарк М.А.* Требования к освещению рабочих мест с видеотерминалами. Светотехника. 1990. № 3.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

11.1. ОБЩИЕ ЗАДАЧИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОУ

Основной задачей эксплуатации ОУ является поддержание запроектированных параметров установки на протяжении всего времени ее работы. При искусственном освещении производственных помещений — это обеспечение требуемых уровней производительности труда и качества продукции при минимальном утомлении, для большинства помещений общественных зданий — поддержание уровня видимости или различимости для решения зрительной задачи и сохранения комфорта освещения, для установок НО городов — обеспечение высокой скорости и безопасности движения транспорта и пешеходов. В установках естественного и совмещенного освещения дополнительно выдвигается требование увеличения годового числа часов использования естественного света с целью уменьшения расхода электроэнергии на искусственное освещение.

Осветительная установка является сложной системой, которой свойственны частичные или полные невосстанавливаемые отказы. Надежность работы ОУ обеспечивается путем регулярного ее восстановления — чистки загрязненных и замены вышедших из строя элементов (ОП, ИС, ПРА, ЭУ). Если этот процесс не осуществляется, то ОУ становится неэффективной. Качественная картина спада светового потока в обслуживаемой и не обслуживаемой ОУ показана на рис. 11.1. Важно подчеркнуть, что не обслуживаемая ОУ перестает выполнять свои функции создания заданных условий освещения при потреблении практически той же электроэнергии, что и в начале функционирования.

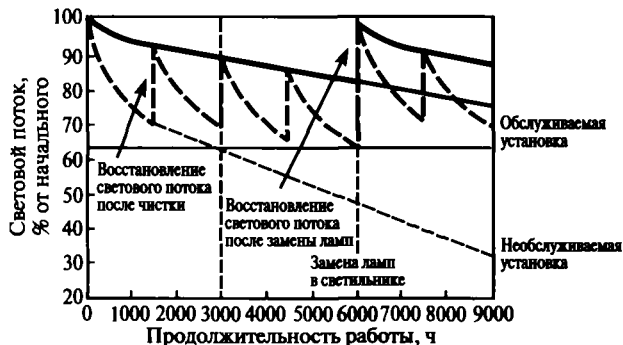


Рис. 11.1. Состояние ОУ в процессе работы

Уменьшение освещенности до 50% нормированного значения на ряде предприятий приводит к снижению производительности труда на 3–10% по сравнению с уровнем, достигнутым при новой ОУ. Одновременно может возрасти зрительное утомление и снизиться качество продукции, повыситься травматизм.

Состав работ по обслуживанию ОУ. Работы по обслуживанию ОУ включают следующее:

- обеспечение регламентированного режима работы установок путем своевременного включения, частичного или полного отключения, оперативного контроля исправности и соответствия состояния установок заданному режиму работы;
- поддержание светотехнических параметров установок путем замены вышедших из строя или резко снизивших световой поток ламп, чистки светильников, замены отдельных отражателей, защитных стекол, а также ПРА, ИЗУ и ЭУ, восстановления правильного положения светильников и прожекторов относительно освещаемого объекта;
- проведение планового контроля уровней освещения в установках на соответствие светотехническим нормам;
- проведение периодических и внеочередных осмотров установок с целью своевременного выявления и устранения отказов в их работе;
- измерение уровней напряжения и токов в пунктах питания;
- проведение сплошного входного контроля поступающих ламп, ПРА, ИЗУ на соответствие их стандартизованным техническим параметрам;
- выполнение неотложных работ по ликвидации внезапных отказов в установках, в том числе отказов электрооборудования и устройств управления;
- участие в приемке новых или реконструированных установок и устройств в эксплуатацию;
- обеспечение мер по рациональному использованию и экономии электроэнергии, расходуемой на освещение;
- обеспечение ОУ запасом ОП и комплектующих изделий к ним;
- установление соответствия ОУ требованиям технологии и технической эстетики при реконструкции производственных или других помещений, при изменении назначения участков территорий или класса улиц в установках НО;
- утилизация выходящих из строя ламп, ОП, ПРА и ЭУ;

— оценка эксплуатационных качеств светотехнических изделий в целях внесения предложений изготовителям по усовершенствованию этих изделий.

Ремонт установок. Текущий ремонт включает все работы в период между капитальными ремонтами для сохранения или восстановления нормального внешнего вида и обеспечения безопасности ОУ. Планирование текущего ремонта, как правило, сочетается с планированием технического обслуживания.

Капитальный ремонт проводится в целях восстановления установок до уровня, близкого к первоначальному или для приведения техники-экономического уровня ОУ к новым требованиям. Капитальный ремонт проводится тогда, когда недостаточность текущего ремонта становится очевидной. При капитальном ремонте необходима комплексная проверка оборудования с проведением измерений и испытаний, восстановлением изношенных узлов и деталей, устранением всех выявленных дефектов и т.п. При проведении капитального ремонта должно предусматриваться увеличение длительности безотказной работы оборудования, улучшение его технико-экономических показателей, безопасности и внешнего вида. При этом подлежат замене все лампы и светильники с истекшим сроком службы (неремонтопригодные или резко снизившие свои эксплуатационные параметры).

Устройства централизованного и децентрализованного управления с истекшим сроком службы, резко снизившие свои эксплуатационные качества, также должны быть заменены на новые или прошедшие капитальный восстановительный ремонт.

После проведения текущего и капитального ремонтов светотехнические параметры ОУ должны соответствовать нормируемым.

Реконструкция ОУ проводится по утвержденному рабочему проекту и связана с необходимостью замены физически или морально устаревшего оборудования, включая электрические сети, с целью повышения технико-экономического и качественного уровня установок в соответствии с новыми повышенными требованиями к ОУ. Основаниями для проведения реконструкции являются: превышение срока службы основного оборудования, который предусмотрен нормативно-технической документацией и инструктивными материалами заводов-изготовителей, несоответствие ОУ требованиям технологического процесса или нового назначения ОУ, изменение категории объекта освещения дорожно-транспортной сети, изменение комплексного архитектурного решения объекта, возможность снижения потребления электроэнергии и ежегодных затрат за счет использования новой техники.

Средства доступа к светильникам должны отвечать требованиям техники безопасности. При обслуживании светильников используются как стандартные средства доступа, так и разработанные эксплуатирующим персоналом для решения специальных задач для данной ОУ.

К наиболее часто применяемым средствам доступа при обслуживании установок можно отнести следующие устройства.

Лестницы передвижные и выдвигные, конструкция которых должна обеспечивать удобное и безопасное проведение работ по обслуживанию. Электромонтеры, обслуживающие светильники с лестниц, должны иметь предохранительные пояса, закрепляемые при проведении работ за ближайшую неподвижную строительную конструкцию. При обслуживании с лестниц максимальная высота установки светильников должна быть не более 5,5 м.

Передвижные напольные подъемные устройства, мостовые краны и кран-балки.

Автовышки с гидравлическим или гидромеханическим приводом, имеющие различную грузоподъемность и обеспечивающие как разные высоты, так и скорости подъема и опускания рабочей площадки.

Складные опоры и другие поднимающие и опускающие устройства, используемые для поднятия светильника до рабочего уровня и опускания его до уровня обслуживания.

Вакуумные очистители и воздуходувки, применяемые для удаления пыли с осветительного оборудования в местах с затрудненным доступом к светильникам.

Мероприятия по обеспечению безопасной эксплуатации ОУ должны предусматриваться при разработке проектов освещения.

Наиболее неблагоприятно обстоит дело с производством передвижных подъемных устройств для доступа к высоко установленным ОП и световым проемам. Специально предназначенных для этого стандартных средств не изготавливается, а используются различные устройства для выполнения строительно-монтажных работ, технические характеристики которых не отвечают требованиям обслуживания ОУ. Приятным исключением является налаженный выпуск специальных лифтовых приспособлений для обслуживания светильников на высоте до 25 м (рис. 11.2).



Рис. 11.2. Устройство типа «лифт» для спуска и подъема светильников в помещениях высотой до 25 м

Порядок приемки в эксплуатацию ОУ. Новые и реконструированные установки принимает в эксплуатацию специально создаваемая комиссия. В состав комиссии входят представители заказчика, строительномонтажной организации и организации, принимающей установки на баланс и в эксплуатацию, а также представители подрядчика, которому установки передаются в эксплуатацию.

Осветительные установки принимаются комиссией после завершения всех строительномонтажных и наладочных работ в соответствии с утвержденным рабочим проектом. Работа комиссии оформляется актом сдачи-приемки в эксплуатацию новых или реконструированных установок по утвержденной форме.

11.2. ОРГАНИЗАЦИЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ ОУ ВНУТРЕННЕГО И НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Как было отмечено в п. 11.1, основной задачей служб эксплуатации является поддержание при обслуживании ОУ нормируемых количественных и качественных показателей освещения. Уже на стадии проектирования ОУ предпринимаются важные шаги для компенсации возможного в процессе длительной работы ОУ спада первоначальных характеристик. С этой целью в расчеты освещенности или яркости вводятся коэффициенты запаса K_3 , заведомо завышающие первоначальные характеристики, и, следовательно, установленную мощность ОУ. Значения K_3 варьируются в зависимости от многих факторов: характера окружающей среды, конструктивного исполнения ОП, типа применяемых ламп, сложности доступа к светильникам в процессе эксплуатации, планируемого числа их чисток. Коэффициенты запаса составляют в соответствии с [44] 1,3–2 для ОУ в производственных помещениях, 1,2–1,7 для ОУ общественных зданий, 1,5–1,7 для открытых пространств населенных пунктов (улиц, площадей, дорог, территорий жилых районов), 1,7 для транспортных туннелей.

Нормируемое значение освещенности $E_{н}$ и коэффициент запаса позволяют определить наибольшее значение параметра в новой осветительной установке $E_{НОУ}$

$$E_{НОУ} = E_{н} \cdot K_3. \quad (11.1)$$

При этом предельное нижнее значение этого параметра в длительно работающей ОУ — эксплуатационная освещенность $E_э$ — не должна быть ниже предельного минимального значения $E_{мин}$, при котором наступает отказ ОУ, т.е. такой момент, начиная с которого работа ОУ становится неэффективной. Задачей служб эксплуатации является обеспечение таких условий, при которых $E_{мин} < E_э \leq E_{НОУ}$.

При этом, как было показано в [11.1–11.3], минимальное значение эксплуатационной освещенности для промышленных предприятий не должно снижаться более чем на 25% от нормируемого значения: $E_{мин} \geq 0,75E_{н}$.

С определенной степенью точности это же соотношение должно соблюдаться для большинства других видов ОУ.

Коэффициент запаса можно представить в виде произведения двух составляющих: $K_{3,и}$, связанной с ухудшением технических характеристик изделий (снижением светового потока ИС и выходом из строя ИС, ПРА и ЭУ), и $K_{3,с}$, учитывающей условия среды (снижение освещенности, вызванное невосстанавливаемым после чистки уменьшением КПД ОП за счет ухудшения параметров его оптической системы, снижение светового потока ОП в промежутках между чистками, изменение КСС, загрязнение поверхностей и др.) [11.1].

Значение $K_{3,и}$ может быть найдено как

$$K_{3,и} = K_{3,л} K_{3,п} K_{3,э}, \quad (11.2)$$

где $K_{3,л}$, $K_{3,п}$ и $K_{3,э}$ — составляющие $K_{3,и}$, учитывающие соответственно спад светового потока и выход из строя ламп, ПРА и ЭУ.

Основное влияние на $K_{3,и}$ оказывает $K_{3,л}$. Исследования показали, что выход из строя ПРА и ЭУ за один и тот же период эксплуатации происходит несравненно реже, чем ИС.

Допустимый спад светового потока ИС регламентируется стандартами и, как показывает практика, находится на уровне регламентируемых значений. Исследованиями установлено также, что световой поток РЛ Φ_t изменяется по экспоненциальному закону и может быть определен для любого выбранного момента времени по формуле

$$\Phi_t = \Phi_0 (\gamma_l + \beta_l e^{-t/t_l}), \quad (11.3)$$

где Φ_0 — световой поток в начале эксплуатации, лм; γ_l , β_l и t_l — постоянные коэффициенты для заданного типа ламп, зависящие от их физических свойств и конструкции (табл. 11.1).

Таблица 11.1

Примеры постоянных коэффициентов γ_l , β_l и t_l для различных типов ИС

Тип ИС	Срок службы, тыс. ч	Значения		
		γ_l	β_l	t_l , тыс. ч
ЛЛ	13	0,44	0,56	10,5
	15	0,59	0,41	4,32
ДРЛ	15	0,6	0,4	3,32
	20	0,6	0,4	4,43
ДРИ	10	0,6	0,4	1,96

Значение $K_{3,с}$ выражается как

$$K_{3,с} = K_{3,зап} K_{3,н} K_{3,ос}, \quad (11.4)$$

где $K_{3,зап}$, $K_{3,н}$ и $K_{3,ос}$ — составляющие $K_{3,с}$, учитывающие соответственно спад светового потока за счет заплытия ОП, невосстанавливаемость их КПД после чистки и загрязнение помещения или окружающей среды.

Спад светового потока ОП за счет их запыления зависит от условий среды (концентрации и характера пыли) и конструкции ОП (открытые, с решетками, уплотненные и др.). Установлено, что спад светового потока ОП для любого выбранного момента времени $\Phi_{I\text{зап}}$ может быть выражен следующей эмпирической зависимостью [11.4]:

$$\Phi_{I\text{зап}} = \Phi_0(\gamma_c + \beta_c e^{-t/t_c}), \quad (11.5)$$

где Φ_0 — световой поток ОП в начале эксплуатации, лм; γ_c , β_c и t_c — постоянные параметры для заданного типа ОП.

Степень запыления ОП, как правило, зависит от концентрации пыли и конструктивной схемы ОП. Уплотненные осветительные приборы, выходное отверстие которых защищено от пыли (конструктивно-светотехническая схема класса IV), имеют меньший спад светового потока, чем открытые; ОП с конструктивно-светотехнической схемой класса II (имеются отверстия в отражателе) запыляются меньше, чем ОП со схемой I. Материал отражателя оказывает влияние на степень запыления ОП лишь при сильном запылении (свыше 30 мг/м³), вследствие чего ОП с различными материалами отражателя, работающие в одних и тех же условиях, могут запыляться по-разному (см. кривые 4 и 5 на рис. 11.3 и табл. 11.2).

По типовым кривым может быть определена составляющая $K_{3,\text{зап}}$ для любого типа ОП и условий среды.

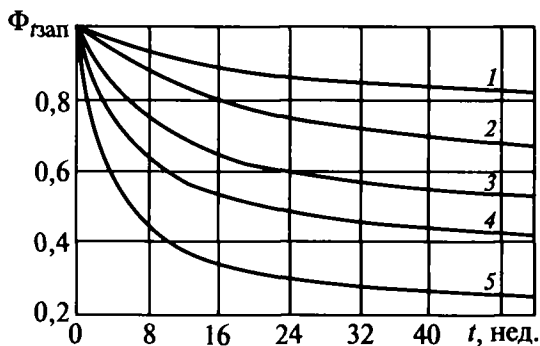


Рис. 11.3. Спад светового потока ОП за счет их загрязнения (см. табл. 11.2)

Необратимое снижение КПД ОП в процессе эксплуатации зависит от материала покрытия отражателя и конструкции ОП, а также от концентрации и характера пыли и условий чистки ОП [11.5]. На рис. 11.4 приведены кривые спада КПД для различных ОП, полученные при числе чисток, соответствующем нормам [44].

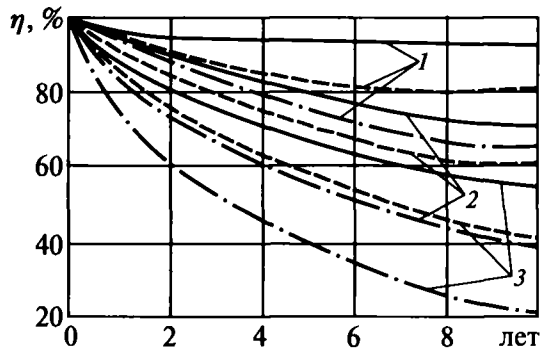


Рис. 11.4. Усредненные кривые снижения КПД ОП с отражателями из различных материалов: 1 — твердое покрытие; 2 — средней твердости; 3 — мягкое; концентрация пыли, мг/м³: — — — — менее 5; - - - - от 5 до 10; — · — · — свыше 10

Значение K_3 равно произведению всех указанных выше составляющих:

$$K_3 = K_{3,\text{л}} K_{3,\text{зап}} K_{3,\text{II}} K_{3,\text{ос}} \quad (11.6)$$

Значения составляющих в свою очередь определяются по минимальным значениям светового потока ОП за рассматриваемый период эксплуатации:

$$K_{3,\text{л}} = 1 / (\Phi_{\text{л}} / \Phi_0); \quad (11.7)$$

$$K_{3,\text{зап}} = 1 / (\Phi_{I\text{зап}} / \Phi_0); \quad (11.8)$$

$$K_{3,\text{н}} = 1 / (\eta_I / \eta_0); \quad (11.9)$$

$$K_{3,\text{ос}} = 1 / (\rho_I / \rho_0), \quad (11.10)$$

где ρ_I и ρ_0 — коэффициенты отражения поверхностей помещения или окружающих ОП поверхностей в УНО (фасадов зданий, деревьев) в любой выбранный момент времени и в начале эксплуатации.

Таблица 11.2

Типовые кривые $\Phi_{I\text{зап}}$

Типовая кривая $\Phi_{I\text{зап}}$ (рис. 11.3)	Концентрация пыли в помещении, мг/м ³	Конструктивно-светотехническая схема (см. разд. 6)	Материал покрытия отражателя (см. разд. 6)	Эксплуатационная группа (см. разд. 6)	Постоянные параметры запыления		
					γ_c	β_c	t_c , недели
1	до 10	I, II	Любой	1-5	0,833	0,167	14,0
1	до 10	IV, V	Любой	7	0,833	0,167	14,0
2	10-20	I, II	Любой	1-5	0,672	0,328	18,5
3	20-30	I, II	Любой	1-5	0,564	0,436	9,7
3	30-50	IV, V	Любой	7	0,564	0,436	9,7
4	30-40	I, II	M	1-3	0,500	0,500	5,8
4	30-50	I, II	T	4-5	0,500	0,500	5,8
5	30-50	I, II	CT	2-4	0,275	0,725	6,6

Составляющие коэффициента запаса зависят от того, в какой момент произведено обслуживание ОУ: $K_{3,л}$ — от времени замены ИС; $K_{3,зап}$ и $K_{3,н}$ — от времени чистки ОП; $K_{3,ос}$ — от времени ремонта помещения или поверхностей. Поэтому нормы [44] регламентируют значения K_3 одновременно со сроками чистки ОП. Вводимое при проектировании ОУ значение K_3 обеспечивает освещенность в процессе эксплуатации не ниже нормируемого уровня лишь в том случае, если соблюдаются требуемые нормами [44] режимы обслуживания ОУ. Вместе с тем в реальных условиях эксплуатации запыление ОП, зависящее не только от концентрации пыли, но и от ее физико-химических свойств, может не соответствовать типовым кривым запыления. Поэтому в отраслевых нормах на основании проведения эксплуатационных исследований могут быть установлены уточненные значения K_3 и сроков чистки ОП.

Способы и режимы обслуживания ОУ. Основными работами при обслуживании ОУ являются замена ИС и чистка ОП.

Применяются два способа замены ИС — индивидуальный и групповой. При индивидуальном способе замена перегоревших ИС новыми осуществляется по мере выхода их из строя. Чаще всего это происходит через определенный промежуток времени Δt , зависящий от срока службы ламп τ и характера выхода их из строя. Вследствие этого значение Δt различно для разных ИС. Индивидуальный способ замены целесообразен в том случае, если выход из строя отдельных ИС приводит к существенному ухудшению количественных и качественных показателей ОУ. Это относится к ОУ с ЛН и РЛВД (особенно при установке одного ОП в точке), а также к ОП местного освещения. Как правило, чем выше единичная мощность ламп, тем чаще осуществляется индивидуальная замена (особенно это относится к РЛВД).

При групповом способе замена всех ИС, как отказавших, так и еще работающих, производится по истечении определенного времени. Интервал между двумя заменами принято называть временем групповой замены $t_{гр}$, его продолжительность определяется стабильностью светового потока ИС и интенсивностью их выхода из строя. Наиболее целесообразно использовать индивидуально-групповой способ замены ИС, при котором в промежутке между двумя групповыми заменами через определенный интервал времени Δt производится замена вышедших из строя за это время ИС. Этот способ позволяет повысить уровень эксплуатационной освещенности и использовать при проектировании ОУ меньшие значения K_3 . Так, при индивидуально-групповом способе замены ЛЛ в помещениях значение K_3 может быть на 10% меньше, чем при групповом способе. Осуществление индивидуально-группового способа замены ИС во всех рядах ОП не одновременно, а через ряд со сдвигом во времени $t_{гр}/2$ дает возможность принимать при проектировании значения K_3 на 20% меньше, чем при групповом способе.

Значение K_3 зависит от режимов обслуживания ОУ: при индивидуальном способе замены — от Δt и количества чисток ОП в год, при индивидуально-группо-

вом — также и от времени $t_{гр}$. Увеличение $t_{гр}/\tau$ при групповом способе или $\Delta t/\tau$ при индивидуальном сопровождается при постоянном числе чисток ростом K_3 или приводит при постоянном K_3 к необходимости увеличивать число чисток ОП.

Выбор способа и режима замены ИС должен быть обусловлен технико-экономическими расчетами. Обычно оценка различных вариантов обслуживания ОУ производится по минимальным приведенным годовым затратам. Так, например, установлено, что ЛЛ экономически целесообразно заменять индивидуально-групповым способом, в то время как РЛВД из-за их сравнительно большой стоимости и большой единичной мощности выгодно заменять индивидуально. Наиболее целесообразным временем групповой замены ЛЛ является $(0,7-0,8)\tau$ с интервалом дополнительной замены перегоревших ламп $0,05\tau$.

Интересны данные фирмы Philips [11.6] по определению оптимальных режимов замены ламп, выпускаемых этой фирмой (табл. 11.3). (Указанный в таблице средний срок службы ламп QL представляется прогнозируемым, объявленный срок службы QL составляет 60 тыс. ч).

Чистку светильников целесообразно совмещать с заменой вышедших из строя ламп. Периодичность чистки ОП определяется в значительной степени конструктивными особенностями ОП (исполнением по степени защиты оптического отсека и отсека с ПРА от вредных воздействий внешней среды) и загрязненностью воздушной среды в зоне обслуживания. При невозможности восстановления характеристик отражателей их рекомендуется заменять. При чистке ОП проверяют также исправность крепежных деталей и контактов. При чистке должны соблюдаться рекомендации заводских инструкций по эксплуатации ОП.

Чистка ОП проводится либо на месте, либо в специальных мастерских, оснащенных соответствующим оборудованием.

Чистка ОП общего освещения должна проводиться в сроки, указанные в [44] или в отраслевых нормах. Чистка ОП местного освещения должна выполняться ежедневно при уборке рабочего места. При этом лица, производящие чистку ОП местного освещения, должны проходить инструктаж по технике электробезопасности. Остальные виды обслуживания этих ОП и ОП общего освещения (замена ИС, ремонт и др.) проводятся электротехническим персоналом.

Для проведения чистки светильников от загрязнений используются следующие методы:

- сухая чистка с использованием ветоши;
- мокрая чистка (мойка) холодным моющим раствором на основе мылов;
- мокрая чистка (мойка) горячим моющим раствором на основе мылов;
- мокрая чистка (мойка) горячим специальным моющим раствором на основе синтетических моющих средств (СМС).

Мокрая чистка сопровождается обязательным ополаскиванием светильников в чистой воде.

Таблица 11.3

Рекомендуемые режимы замены некоторых типов источников света (по данным [11.6])

Источники света	Тип лампы фирмы Philips	Средний срок службы, ч	Области применения	Оптимальный режим замены ламп	Ориентировочное оптимальное время групповой замены, ч
ЛЛ	TLD 58w	20000 (ЭПРА)	IB	G	15000
			IB	E+G	16000
КЛЛ	PL-T 32w	11000	AB	E+G	6600
НЛНД	SOX 90w	18000	AB	E+G	11500
НЛВД	SON-T Plus 70w	28000	AB	E+G	17300
	SON-T Plus 100w	32000	AB	E+G	20700
ДРЛ	HPL-N 125w	21000	AB	E+G	9900
	HPL-N 400w	22000	IB	E	
МГЛ с кварцевой горелкой	HPI-Plus 250w	20000	IB	E	
МГЛ с керамической горелкой	CDM-ET 70w	12000	AB	E+G	8100
	CDM-ET 150w	12000	IB	E	
Индукционная лампа	QL	(120000)	IB	E	
			AB	E	

G — групповая замена

E+G — индивидуально-групповая замена

E — индивидуальная замена

IB — внутреннее освещение

AB — наружное освещение

Сухая чистка, проводимая сменяемой ветошью, достаточно эффективна только для закрытых отсеков светильников, эксплуатируемых в условиях слабого или среднего запыления воздушной среды (менее $0,4 \text{ мг/м}^3$), и при чистке ОП на месте установки.

Мокрая чистка холодным моющим раствором более эффективна, чем сухая, и может быть рекомендована для чистки силикатных и пластмассовых рассеивателей открытых и закрытых светильников. Такой способ чистки не рекомендуется для отражателей, изготовленных методом электрохимической гальванизации.

Наиболее эффективна мокрая чистка алюминиевых отражателей, в том числе изготовленных методом электрохимического полирования, горячим ($60\text{--}80^\circ\text{C}$) моющим раствором на основе синтетических моющих средств (СМС) с низким пенообразованием и не содержащих соду кальцинированную и химические отбеливатели типа пербората и перкарбоната. Эффективность чистки повышается при наличии движения моющей жидкости. Естественно, что процесс чистки таких отражателей требует механизации в условиях мастерских.

Отражающая способность отражателей со следами поверхностной коррозии не может быть восстановлена после проведения мокрой чистки горячим моющим раствором.

Алюминиевые отражатели, изготовленные методом электрохимической гальванизации, со следами или очагами коррозии должны заменяться на новые или восстанавливаться. Восстанавливать их рекомендуется путем проведения повторного полного процесса электрохимического полирования (включая процесс оксидирования) в специализированных условиях.

Отражатели, изготовленные методом алюминирования в вакууме, в которых зеркальный слой осыпается, восстановлению не подлежат и должны заменяться.

Для рассеивателей из поликарбоната, полиметилметакрилата и др., а также из силикатного стекла рекомендуется мокрая чистка с использованием моющих растворов.

Появляющиеся в процессе эксплуатации на прозрачных или опаловых пластмассовых рассеивателях или защитных стеклах пожелтения, коричневые пятна, которые не могут быть устранены чисткой, связаны с изменением самого материала и требуют полной замены изделий.

Восстанавливать лакокрасочные покрытия светильников следует в соответствии с инструкцией по эксплуатации. Цвет внешней окраски корпуса светильника должен соответствовать окраске остальных светильников, используемых в установках.

В отраслевых нормах искусственного освещения рекомендуется указывать наиболее эффективные способы чисток конкретных типов ОП в зависимости от характера и концентрации пыли в зоне установки ОП.

Планирование расхода комплектующих изделий в процессе эксплуатации должно базироваться на реальном сроке службы этих изделий, определенном на основе анализа статистических данных об отказах ламп, ПРА, ИЗУ, ЭУ в процессе длительной работы. При этом должны строго фиксироваться реальные условия работы ОУ, а именно колебания напряжения сети, температуры, вибрации и т.п.

Изменения параметров ламп при колебаниях питающего напряжения показаны в разделе 3.

Приближенная оценка влияния отклонений напряжения питания на среднюю яркость покрытия в УНО с РЛВД приведена в формуле

$$L_{уст} = L_{уст.ном} \left[1 - K_{пр} \left(1 - \frac{U_{изм}}{U_{ном}} \right) \right], \quad (11.11)$$

где $L_{уст.ном}$ — средняя яркость покрытия при номинальном напряжении сети, $U_{ном}$; $L_{уст}$ — средняя яркость покрытия при напряжении $U_{изм}$, отличном от номинального (не более чем $\pm 10\%$); $K_{пр}$ — значение изменения светового потока источника света (в процентах) на 1% изменения напряжения питания. Например, для ламп ДРЛ и ламп ДНаТ $K_{пр} = 2$, для ламп ДРИ $K_{пр} = 3$.

Все приведенные в данном параграфе значения характерны для отечественных светотехнических изделий конца XX и начала XXI веков. За последние годы существенно изменилась номенклатура и параметры применяемых ИС и ОП. В настоящее время наравне с отечественными широко используются изделия различных зарубежных фирм. При этом нормативная документация на отечественные изделия постоянно приводится в соответствие с требованиями МЭК, а в вопросах эксплуатации изделий и ОУ важную роль играют материалы МКО [11.7–11.9]. В связи с этим представляется целесообразным изложить основные положения подхода к эксплуатации ОУ последних рекомендаций МКО.

11.3. МЕЖДУНАРОДНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЭКСПЛУАТАЦИИ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Основные международные требования к эксплуатации ОУ внутреннего и наружного освещения изложены в Публикациях МКО [11.7, 11.9]. Для оценки свойств ОУ к концу наибольшего цикла эксплуатации вводится коэффициент эксплуатации (Maintenance Factor, MF), который связан обратным отношением с коэффициентом запаса по СНиП 23 05 95* (см. табл. 7.3, п. 7.2.1). MF определяется как отношение средней освещенности на рабочей поверхности в течение определенного периода эксплуатации ОУ к начальной средней освещенности, полученной при тех же самых условиях для той же установки, и используется для определения эксплуатационной освещенности (Maintained Illuminance) (рис. 11.5).



Рис. 11.5. Изменение освещенности в процессе эксплуатации ОУ

Значения коэффициента эксплуатации в зарубежных нормах строго не регламентируются, известно только, что расчетное значение MF для установок внутреннего освещения не должно быть менее 0,7 ($K_3 = 1,4$). Однако, поскольку в Европейском стандарте [82] и Стандарте МКО [83] нормируются уровни эксплуатационной освещенности, публикации дают подробные рекомендации по расчету MF с учетом основных четырех влияющих факторов, действующих совместно:

$$MF = LSF \times LLMF \times LMF \times RSMF \quad (11.12)$$

где LSF — коэффициент живучести ламп (часть полного количества ламп, которые продолжают работать в данный момент при определенных условиях); LLMF — коэффициент снижения светового потока лампы; LMF — коэффициент эксплуатации светильника; RSMF* — коэффициент эксплуатации поверхностей помещения.

Как можно видеть, приведенная ф. 11.12 достаточно хорошо коррелирует с отечественной методикой расчета коэффициента запаса (ф. 11.6).

На рис. 11.6 приведен пример влияния всех факторов на снижение освещенности. Он также показывает,

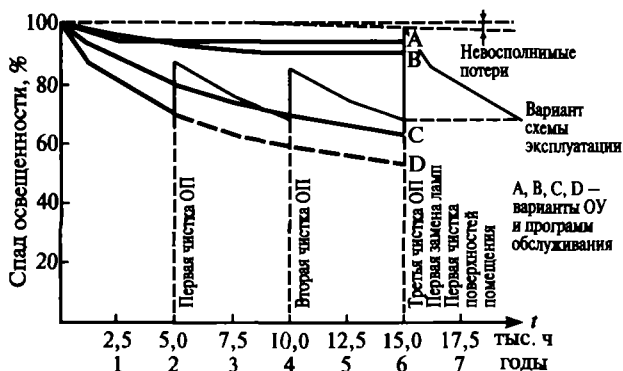


Рис. 11.6. Влияние различных факторов на изменение освещенности

* Для ОУ наружного освещения коэффициент учитывается только при расчете MF в туннелях и обозначается как SMF.

как практически происходит процесс эксплуатации. Рассмотрим методики определения отдельных факторов в ф. 11.12.

Величина коэффициента эксплуатации светильника LMF зависит от конструкции светильника, характеристик среды. Для внутреннего освещения принято четыре класса чистоты помещения, в соответствии с которыми рекомендуются интервалы обслуживания ОУ согласно табл. 11.4.

В зависимости от класса чистоты помещения в установках внутреннего освещения нормированы интервалы чистки светильников разного типа (табл. 11.5). Окончательные значения величины LMF для различных типов светильников при вариации интервалов чистки и классов загрязнения помещений в установках внутреннего освещения даны в табл. 11.6.

В табл. 11.7 приведены значения коэффициента эксплуатации LMF для установок наружного освещения.

Срок службы лампы (lamp life) — суммарное время горения лампы в часах от момента включения до момента прекращения функционирования. Введя показатель живучести LSF и коэффициент эксплуатации лам-

пы LLMF — отношение светового потока лампы в заданный момент времени к начальному световому потоку, — можно судить о том, когда надо делать замену ИС.

На рис. 11.7 показано, как определяется средний срок службы ламп.

Некоторые лампы, особенно КЛЛ, работают со встроенными ПРА, поэтому имеет место одновремен-

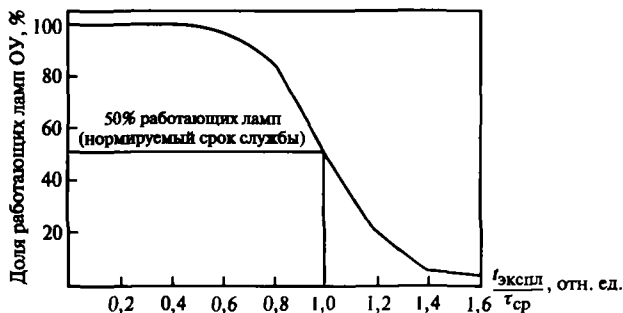


Рис. 11.7. Определение среднего срока службы ламп

Таблица 11.4

Рекомендуемые интервалы обслуживания ОУ внутреннего освещения

Интервалы обслуживания	Класс помещения	Примеры помещения или зрительной задачи
3 года	Очень чистое VC (Very Clean) Чистое C (Clean)	Чистые комнаты, цеха электронной промышленности, больницы, компьютерные помещения Офисы, школы, поликлиники
2 года	Нормальное N (Normal)	Магазины, лаборатории, рестораны, склады
1 год	Загрязненное D (Dirty)	Промышленные предприятия (сталелитейные, химические, сварочные, деревообрабатывающие)

Таблица 11.5

Периодичность чистки светильников для внутреннего освещения

Тип светильника	Интервалы чистки								
	3 года			2 года			1 год		
	Класс помещения								
	VC и C	N	D	VC и C	N	D	VC и C	N	D
A, открытый полностью	X				X				X
B, открытый сверху	X				X				X
C, закрытый сверху	X			C (X)				X	
D, со степенью защиты IP2X	X			C (X)				X	
E, пылевлагозащищенный, IP5X	X	X				X			
F, закрытый отраженного света				X			C (X)	X	
G, совмещенный с системой вентиляции	X	X				X			

Таблица 11.6

Пример значений коэффициента эксплуатации светильников (LMF) для внутреннего освещения

Тип светильника	Интервалы чистки, годы																							
	0,5				1,0				1,5				2,0				2,5				3,0			
	Класс помещения																							
	VC	C	N	D	VC	C	N	D	VC	C	N	D	VC	C	N	D	VC	C	N	D	VC	C	N	D
A	0,98	0,95	0,92	0,88	0,96	0,3	0,89	0,83	0,95	0,91	0,87	0,80	0,94	0,89	0,84	0,78	0,93	0,87	0,82	0,75	0,92	0,85	0,79	0,73
B	0,96	0,95	0,91	0,88	0,95	0,90	0,86	0,83	0,94	0,87	0,83	0,79	0,92	0,84	0,80	0,75	0,91	0,82	0,76	0,71	0,89	0,79	0,74	0,68
C	0,95	0,93	0,89	0,85	0,94	0,89	0,81	0,75	0,93	0,84	0,74	0,66	0,91	0,80	0,69	0,59	0,89	0,77	0,64	0,54	0,87	0,74	0,61	0,52
D	0,94	0,92	0,87	0,83	0,94	0,88	0,82	0,77	0,93	0,85	0,79	0,73	0,91	0,83	0,77	0,71	0,90	0,81	0,75	0,68	0,89	0,79	0,73	0,65
E	0,94	0,96	0,93	0,91	0,96	0,94	0,90	0,86	0,92	0,92	0,88	0,83	0,93	0,91	0,86	0,81	0,92	0,90	0,85	0,80	0,92	0,90	0,84	0,79
F	0,94	0,92	0,89	0,85	0,93	0,86	0,81	0,74	0,91	0,81	0,73	0,65	0,88	0,77	0,66	0,57	0,86	0,73	0,60	0,51	0,85	0,70	0,55	0,45
G	1,00	1,00	0,99	0,98	1,00	0,99	0,96	0,93	0,99	0,97	0,94	0,89	0,99	0,96	0,92	0,87	0,98	0,95	0,91	0,86	0,98	0,95	0,90	0,85

Таблица 11.7

Значения коэффициента эксплуатации светильников (LMF) для наружного освещения

IP оптического отсека	Категория загрязнения	Продолжительность воздействия (годы)				
		1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
IP2X	Высокая	0,53	0,48	0,45	0,43	0,42
	Средняя	0,62	0,58	0,56	0,54	0,53
	Низкая	0,82	0,80	0,79	0,78	0,78
IP5X	Высокая	0,89	0,87	0,84	0,80	0,76
	Средняя	0,90	0,88	0,86	0,84	0,82
	Низкая	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88
IP6X	Высокая	0,91	0,90	0,88	0,85	0,83
	Средняя	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87
	Низкая	0,93	0,92	0,91	0,90	0,90

Примечание. Определение категорий загрязнения:

высокая — вблизи имеются сооружения, создающие большое количество дыма и пыли, которые попадают непосредственно на светильники;

средняя — вблизи имеются сооружения, создающие умеренное количество дыма и пыли, дорожное движение умеренное, плотность частиц в окружающем воздухе не более 600 мкг в м³;

низкая — вблизи нет сооружений, создающих дым и пыль, уровень загрязнения окружающего воздуха низкий, небольшое дорожное движение, количество жилых домов ограничено, загрязнений в окружающем воздухе не более 150 мкг в м³.

ный выход из строя комплекта лампы — ПРА. Но большинство разрядных ламп имеет выносные ПРА — магнитные или ЭПРА, они могут также быть связанными с системами управления и контроля. На рис. 11.8 показано влияние частоты включения на срок службы ЛЛ с электромагнитным ПРА: срок службы (%) уменьшается: при 8 включениях в сутки — в 2,5 раза, при 24 включениях — в 5 раз, при 48 — в 10 раз.

Результаты исследований показали, что правильное управление потоком лампы, работающей с ВЧ ЭПРА, не только не уменьшает, а даже увеличивает срок службы ИС. В табл. 11.8 приведено сравнение сроков службы ЛЛ с ЭмПРА и ЭПРА.

Хотя характеристики ИС зависят от фирмы-изготовителя и должны уточняться при расчете конкретных ОУ, в Публикациях приведены усредненные значения LSF и LLMF для различных ИС (табл. 11.9).

Коэффициенты отражения поверхностей помещения оказывают основное влияние на многократные отражения светового потока. Поэтому величина RSMF зависит от этих параметров. В Публикации [11.7] дан метод расчета RSMF, в основу которого положена формула, позволяющая оценить изменение коэффициента отражения в любой момент времени. Эта формула была получена Уиттингом (Witting) и его коллегами много лет назад.

Таблица 11.8

Влияние частоты включения ЛЛ с разным типом ПРА на срок службы ЛЛ

Циклы включений	Высокочастотный электронный ПРА		Электромагнитный балласт	
	Регулируемый	Не регулируемый	Индуктивный	Емкостно-индуктивный
12 ч	23000 ч	19000 ч	18000 ч	15000 ч
8 ч	22000 ч	17000 ч	16000 ч	14000 ч
3 ч	20000 ч	нет данных	15000 ч	12000 ч
1 ч	16000 ч	нет данных	12000 ч	9000 ч



Рис. 11.8. Влияние числа включений люминесцентных ламп на срок их службы

Таблица 11.9

Значения коэффициентов LLMF и LSF для различных источников света

Тип лампы	LLMF LSF	Различие в лампах	Время работы, тыс. часов											
			0,1	0,5	1	2	4	6	8	10	12	15	20	30
ЛН	LLMF	Среднее	1,00	0,97	0,93									
	LSF	Большое	1,00	0,98	0,50									
ГЛН	LLMF	Большое	1,00	0,99	0,97	0,95								
	LSF	Большое	1,00	1,00	0,78	0,50								
ЛЛ трехкомпонентные	LLMF	Среднее	1,00	0,99	0,98	0,97	0,93	0,92	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	
	LSF	Среднее	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,98	0,97	0,94	0,50	
ЛЛ галофосфатные	LLMF	Среднее	1,00	0,98	0,96	0,95	0,87	0,84	0,81	0,79	0,77	0,75		
	LSF	Среднее	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,98	0,92	0,50		
КЛЛ	LLMF	Большое	1,00	0,98	0,97	0,94	0,91	0,89	0,87	0,85				
	LSF	Большое	1,00	0,99	0,99	0,98	0,97	0,94	0,86	0,50				
ДРЛ	LLMF	Среднее	1,00	0,00	0,97	0,93	0,85	0,82	0,80	0,79	0,78	0,77	0,76	
	LSF	Среднее	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,94	0,90	0,86	0,79	0,69	0,50	
МГЛ (250, 400)	LLMF	Большое	1,00	0,98	0,95	0,90	0,87	0,83	0,79	0,65	0,63	0,58	0,50	
	LSF	Большое	1,00	0,99	0,99	0,98	0,97	0,92	0,86	0,80	0,73	0,66	0,50	
МГЛ с керамической горелкой, 50, 150 Вт	LLMF	Большое	1,00	0,95	0,87	0,75	0,72	0,68	0,64	0,60	0,56			
	LSF	Большое	1,00	0,99	0,99	0,98	0,98	0,98	0,95	0,80	0,50			
НЛВД (250, 400 Вт)	LLMF	Среднее	1,00	1,00	0,98	0,98	0,98	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	0,90	
	LSF	Среднее	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,99	0,99	0,97	0,95	0,92	
СД	LLMF	Большое	Значения меняются слишком быстро, поэтому не приводятся											
	LSF	Большое	Значения меняются слишком быстро, поэтому не приводятся											

$$\rho(t) = \rho_0 \{c + (1 - c)e^{-t/\tau}\}, \quad (11.13)$$

где $\rho(t)$ — коэффициент отражения в любой период времени; ρ_0 — начальный коэффициент отражения; τ — коэффициент загрязнения; c — коэффициент запыления поверхностей. Значения τ и c — табулированы.

Вид таблиц RSMF аналогичен таблицам коэффициента эксплуатации, однако для практических целей обычно достаточно данных для стандартного помещения (индекс помещения 2,5), 3-х типов светораспределений светильника (соотношение потока в нижнюю полусферу к общему потоку 0; 0,5; 1,0) и для периода

эксплуатации до 6 лет. RSMF не зависит от срока службы ИС, но его величина наиболее быстро снижается в первые 2 года (табл. 11.10).

Все рассмотренные факторы, входящие в формулу расчета MF, табулированы и приведены в [11.7, 11.9]. В качестве примера, на рис. 11.9–11.12 даны зависимости изменений всех факторов для одного из ИС — ЛЛ.

Окончательный расчет MF проводится в следующей последовательности:

1. Выбор типа лампы и светильника.
2. Определение периодичности групповой замены ламп (если есть).

Пример значений коэффициента эксплуатации поверхностей помещения RSMF
(индекс помещения 2,5, светильник прямого света)

Коэффициент отражения потолка, стен, пола	Класс помещения	Длительность эксплуатации, годы													
		0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	
		Коэффициент эксплуатации поверхностей помещения													
0,80/0,70/0,20	очень чистое	1,00	0,97	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	
	чистое	1,00	0,93	0,92	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	
	нормальное	1,00	0,88	0,86	0,86	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	
	загрязненное	1,00	0,81	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	
0,80/0,50/0,20	очень чистое	1,00	0,98	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	
	чистое	1,00	0,95	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	
	нормальное	1,00	0,91	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	
	загрязненное	1,00	0,86	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	
0,80/0,30/0,20	очень чистое	1,00	0,99	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	
	чистое	1,00	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	
	нормальное	1,00	0,94	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	
	загрязненное	1,00	0,91	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	

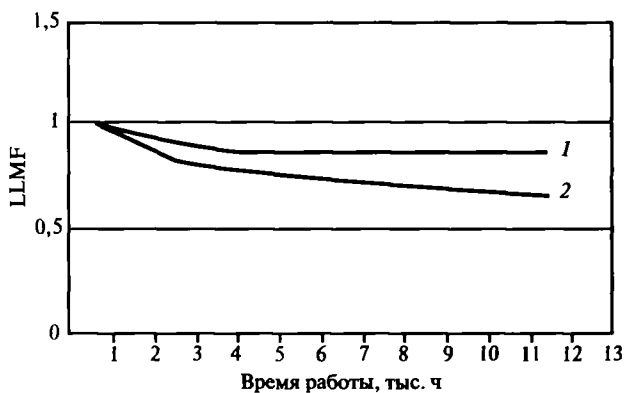


Рис. 11.9. Изменение коэффициента LLMF со временем для ЛЛ: 1 — с трехкомпонентным люминофором, 2 — с галлофосфатным люминофором

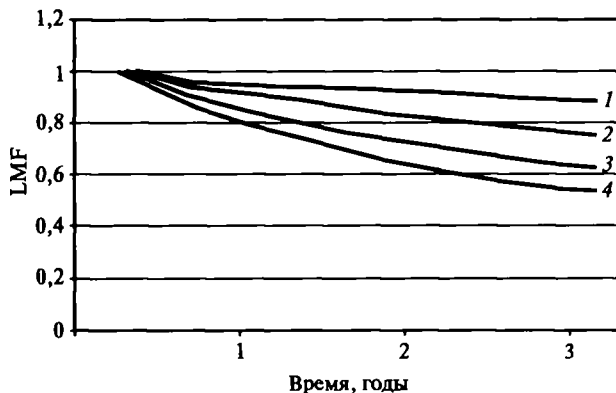


Рис. 11.11. Изменение коэффициента LMF со временем для светильника типа С (встроенный, потолочный, прямого света) при различных классах помещений: 1 — VC; 2 — C; 3 — N; 4 — D



Рис. 11.10. Изменение коэффициента LSF со временем для ЛЛ: 1 — с ЭМПРА, 2 — с ЭПРА

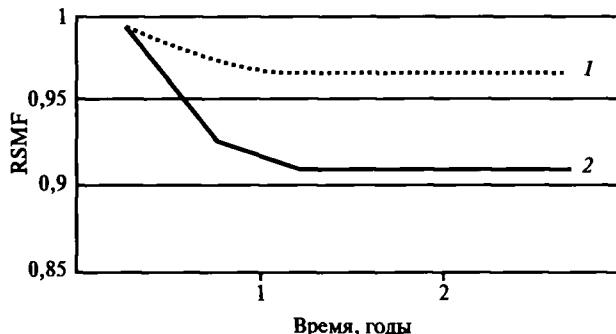


Рис. 11.12. Изменение коэффициента RSMF со временем для помещений класса С при сочетаниях коэффициентов отражения потолка, стен, пола: 1 — 0,50/0,30/0,20; 2 — 0,80/0,70/0,20

3. Определение коэффициента снижения светового потока лампы LLMF и показателя живучести лампы LSF из соответствующих таблиц за период, установленный по п. 2.

4. Определение класса чистоты помещения (табл. 11.4).

5. Определение интервала чистки светильников и окружающих поверхностей.

6. Исходя из степени защиты IP светильника, категории загрязнения окружающей среды и периодичности чистки определены величины коэффициента эксплуатации светильника LMF из таблиц.

7. Определение коэффициента эксплуатации поверхностей помещения RSMF (для внутреннего освещения).

8. Вычисление коэффициента эксплуатации осветительной установки MF по ф. 11.12.

9. Если необходимо, вычисление коэффициента эксплуатации осветительной установки для нескольких вариантов с изменением исходных параметров.

11.4. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ОСВЕЩЕНИЯ

Обеспечение надлежащих условий труда во всех сферах производственной деятельности человека является одной из важнейших задач социально-экономической политики государства, что зафиксировано в Федеральном законе «Об основах охраны труда РФ» [11.10] и Трудовом кодексе РФ [11.11].

В 1994 году вышло в свет Постановление Правительства Российской Федерации «О проведении обязательной сертификации постоянных рабочих мест на производственных объектах, средств производства, оборудования для средств коллективной и индивидуальной защиты» [11.12]. Поскольку сертификация работ по охране труда должна базироваться на результатах аттестации рабочих мест (АРМ) по условиям труда, выход этого документа положил начало развертыванию работ по АРМ, включающей оценку химических, физических, биологических, психофизиологических факторов, травмобезопасности рабочих мест (РМ) и обеспеченности работников средствами индивидуальной защиты.

Важное место в гигиене труда занимают так называемые физические факторы производственной среды, в ряду которых освещение занимает особое место, так как его наличие является необходимым условием выполнения любой работы.

К настоящему времени АРМ стала обязательной, улучшение условий труда становится не только социально, но и экономически выгодным, сформировалась база нормативных документов. Федеральным законом [11.10] установлены правовые основы регулирования отношений в области охраны труда между работодателями и работниками, в том числе проведение АРМ по условиям труда и сертификации работ по охране труда в организациях.

Требования к организации и проведению АРМ, перечень и коды контролируемых производственных факторов, характеризующих условия труда, в том числе

и в части освещения, изложены в Положении о порядке проведения АРМ [11.13].

Гигиенические критерии оценки условий труда по освещению в числе прочих факторов приведены в Руководстве Минздрава Р2.2.2006-05 [11.14], согласно которым, исходя из принципов классификации условий труда, последние подразделяются на четыре класса:

1 класс — оптимальные условия труда — такие условия, при которых сохраняется здоровье работающих и создаются предпосылки для поддержания высокого уровня работоспособности;

2 класс — допустимые условия труда — характеризуются такими уровнями факторов среды и трудового процесса, которые не превышают установленных гигиенических нормативов для рабочих мест, а возможные изменения функционального состояния организма восстанавливаются во время регламентированного отдыха или к началу следующей смены и не должны оказывать неблагоприятное действие на состояние здоровья работающих и их потомство. Допустимые условия труда условно относят к безопасным;

3 класс — вредные условия труда — характеризуются наличием вредных производственных факторов, превышающих гигиенические нормативы и оказывающих неблагоприятное действие на организм работающего и/или его потомство.

Вредные условия труда по степени превышения гигиенических нормативов и выраженности изменений в организме работающих подразделяются на 4 степени вредности:

1 степень 3 класса (3.1) — условия труда характеризуются такими отклонениями уровней вредных факторов от гигиенических нормативов, которые вызывают функциональные изменения, восстанавливающиеся, как правило, при более длительном (чем к началу следующей смены) прерывании контакта с вредными факторами и увеличивают риск повреждения здоровья;

2 степень 3 класса (3.2) — уровни вредных факторов, вызывающие стойкие функциональные изменения, приводящие в большинстве случаев к увеличению производственно обусловленной заболеваемости;

3 степень 3 класса (3.3) — условия труда, характеризующиеся такими уровнями вредных факторов, воздействие которых приводит к развитию, как правило, профессиональных болезней легкой и средней тяжести (с потерей профессиональной трудоспособности) в период трудовой деятельности, росту хронических заболеваний и высоким уровням заболеваемости с временной утратой трудоспособности;

4 степень 3 класса (3.4) — условия труда, при которых могут возникать тяжелые формы профессиональных заболеваний (с потерей общей трудоспособности), отмечается значительный рост числа хронических заболеваний и высокие уровни заболеваемости с временной утратой трудоспособности;

4 класс — опасные (экстремальные) условия труда — характеризуются уровнями производственных факторов, воздействие которых в течение рабочей смены (или ее части) создает угрозу для жизни, высокий

Классы условий труда в зависимости от параметров световой среды производственных помещений

Фактор, показатель	Классы условий труда				
	Допустимый 2	Вредный — 3			
		1 степени 3.1	2 степени 3.2	3 степени 3.3	4 степени 3.4
ЕСТЕСТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ:					
Коэффициент естественной освещенности (КЕО, %)	$\geq 0,6^*$	$0,1-0,6^*$	$< 0,1^{**}$		
ИСКУССТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ:					
Освещенность рабочей поверхности (E , лк) для разрядов зрительных работ: I–IV, VII V, VI, VIII–XIV	E_N^{***}	$0,5E_N - 1E_N$	$< 0,5E_N$		
Показатель ослепленности (P , отн. ед.)	P_N^{***}	$> P_N$			
Отраженная блескость	отсутствие	наличие			
Коэффициент пульсации освещенности ($K_{пн}$, %)	$K_{пн}^{***}$	$> K_{пн}$			
Яркость (L , кд/м ²)	L_N^{***}	$> L_N$			
Неравномерность распределения яркости (C , отн. ед.)	C_N^{***}	$> C_N$			

* Для первой группы административных районов по ресурсам светового климата (в соответствии с [44]).

** При наличии мер по компенсации ультрафиолетовой недостаточности — класс 3.1.

*** Нормативные значения: освещенности — E_N , показателя ослепленности — P_N , коэффициента пульсации освещенности — $K_{пн}$, яркости — L_N , неравномерности распределения яркости — C_N в соответствии с [44] и отраслевыми (ведомственными) нормативными документами по освещению.

риск развития острых профессиональных поражений, в том числе и тяжелых форм.

Критерии оценки условий освещения в Руководстве изложены в разделе «Классификация условий труда по показателям световой среды» и сведены в таблицу (табл. 11.11).

Как видно из таблицы, условия освещения оцениваются как допустимые (класс 2) при соблюдении нормативных требований по всем показателям освещения и как вредные со степенью 1 (класс 3.1) или 2 (класс 3.2) при несоблюдении требований норм к параметрам световой среды.

Документом, регламентирующим оценку условий освещения рабочих мест, являются утвержденные Минздравом РФ и Минтруда РФ Методические указания «Оценка освещения рабочих мест» [11.15], разработанные с учетом требований [11.16, 44], а также другой НТД по освещению.

В соответствии с вышеперечисленной документацией, при аттестации рабочих мест по условиям освещения оценке подлежат такие показатели освещения, как КЕО, освещенность, прямая и отраженная блескость, пульсация освещенности, яркость и, для рабочих мест с компьютерами, неравномерность распределения яркости в поле зрения пользователя. Как известно, все эти показатели, кроме последнего, регламентируются требованиями основополагающих документов по освещению [44, 79] и должны учитываться при проектировании, монтаже и эксплуатации осветительных установок, а также при контроле эффективности их действия.

Согласно [11.15], при АРМ оцениваются отдельно показатели естественного и искусственного освещения, а затем дается общая оценка по освещению в целом.

Естественное освещение рассматривается в двух аспектах.

1. Оценивается естественное освещение с точки зрения его достаточности как фактора, воздействующего на человека вне зависимости от выполняемой им работы, обеспечивающего непосредственную связь с внешним миром, необходимые условия видимости для правильной ориентации в пространстве, динамику световой среды в помещении и оказывающего в связи с этим существенное влияние на психику и тонус нервной системы человека.

2. Оценивается достаточность естественного освещения для выполнения зрительных работ различной степени точности (в соответствии с разрядами и подрядами зрительных работ).

Искусственное освещение вначале оценивается по каждому показателю отдельно.

По показателю «Освещенность» классы присваиваются в соответствии с табл. 11.12.

По показателям «Коэффициент пульсации освещенности» и «Показатель ослепленности» присваивается:

— класс 2, если значения показателей не выше допустимых ($P \leq P_N$, $K_{пн} \leq K_{пн}$);

— класс 3.1, если значения показателей выше допустимых ($P > P_N$; $K_{пн} > K_{пн}$).

Таблица 11.12

Критерии оценки условий освещения
по показателю «Освещенность»

Освещенность от искусственного освещения (независимо от системы освещения)	Класс условий труда
$E \geq E_H$	2*
$0,5E_H \leq E < E_H$	3.1
$E < 0,5E_H$	3.2** 3.1***

Примечание:

E и E_H — фактическое и нормативное значения освещенности.

* Если при системе комбинированного освещения суммарная освещенность не ниже нормативной, а составляющая общего освещения ниже нормативного уровня, присваивается класс 3.1.

** Для разрядов I–IV и VII.

*** Для разрядов V, VI и VIII.

По параметру «Отраженная блескость» присваивается:

- класс 2, если отраженная блескость отсутствует;
- класс 3.1, если отраженная блескость имеет место.

По показателю «Яркость» при контроле максимально допустимого значения яркости присваивается:

- класс 2, если яркость $L \leq L_H$;
- класс 3.1, если $L > L_H$.

По показателю «Неравномерность распределения яркости» на рабочем месте пользователя персонального компьютера (ПК) присваивается:

- класс 2, если показатель неравномерности $C \leq C_H$, где $C_H = 5$ (для соотношения яркости между рабочими поверхностями — стол, бумажный носитель, оборудование, экран), $C_H = 10$ (для соотношения яркости между рабочими поверхностями и поверхностями периферии — стена, окно, мебель и др.);
- класс 3.1, если $C > C_H$.

После присвоения классов по отдельным параметрам искусственного освещения производится окончательная оценка по фактору «Искусственное освещение» путем выбора параметра, имеющего наибольшую вредность.

Общая оценка условий труда в зависимости от параметров световой среды производится на основании оценок по естественному и искусственному освещению путем выбора из них наибольшей оценки степени вредности.

Если рабочее место расположено в нескольких помещениях (зонах работы), оценка условий труда по параметрам световой среды производится в соответствии с [11.15] с учетом времени работы в каждом помещении.

В ходе АРМ по условиям труда заполняются карты аттестации, в которых результаты оценки условий труда приводятся в строке 060, форма которой представлена в [11.17].

Графа «Продолжительность воздействия» в строке 60 карты АРМ по фактору «Освещение» заполняется только при расположении рабочего места в нескольких помещениях (зонах работы), при этом допускается указывать приблизительно относительное время воздействия, влияющее на оценку степени вредности с учетом изложенных выше критериев (например, <50% или >50%; <25% или >25%).

В [11.15] показан порядок проведения работ по АРМ по условиям освещения. Первым и весьма важным этапом является работа с нормативной документацией, которая заключается в изучении нормативных требований к освещению, изложенных в общегосударственных и отраслевых документах по освещению.

Оценка условий освещения базируется на натурном обследовании РМ, в ходе которого собираются данные для оценки показателей освещения и производятся измерения. Данные обследования заносятся в промежуточный протокол [11.17].

Качественный контроль параметров световой среды потребовал разработки соответствующих приборов. В серии приборов «Аргус» впервые были изготовлены переносные приборы для оценки яркости и коэффициента пульсации освещенности. Аналогичные приборы разработаны и в серии ТКА (см. раздел 2).

Прибор для контроля яркости особенно важен при АРМ с ПК, где в соответствии с СанПиН [11.18] необходимо оценивать неравномерность распределения яркости в поле зрения пользователя, для чего требуется провести измерения яркости самосветящихся (экран, ОП) и несамосветящихся (бумажный носитель, оборудование, отражающие поверхности помещения) объектов. Контроль яркости производится также при наличии нормативных ограничений по уровню яркости (для работ, где используется принцип освещения «на просвет» и при больших светлых поверхностях).

Измерения яркости должны производиться по [11.19] с учетом следующих положений:

- измерения яркости выполняются в темное время суток при включенном искусственном освещении;
- при измерениях яркости рабочих поверхностей оптическую ось измерительной головки яркомера совмещают с направлением линии зрения наблюдателя, а расстояние от измерительной головки до поверхности наблюдения выбирают таким, чтобы головка не затеняла зону измерения и в объектив попала только поверхность, яркость которой измеряется;
- для измерения яркости следует использовать фотометр-яркомер согласно назначению. Яркость как самосветящихся, так и диффузных несамосветящихся поверхностей измеряется фотометром-яркомером типа Аргус-02, яркость самосветящихся поверхностей может быть измерена комбинированными приборами Аргус-12, ТКА-ПК (04/3), ТКА-ПК (ЯР);
- контроль яркости самосветящихся поверхностей проводится только инструментальными измерениями. Для диффузно отражающих поверхностей при отсутствии прибора типа Аргус-02 оценка яркости может быть

проведена путем измерения освещенности с последующим пересчетом по формуле

$$L = Ep/\pi, \quad (11.14)$$

где L — яркость, кд/м²; E — освещенность, лк; ρ — коэффициент отражения контролируемой поверхности.

На рабочих местах с ПК проводится контроль соотношения яркостей в поле зрения пользователя компьютером. При наличии в поле зрения окон, бликов от окон на стенах и на экранах ПК, их яркость измеряется дополнительно в дневное время.

Перед проведением измерений определяются поверхности, подлежащие контролю (стол, бумажный носитель, расположенный горизонтально на столе или наклонно на юпитре, оборудование, экран монитора, поверхности периферии — стена, мебель, окно и т.п.). Измерения яркости экрана проводят не ранее чем через 3 минуты после включения дисплея. При контроле яркости экрана для оценки неравномерности распределения яркости в поле зрения пользователя ПК измерения производятся на рабочей картинке в центре экрана, размещая измерительную головку прибора так, как это указано выше.

При контроле яркости объектов на периферии (стена, мебель, окно и др.) объектив яркомера устанавливают на уровне глаз работающего таким образом, чтобы оптическая ось прибора совпала с направлением линии зрения.

Неравномерность распределения яркости в поле зрения пользователя определяется из соотношения измеренных на различных поверхностях яркостей по формуле

$$C = L_{\max} / L_{\min}, \quad (11.15)$$

где C — неравномерность распределения яркости; L_{\max} — максимальное из измеренных значений яркости, кд/м²; L_{\min} — минимальное из измеренных значений яркости, кд/м².

В отдельных случаях (при наличии жалоб на плохое изображение и зрительное утомление, в спорных случаях, для решения вопроса о замене монитора и т.д.) для рабочих мест с ПК оцениваются визуальные параметры дисплея в соответствии с требованиями [11.18, 11.20, 11.21].

При контроле визуальных параметров подлежат проверке яркость белого поля экрана, неравномерность яркости рабочего поля экрана, контрастность (для монохромного режима), временная и пространственная нестабильность изображения.

Измерения яркости белого поля экрана проводят не ранее чем через 3 минуты после включения питания. На экране создается светлое поле, при этом положение регулятора яркости должно соответствовать максимальной возможной яркости экрана. Объектив яркомера устанавливается в центре экрана в непосредственной близости к нему таким образом, чтобы исключить составляющую отраженной яркости.

При контроле неравномерности яркости рабочего поля экрана на нем создается светлосое поле. Измерения

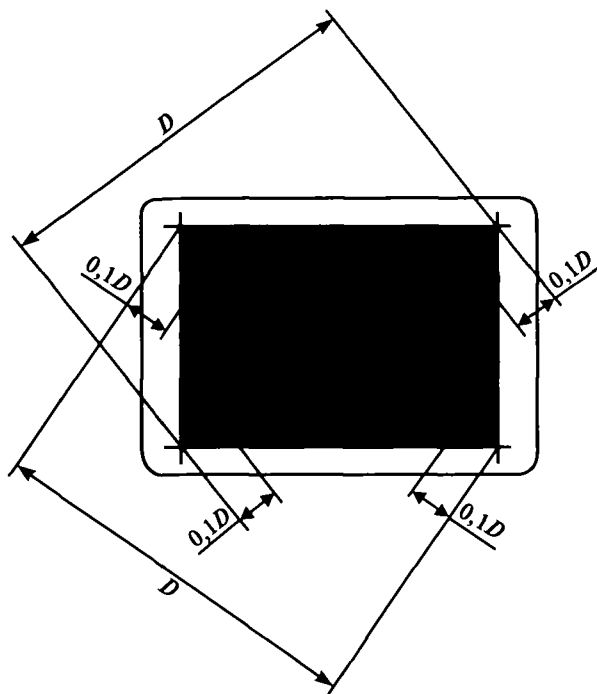


Рис. 11.13. Расположение контрольных точек для оценки неравномерности яркости экрана

производятся в пяти точках экрана (в центре и по краям) в соответствии с рис. 11.13.

Среднее значение L определяется по формуле:

$$L_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^5 L_i}{5}, \quad (11.16)$$

где L_i — значение яркости изображения в каждой из пяти точек экрана, кд/м².

Неравномерность яркости изображения поля δ_L , %, рассчитывают по формуле:

$$\delta_{L_i} = \frac{L_{\text{ср}} - L_i}{L_{\text{ср}}} 100. \quad (11.17)$$

За результат измерения принимают наибольшее по модулю значение величины δ_{L_i} .

Контрастность изображения K_H (для монохромного режима) определяется путем измерений максимальной и минимальной яркости изображения. Для этого на белом поле экрана при максимальном положении регуляторов яркости и контрастности монитора создается фрагмент черного цвета, занимающий не менее половины площади экрана. Измерения яркости выполняют на черном и белом фрагментах изображения с учетом отражений, возникающих за счет внешней освещенности экрана. При этом расстояние от экрана до измерительной головки яркомера должно быть таким, чтобы в объектив прибора попадал только измеряемый фрагмент изображения.

Контрастность изображения определяется по формуле

$$K_{и} = \frac{L_{\max}}{L_{\min}}, \quad (11.18)$$

где L_{\max} — яркость белого фрагмента изображения, кд/м²; L_{\min} — яркость черного фрагмента изображения, кд/м².

Временная (мелькание) и пространственная (дрожание) нестабильность изображения контролируются визуально.

Оценка визуальных параметров дисплея осуществляется следующим образом.

По показателю «Яркость белого поля экрана» присваивается:

— класс 2, если яркость белого поля экрана при максимальном уровне не менее 35 кд/м², то есть $L_3 \geq L_{3н}$;

— класс 3.1, если $L_3 < L_{3н}$.

По показателю «Неравномерность рабочего поля экрана» присваивается:

— класс 2, если $\delta L_3 \leq \delta L_{3н}$, где $\delta L_{3н} = \pm 20\%$;

— класс 3.1, если $\delta L_3 > \delta L_{3н}$.

По показателю «Контрастность изображения» присваивается:

— класс 2, если контраст $K_{и}$, определяемый как отношение максимальной яркости изображения L_{\max} к минимальной L_{\min} , не менее 3.

При выявлении дефектов изображения (дрожание, мелькание) присваивается класс 3.1, при отсутствии дефектов изображения — класс 2.

По результатам обследования и оценки условий освещения составляется протокол, рекомендуемая форма которого приведена в [11.17].

Работы по АРМ по условиям труда позволяют составить широкую картину состояния освещения в различных отраслях промышленности и в непромышленных организациях, так как согласно положению аттестации подлежат все рабочие места независимо от их вида и формы собственности предприятия или организации.

Практически на всех обследованных предприятиях условия освещения в той или иной мере не соответствуют требованиям НТД по освещению (как действующих в настоящее время СНиП 23-05-95*, так и давно отмененных СНиП 1971 года и разработанных на их основе отраслевых норм), а также характеру зрительной работы при обслуживании оборудования, а нередко и требованиям безопасности труда.

Степень и характер несоответствия могут быть различными, особенно следует отметить несколько наиболее типичных случаев.

1. Предприятия, действующие на базе бывших предприятий с сохранением профиля деятельности; ОУ смонтированы 20–30 лет назад по проектам, выполненным специализированными проектными организациями с соблюдением всех нормативных требований к освещению. Условия освещения РМ в зависимости от уровня эксплуатации ОУ и финансового положения

предприятия могут соответствовать требованиям норм того времени по всем показателям или не соответствовать им.

2. Предприятия, где ОУ выполнены без проектов, хаотично, без соблюдения элементарных требований к освещению, с применением случайных ОП и ИС. Условия освещения, как правило, не соответствуют требованиям норм, причем нарушения наблюдаются по различным показателям освещения. Так, при использовании ЛН в большинстве случаев освещенность ниже нормативных уровней, к тому же нередко возникает и повышенное слепящее действие, так как лампы устанавливаются, как правило, в светильниках, защищенных лишь прозрачным стеклянным колпаком. При использовании ЛЛ освещенность рабочих поверхностей выше, но в этих случаях нередко отмечалось превышение допустимого значения коэффициента пульсации, так как не предусмотрены меры для его снижения. При использовании ДРЛ в большинстве случаев нарушаются требования по всем параметрам, так как при установке их на большой высоте освещенность оказывается недостаточной, а при снижении высоты подвеса светильников освещенность возрастает лишь в зонах под светильниками, зато резко возрастает неравномерность ее распределения и слепящее действие ввиду большой яркости этого ИС. Коэффициент пульсации при использовании ДРЛ, как правило, значительно превышает допустимые значения (58–85% вместо 15–20%).

3. Особенно неблагоприятно обстоят дела с освещением рабочих мест ремонтного персонала. В процессе обследования не выявлено ни одной механической мастерской, где бы условия освещения соответствовали требуемым. При этом необходимо отметить, что в данных помещениях выполняются зрительные работы высокой точности, для которых требования к освещению достаточно жесткие. К тому же нередко мастерские расположены в помещениях без естественного света и в соответствии с требованиями СНиП уровни освещенности на рабочих местах в таких мастерских должны быть повышены на ступень.

Одной из наиболее распространенных причин несоответствия условий освещения рабочих мест в мастерских требованиям норм является нерациональное размещение светильников, в частности крепление светильников с ЛЛ без рассеивателей вертикально на стенах, при котором, как правило, рабочие поверхности освещены меньше, чем объем помещения. К тому же такое размещение светильников вызывает повышенную ослепленность работающих.

Особого внимания требует освещение зон проведения ремонтных работ непосредственно в основных производственных цехах.

4. ОУ, выполненные в последние годы с претензией на «современный» дизайн и «европейский» уровень. Чаще всего это ОУ в помещениях административных и общественных зданий, нередко оборудованных компьютерами. Как правило, используются зеркальные многоламповые «растровые» светильники, но с ЛЛ малой мощности, к сожалению, без ЭПРА. В результате усло-

вия освещения в таких помещениях приходится оценивать как вредные с классом вредности 3.1 из-за несоблюдения требований по ограничению пульсаций освещенности, которые в настоящее время весьма высоки.

Результаты аттестации позволяют выявить недостатки существующих осветительных установок, наметить пути их устранения, нередко без больших материальных и финансовых затрат, а также определить пути и объемы развития производства и применения ОП, ИС, ПРА и ЭУ.

Кроме того, АРМ выполняет и просветительскую функцию, так как ее результаты доводятся до сведения каждого работающего на аттестуемом рабочем месте, благодаря чему нормативные требования к освещению, а также степень соответствия фактических показателей освещения нормативным становятся доступными для контроля непосредственным потребителем. Это существенно повышает заинтересованность работающих и уверенность в возможности проведения мероприятий по улучшению условий освещения.

Таким образом, проведение аттестации по условиям труда в части освещения является мощным стимулом как для улучшения световой среды на рабочих местах, так и для развития светотехнической промышленности.

Немаловажным является и тот факт, что освещение может служить как непосредственной причиной возникновения несчастного случая (из-за низкой освещенности, стробоскопического эффекта, вызванного пульсацией освещенности [11.22], или из-за слепящего действия), так и косвенной причиной травмы, происшедшей под влиянием других обстоятельств (когда из-за «сумеречного» эффекта освещения наступают вялость, сонливость, повышенное утомление работающих, что приводит к снижению концентрации внимания и потенциальной опасности травмирования). Согласно статистике, в среднем число несчастных случаев, в той или иной мере связанных с освещением, составляет 30–50% от их общего количества. При грубых работах около 1,5% тяжелых травм со смертельным исходом происходит по причине плохого освещения.

К сожалению, сложилась практика, когда световая среда оценивается только по одному показателю — по освещенности. Этот недостаток возникает уже на стадии проектирования.

Разработка грамотных рекомендаций по совершенствованию освещения позволяет достичь нормируемых показателей, иногда без существенных материальных затрат. При формальном, неквалифицированном или недобросовестном подходе к оценке освещения при АРМ смысл самой аттестации теряется, так как либо даются недостоверные оценки и светотехнически неграмотные рекомендации, либо выдаются необоснованно положительные оценки условий освещения.

11.5. УТИЛИЗАЦИЯ ОТРАБОТАННЫХ РЛ

Разрядные ИС, как правило, содержат различное количество ртути. Так, в каждую ЛЛ вводится от 3 до 40 мг ртути, в лампу типа ДРЛ — значительно больше. Ртуть содержится также в МГЛ и НЛВД. Практикуемый при эксплуатации ОУ вывоз отработанных РЛ на

свалки или их захоронение в специально отведенных местах создают опасность вредного для здоровья людей ртутного заражения воздуха, почвы и водных источников.

Существуют способы обезвреживания отработанных РЛ, заключающиеся в их утилизации на специальных технологических установках. Разными организациями разработаны проекты таких технологических установок, на некоторых ламповых заводах используются установки по утилизации заводского брака ламп [11.23–11.24].

Американская фирма «DYTEK» разработала автоматизированное устройство по переработке ЛЛ («DYTEK-3600»), признанное одним из лучших в мире. Лампа дробится в условиях герметичного пространства на три компонента: металлические детали и изоляция (собираются и перерабатываются), люминофор, отделенный от стекла и содержащий ртуть (из которого затем в специальном блоке-реторте получают вторичную ртуть), «чистое» стекло (складируют в специальные контейнеры и используют затем как вторсырье). Устройство снабжено системой рециркуляции условий вакуума, что минимизирует количество воздуха в рабочем процессе, а выделяемый воздух подвергается многоступенчатой очистке.

В нашей стране также известна подобная, т.е. «холодная и сухая» вибропневматическая технология переработки ЛЛ, разработанная в начале 1990-х гг. НПО «Экотром» [11.25]. Принцип действия установки «Экотром-2» основан на разделении лампы на главные компоненты: стеклобой, алюминиевые цоколи, содержащий ртуть люминофор. Отделение люминофора — главного денодента ртути — от стекла осуществляется за счет выдувания и отсасывания его в противоточно движущихся системах «стеклобой—воздух» в условиях вибрации. Стекло поступает в специальный бункер, откуда пневмотранспортом удаляется в особый накопитель. Воздух поэтапно очищается от люминофора (циклон, рукавный фильтр, касетный фильтр, производственный адсорбер, цеховой адсорбер, санитарный адсорбер). Обдувка люминофора с рукавных фильтров осуществляется сжатым воздухом. Ртутьсодержащий люминофор, а также отработанный активированный уголь из систем очистки, обтирочная ветошь и т.п. смешиваются с цементом и водными растворами (образующимися в процессе периодически проводимой в санитарно-гигиенических целях дезинфекции рабочего помещения и накапливаемыми в специальном приемнике) и обрабатываются особым веществом, переводящим большую часть ртути в ее наиболее устойчивую форму — сульфид ртути. Расчеты показывают, что данная технология позволяет извлекать из ламп и прочно фиксировать до 95–96% содержащейся в них ртути. Образующаяся цементно-люминофорная смесь, расфасованная в полиэтиленовые мешки, отправляется на специализированные предприятия для получения вторичной ртути; стеклянная крошка — на предприятия, производящие строительные блоки; алюминиевые цоколи используются как вторсырье. Экоаудит установил, что установка отвечает российским экологическим и санитарно-гигиеническим требованиям («Экологический

сертификат соответствия», «Гигиенический сертификат», сертификаты на конечные продукты переработки ламп).

Таким образом, достоинствами рассмотренных «сухих и холодных» технологий переработки ртутьсодержащих отходов, в частности ЛЛ, являются: 1) малая (3–4 наименования) номенклатура конечных продуктов; 2) максимальное концентрирование ртути в одном из них (основу которого составляет люминофор); 3) возможность получения из него вторичной ртути; 4) отсутствие технологических выбросов в атмосферу и стоков в канализацию. Именно эти технологии и получают сейчас наибольшее распространение во многих развитых странах мира.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 11.1. *Азалиев В.В., Варсанюфьева Г.Д., Крель Ц.И.* Эксплуатация осветительных установок промышленных предприятий. М.: Энергоатомиздат. 1984.
- 11.2. *Варсанюфьева Г.Д., Крель Ц.И.* К вопросу о понятии отказа осветительной установки. Светотехника. 1978. № 2.
- 11.3. *Варсанюфьева Г.Д., Крель Ц.И.* Зависимость коэффициента запаса от параметров осветительных установок и их эксплуатационных характеристик. Светотехника. 1974. № 10.
- 11.4. *Варсанюфьева Г.Д.* Эксплуатационные исследования осветительных установок. Светотехника. 1977. № 7.
- 11.5. *Нестерович И.И.* Восстановление характеристик отражателей светильников. Светотехника. 1970. № 7.
- 11.6. *Erken Schmidt.* Lampenwechsel in Beleuchtungsanlagen. Sonderdruck aus: Handbuch für Beleuchtung 15. Ergänzungs — Lieferung März 2002, Philips AEG.
- 11.7. *Публикация МКО 97:2006.* Руководство по эксплуатации ОУ внутреннего освещения.
- 11.8. *Бедокс Л.* Эксплуатация ОУ внутреннего освещения. Новая Публикация МКО. Светотехника. 2006. № 1.
- 11.9. *Публикация МКО 154:2003.* Техническое обслуживание осветительных установок наружного освещения.
- 11.10. *Федеральный закон от 17 июля 1999 года № 181-ФЗ «Об основах охраны труда в Российской Федерации».*
- 11.11. *Трудовой кодекс Российской Федерации от 30 декабря 2001 года № 197-ФЗ.*
- 11.12. *Постановление Правительства Российской Федерации от 23 апреля 1994 года № 485 «О проведении обязательной сертификации постоянных рабочих мест на производственных объектах, средств производства, оборудования для средств коллективной и индивидуальной защиты».*
- 11.13. *Постановление Минтруда России от 14 марта 1997 года № 12 «О проведении аттестации рабочих мест по условиям труда».* Приложение: Положение о порядке проведения аттестации рабочих мест по условиям труда.
- 11.14. *Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. Руководство Р 2.2.2006-05.* М.: ФЦГСЭН Минздрава России. 2006.
- 11.15. *МУ ОТ РМ 01-98 / МУ 2.2.4.706-98.* «Оценка освещенности рабочих мест». Методические указания. Иваново. 2002.
- 11.16. *ГОСТ 24940-96.* Здания и сооружения. Методы измерения освещенности. Межгосударственный стандарт. М.: ГУП ЦПП, 1997.
- 11.17. *Ильина Е.Н., Частухина Т.Н.* Аттестация рабочих мест по условиям труда в части освещения. Дом Света, 2004.
- 11.18. *СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.* Гигиенические требования к персональным электроинно-вычислительным машинам и организации работы. М.: Минздрав России, 2003.
- 11.19. *ГОСТ 26824-86.* Здания и сооружения. Методы измерения яркости. М.: Изд. стандартов, 1986.
- 11.20. *ГОСТ Р 50949-2001.* Средства отображения информации индивидуального пользования. Методы измерений и оценки эргономических параметров и параметров безопасности. М.: Госстандарт России, 2002.
- 11.21. *ГОСТ Р 50923-96.* Дисплей. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения. М.: Госстандарт России, 1996.
- 11.22. *Суворов Г.А. и др.* Освещение на производстве. Эколого-гигиеническая оценка и контроль. М.: Редакция журнала «Охрана труда и социальное страхование», 1998.
- 11.23. *Михайлов В.К., Ющенко А.И.* Разработка технологии демеркуризации люминесцентных ламп. Светотехника. 1983. № 2.
- 11.24. *Гуськова В.И., Михайлов В.К., Муратова В.И. и др.* О термической демеркуризации люминесцентных ламп. Светотехника. 1984. № 12.
- 11.25. *Косорукова Н.В., Янин Е.П.* Утилизация отходов ртутьсодержащих изделий: состояние и проблемы. Светотехника. 2002. № 3.

ПРОМЫШЛЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

12.1. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ
К ПРОМЫШЛЕННЫМ ОУ

Влияние освещения на состояние людей и производительность труда. Условия искусственного освещения на промышленных предприятиях оказывают большое влияние на ЗР, физическое и моральное состояние людей, а следовательно, на ПТ, качество продукции и производственный травматизм. Чем точнее и напряженнее выполняемая зрительная работа, тем больше это влияние. Многочисленными исследованиями установлены зависимости функций зрения от условий искусственного освещения. Ими руководствуются при нормировании количественных и качественных характеристик промышленных ОУ и при выработке рекомендаций по выбору ИС, систем и способов искусственного освещения [15, 16, 18, 44, 45, 5, 56, 71, 81].

Требования к устройству и эксплуатации ОУ для различных видов производств детально рассмотрены в большом числе отраслевых документов [12.1–12.15].

Увеличение освещенности в производственных помещениях и в местах производства наружных работ положительно влияет на такие функции зрения, как острота, устойчивость ясного видения, скорость различения, контрастная чувствительность. При повышении контраста между объектом различения и фоном, на котором объект рассматривается, ЗР увеличивается. Она также зависит от соотношения яркостей рабочей зоны и окружающего фона, попадающего в поле зрения работающего: с увеличением этого соотношения работоспособность понижается. Более благоприятное соотношение яркостей имеет место при системе общего освещения, менее благоприятное — при комбинированном освещении. В последнем случае условия зрительной работы улучшаются при повышении яркости фона, что достигается повышением коэффициентов отражения поверхностей помещений (стен, потолка, пола) и производственного оборудования. Однако слишком светлые поверхности стен, пола и оборудования могут оказать отрицательное влияние, а в ряде случаев — недопустимы.

Многие производственные операции требуют определенного направления света, при котором на рабочей поверхности создаются наиболее благоприятные условия зрительной работы, например, лучше выявляются детали, исчезают или появляются микротрещины, устраняется попадающее в поле зрения зеркальное отражение ИС и т.п. Указанные условия достигаются применением систем общего или комбинированного освещения, выбором наиболее целесообразных для данных условий ОП общего и местного освещения и их размещения от-

носительно рабочих мест. Часто оптимальные решения ОУ находятся экспериментальным путем. Ухудшение функций зрения вызывают прямая блескость, т.е. чрезмерная яркость ИС и ОП, и отраженная блескость — зеркальное отражение светового потока от рабочей поверхности в направлении глаз работающих. Отрицательное действие блескости на зрение тем больше, чем точнее, напряженнее и длительнее зрительная работа. При наличии блескости снижается ПТ, повышается зрительное и общее утомление.

Ограничение прямой блескости достигается выбором ОП с оптимальными для данных условий светотехническими характеристиками и правильным их размещением.

Отрицательное влияние на зрение оказывает пульсация освещенности при питании РЛ током промышленной частоты (50 Гц), которая вызывает утомление зрения. При освещении быстро движущихся или вращающихся предметов может появиться стробоскопический эффект, повышающий опасность травматизма. В ОУ должны приниматься меры по снижению пульсации до уровня, установленного нормами.

Мероприятия по улучшению освещения на промышленных предприятиях требуют дополнительных, иногда значительных затрат, которые быстро окупаются за счет повышения ПТ, улучшения качества продукции и снижения травматизма.

Таким образом, промышленное освещение, как, впрочем, и любое другое, должно отвечать следующим критериям:

- достаточное количество света для выполнения зрительной задачи;
- хорошая равномерность освещения в рабочей зоне;
- баланс распределения яркости в помещении в целом;
- отсутствие прямой и отраженной блескости;
- отсутствие пульсации.

За последние годы проведен целый ряд исследований [12.16–12.20], дополнительно расширивших наши представления о зрительных, биологических и психологических воздействиях света, подробно рассмотренных в разделе 20.

Вместе с тем при проектировании ОУ важно знать связь между возрастом работающих и требованиями к освещению (рис. 12.1, для примера при чтении), возрастные изменения коэффициентов пропускания глазных сред (рис. 12.2), взаимосвязь между относительной зрительной работоспособностью (%) и освещенностью

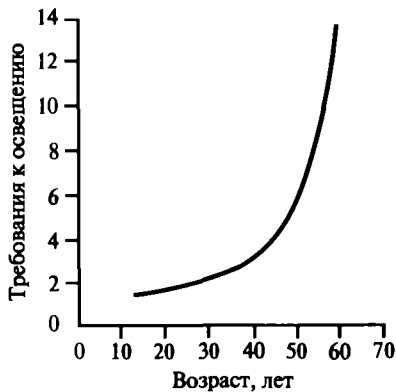


Рис. 12.1. Связь между возрастом и требованиями к освещению для чтения качественно напечатанной книги

для решения задач разной трудности людьми разного возраста.

В табл. 12.1 и 12.2 показано по данным [12.19] увеличение работоспособности и снижение брака при по-

Таблица 12.1

Увеличение работоспособности и снижение количества брака как результат повышения уровня освещенности

Тип работы	Уровень освещенности, лк		Увеличение зрительной работоспособности, %	Снижение количества брака, %
	До	После		
Сборка камеры	370	1000	7	
Штампование кожи	350	1000	8	
Наборный цех	100	1000	30	18
Окончательные сборочные работы	500	1500	28	
Металлургическая промышленность	300	2000	16	29
Сложные зрительные задачи в металлургической промышленности	500	1600–2500	10	20
Миниатюрная сборка	500–1000	4000		90
Ткацкая фабрика	250	1000	7	

Таблица 12.2

Уменьшение количества несчастных случаев после повышения уровня освещенности

Вид промышленности	Уровень освещенности, лк		Снижение количества несчастных случаев, %
	До	После	
Металлургическая промышленность	300	2000	52
Сложные зрительные задачи в металлургической промышленности	500	1600–2500	50

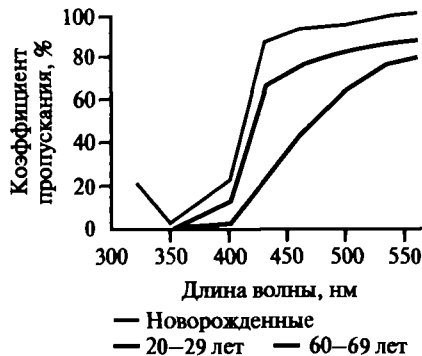


Рис. 12.2. Коэффициент пропускания глазных сред для различных возрастных категорий людей. Величины выражены в % относительно точки 560 нм (для новорожденных)

вышению освещенности, в табл. 12.3 и на рис. 12.3 приведены весьма показательные данные для металлургической промышленности.

Таблица 12.3

Относительный рост показателей производства в зависимости от увеличения освещенности в металлургической промышленности

Металлургическая промышленность	Увеличение освещенности с 300 до 2000 лк (измеренное)
Увеличение зрительной работоспособности, %	16
Снижение количества брака, %	29
Снижение количества несчастных случаев, %	52
Общее увеличение производительности труда	1,075±0,04

Примечания:

1. В металлургической промышленности потери производительности труда за счет брака от 2 до 5%;
2. За счет несчастных случаев — от 2 до 10% (в таблице для расчетов принималась величина 5%).

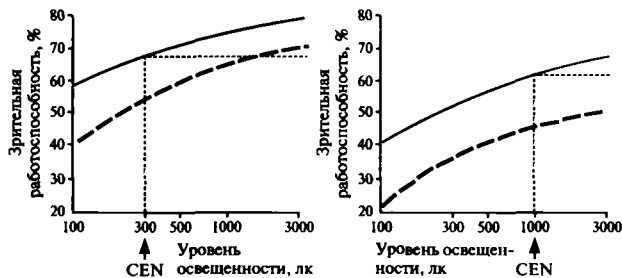


Рис. 12.3. Взаимосвязь между относительной зрительной работоспособностью (%) и уровнем освещенности (лк) для зрительной задачи средней трудности (слева) и высокой трудности (справа). Сплошная линия — молодые люди, пунктирная линия — старший возраст (CEN — европейские нормы)

Системы освещения. Источники света. Первостепенное значение для выбора системы освещения имеют точность выполняемых зрительных работ, характер и особенности производственного оборудования, условия естественного освещения. Рекомендации по выбору систем освещения приведены в отраслевых нормах искусственного освещения. При выборе систем освещения необходимо учитывать, что капитальные вложения и эксплуатационные расходы при комбинированном освещении ниже, чем при общем.

При устройстве общего освещения неравномерность освещения в зоне размещения рабочих мест в соответствии с требованиями норм не должна превышать значений, указанных в табл. 12.4, а рекомендуемое размещение ОП с различными КСС соответствовать табл. 12.5.

Общие указания по выбору ИС для ОУ также содержатся в отраслевых нормах искусственного освеще-

Таблица 12.4

Требования к ограничению неравномерности освещенности от общего освещения

Разряд зрительной работы	Источник света	Отношение максимальной освещенности к минимальной, не более
I—III	Люминесцентные лампы	1,3
	Прочие ИС	1,5
IV—VII и VIIIa	Люминесцентные лампы	1,5
	Прочие ИС	2,0

Примечание. Неравномерность освещенности, превышающая указанную, допускается при технико-экономическом обосновании.

Таблица 12.5
Рекомендуемые и наибольшие допустимые значения l/h для ОП с различными КСС, обеспечивающие равномерность освещения

Тип КСС по ГОСТ 13828-74	Значения l/h	
	рекомендуемое	наибольшее допустимое
К	0,3—0,8	0,9
Г	0,8—1,2	1,4
Д	1,2—1,8	2,1
М	1,8—2,6	2,4
Л	1,4—2,0	2,3

ния. Одним из важных условий при выборе типов ИС для внутреннего освещения производственных помещений является наличие или отсутствие требований по правильной цветопередаче. При отсутствии таких требований могут использоваться ИС типов ДРЛ и ДНаТ, в противном случае должны применяться в зависимости от требуемого уровня цветопередачи ЛЛ соответствующей цветности или лампы ДРИ.

Светотехнический выбор ОП и способов их размещения. Выбор ОП для освещения промышленных предприятий производится с учетом многих условий. Важнейшим светотехническим параметром ОП является его КСС, а также КПД. Экономичность общего освещения производственных помещений очень сильно зависит от правильного выбора ОП по светораспределению. Использование ОП с неэффективной для имеющейся высоты подвеса и принятой схемы размещения КСС приводит к перерасходу электроэнергии на 30—35%. На основе анализа многовариантного расчета ОУ производственных помещений на ЭВМ, выполнен-

ного для промышленных зданий с различными строительными решениями, и при использовании ОП с разными типовыми классификационными КСС были построены энергетически выгодные области применения массово выпускаемых ОП с различными КСС. Пример таких областей для ОП с лампами типа ДРЛ приведен на рис. 12.4 (при этом учтены все требования норм по качеству освещения).

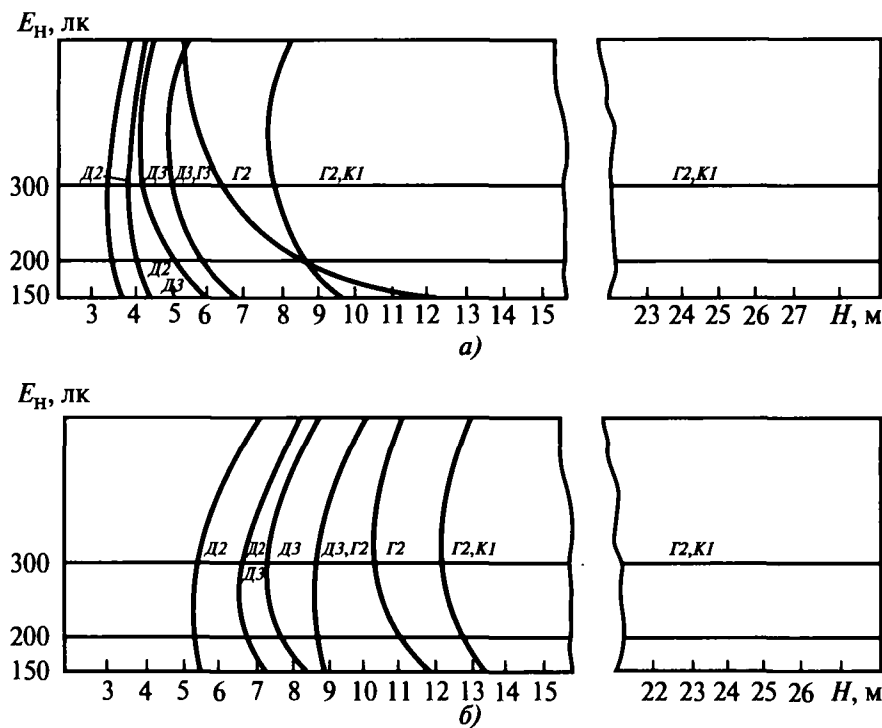


Рис. 12.4. Энергетически эффективные области применения ОП с лампами ДРЛ в зависимости от типовой КСС: а — для помещений со строительными модулями 6×6; 6×9; 6×12; 6×18 и 6×24 м; б — для помещений со строительными модулями 12×18 и 12×24 м

В практике проектирования приближенная проверка эффективности выбора ОП по светораспределению (для ОУ общего равномерного освещения) может быть проведена с помощью упрощенного критерия экономичности ОП, применение которого предполагает оценку отношения расстояния l между соседними ОП (или их рядами) к высоте h установки ОП над расчетной поверхностью и сопоставление полученных значений с рекомендуемыми для каждого типа КСС в соответствии с ГОСТ 17677-82 (см. табл. 12.5).

Допускается уменьшение рекомендуемых отношений l/h , если это обусловлено конструкцией перекрытия, а также в случаях, когда это необходимо для обеспечения нормируемых значений показателя ослепленности и коэффициента пульсации или когда при наименьшем рекомендуемом значении l/h и наименьшей возможной мощности ИС не обеспечивается нормируемая освещенность.

При необходимости создания освещенности в горизонтальной плоскости наиболее целесообразны ОП прямого света класса П, в помещениях со светлыми потолком и стенами — преимущественно прямого света класса Н. Чем выше помещение и больше нормируемая освещенность, тем более концентрированными КСС должны обладать ОП. Для более высоких помещений наиболее выгодны ОП с КСС типа К и по мере уменьшения высоты — с КСС типов Г и Д (см. раздел 6).

В помещениях, где рабочие поверхности находятся в произвольно расположенных вертикальных плоскостях, целесообразны ОП рассеянного света класса Р с полуширокой КСС типа Ш1 или равномерной типа М. Если вертикальные рабочие поверхности находятся по одну сторону от ряда ОП (например, сборочные конвейеры автомобильных заводов), то применяют ОП одностороннего светораспределения (кососветы) или наклонно устанавливают ОП с КСС типа Г или Д.

Хорошие результаты может дать применение протяженных щелевых световодов. Если необходимо создание освещенностей от общего освещения как в горизонтальной, так и в произвольно ориентированных наклонных и вертикальных плоскостях, то стремятся к возможному сближению уровней освещенности в разных плоскостях. При выборе ОП в таких случаях нужно учитывать, что отношение вертикальной освещенности к горизонтальной минимально для ОП с КСС типа К и увеличивается для ОП с КСС типов М и Ш1.

Выбор ОП по конструктивному исполнению. Возможности применения ОП в конкретных эксплуатационных условиях определяются климатическим исполнением и категорией размещения ОП [12.21] (см. раздел 6).

Конструктивное исполнение ОП должно обеспечивать также пожарную безопасность, взрывобезопасность при установке во взрывоопасных помещениях и в наружных взрывоопасных зонах, электробезопасность, надежность, долговечность, стабильность характеристик в данных условиях среды, удобство обслуживания, включая замену ИС. Степени защиты ОП от воздействий окружающей среды принимаются по

ГОСТ 17677-82 и ГОСТ 14254-80, а для взрыво- и пожароопасных помещений и зон, кроме того, в соответствии с гл. 7.3 и 7.4 ПУЭ [45]. Рекомендации по выбору ОП и степени защиты от условий среды для непожаро- и невзрывоопасных помещений и установок приведены в табл. 10.7 (см. раздел 10). Конструктивно-эксплуатационные параметры (принципиальная схема, эксплуатационная группа, вид материала, степень защиты) приведены в табл. 6.10 и 6.14 (см. раздел 6). Подробные данные об ОП содержатся в каталогах и информационных материалах предприятий.

Естественно, что номенклатура промышленных светильников отличается исключительным многообразием. На рис. 12.5 [12.22] показаны схемы некоторых наиболее распространенных светильников с ЛЛ и ГЛВД для общего промышленного освещения, а также для местного освещения. На рис. 12.6 приведен коллаж из фотографий светильников с РЛВД для освещения высоких производственных помещений, преимущественно с КСС типа Г и К.

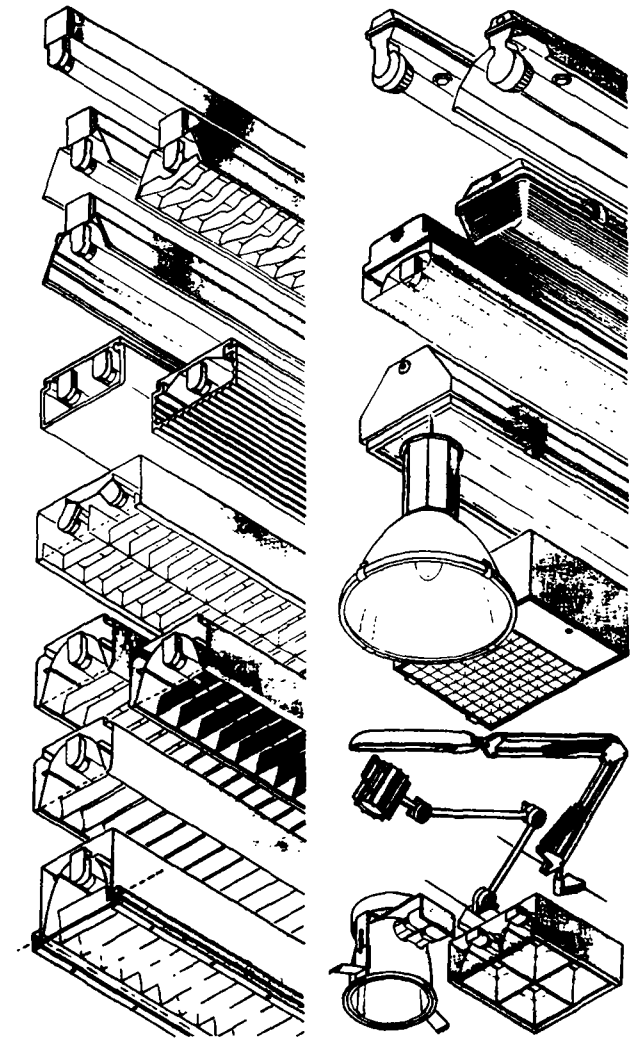


Рис. 12.5. Коллаж схем наиболее распространенных промышленных ОП [12.22]

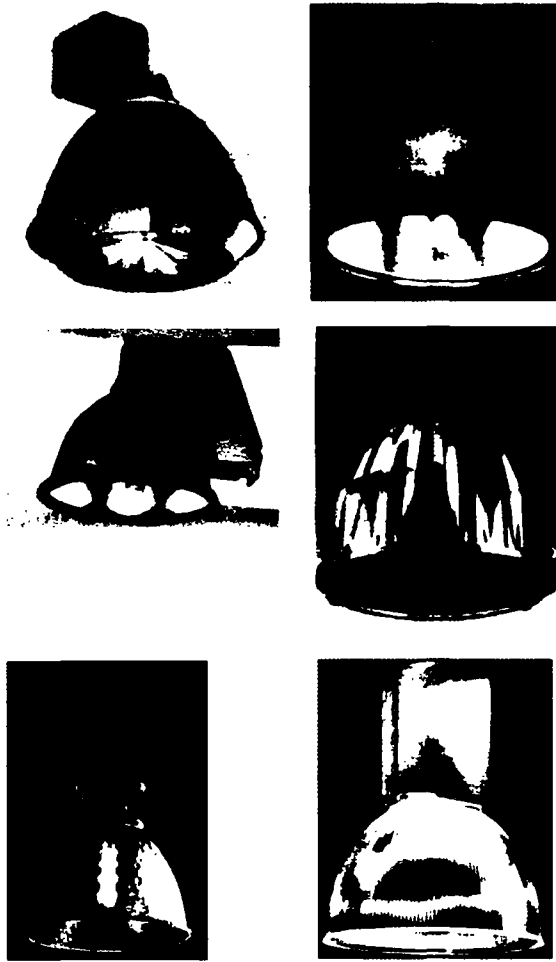


Рис. 12.6. Коллаж фотографий светильников с РЛВД для освещения высоких производственных помещений

Размещение ОП. При размещении ОП в производственных помещениях необходимо учитывать следующие основные условия: создание нормируемой освещенности наиболее экономичным путем; соблюдение требований к качеству освещения (равномерность, направление света, ограничение теней, пульсации освещенности, а также прямой и отраженной блескости); безопасный и удобный доступ для обслуживания; наименьшую протяженность и удобство монтажа групповой сети; надежность крепления ОП.

Для повышения экономичности решений ОУ могут использоваться как равномерные, так и неравномерные схемы размещения ОП. При трех и более рядах ОП в пролете предпочтение следует отдавать схемам с разнесенными центральными рядами. Если ОУ выполнена ОП с ЛЛ, то при сплошном размещении ОП в крайних рядах, в средних их целесообразно располагать с разрывами, что позволяет снизить неравномерность и обеспечить нормируемую освещенность при меньшей установленной мощности (рис. 12.7).

При выборе места и способа установки ОП необходимо считаться со строительными особенностями помещений, их высотой, наличием кранового и транспортного оборудования. Во многих помещениях производственных зданий имеются мостовые краны, загораживающие установленные выше них ОП общего освещения, что снижает освещенность в зоне размещения крана. В этом случае под мостом крана необходимо устанавливать ОП подкранового освещения, питаемые от силовой сети крана.

Промышленные ОУ питаются от трансформаторов, на шинах которых поддерживаются постоянные уровни напряжения, требуемые для ИС. Для АЭО должна обеспечиваться требуемая ПУЭ степень надежности и бесперебойности электроснабжения. Электрооборудование, применяемое в ОУ, и осветительные сети должны соответствовать условиям окружающей среды, обеспечивать взрыво-, пожаро- и электробезопасность, иметь в необходимых случаях защиту от механических повреждений. Система управления освещением должна быть удобной для эксплуатации.

В производственных помещениях с недостаточным по нормам естественным освещением или без него в необходимых случаях предусматривают установки УФ эритемного облучения длительного или кратковременного действия. Результаты многолетних работ в различных отраслях промышленности рассмотрены в [12.23–12.43].

В производственных помещениях с недостаточным по нормам естественным освещением или без него в необходимых случаях предусматривают установки УФ эритемного облучения длительного или кратковременного действия. Результаты многолетних работ в различных отраслях промышленности рассмотрены в [12.23–12.43].

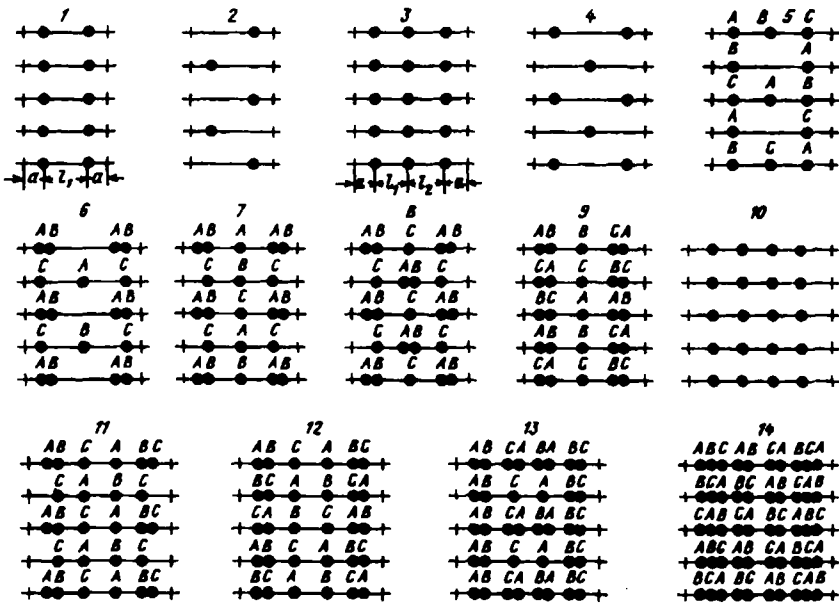


Рис. 12.7. Схемы размещения ОП: + — колонна; • — ОП; a — расстояние от стены или колонны до первого ряда ОП; l_1, l_2 — расстояния между соседними рядами ОП; А, В, С — фазы сети; 1–14 — номера схем размещения ОП

12.2. ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ ОСНОВНЫХ ОБЩЕПРОМЫШЛЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВ

12.2.1. Литейные заводы и цеха

Литейные заводы и цеха имеют самостоятельные отделения и участки, характеризующиеся различной точностью зрительной работы. Их освещение должно выполняться на основе общесоюзных и отраслевых норм искусственного освещения основных цехов предприятий станкостроительной и инструментальной промышленности.

В цехах и отделениях применяется в основном система общего освещения. Исключение составляют помещения для изготовления форм и стержней, обдирки заусенцев на стационарных металлообрабатывающих станках, исправления дефектов отливок и грунтовки, отделы технического контроля крупного, среднего и мелкого литья, участки ремонта модельно-опочной оснастки, электрощитовых и пультовых помещений, в которых следует отдавать предпочтение системе комбинированного освещения.

Основные производственные отделения и участки литейных цехов располагаются в высоких (более 8 м от пола) одно- или двухэтажных зданиях, оборудованных мостовыми кранами или тельферами (табл. 12.6). Вследствие этого для общего освещения следует использовать в основном ИС с большой единичной мощностью — лампы типов ДНаТ, ДРЛ, ДРИ. Люминес-

центные лампы целесообразно применять лишь для общего освещения участков подготовки производства и ремонта модельно-опочной оснастки, электрощитовых и пультовых помещений, цеховых лабораторий, а также для местного освещения участков изготовления форм и стержней для отливок всех классов точности, участков контроля крупного, среднего и мелкого литья и рабочих мест ремонта модельно-опочной оснастки.

Лампы накаливания еще используются преимущественно:

- для местного освещения на небольших стационарных станках при обдирке заусенцев;
- для освещения помещений с временным пребыванием людей;
- во взрыво- и пожароопасных помещениях (участки приготовления крепителей, помола угля, грунтовок, окраски, склады моделей, кладовые огнеопасных материалов) и помещениях с тяжелыми условиями среды (сырые, пыльные, с химически активной средой), если применение РЛ по техническим причинам затруднено или невозможно;
- для аварийного и эвакуационного освещения, если рабочее освещение выполнено лампами типов ДНаТ, ДРИ и ДРЛ.

Вместе с тем, в большинстве указанных случаев целесообразно применение светильников соответствующего исполнения с КЛЛ, а для помещений группы в) — с маломощными РЛ.

В табл. 12.7 приведены регламентируемые общесоюзными [44] и отраслевыми нормами искусственного

Таблица 12.6

Характерные строительные параметры основных отделений литейных цехов и заводов, условия среды, рекомендуемые ИС и ОП общего освещения

Основное отделение	Строительный модуль помещения, м	Высота, м	Среда	Источник света	Коэффициент запаса	Осветительные приборы общего освещения					
						КСС по табл. 6.5	Конструктивно-светотехническая схема по табл. 6.14	Эксплуатационная группа по табл. 6.14	Степень защиты по табл. 6.10		
Шихтовый двор и склад формовочных материалов	6×18	12—18	Пыльная	ДНаТ, МГЛ, ДРЛ	1,7	Г2, Г3 К1, К2	IA, IIA VII	4,5 6	5°0		
	6×24				1,6				5°0		
Стержневое, формовочное и плавильно-заливочное отделения, отделение первичной обработки литья	6×9	8—10 8—12 8—18 8—20		ДНаТ, МГЛ, ДРЛ	1,7	Г2, Г3 К1, К2	IA	4,5	5°0		
	6×12				1,6				IVA VII	7 6	IP52, 5°0
	6×18										
	6×24										
Смесеподготовительное и смесеприготовительное отделения	6×9	8—10 8—12 8—18 8—20	Очень пыльная	ДНаТ, МГЛ, ДРЛ	2,0	Г2, Г3 К1, К2	IA, IIA	4,5	5°0		
	6×12										
	6×18										
	6×24										
Отделения выбивки, обрубки, очистки литья	6×9				1,8	Г2, Г3 К1, К2	IVA VII	7 6	IP65, 5°0		
	6×12										
Отделение вторичной обработки литья	6×9	8—10 8—12 8—18	Нормальная	ДРЛ, МГЛ	1,5	Г2, Г3 К1, К2	IA, IIA	4,5	5°0, 5°3		
	6×12								IP20		
	6×18						IA, IIA	3,4			

Таблица 12.7

Нормы освещенности и качественные показатели освещения отделений литейных заводов и цехов при освещении РЛ*

Отделение, участок, рабочая операция	Рабочая поверхность	Разряд зрительной работы [44]	Минимальная освещенность при системе общего освещения, лк	Показатель ослепленности, не более	Коэффициент пульсации освещенности, %, не более
Шихтовый двор и склад формовочных материалов					
Погрузка и разгрузка материалов: механизированная немеханизированная	Пол, крюк крана	VI	100**	40	20
	Пол	VIII6	75	—	—
Скrapоразделочные участки	То же	VIIIa	200	40	20
Участок взвешивания грузов	Шкала весов	IVb	200	40	20
Смесеподготовительное отделение					
Установки для сушки и просева песка, глиномялки, шаровые мельницы и др.	Оборудование	VI	200	40	20
	Рабочий стол	IV6	200	40	20
Участок помола угля и его хранения	Оборудование	VI	200	40	20
Смесеприготовительное отделение					
Бегуны Дезинтеграторы, сита и др.	Рабочая поверхность бегунов	VI	300***	40	20
	Оборудование	VI	200	40	20
Транспортеры: для подачи и распределения смеси для подачи использованной смеси	Транспортер	VIIIa	200	40	20
	То же	VIII6	75	—	—
Участок приготовления глиняной суспензии и литейной краски	Рабочий стол	IV6	200	40	20
Стержневое и формовочное отделения					
Изготовление форм и стержней II и III классов точности*1	Пол, рабочий стол	III6	300	40	15
	То же	II6	750	20	15
Изготовление форм и стержней I класса точности (по выплавляемым моделям, в металлические формы, в оболочковые формы)*2	То же	II6	750	20	15
Заливка форм жидким металлом	Форма	IIIb	300	40	15
Плавильно-заливочное отделение					
Загрузка вагранок, заливка металла в ковши, пути перемещения форм с залитым металлом	Пол	VII	200	40	20
	Рабочая площадка фурменного пояса	IV6	200	40	20
Отделение выбивки					
Механическая выбивка из опок форм и стержней	Опока	VI	200	40	20
	Пол	VI	300***	40	20
Ручная выбивка из опок форм и стержней	Пол	VI	300***	40	20
Отделение обрубки и очистки литья					
Первичная обрубка и очистка литья (обрезка литников и прибылей пилами, обрубка пригаров, шпилек и др. отбойными молотками и зубилами) Вторичная обработка литья переносными и шлифовальными приспособлениями То же на стационарных металлообрабатывающих станках*1	Поверхность литья	Va	300	40	20
	Поверхность литья	III6	300	40	15
	То же	III6	300	40	15

Окончание табл. 12.7

Отделение, участок, рабочая операция	Рабочая поверхность	Разряд зрительной работы [44]	Минимальная освещенность при системе общего освещения, лк	Показатель ослепленности, не более	Коэффициент пульсации освещенности, %, не более
Очистка отливок в дробеструйных и гидropескоструйных камерах и голтовочных барабанах ОТК крупного, среднего и мелкого литья*	0,8 м от пола	VI	200	40	20
	Поверхность отливки	IIIб	300	40	15
Отделение грунтовки и окраски литья					
Зачистка поверхности, грунтовка, окраска	Обрабатываемая поверхность	IVб	200	40	20

* Освещенность при использовании ЛН следует снижать по шкале освещенности:

- а) на одну ступень при системе комбинированного освещения, если нормируемая освещенность составляет 70 лк и более;
 б) на одну ступень при системе общего освещения для разрядов II–V и VII, при этом освещенность не должна превышать 300 лк;
 в) на две ступени при системе общего освещения для разрядов VI и VIII.

** Освещенность снижена на одну ступень из-за кратковременного пребывания людей в помещении, а также из-за наличия оборудования, не требующего постоянного обслуживания.

*** Освещенность повышена на одну ступень из-за повышенной опасности травматизма.

*1 При комбинированном освещении освещенность должна быть не менее 1000 лк, в том числе от ОП общего освещения – не менее 200 лк.

*2 При комбинированном освещении освещенность должна быть не менее 3000 лк, в том числе от ОП общего освещения – не менее 750 лк.

освещения значения количественных и качественных характеристик ОУ для основных производственных участков операций литейных заводов и цехов.

Производственные помещения литейных заводов и цехов отличаются большим содержанием пыли, что требует применения ОП частично (степень защиты 5'0) или полностью (степени защиты IP53, IP63) пылезащищенных, причем предпочтение из-за меньшей запыляемости в процессе эксплуатации следует отдавать ОП двух последних степеней защиты (см. раздел 6). Из частично пылезащищенных ОП следует использовать лишь те, отражатели которых обладают высокой степенью восстанавливаемости светотехнических характеристик после чистки, т.е. ОП эксплуатационных групп 4 и 5. Предпочтение следует отдавать ОП с отверстиями в отражателях.

Рабочие места на участках литейных цехов, за исключением формовочных отделений, располагаются равномерно по помещению. Формовочные машины размещаются, как правило, вдоль пролетов с одной или двух сторон на расстоянии 0,8–1,2 м от колонн или стены, а механизированные линии формовки на участках мелкого и среднего литья – в центральной части пролетов. В связи с этим для освещения всех участков целесообразны в основном схемы равномерного размещения ОП в 2, 3 или 4 ряда в зависимости от ширины пролета (рис. 12.7). Освещение фронта формовочных машин, расположенных у краев пролета, в отдельных случаях нерационально выполнять равномерно размещенными ОП, так как их крайние ряды могут оказаться над оборудованием или сзади него. В этом случае крайние ряды ОП следует смещать к середине пролета (рис. 12.8). Это смещение надо делать с таким расче-

том, чтобы для ОП косинусного светораспределения угол α не превышал 40° , а для ОП с более узкой кривой – Г и К – $20\text{--}30^\circ$.

В табл. 12.8 приведены для примера параметры ОУ для характерных строительных решений стержневого и формовочного отделений литейных производств при освещении ОП с различным светораспределением с лампами типов ДНаТ и ДРЛ, со световыми потоками по [49, 12.4], для различных значений освещенности E_H и качественных характеристик ОУ (коэффициента пульсации $K_{п.}$, неравномерности освещенности z и показателя ослепленности P). Определение типа ОП требуемого светораспределения проводится в соответствии с табл. 12.5 и рис. 12.4. Схемы расфазировки ОП при-

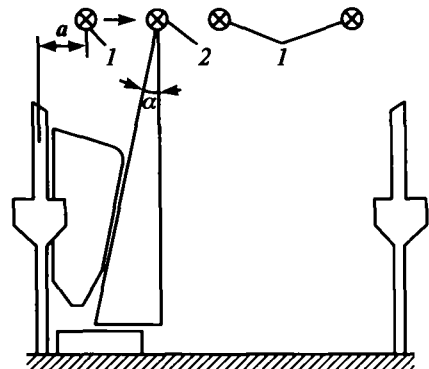


Рис. 12.8. Пример размещения ОП на формовочном участке: a – расстояние от оси колонн до первого ряда ОП; 1 – положение ОП при равномерном размещении по помещению; 2 – требуемое положение

Таблица 12.8

Параметры ОУ стержневого и формовочного отделений литейных цехов ($E_n=300$ лк; $K_z=1,7$; $K_{\Pi}=15\%$; $z=2$; $P=40$)

Строительный модуль помещения, м	Высота подвеса ОП, м	Расстояние от первого ряда ОП до стены, м	КСС ОП	Мощность ОП, Вт	Номер схемы (см. рис. 12.7), схема расфазировки ОП (см. рис. 12.9)	Количество ОП на модуль, шт.	Максимальная удельная мощность ОУ, Вт/м ²
С лампами типа ДНаТ							
6×12	10–12	1,0–3,6	ГЗ	700	4(III)	1,5	14,6
6×18	10	1,1–4,5	Г1	700	5	2,5	16,2
		2,4–2,8	ГЗ	400	1*(IV)	4,0	14,8
	12–14	1,1–4,0	ГЗ	400	7	4,0	14,8
		2,4–3,3	ГЗ	700	1(III)	2,0	13,0
		1,1–3,3	ГЗ	1000	4(III)	1,5	13,9
16–18	1,1–4,5	ГЗ	1000	4(III)	1,5	13,9	
6×24	10	1,5–2,8	ГЗ	400	4**, 8	4,5	12,0
	12–14	2,4–3,4	ГЗ	700	5	2,5	12,1
	16	1,5–2,4	ГЗ	700	5	2,5	12,1
	18	2,0–5,0	ГЗ	1000	1(III)	2,0	13,9
С лампами типа ДРЛ							
6×12	8	1,8–2,7	ГЗ	250	1*(IV)	4,0	13,9
	10	2,0–3,0	ГЗ	400	6(III)	3,0	16,7
		1,0–3,0	ГЗ	700	4(III)	1,5	14,6
		0,9–3,0	ГЗ	400	5	2,5	13,9
12	1,7–3,7	ГЗ, К1, К2	700	4(III)	1,5	14,6	
6×18	8	3,3–4,5	ГЗ	400	1*(IV)	4,0	14,8
		3,0–3,6	ГЗ	400	7	4,0	14,8
	10	4,0	ГЗ	700	1(III)	2,0	13,0
		1,1–2,6	ГЗ	1000	4(III)	1,5	13,9
	12	1,5–2,6	ГЗ, К1	1000	4(III)	1,5	13,9
		14	1,1–3,3	ГЗ, К1, К2	1000	4(III)	1,5
	16		2,8–3,3	К1, К2	700	1(III)	2,0
		18	1,3–3,6	ГЗ, К1, К2	100	4(III)	1,5
2,8–3,3	К1, К2		700	1(III)	2,0	13,0	
1,1–4,0	К2	1000	4(III)	1,5	13,9		
6×24	8	1,5	Г1	400	8	4,5	12,5
		1,7–3,4	ГЗ	400	8	4,5	12,5
	10	2,4–2,8	ГЗ	400	7	4,0	11,1
		3,4	ГЗ	700	5	2,0	12,2
	14	2,4	ГЗ	700	5	2,5	12,2
		4,8	К2	700	5	2,5	12,2
	18	4,4	К1, К2	1000	1(III)	2,0	13,9
3,0–6,0		К1, К2	1000	1(III)	2,0	13,9	

* В световой точке установлено по два ОП.

** В световой точке установлено по три ОП.

ведены на рис. 12.9. Для освещения отдельных участков в смесеприготовительном и формовочном пролетах требуется установка дополнительных ОП, компенсирующих затенение рабочих мест технологическим оборудованием. Работы в смесеприготовительном отделении связаны с большой опасностью травматизма и требуют освещения площадок перед барабанами, внутренней полости самого барабана (для контроля готовности смеси), а также ленточного конвейера по всей его длине. Площадки перед смесительными барабанами и конвейер следует освещать ОП рассеянного света, которые устанавливают над площадкой или конвейером на высоте около 3 м от пола.

На механизированных линиях мелкого и среднего литья имеется затенение отдельных рабочих мест разными технологическими коммуникациями. Для доведения освещенности на затененных местах до уровня, требуемого нормами, следует предусматривать над ними на высоте 3 м от пола пыленепроницаемые ОП прямого света (например, исполнения IP60 с КЛЛ суммарной мощностью 80 или 120 Вт).

Отдельные рабочие места литейных цехов требуют устройства местного освещения. Оно необходимо в бегунах смесеприготовительного отделения, где следует использовать пыленепроницаемые ОП с КЛЛ или ЛН. Осветительные приборы следует устанавливать на

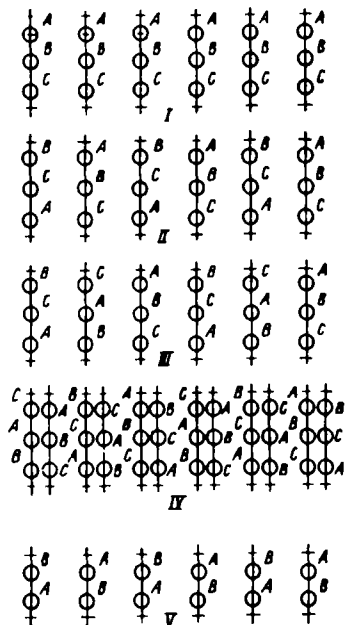


Рис. 12.9. Схемы расфазировки ОП при их равномерном размещении: I—V — номера схем расфазировки; А, В, С — фазы сети

внутренней поверхности колпака, а в случае расположения бегунов под вентиляционными зонтами — под зонтом.

Местное освещение необходимо на столах ручной формовки стержней и их визуального контроля, а также на местах технического контроля литья при определении качества поверхности и геометрии отливок. Следует применять ОП местного освещения со степенями защиты IP53 и IP54 или ОП общего освещения с той же степенью защиты, устанавливая их над столами на стене или колоннах. Для уменьшения слепящего действия ОП эксплуатационная служба предприятия должна изготовить и установить на ОП неспрозрачные защитные козырьки (рис. 12.10).

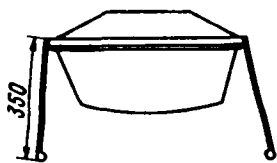


Рис. 12.10. Осветительные приборы с защитным козырьком

В отделении обрубки и очистки вторичная обработка мелкого литья (обдирка заусенцев) производится на специальных станках, имеющих, как правило, два наждачных круга и рассчитанных на двух работающих. Способ освещения станка ОП, установленным на кронштейне между наждачными кругами, неудачен, так как ОП освещает часть круга, не соприкасающуюся с обрабатываемой деталью и не видную работающему. Необходимо станок снабжать ОП с IP54 с двумя ЛЛ, расположенным за защитными козырьками наждачных кругов таким образом, чтобы световой поток падал на обрабатываемое изделие и поверхность круга, обращенную к работающему (рис. 12.11).

В ОУ с РЛ следует принимать меры по ограничению глубины пульсации светового потока в соответствии с требованиями отраслевых норм.

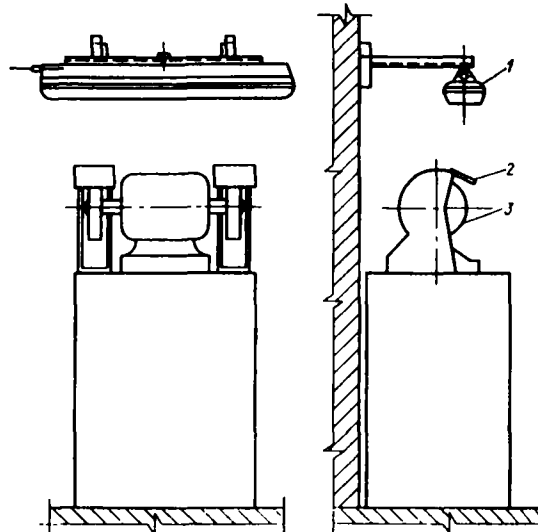


Рис. 12.11. Схема освещения наждачно-заточных станков: 1 — ОП; 2 — защитный экран; 3 — наждачный круг

При эксплуатации ОУ необходимо соблюдать следующие сроки чистки ОП: для открытых складов, отделений вторичной обработки литья, цеховых лабораторий, электрощитовых и пультовых помещений, участков подготовки производства и ремонта оснастки, цеховых складов моделей и вспомогательных материалов — не реже 1 раза в 3 месяца, для закрытых складов, шихтовых дворов, стержневых, формовочных и плавильно-заливочных отделений, отделений грунтовки и окраски литья, участков переработки и удаления отходов, регенерации смесей и осветления воды — не реже 1 раза в 2 месяца; для смессприготовительных отделений, отделений выбивки, обрубки и очистки литья — не реже 1 раза в месяц.

Аварийное освещение следует устраивать в плавильно-заливочном отделении в местах выпуска металла из печи или вагранки с минимальной освещенностью на рабочей поверхности 10 лк, в диспетчерских и пультовых помещениях, по измерительной аппаратуре которых ведется контроль за технологическим процессом плавильно-заливочного отделения, с минимальной освещенностью 30 лк. Эвакуационное, дежурное и охранное освещение территорий литейных заводов и цехов следует устанавливать в соответствии с требованиями норм [44].

Проектирование и устройство электрических сетей необходимо проводить в соответствии с разд. 9.

12.2.2. Механические и инструментальные цеха

Механические и инструментальные цеха располагаются в основном в помещениях высотой от 4 до 19 м с шириной пролета от 9 до 30 м (табл. 12.9). металлообрабатывающие станки могут располагаться рядами либо вдоль пролетов, либо под небольшими углами к продольной оси цеха (рис. 12.12). Число рядов оборудования может колебаться от одного до четырех. Основной проход между рядами станков располагается,

Характерные строительные параметры, рекомендуемые ИС и ОП общего освещения механических и инструментальных цехов с нормальными условиями среды

Строительный модуль помещения, м	Высота помещения, м	Тип ИС	Осветительные приборы общего назначения			
			КСС по табл. 6.5	Конструктивно-светотехническая схема по табл. 6.14	Эксплуатационная группа по табл. 6.14	Степень защиты по табл. 6.10
6×9	4–6	ЛЛ	Г1	1Б, 1Б	3, 4	IP20, 5'0, 5'3
	6–10	ЛЛ МГЛ, ДРЛ	Д2, Д3 Г1 Г3, К1	1Б, 1Б 1Б, 1Б 1А, 1А	2, 3 3, 4 3	
6×12	4–6	ЛЛ	Г1	1Б, 1Б	3, 4	IP20, 5'0, 5'3
	6–14	ЛЛ МГЛ, ДРЛ	Д2, Д3 Г1 Г3, К1	1Б, 1Б 1Б, 1Б 1А, 1А	2, 3 3, 4 3	
6×18 6×24	5,6–6	ЛЛ	Г1	1Б, 1Б	3, 4	IP20, 5'0, 5'3
	6–14	ЛЛ	Д2, Д3	1Б, 1Б	2, 3	
		МГЛ, ДРЛ	Г1	1Б, 1Б	3, 4	
14–20	МГЛ, ДРЛ	Г1, Г3, К1 К1, К2	1А, 1А 1А, 1А	3 3		

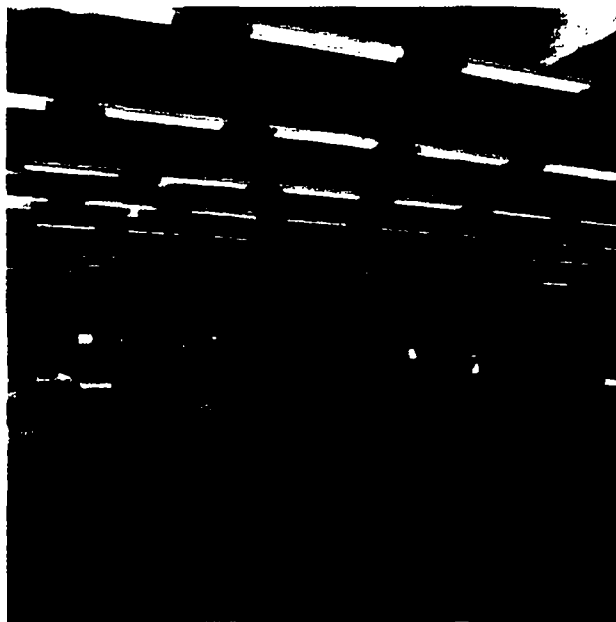


Рис. 12.12. Освещение механического цеха

как правило, в центре пролетов и имеет ширину 2–4 м. Слесарные верстаки размещаются поодиночке или рядами на специально выделенных участках.

Искусственное освещение этих цехов выполняется в соответствии с отраслевыми нормами искусственного освещения основных цехов предприятий станкостроительной и инструментальной промышленности (1985 г.) с учетом [44].

Работы на металлообрабатывающих станках и слесарных верстаках связаны с контролем правильности

установки и обработки детали, настройкой станка, контролем качества обработки детали и относятся к работам очень высокой точности, что требует устройства комбинированного освещения с преимущественным использованием для общего освещения ЛЛ типа ЛБ. Для местного освещения работ с блестящими металлическими поверхностями следует применять ЛЛ типов ЛД и ЛХБ. Использование ламп типа ДРЛ и ДРИ [12.5] возможно лишь в высоких цехах (6 м и выше), когда применение ЛЛ приводит к резкому и неприемлемому увеличению количества ОП в ОУ, значительно затрудняющему и удорожающему ее эксплуатацию. В дальнейшем по мере разработки и выпуска ОП с маломощными РЛВД область применения ламп типа ДРИ для освещения механических и инструментальных цехов может быть расширена в сторону меньших высот (менее 6 м). Лампы накаливания могут использоваться в основном для местного освещения металлообрабатывающих станков и верстаков, а также для аварийного освещения, если общее освещение выполнено ОП с РЛВД. В последнем случае преимущество следует отдавать светильникам АО с КЛЛ.

В табл. 12.10 приведены значения освещенности рабочих мест механических и инструментальных цехов при использовании для освещения РЛ. Показатель ослепленности ОУ должен быть не более 20, коэффициент пульсации от ОП общего освещения — не более 20%, от ОП местного освещения — не более 10%.

В цехах с автоматизированными станочными линиями и станками с роботами выполняются эпизодические, но точные и ответственные работы. В этих цехах комбинированное освещение с полностью включенными ОП общего освещения необходимо лишь при наладке и запуске станков, а также при эпизодических обходах автоматических линий. Для этих случаев долж-

Таблица 12.10

Минимальные освещенности механических, инструментальных и ремонтно-механических цехов при освещении РЛ

Участок, рабочая операция, оборудование	Рабочая поверхность	Минимальная освещенность при комбинированном освещении, лк	
		общее + местное	общее
Общий уровень освещенности цехов	—	—	300
Металлорежущие станки: токарные, зубо- и резьбошлифовальные, заточные, фрезерные шлифовальные, карусельные, поперечно-строгальные сверлильные, продольно-строгальные, протяжные, зубодолбежные станки с ЧПУ	Зона обработки То же То же	2000 2000 1500	200 200 200
отрезные, долбежные, станки-автоматы, автоматические линии прецизионные металлорежущие станки (например, координатно- расточные)	То же Зона обработки и управления	1000 2500	200 300
Станки с роботами: при постоянном наблюдении за ходом производственного про- цесса, при периодическом наблюдении за ходом процесса и постоян- ном пребывании людей, при ремонтно-наладочных работах при периодическом наблюдении за ходом производственного процесса и периодическом пребывании людей в помещении	Зона обработки То же	1500 750	200 200
Участок обработки концевых мер разметочные плиты, ОТК, слесар- ные, лекальные и граверные работы, контроль концевых мер	Стол	1500	300

Примечание. Минимальные уровни освещенности установлены экспериментальным путем. Разряд и подразряд зрительной работы не указываются в связи с несоответствием их уровням освещенности, установленным экспериментальным путем.

на быть также обеспечена возможность пользования переносными ОП. В остальное время для обеспечения общей ориентации и надзора за работой оборудования достаточно оставлять одно общее освещение с 50% работающих ОП.

Характер зрительной работы и условия среды в механических и инструментальных цехах допускают использование открытых как диффузных, так и зеркальных ОП со степенью защиты IP20. Выбор типа ОП общего освещения зависит от высоты его установки (см. табл. 12.9). Для освещения невысоких помещений (до 6 м) рационально использовать диффузные ОП с ЛЛ, выше 6 м — ОП с глубокой КСС. Область применения диффузных и зеркальных ОП с ЛЛ для различных строительных решений и уровней освещенности (в том числе и для $E_n = 300$ лк в механических и инструментальных цехах), определенная с помощью ЭВМ, приведена на рис. 12.13. Значительно более целесообразно вместо ЛЛ типа Т8 мощностью 40 и 65 Вт, приведенных на рис. 12.13, применять ЛЛ типа Т5 мощностью соответственно 39 или 54 Вт. Техико-экономическое сопоставление ОУ с диффузными и зеркальными ОП с ЛЛ в помещениях высотой 6–12 м показало, что приведенные годовые затраты ОУ с диффузными ОП выше, чем с зеркальными, в среднем на 10–26%, а расход электроэнергии выше на 28–32%.

Для повышения равномерности освещения и уменьшения возможности затенения рабочей поверхности корпусом работающего, конструктивными частями оборудования и т.п. ОП рекомендуется устанавливать в линии, а ОП с ЛЛ — в непрерывные линии или с небольшим разрывом, размещая их при необходимости

локализованно по отношению к оборудованию и рабочим местам. Исходя из этого при устройстве освещения механических и инструментальных цехов небольшой высоты наиболее целесообразно использование ЛЛ типа Т5.

Для создания требуемых уровней освещенности на рабочих местах и лучшего освещения механизмов управления станков рекомендуется линии ОП размещать непосредственно над рядами оборудования, но не над суппортами станков, а сдвигать их в сторону механизмов управления на 0,5–1 м, что наиболее важно при небольшой высоте установки ОП, когда возможно затенение пульта управления выступающими частями станка.

В таблицах 12.11–12.12 приведены для примера данные для расчета ОУ механических и инструментальных цехов, выполненных ОП с различным светораспределением с двумя ЛЛ мощностью 65 Вт при $E_n = 300$ лк или с лампами Т5 мощностью по 48 или 54 Вт (предпочтительнее), а также при использовании ОП с лампами типов ДРЛ и ДРИ при равномерном размещении ОП.

Все рабочие места в механических и инструментальных цехах должны иметь местное освещение. По способу освещения рабочих зон станки можно подразделить на три группы. К первой относятся токарные (универсальные, винторезные, револьверные), поперечно-строгальные, сверлильные и зубофрезерные станки. Минимально допустимая высота установки ОП до освещаемой поверхности на станках первой группы, за исключением зубофрезерных, составляет 0,3–0,4 м. Конструкция зубофрезерных станков позволяет установить

Строительный модуль, м	Высота подвеса, м	Освещенность, лк																							
		150				200				300				400				500							
		Количество светящихся линий, мощность ламп, Вт																							
		2		3		4		2		3		4		2		3		4		2		3		4	
40		65		40		65		40		65		40		65		40		65		40		65			
6×9	3,6	//																							
	4,0	//																							
	4,8	//																							
	5,2	//																							
	6,4	//																							
	7,6	//																							
6×12	8,8	//																							
	10,0	//																							
	3,6	\\																							
	4,0	\\																							
	4,8	\\																							
	5,2	\\																							
6×18	6,4	//																							
	7,6	//																							
	8,8	//																							
	10,0	//																							
	11,8–13,6	//																							
	6×24	4,8	//																						
5,2		//																							
6,4		//																							
7,6		//																							
6×30	8,8–11,8	//																							
	11,8–13,6	//																							

Рис. 12.13. Целесообразная область применения диффузных и зеркальных ОП с ЛЛ различной мощности: // — диффузные ОП; \\ — зеркальные ОП; XX — диффузные и зеркальные ОП

ОП местного освещения на высоте 0,5–0,7 м. Нормируемый уровень освещенности на этих станках должен быть обеспечен на участке диаметром 0,3–0,4 м. Ко второй группе относятся шлифовальные и полировальные станки, для которых применяют ОП с малой яркостью светящейся поверхности. Минимально допустимая высота установки ОП местного освещения составляет 0,1–0,2 м. В третью группу входят крупногабаритные станки (карусельные, горизонтально-расточные, продольно-фрезерные и т.п.), на которых необходимо освещать две рабочие зоны — обработки и управления.

Металлорежущие станки (за исключением шлифовальных и полировальных) изготовителями оснащаются ОП местного освещения, допускающими применение в них ЛН мощностью до 100 Вт (преимущественно ГЛН). Для каждого вида станка типоразмер ОП и мощ-

ность ИС определяются минимальной высотой над рабочей зоной, на которой могут быть установлены ОП.

Требования к качеству освещения металлообрабатывающих станков в основном сводятся к повышению контраста различаемых деталей с фоном, ограничению прямой и отраженной блескости и неравномерности яркости в поле зрения. Одним из средств повышения контраста рассматриваемых элементов (большая часть рельефных) на обрабатываемой поверхности является правильный выбор направления света. Исследования зависимости рельефных объектов различения на поверхности стальных образцов от направления света [12.31] позволили выявить наиболее выгодные зоны расположения ОП на различных металлообрабатывающих станках (рис. 12.14). Для создания нормируемой освещенности на фрезерных и сверлильных станках в зави-

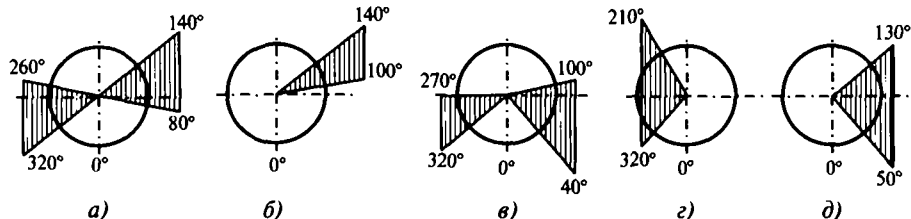


Рис. 12.14. Рекомендуемые зоны расположения ОП (заштрихованы) на металлорежущих станках (положение наблюдателя соответствует 0°): а — фрезерном; б — токарном; в — шлифовальном; г — сверлильном; д — горизонтально-расточном

Таблица 12.11

Данные для расчета параметров ОУ механических и инструментальных цехов
($E_n=300$ лк; $K_3=1,5$; $K_B=20\%$; $z=1,5$; $P=20$; двухламповые ОП мощностью 2×65 Вт или 2×54 типа Т5)

Строительный модуль помещения, м	Высота подвеса ОП, м	Количество рядов ОП	КСС ОП	Расстояние от крайнего ряда ОП до стены, м	Число ОП на модуль, шт.
6×12	3,6	2	Д2	2,7–3,0	7,0
		3	Д2	1,4–1,7	6,4
		4	Д2	0,8	6,6
		3	Г1	2,2	5,4
	4,0	4	Г1	1,3–1,7	5,2
		2	Д2	2,2–3,0	7,4
		3	Д2	0,9–1,0	6,9
		3	Г1	2,0–2,2	5,4
	4,8	4	Г1	1,3–1,7	5,2
		3	Г1	2,0–2,2	5,2
		4	Г1	1,3–1,7	5,3
	5,2	2	Г1	3,0	6,5
		3	Г1	1,7–2,2	5,4
		4	Г1	1,3–1,7	5,4
	6,4	2	Г1	2,7–3,0	6,3
		3	Г1	1,7–2,2	5,7
		4	Г1	1,5	5,9
		2	Г1	2,7–3,0	6,4
	7,6	3	Г1	1,7–2,0	6,2
		4	Г1	1,3–1,5	6,2
		2	Г1	2,2–3,0	6,7
		3	Г1	1,2–1,5	6,7
	8,8	4	Г1	0,8	6,8
		2	Г1	1,8–3,4	7,0
		3	Г1	1,2–1,5	7,1
		4	Г1	0,8–1,0	7,2
	11,8	2	Г1	1,6–3,0	7,6
		3	Г1	0,9	7,9
		4	Г1	0,8	7,8
		2	Г1	2,7–3,4	8,1
	13,6	3	Г1	1,2–1,5	8,4
		4	Г1	0,8–2,0	8,3

симости от их габаритов и типа рекомендуется устанавливать ОП местного освещения либо с одной, либо с двух сторон станины станка, на станках токарной группы — на суппорты, что обеспечивает постоянство освещенности на рабочей поверхности. В качестве примера на рис. 12.15 приведены рекомендуемые схемы установки ОП местного освещения на некоторых типах металлообрабатывающих станков. В ОП местного освещения следует использовать ЛН с диффузным или зеркальным отражателем, создающие на рабочей поверхности при прочих равных условиях освещенность в 2 раза большую по сравнению с лампами типа МО той же мощности.

На слесарных верстаках необходимо освещать три рабочие зоны — горизонтальную поверхность стола, на которой проводится разметка деталей, керновка, сборка и т.д.; вертикальную поверхность обрабатываемой детали, закрепленной в тисках, и поверхность рассматриваемого чертежа, закрепленного на задней стенке верстака. Освещение верстака целесообразно выполнять двумя ОП: с ЛЛ и ЛН (наиболее целесообразно — с ГЛН или КЛЛ), причем ОП с ЛЛ освещает горизонтальную плоскость верстака и вертикально закреплен-

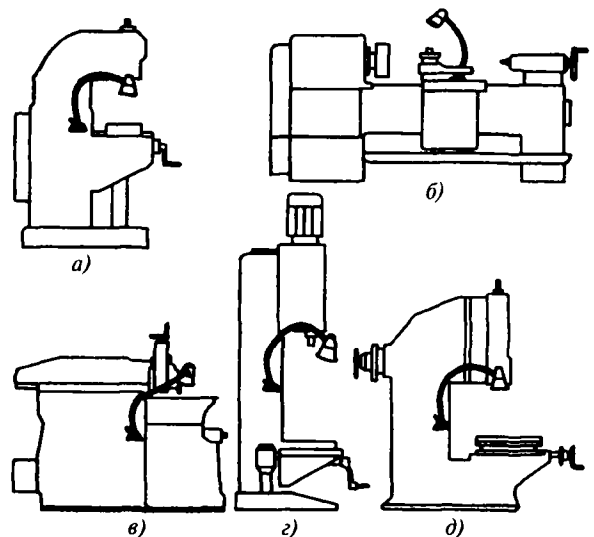


Рис. 12.15. Схема установки ОП местного освещения на металлообрабатывающих станках: а — вертикально-фрезерном; б — токарном; в — поперечно-строгальном; г — сверлильном; д — долбежном

Параметры ОУ для механических цехов ($E_n=300$ лк; $K_3=1,5$; $K_n=20\%$; $\tau=2$; $P=20$)

Строительный модуль помещения, м	Высота подвеса ОП, м	Расстояние от первого ряда ОП до стены, м	КСС ОП	Мощность ОП, Вт	Номер схемы (см. рис. 12.7), схема расфазировки ОП (см. рис. 12.9)
С лампами типа ДРЛ					
6×12	7,6	1,0–2,2	ГЗ	20	9
	8,8	0,8–3,0	ГЗ	400	6
	10,0 11,8	1,0–4,8	ГЗ	700	1(III)
	13,6	1,0–4,8	К2	400	2**
6×18	7,6	1,1–3,3	Г1	700	3(III)
	8,8	1,1–2,1	ГЗ	400	8
	10,0	1,1–2,1	К1	400	8
		1,1	ГЗ	400	8
	11,8	1,5–2,1	ГЗ	700	5
	13,6–15,4	2,8–3,3	К2	400	1*(IV)
	17,2–19,0	1,5	К2	400	7
		1,3–3,3	К2	700	5
С лампами типа ДРИ					
6×12	7,6–8,8	0,8–3,0	ГЗ	400	5
		0,8–3,0	ГЗ	700	4(I, III)
	10,0	2,2	К1	400	1(II, III, V)
	11,8–13,6	1,0–2,4	ГЗ, К1	700	4(I, III)
	2,2–4,8	ГЗ	1000	2(II, III)	
6×18	7,6	1,5–2,1	ГЗ	400	6
	8,8–10,0	1,1–3,0	ГЗ, К1	400	3(III)
	11,8–13,6	3,3–4,5	ГЗ, К1	700	1(II, III, V)
	15,4	2,4–4,5	К1, ГЗ	700	1(II, III, V)
		1,1–4,5	К1, ГЗ	1000	4(I, III)
	17,2–19,0	1,8–2,4	К1, ГЗ	700	1(II, III, V)
	1,1–4,5	К1, ГЗ	1000	4(I, III)	

* В световой точке установлено по два ОП.

** В световой точке установлено по три ОП.

ный на нем чертеж, а ОП с ЛН, установленный с правой стороны от тисков, — обрабатываемую деталь. При установке верстаков в ряды наиболее целесообразно использование ОП с ЛЛ, установленных в линию. Если на верстаках выполняются лекальные работы, то на ОП может быть установлен непрозрачный диффузный экран для просматривания деталей «на просвет» (рис. 12.16).

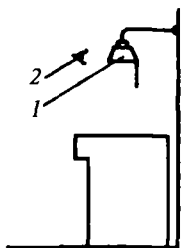


Рис. 12.16. Схема контроля деталей «на просвет»: 1 — ОП; 2 — положение глаз работающего

Освещение разметочных плит и столов контроля следует выполнять ОП с ЛЛ и рассеивателями.

При проектировании общего освещения механических и инструментальных цехов требуется вводить коэффициент запаса, равный 1,5. Сроки чисток ОП в соответствии с отраслевыми нормами искусственного ос-

вещения для основных цехов предприятий станко-строительной и инструментальной промышленности должны составлять: для механических цехов — 4 раза в год, для инструментальных — 2 раза в год.

Проектирование ОУ необходимо производить в соответствии с общими рекомендациями, изложенными в разд. 10.

12.2.3. Сборочные цеха

Сборочные цеха имеются во многих отраслях промышленности, поэтому строительные параметры их помещений чрезвычайно разнообразны: если сборочные цеха приборостроительных или часовых заводов и ювелирных фабрик располагаются, как правило, в многоэтажных зданиях с высотой потолков до 6 м и пролетами шириной 6 или 9 м, то на автомобильных, станко-строительных или трансформаторных заводах они часто размещаются на огромных площадях многопролетных промышленных корпусов с высотой до нижнего пояса ферм до 18 м и более при ширине пролета 18–24 м. Наиболее распространенные сочетания модулей и высот, характерные для сборочных цехов различ-

Модуль помещения, м	Высота помещения, м													
	3,6	4,2	4,8	5,4	6,0	7,2	8,4	9,6	10,8	12,6	14,4	16,2	18,2	
6×6														
6×9														
6×12														
6×15														
6×18														
6×21														
6×24														
6×30														

Рис. 12.17. Характерные строительные параметры сборочных цехов

ных отраслей промышленности, приведены на рис. 12.17.

С точки зрения организации технологического процесса и вытекающих отсюда возможных способов освещения все сборочные цеха можно подразделить на две группы: цеха сборки крупных изделий (машины, станки, механизмы и т.п.) и цеха сборки мелких изделий (инструменты, приборы и т.д.) (рис. 12.18, а, б). Общей сборке изделий первой группы предшествуют их узловая комплектация и сборка. Они проводятся на вынесенных отдельно участках или рабочих местах. При выполнении узловой сборки работающий должен следить за правильностью подбора и установки отдельных деталей узла, производить такие операции, как подгонка, шабровка, электромонтаж и т.п., а также контролировать свою работу визуально и по приборам, индикаторам, мерительному инструменту и другим приспособлениям. Объекты различения могут находиться в любой плоскости, как снаружи, так и внутри изделий. Сборку узлов всегда следует производить при комбинированном освещении. При технической невозможности оборудования местного освещения в виде исключения может быть использована система общего локализованного освещения.

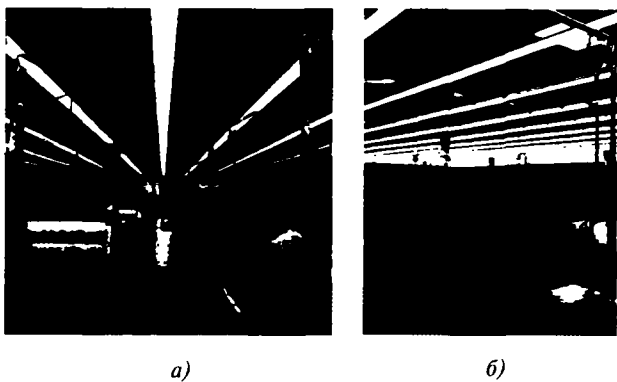


Рис. 12.18. Освещение цехов сборки мелких изделий [12.22]

Общая (генеральная) сборка крупных изделий, как правило, происходит на специальных площадках или поточных линиях, расположенных на уровне пола, либо на больших, иногда подвесных, конвейерах, где работают стоя. Эти работы связаны с необходимостью точной подгонки отдельных узлов при их установке на станину, раму или корпус и последующей регулировки их взаимного расположения. Оборудование может быть освещено с помощью системы общего освещения. Иногда, например, при необходимости подсветки вертикальных поверхностей или внутренних полостей требуется сочетание общего равномерного и локализованного освещения.

Сборка мелких изделий осуществляется обычно на конвейерах различной конфигурации либо на верстаках. За теми и другими работают сидя. Эта сборка складывается из трех основных циклов: узловой сборки отдельных частей, последующей чистовой сборки и контроля готовых изделий. Часто между чистовой сборкой и контролем производится целый комплекс регулировочно-наладочных работ, настройка, тарировка и градуировка изделий. На узловой и общей сборке мелких изделий должна быть использована система комбинированного освещения. Только там, где установка ОП местного освещения невозможна вследствие специфики технологии, допускается использование одного общего освещения.

Размеры объектов различения в сборочных цехах разных отраслей промышленности могут быть весьма различны: от 0,1 мм в часовом или ювелирном производстве до одного или даже нескольких миллиметров и даже сантиметров, например, при сборке кузова автомобиля. Не надо, однако, полагать, что малые объекты различения встречаются только на изделиях малых размеров и наоборот. Например, сборка мощных электродвигателей или магнитопроводов больших трансформаторов связана с необходимостью обнаружения и устранения мельчайших зазоров, выступов и неровностей. При различных сборочных операциях встречаются работы как очень высокой, так и средней точности. Характерные примеры нормативных требований к освещению РЛ различных сборочных работ приведены в табл. 12.13. Как видно, при системе комбинированного освещения наиболее часто встречаются работы, требующие освещенности 1000–2000 лк, а при системе общего освещения — 300 лк. Для тех случаев, когда сборку какого-либо из видов можно проводить как при комбинированном, так и при общем освещении, в табл. 12.13 приведены нормируемые показатели для обеих систем. Если допустимо использование только одной системы освещения, то данные для второй системы не указываются. При проектировании общего освещения (независимо от принятой системы освещения) следует максимально снижать неравномерность освещенности в зоне размещения рабочих мест. При этом в соответствии с рекомендациями [44] отношение максимальной освещенности к минимальной, определяющее коэффициент неравномерности, не должно превышать заданных значений.

Ввиду большого количества отраслей производства, имеющих сборочные цеха, привести все их в табл. 12.13

Примеры норм освещенности и качественных показателей* освещения
для сборочных цехов различных отраслей промышленности (освещение РЛ)

Цех, участок, рабочая операция	Рабочая поверхность	Плоскость, в которой нормируется освещенность (Г — горизонтальная, В — вертикальная)	Разряд зрительной работы	Минимальная освещенность, лк			Показатель ослепленности, не более	Коэффициент пульсации, % не более*
				Комбинированное освещение		общее освещение		
				общее + местное	общее			
Сборочные цеха станкостроения***								
Участок сборки Общий монтаж станков Сборка инструмента	Сборочные единицы	Г, В	IIIб	1000	200	—	20	10
	Станок	В	IIIб	—	—	300	20	10
	Стол	Г	—	2000	300	—	20	20/10
Сборочные цеха машиностроения*4								
Сборка крупных изделий Сборка крупных изделий на конвейерах Сборка мелких изделий	Изделие	Г	IVа	750	200	300	40	20
	Изделие	Г	IVа*5	1000	200	300	40	20
	Изделие	Г	IIIа	2000	200	500	40	1
Сборочные цеха приборостроения*4								
Участок предварительной узловой сборки с проверкой качества и доводкой Участок чистовой сборки	Изделие	Г	Iб	4000	400	—	20	10
	Изделие	Г	Iб+1*6	5000	500	—	20	10
Сборочные цеха электромашиностроения*4								
Сборка коллектора Сборка средних и крупных машин Укладка обмоток для средних и крупных машин	Изделие	Г	IIIб	1000	200	300	40	15
	Изделие	Г	IIIв	750	200	300	20	15
	Поверхность пазов	Г	IIIв	750	200	300	20	15
Сборочные цеха электроламповых заводов*4								
Сборка поколей для ЛЛ Сборка ЛЛ, монтаж ножек Укладка спирали, откачка и наполнение, поклевание	Станок	Г, В	IVб	500	200	200	40	20
	Стол	Г	IVв	2000	200	—	20	10
	Оборудование	Г	IIIб	1000	200	300	40	15
Сборочные цеха светотехнических заводов*4								
Сборка ОП Сборка ПРА Сборка ЭУ темного цвета	Рабочий стол	Г	IIIб	1000	200	300	40	15
	Стол	Г	IVб	500	200	200	40	20
	Конвейер	Г	IIIа	2000	200	500	40	15
Сборочные цеха заводов по производству низковольтной аппаратуры и комплектных устройств*7								
Сборка комплектных устройств	Изделие	Г	IIIб+1*6	1250	200	400	20	15

Цех, участок, рабочая операция	Рабочая поверхность	Плоскость, в которой нормируется освещенность (Г — горизонтальная, В — вертикальная)	Разряд зрительной работы	Минимальная освещенность, лк			Показатель ослепленности, не более	Коэффициент пульсации, не более*
				Комбинированное освещение		общее освещение		
				общее + местное	общее			
Сборочные цеха других электротехнических производств***								
Ручная сборка преобразователей	Стол	Г	IIIб	1000	200	—	40	15
Сборка трансформаторов:								
I—III габаритов	Стеллаж	Г	IIIб	1000	200	300	40	15
IV—VI габаритов	Стеллаж	Г	IVб	500	200	200	40	20
Ручная сборка узлов, блоков, батарей источников тока:								
крупных изделий	Стол	Г	IVб	500	200	—	40	20
средних изделий	Стол	Г	IIIб	1000	200	—	40	15
мелких изделий	Стол	Г	IIб	3000	300	—	20	10
очень мелких изделий	Стол	Г	Iб	4000	400	—	20	10
Сборочные цеха деревообрабатывающих заводов*8								
Участок сборки дверных коробок и оконных блоков	Дверное полотно, створка	Г	IVв	—	—	200	40	20
Визуальный контроль сборки	Изделие	Г	IIIг+I*6	500	200	300	40	15
Комплектовка и контрольная сборка мебели	Изделие	Г	IVб	—	—	200	40	20
Сборка лыж	Стол	Г	IVв	400	200	—	40	20

* Коэффициент неравномерности регламентируется в соответствии с [44].

** Числитель — максимально допустимое значение $K_{\text{п}}$ для общего освещения в системе комбинированного, знаменатель — для местного освещения и для системы общего освещения.

*** Общий уровень освещенности по цеху на уровне 0,8 м от пола должен быть не менее 500 лк.

*4 Общий уровень освещенности по цеху на уровне 0,8 м от пола должен быть не менее 300 лк.

*5 Нормированная освещенность увеличена, так как объекты различения расположены на движущихся поверхностях.

*6 Нормированная освещенность повышена, так как напряженная зрительная работа производится непрерывно в течение более 50% рабочего дня.

*7 Общий уровень освещенности по цеху на уровне 0,8 м от пола должен быть не менее 400 лк.

*8 Общий уровень освещенности по цеху на уровне 0,8 м от пола должен быть не менее 200 лк.

не представляется возможным. Определение значений нормируемых показателей ОУ для сборочных цехов других отраслей промышленности должно проводиться на основе [44] по конкретным технологическим данным, а при наличии для рассматриваемого производства отраслевых норм искусственного освещения — по ним и другим справочным материалам [12.1–12.5]. Выбор предпочтительного ИС для освещения во многом определяется нормативными требованиями к качеству ОУ. При выполнении практически всех сборочных операций имеют место зрительные работы I–IV разрядов, для освещения которых в соответствии с [44] должны применяться только РЛ. Целесообразный тип РЛ выбирают в процессе расчета конкретных вариантов. При наличии светотехнически равноценных вариантов, реализуемых с помощью различных ИС, предпочтение следует отдавать наиболее экономичным из них как по полным годовым затратам, так и по расходу электроэнергии.

Необходимость обеспечения для точных зрительных работ комфортной световой среды приводит к предпочтительному использованию РЛ с малой пульсацией светового потока и спектром, достаточно близким к дневному свету. Поэтому для общего освещения невысоких помещений, когда повышенные требования к цветоразличению и цветопередаче отсутствуют, в первую очередь рекомендуются ЛЛ типа ЛБ. При этом в низких помещениях (высота потолков до 6 м) освещение может быть реализовано ОП с КСС Д1, Д2 и Д3, а в более высоких — Г1 и Г2. Однако необходимость обеспечения достаточно высоких уровней освещенности (см. табл. 12.14) в сравнительно высоких цехах требует мощных ОУ. Малая единичная мощность ЛЛ (от 36 до 80 Вт) приводит в этих условиях к резкому и во многих случаях неприемлемому росту количества ОП. Этого можно избежать, используя РЛВД мощностью от 250 до 2000 Вт.

Применение ламп типа МГЛ и ДРЛ в ОУ высоких сборочных цехов (вместо ЛЛ) может сделать освещение более компактным и удобным в эксплуатации, но требует специальных мер по улучшению цветовой среды в помещении и снижению пульсации освещенности на рабочих местах [12.27]. Первое условие может быть частично реализовано благодаря окраске стен и оборудования в теплые, светлые тона. Когда это возможно, целесообразно также применять лампы типа МГЛ или ДРЛ с улучшенным спектром, их модификации с ортованадатом иттрия, активированным европием (см. разд. 3).

Для снижения пульсации освещенности на рабочих местах сборщиков при использовании ламп типа МГЛ и ДРЛ необходимо предусматривать их равномерную расфазировку на три фазы питающего напряжения.

Наиболее перспективными для освещения сборочных цехов являются МГЛ, которые могут вытеснить лампы типа ДРЛ ввиду меньшей пульсации их светового потока и лучшей цветопередачи.

При существующих технических и экономических параметрах МГЛ (см. разд. 3) их применение может быть экономически выгодно (по полным годовым за-

тратам) в сборочных цехах средней и большой высоты, где ОП с ЛЛ трудно эксплуатировать, а ОУ с лампами типа ДРЛ менее экономичны, чем с МГЛ, а в высоких цехах (6–10 м) необходимо применение большого количества маломощных ДРЛ, располагаемых по две или по три в одной точке для ограничения пульсации освещенности на рабочей поверхности. С энергетической точки зрения применение ОП с МГЛ выгодно при всех высотах. Лампы НЛВД можно использовать при освещении цехов средней и большой высоты (более 7 м), где проводится генеральная сборка (зрительные работы не выше IV разряда), а требования к цветоразличению и цветопередаче отсутствуют. В сборочных цехах со зрительными работами III разряда РЛВД в силу специфики характеристик их излучения следует применять в ОУ смешанного света, сочетая НЛВД либо с лампами типа ДРЛ, либо с МГЛ.

Условия среды в большинстве сборочных цехов нормальные, что позволяет использовать для их освещения открытые ОП со степенью защиты IP20. (На встречающихся иногда участках с тяжелыми условиями среды должны быть использованы ОП с высокой степенью защиты.) Выбор конкретного типа ОП производится с учетом строительных параметров помещения и специфики зрительной работы (табл. 12.14).

В некоторых сборочных цехах, где объекты наблюдения сильно блестят, зрительные условия могут быть ухудшены за счет возможности возникновения отраженной блескости. Для снижения слепящего действия отраженных бликов необходимо использовать ОП с уменьшенной яркостью выходного отверстия, в частности ОП с рассеивателями. В сборочных цехах, где по условиям технологии в помещении предусмотрены подвесные потолки (например, термостатные участки цехов прецизионного станкостроения), должны использоваться встраиваемые ОП. В случаях, когда необходимо обеспечить высокий уровень горизонтальной и вертикальной освещенности на большинстве рабочих мест, можно использовать ОП с КСС типа Ш1. Когда на основных рабочих местах и в цехе требуется обеспечить только нормируемый уровень горизонтальной освещенности, а необходимую вертикальную освещенность надо создать в одной или двух фиксированных плоскостях (например, в плоскости сборочного конвейера на автомобильном заводе), освещение выполняется ОП общего равномерного освещения, дополненными ОП общего локализованного освещения. В этом случае ОП для локализованного освещения используют ОП-кососветы.

Для многих сборочных цехов, где рекомендуется система комбинированного освещения, необходимы ОП местного освещения. Местное освещение в зависимости от технологии производства и характера организации рабочих мест может создаваться двумя различными способами. При первом каждое рабочее место комплектуется индивидуальными ОП местного освещения. Второй способ пригоден для освещения группы компактно расположенных в пространстве рабочих мест, таких, например, как конвейеры, поточные линии и т.п. В этом случае первый способ может также применяться, но с меньшей экономичностью. Более эффек-

Строительный модуль помещения, м	Высота помещения, м	Условия среды	Тип ИС	Коэффициент запаса*	КСС по табл. 6.5	Конструктивно-светотехническая схема по табл. 6.14	Эксплуатационная группа по табл. 6.14	Стенка
Сборные пещи с нормальными и тяжелыми условиями среды								
9×6-6×18	3,6-6	Нормальные	ЛЛ	1,5	Л2, Л3	ЛБ	3, 4, 5	IP20
9×6-6×30	6-12	Нормальные	ЛЛ	1,5	Л2	ЛБ	4	IP20
9×6-6×30	6-10	Нормальные	ЛЛ	1,5 и 1,4	Л1, Л2, Л3	ЛА	4, 5	IP20, 5,0
9×6-6×30	6-10	Нормальные	ЛЛ, ЛЛЛ	(1,8 и 1,6)	Л1	ЛА, ЛАА	6, 7	5,0, IP52
9×6-6×30	6-10	Нормальные	ЛЛ, ЛЛЛ	1,5 (1,8)	Л3, Л1, Л2	ЛА, ЛАА	4, 5	IP20, 5,0
9×6-6×30	6-10	Нормальные	ЛЛ, ЛЛЛ	1,5 (1,6)	Л3, Л1	ЛА, ЛАА	4, 5	IP20, 5,0, 5,3, 5,0
9×6-6×30	6-10	Нормальные	ЛЛ, ЛЛЛ	1,4 (1,6)	Л3, Л1	ЛА, ЛАА	5	IP20, 5,0
9×6-6×30	6-10	Нормальные	ЛЛ, ЛЛЛ	1,4 (1,6)	Л1, Л3, ЛТ	ВА, ЛА, ЛАА	5, 6, 7	IP52
9×6-6×30	8 и выше	Нормальные	ЛЛ, ЛЛЛ	1,5 (1,8)	Л3, Л1, Л2	ЛА, ЛАА	4, 5	IP20, 5,0, 5,3
9×6-6×30	8 и выше	Нормальные	ЛЛ, ЛЛЛ	1,4 (1,6)	Л3, Л1, Л2	ЛА, ЛАА	5	IP20
9×6-6×30	8 и выше	Нормальные	ЛЛ, ЛЛЛ	1,4 (1,6)	Л3, Л2, К1	ЛАА	5	IP20, 5,0
9×6-6×30	10 и выше	Нормальные	ЛЛ, ЛЛЛ	1,5 и 1,4	Л1, Л2, Л3	ЛАА	4, 5	IP20, 5,0
9×6-6×30	10 и выше	Нормальные	ЛЛЛ	1,5 (1,8)	Л3, К1	ЛА	4	IP23
Сборные пещи с повышенными температурами и т.п.								
6×6-6×24	3,6-10	С повышенными температурами и т.п.	ЛЛ	1,3	Л3	ЛВ	6	IP54
6×6-6×24	3,6-10	С повышенными температурами и т.п.	ЛЛ	1,3	Л1, Л3	ЛВ, ЛБ	6, 3	IP53, IP20, IP54
6×6-6×24	3,6-10	С повышенными температурами и т.п.	ЛЛ	1,3	Л1, Л3	ЛВ, ЛВБ, ЛЛБ	6, 4, 2	IP54, IP20, 2,0
Сборные пещи с блещущими излучениями								
6×6-6×18	3,6-6	Нормальные	ЛЛ	1,5	Л1	ЛЛБ	2	2,0
6×6-6×18	3,6-6	Нормальные	ЛЛ	1,5	Л1	ЛЛБ	2	2,0
6×6-6×18	3,6-6	Нормальные	ЛЛ	1,5	Л1	ЛЛБ	2	2,0
При необходимости обеспечения вертикальной освещенности в целом по пещу								
6×6-6×24	3,6-10	Нормальные	ЛЛ, ЛЛЛ	1,5	Л1	ЛЛБ	4	IP20, 5,0
При необходимости обеспечения вертикальной освещенности в отдельных зонах помещения (локализованное освещение)								
6×6-6×30	3,4-8	Нормальные	ЛЛ	1,5	Кососвет	ЛЛБ	4	IP20
6×6-6×30	3,4-8	Нормальные	ЛЛЛ	1,4	Кососвет	ЛЛБ	5	5,0
Местное освещение отдельных рабочих мест								
—	—	Нормальные	ЛЛ	—	—	—	3	IP20, 2,0
—	—	Тяжелые	ЛЛН	—	—	—	6	IP54
Местное освещение групп компактно расположенных рабочих мест								
—	—	Нормальные	ЛЛ	—	—	—	3	IP20, 2,0
—	—	Нормальные	ЛЛ	—	—	—	4	IP20
—	—	Нормальные	ЛЛ	—	—	—	2	2,0
—	—	Нормальные	ЛЛ	—	—	—	4, 2	IP20

Рекомендации по выбору ОП для сборных пещей

тивно освещение группы рабочих мест единой ОУ местного освещения для всей группы, например выполняемое с помощью линии ОП местного освещения. Местное освещение участков регулировки или настройки ряда приборов имеет определенную специфику, связанную с повышенными требованиями к ограничению радиопомех. Иногда такие рабочие места оборудуют в специальных экранированных кабинах. В этом случае для местного освещения могут быть использованы ОП с ЛН. При необходимости применения ОП местного освещения в средах, существенно ухудшающих светотехнические свойства отражателей, следует использовать в ОП зеркальные ЛН или МГЛ с внутренним отражающим слоем. Такие ОП удобны также для освещения мест наладки, регулировки и градуировки, где используются приборы со световыми указателями, требующие при общем затемнении рабочего места локализованного высвечивания отдельных малых зон (шкалы, элементы управления и регулировки и т.п.).

Выбор способа расположения ОП общего освещения в сборочных цехах зависит от принятого размещения технологического оборудования. В цехах, где сборочные работы ведутся на напольных площадках или на монтажных столах и верстаках, расположенных равномерно по всей площади помещения, ОП целесообразно располагать линиями, ориентированными вдоль помещения параллельно стене с окнами и размещенными по ширине пролета таким образом, чтобы создавалась равномерная освещенность по цеху (рис. 12.19, а, ж, з, и). На участках, где сборка происходит на рабочих столах и верстаках, организованных в ряды, или на конвейерах (при отсутствии блестящих деталей) ОП надо располагать линиями над рядами рабочих мест (рис. 12.19, в-д).

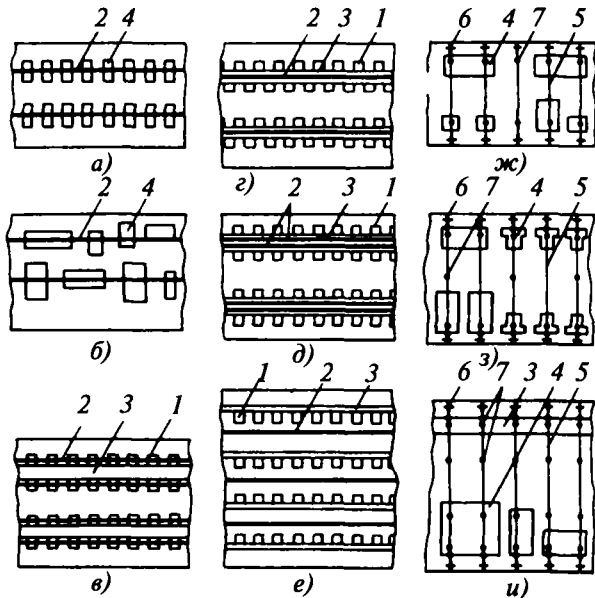


Рис. 12.19. Схемы размещения ОП общего освещения в сборочных цехах: 1 — рабочее место за конвейером; 2 — линия ОП с ЛЛ; 3 — конвейерная линия (транспортёр); 4 — оборудование; 5 — ферма; 6 — колонна; 7 — ОП с РЛВД

Особенно важно следовать этой рекомендации в цехах сборки крупных изделий, где возможно затемнение рабочих мест элементами оборудования или самими изделиями (например, при сборке трансформаторов больших габаритов, крупных электрических машин и др.). В этом случае применяется только система общего локализованного освещения (рис. 12.19, б).

При сборке блестящих изделий наилучшие условия зрительной работы обеспечиваются при размещении ОП, позволяющем избежать попадания отраженных бликов в глаза работающих. Часто это может быть достигнуто в значительной степени или почти полностью размещением ОП над проходами между рядами рабочих мест (рис. 12.19, е). Использование ОП, имеющих пониженную яркость выходного отверстия, позволяет значительно ослабить ту часть бликов, которую не удалось устранить.

При выполнении особо точных работ рекомендуется использовать специальные ОП местного освещения с увеличительными линзами, заэкранированными ИС (прямыми или кольцевыми ЛЛ и ЭПРА) (рис. 12.20).



Рис. 12.20. Местное освещение работ на сборке приборов с электронными схемами [12.46]

Осветительные приборы общего освещения с ЛЛ рекомендуется устанавливать в линии, сплошные или с разрывами, с продольным расположением в них ОП. Линии ОП можно монтировать на монтажных коробах, шинпроводах, крепить на тросах, стальных трубах, перфорированных профилях и др. (см. раздел 9). Круглосимметричные ОП с РЛВД крепятся в основном к фермам перекрытий с интервалом в линии, равным шагу колонн, т.е. 6 или 12 м.

При сборке очень мелких изделий, требующей высоких уровней освещенности, двусторонний конвейер должен освещаться двумя линиями ОП местного освещения, каждая из которых проходит над рядом рабочих мест (рис. 12.21—12.22).

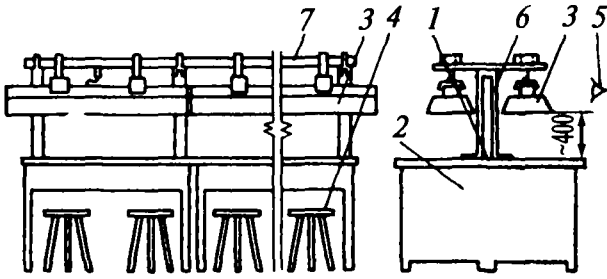


Рис. 12.21. Схема местного освещения конвейера сборки малых изделий (работа сидя): 1 — транспортер; 2 — стол сборки; 3 — ОП с ЛЛ; 4 — стул; 5 — расположение глаз работающего; 6 — стойка для крепления линий ОП на магистральном шинопроводе; 7 — магистральный шинопровод

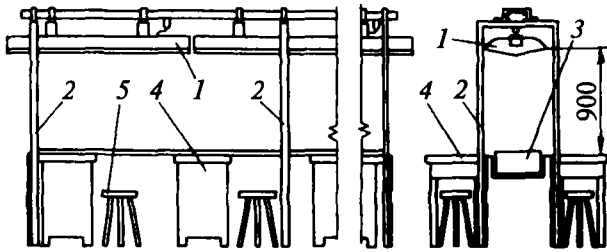


Рис. 12.22. Схема местного освещения конвейера сборки изделий средних размеров (работа сидя): 1 — линия ОП с КСС типа Л или Ш1; 2 — стойка; 3 — транспортер; 4 — стол; 5 — стул

Сборка изделий средних и больших размеров иногда проводится на панольных или подвесных конвейерах (работа стоя или сидя). Необходимая в этих условиях вертикальная освещенность в плоскости конвейера может быть обеспечена с помощью локализованного освещения, реализуемого по схемам, приведенным на рис. 12.14 и 12.15. Линии кососветов с ЛЛ, освещающие вертикальные поверхности, следует располагать так, чтобы расстояние между ними и освещаемой плоскостью (в плане) было приблизительно равно высоте подвеса ОП над горизонтальной поверхностью, проходящей на уровне глаз работающего. Пример ОУ с использованием кососветов представлен на рис. 12.23 и 12.24.

Прогрессивным является вариант освещения сборочных конвейеров с помощью линий протяженных шелевых световодов с МГЛ большой мощности, оптические шели которых развернуты в сторону собираемых изделий.

Расчет ОУ общего освещения, удовлетворяющей нормативным требованиям, может быть произведен на основе материалов, содержащихся в разд. 8 и в [26]. Варианты типовых решений общего освещения сборочных цехов, расположенных в помещениях с типовыми строительными параметрами, приведены для примера в табл. 12.15–12.16. Они рассчитаны для наиболее часто

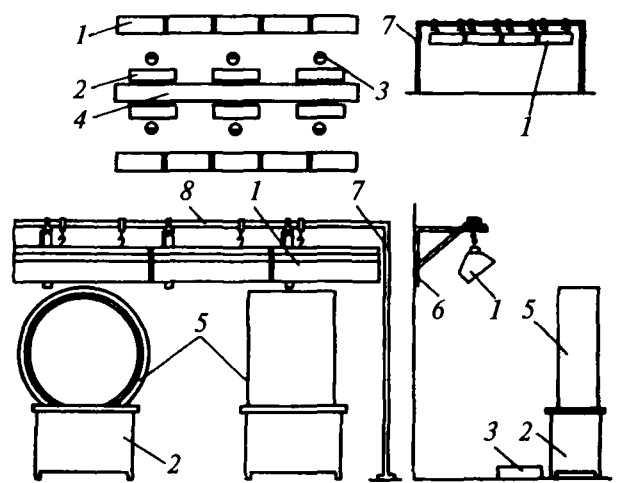


Рис. 12.23. Схема локализованного освещения конвейера сборки крупных изделий (работа сидя): 1 — линия кососветов; 2 — стол электромонтажника; 3 — рабочее место; 4 — транспортер; 5 — изделие; 6 — кронштейн для крепления ОП; 7 — стойка с магистральными коробами; 8 — магистральный короб

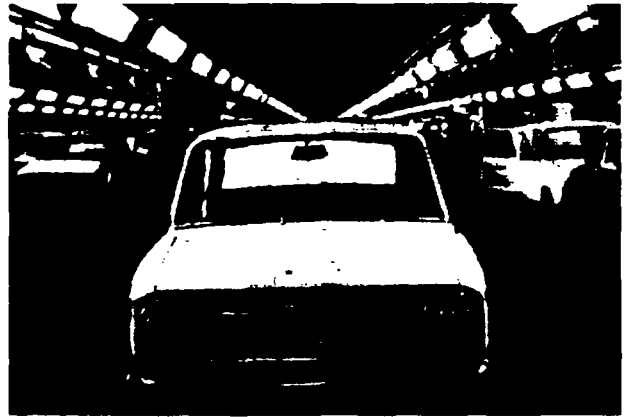


Рис. 12.24. Освещение сборочного конвейера на автозаводе

встречающегося в сборочных цехах уровня освещенности $E_n = 300$ лк.

Электрическая часть ОУ выполняется в соответствии с рекомендациями разд. 9.

Более полно вопросы, связанные с решением освещения сборочных цехов, рассмотрены в [12.23–12.26].

12.2.4. Гальванические цеха

Гальванические цеха широко распространены на заводах многих отраслей промышленности. Основным технологическим процессом в гальванических цехах является электрохимическое нанесение на различные изделия или их элементы тонких защитных пленок, в том числе металлопокрытия. Наиболее часто встречаются никелирование, хромирование, цинкование, оксидирование, лужение, меднение, иногда электро-фосфатиро-

Таблица 12.15

Параметры ОУ сборочных цехов (двухламповые ОП с ЛЛ мощностью 65 Вт или ЛЛ типа Т5 мощностью по 48 Вт и рассеивателями, $E_n=300$ лк; $K_3=1,5$)

Строительный модуль помещения, м	Высота подвеса ОП, м	Количество рядов ОП	Расстояние от крайнего ряда ОП до стены, м	Число ОП на модуль, шт.*	Максимальная удельная мощность ОУ, Вт/м ²
6×9	4	3	1,0	4,2	20,2
		2	1,5	4,4	21,2
	6	3	1,0	5,4	26,
		2	1,5	5,4	26,
	8	3	1,0	6,3	30,3
		2	1,5	6,0	28,9
6×12	4	3	1,5	6,0	21,7
		2	2,0	5,6	20,2
	6	3	1,5	7,2	26,0
		2	2,0	6,8	24,6
	8	3	1,5	8,4	30,3
		2	2,0	8,6	31,1

* Приведены данные для четырехламповых ОП. При двухламповых ОП их количество должно быть удвоено.

Таблица 12.16

Параметры ОУ сборочных цехов
($E_n=300$ лк; $K_3=1,5$; ОП с лампами типа ДРИ)

Строительный модуль помещения, м	Высота подвеса ОП, м	Расстояние от первого ряда ОП до стены, м	Светораспределение ОП	Мощность ОП, Вт	Номер схемы (см. рис. 12.7), схема расфазировки (см. рис. 12.9)	Максимальная удельная мощность ОУ, Вт/м ²
6×9	6,4–7,6 8,8–10,0	0,6–1,4 0,6–3,6	Г2	400	1(II, III)	14,8
			Г2, К1	400	1(II, III)	14,8
6×12	7,6–8,8	0,8–3,0 0,8–3,0	Г2	400	6	13,8
			Г2	70	5(I, III)	14,6
	10,0	2,2	К1	400	1(II, III, V)	11,1
		1,0–2,4	Г2, К1	700	5(I, III)	14,6
		2,2–4,8	Г2	1000	3(II, III, V)	13,9
6×18	7,6 8,8–10,0	1,5–2,1 1,1–3,0	Г2	400	7	13,0
			Г2, К1	400	4(III)	11,1
	11,8–13,6	3,3–4,5	Г2, К1	700	1(II, III, V)	13,0
		2,4–4,5	К1, Г2	700	1(II, III, V)	13,0
		1,1–4,5	К1, Г2	1000	5(I, III)	13,9
		1,8–2,4	К1, Г2	700	1(II, III, V)	13,0
17,2–19,0	1,1–4,5	К1, Г2	1000	5(I, III)	13,9	
	6×24	7,6 8,8	Г2	400	8	11,1
Г2			400	7	9,7	
10,0		1,5–2,0	Г2	1000	5(III)	10,4
		1,5–4,8	Г2	700	6	12,1
11,8		1,5–5,3	Г2	700	6	12,1
		2,8–4,4	Г2, К1	700	6	12,1
13,6–15,4 17,2–19,0		4,4	К1	700	6	12,1
		2,4–6,9	К1, Г2	1000	1(II, III, V)	13,9
	2,4–3,2	К1, Г2	2000	3(III)	13,9	

* В световой точке установлено по два ОП.

** В световой точке установлено по три ОП.

вание; в отдельных отраслях производства (часовые заводы, ювелирные фабрики, предприятия по изготовлению оргтехники и др.) используются золочение, серебрение, а также специфическая электрохимическая обработка — анодирование. Технологическая цепочка складывается из следующих основных элементов: подготовительных операций (приготовление растворов, мойка, травление), нанесения защитного покрытия с контролем его качества; обработки поверхности изделия (шлифовка или полировка). В соответствии с этим в цехе, как правило, имеются три участка, расположенных обычно в отдельных помещениях. Мойка и травление производятся в специальных ваннах. Для нанесения металлопокрытия изделия проходят несколько ванн. Иногда отдельные процессы осуществляются в колоколах. Наиболее современным технологическим оборудованием являются автоматизированные линии, включающие в себя весь цикл операций металлизации. Контроль качества покрытия обычно осуществляется непосредственно на «выходе» из ванн, иногда эта операция выполняется на отдельном столе или даже локализовано на специальном участке, вынесенном за пределы помещения с ваннами. Шлифовка или полировка происходит на специальных станках, в том числе и многопозиционных. Контроль качества обработки поверхности осуществляется шлифовщиком. Если качество процесса полировки или шлифовки существенно влияет на эффективность производственного процесса или товарную стоимость изделий, например при изготовлении корпусов наручных часов или ювелирных изделий, то визуальный контроль отделки выносится на отдельное рабочее место. При необходимости обнаружения «на глаз» очень малых дефектов пост контроля может быть оборудован проекционным аппаратом или увеличительной линзой.

Зрительные работы на участке покрытия сводятся к проверке качества подготовки поверхности деталей, визуальному контролю операций по загрузке деталей в ванны, контролю показаний электроизмерительных приборов и проверке качества покрытий на выходе из ванн. В отделениях шлифовки и полировки визуальный контроль качества обработки покрытия осложняется наличием блестящих поверхностей, что может приводить к ослепленности работающих из-за высокой отраженной блескости. Требования к цветоразличению, как правило, отсутствуют, за исключением случаев, когда необходимо различать детали с двумя близкими «на глаз» видами покрытия (например, при комплектации элементов корпусов наручных часов и наличии двух видов золочения). В большинстве гальванических цехов общепромышленных производств объекты различения (элементы обрабатываемой детали или дефекты в покрытии) имеют размер от 0,15 до 1 мм, их фотометрический контраст с фоном — малый или средний. Приготовление растворов не требует различения мелких деталей. В ряде случаев бывает необходимо лишь общее наблюдение за ходом производственного процесса.

Изложенные выше особенности зрительных задач требуют применения системы комбинированного освещения при выполнении ОУ на участках шлифовки и

полировки, а также на местах контроля показаний измерительных приборов и проведения визуальных контрольно-браковочных операций. (Измерительные приборы допустимо освещать также системой общего локализованного освещения.) Во всех остальных случаях, т.е. при освещении участков покрытия, приготовления растворов, мойки и обезжиривания, следует использовать систему общего освещения. В табл. 12.17 приведены нормируемые показатели освещения для гальванических цехов, рекомендуемые действующими нормативными документами.

При освещении цехов металлопокрытий рекомендуется использовать РЛ. Применение ЛН допустимо лишь в отдельных случаях, когда необходимые по условиям среды ОП с РЛ отсутствуют.

Гальванические цеха, за редким исключением, располагаются в небольших помещениях малой и средней высоты (3—10 м). Цеха металлопокрытий с автоматизированными линиями, вдоль которых обычно проложены на высоте около 1 м от пола мостики для прохода обслуживающего персонала, имеют высоту около 6—10 м. Ширина пролета лежит в пределах от 6 до 18 м. Помещения бывают одно- и двухпролетные. Верхнее пространство может быть заполнено коробами вентилиционной системы и элементами внутрицеховых транспортных систем (кранами, кран-балками, монорельсами и др.).

При высоте потолка до 6 м для освещения целесообразно использовать ОП с ЛЛ или с маломощными лампами типа МГЛ, а при больших высотах — с МГЛ или лампами типа ДРЛ. Участки покрытия относятся к сырым помещениям с химически активной средой, поэтому для их освещения следует использовать ОП специального исполнения со степенью защиты не менее 5°0, отражатели которых должны иметь покрытие Т или СТ.

На участках предварительной обработки (например, в камерах травления, обезжиривания и др.) по условиям технологии иногда необходимо локализованное размещение ОП общего освещения. При возможности попадания ОП в зону высокой концентрации паров кислот или щелочей целесообразны ОП с корпусом из фарфора или стеклопластика. Применение ОП с корпусами из алюминия в щелочных средах недопустимо.

Для освещения участков шлифовки или полировки, характеризующихся повышенным содержанием пыли и возможностью возникновения отраженной блескости, а также для рабочих мест ОТК рекомендуется применять уплотненные ОП с рассеивателями. Их использование позволяет значительно снизить отраженную блескость, возникновение которой возможно при наблюдении блестящих изделий. Уменьшение ослепленности достигается снижением яркости выходного отверстия ОП, перекрытого рассеивателем, а также рациональным размещением ОП относительно рабочих мест.

Выбор типа ОП местного освещения участков визуального контроля зависит от того, где расположены рабочие места — в том же помещении, что и ванны, или на отдельном участке, вынесенном в помещение с нормальными условиями среды. В первом случае ОП дол-

Нормируемые показатели ОУ гальванических цехов

Цех, участок, рабочая операция, оборудование	Рабочая поверхность	Плоскость, в которой нормируется освещенность	Разряд зрительной работы	Минимальная освещенность, лк			Показатель ослепленности, не более	Коэффициент пульсации, %, не более
				Комбинированное освещение		общее освещение		
				общее + местное	общее			
Общий уровень освещенности по цеху	0,8 м от пола	Горизонтальная				300	—	—
Ванны (травление, мойка, металлопокрытие), автоматические линии металлопокрытий	0,8 м от пола	Горизонтальная	IVб+1*			300	40	20
Измерительные приборы	Шкала	Плоскость расположения шкалы	IVг	300	200	200	40	20
Шлифовальные или полировальные станки	Обрабатываемое изделие	Горизонтальная	IIв	2000	300**		20	20***/10
Рабочие места ОТК с визуальным контролем качества изделий	Стол	Горизонтальная	IIв	2000	300**		20	20***/10

* Освещенность повышена на одну ступень из-за опасности травматизма.

** Освещенность от общего освещения нормируется по разряду III, ОП местного освещения необходимо перекрывать свстотраивающим стеклом. При яркости рассеивателя в пределах 2500–4500 кд/м² соблюдение указанной нормы освещенности не обязательно.

*** Числитель — максимально допустимое значение для общего освещения в системе комбинированного, знаменатель — то же для местного освещения и для системы общего освещения.

Примечание. Неравномерность освещенности на рабочих местах не должна превышать 2,0 при использовании ОП с лампами типа МГЛ, ДРЛ или ЛН и 1,8 при использовании ОП с ЛЛ.

жен иметь степень защиты не менее S⁰, во втором могут быть использованы обычные ОП местного освещения.

Местное освещение шлифовальных станков должно осуществляться специальными ОП местного освещения с рассеивателями, имеющими степень защиты не менее IP5X (рис. 12.25).

Рекомендуемые типы ОП для освещения гальванических цехов приведены в табл. 12.18.

Технологическое оборудование в гальванических цехах располагается, как правило, рядами вдоль помещения, изредка бывает равномерно распределено по всей площади. Осветительные приборы общего освещения с любыми ИС рекомендуется устанавливать в линии, ориентированные вдоль помещения; ОП с ЛЛ надо располагать продольными линиями. На участках

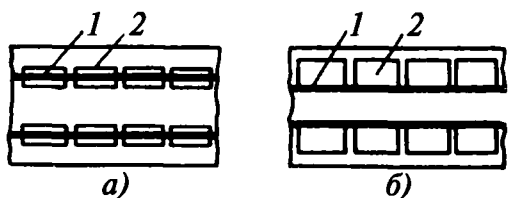


Рис. 12.25. Схемы расположения линий ОП над ваннами в гальванических цехах: а — ширина ванн не более 0,8 м; б — более 0,8 м; 1 — линии ОП; 2 — ванны

шлифовки или полировки, а также приготовления растворов, где возможно затенение рабочих мест корпусом работающего, линии ОП должны быть расположены непосредственно над рядами оборудования. На участках мойки, травления и металлопокрытий расположение ОП над серединой ванн не всегда удобно, так как может затруднить обслуживание ОП со стремянки. При ширине ванн до 0,8 м ОП могут быть расположены непосредственно над ними (рис. 12.25, а), а при ширине более 0,8 м линии ОП целесообразно сместить (приблизительно на 0,5 м), разместив их над тем краем ванн, у которого расположены рабочие места (рис. 12.25, б). Расстояние между линиями ОП общего освещения целесообразно выбирать таким же, как расстояние между рядами оборудования, или кратным ему. При произвольном размещении оборудования по помещению линии ОП необходимо размещать равномерно, насколько это возможно, особенно при загруженности верхнего пространства вентиляционными коробами и внутрицеховыми транспортными системами. При этом ОП всегда должны быть установлены так, чтобы было исключено затенение рабочих мест любыми коммуникациями. В низких помещениях (высота 3–4 м) ОП общего освещения следует монтировать на потолок; в более высоких цехах ОП, особенно с рассеивателями, должны быть несколько опущены, что облегчает их эксплуатацию и повышает экономичность ОУ. Один из вариантов ОУ общего освещения для

Таблица 12.18

Рекомендуемые типы ОП для освещения гальванических цехов

Строительный модуль помещения, м	Высота помещения, м	Условия среды	Тип ИС	Коэффициент запаса K_3	КСС по табл. 6.5	Конструктивно-светотехническая схема по табл. 6.14	Эксплуатационная группа по табл. 6.14	Степень защиты по табл. 6.10
Общес равномерное освещение участков мойки, травления, покрытия								
9×6—6×18	3—6 6—10	Химически агрессивная	ЛБР	1,6	Д1, НТ*	ВПБ	4, 5, 7	5'3, 5'4, IP54, IP65 5'3, 5'4, IP54 IP54 IP52, IP53, 5'0, 5'3 IP52
			ЛЛ	1,8	Д1, Д2, Д3	ИБ, ИБ	3, 4, 5	
			ДРИ, ДРЛ	1,6	Д1	IVA	7	
			ДРИ, ДРЛ	1,6	Д1	IA, IIA, IVA	5, 6, 7	
			ДNaT			VIA	5, 6, 7	
			ДРИ, ДРЛ	1,6	Д1, Д3	VIA	5, 6, 7	
Локализованное освещение в травильных камерах								
Любой	Любая	В-Ia, В-Iб, В-II, В-IIa и химически агрессивная Химически агрессивная В-Ia, В-Iб, В-II, В-IIa	ЛБР, ЛЛ,	1,6	М	IVБ	4, 5	IP54
			КЛЛ					IP56
			ЛЛ, КЛЛ	1,6	Д1	IVБ	6	IP54
			КЛ, ЛН	1,3	Д1, М	VA, VIA	5, 6	IP54
Общес освещение участков шлифовки и полировки								
6×6—6×18	3—6	Пыльная	ЛЛ	1,6	Д1	IVБ	6	IP54
Местное освещение отдельных рабочих мест Столы контроля								
Любой	Любая	Химически агрессивная Нормальные	ЛЛ	1,0	Д1	IVБ	6	IP54
			ЛЛ	1,0		ИБ, ИБ	2	2'0, IP20
Шкалы приборов								
Любой	Любая	Химически агрессивная Нормальные	ЛЛ	1,0	Д1	IVБ	6	IP54
			ЛЛ	1,0	Косовст	ИБ, ИБ	2	IP20, 2'0
			КЛЛ, ЛН	1,0	Д1	IB	2	IP20

* Нстиповая КСС.

гальванических цехов приведен для примера в табл. 12.19. Эти варианты рассчитаны для относительно больших помещений, у которых длина в 6—7 раз превышает высоту. Поскольку часто встречаются гальванические цеха, расположенные в сравнительно небольших помещениях, приведенные данные должны быть скорректированы в сторону некоторого увеличения количества ОП (на 15—25%).

На участках травления, мойки и обезжиривания необходимо локализованное размещение ОП общего освещения (например, в травильных камерах и др.). При выборе места расположения ОП следует учитывать необходимость ограничения ослепленности от близко расположенного ОП. Осветительный прибор выгодно размещать таким образом, чтобы попадание прямых лучей от него в глаза работающего исключалось за счет экранирования элементами оборудования, либо, если это затруднительно, благодаря специально установленному защитному козырьку.

Местное освещение должно быть предусмотрено на участках шлифовки и полировки, а также на рабочих местах ОТК и контроля за показаниями измерительных приборов. На шлифовальных и полировальных станках следует использовать ОП местного освещения преиму-

щественно с ЛЛ, уплотненные, имеющие степень защиты по пыли не менее 5, устанавливая его за защитным козырьком из прозрачного стекла таким образом, чтобы световой поток падал на обрабатываемое изделие и часть круга, обращенную к работающему. Поскольку обрабатываемые поверхности обладают высоким коэффициентом зеркального отражения, выходное отверстие ОП местного освещения должно быть перекрыто рассеивателем.

Для местного освещения рабочих мест контролеров, расположенных непосредственно у рядов ванн, т.е. в помещении с химически активной средой, должны быть использованы ОП со схемами IV со специальным козырьком. Если рабочие места контроля вынесены в отдельное помещение с нормальными условиями среды, то для оборудования установок местного освещения могут быть использованы ОП местного освещения в нормальном исполнении. При большом размере столов контроля, а также при наличии группы таких рабочих мест местное освещение может быть реализовано по схеме на рис. 12.25. При использовании системы общего локализованного освещения измерительных приборов, имеющих шкалы в вертикальной плоскости, в качестве ОП может быть использован зеркальный

Параметры ОУ для гальванических цехов
($E_H=300$ лк; $K_3=1,6$ и $1,8$; ОП с ЛЛ, КСС типов Д1 и Д2)***

Строительный модуль помещения, м	Высота подвеса ОП, м	Количество светящихся линий	Расстояние от крайнего ряда ОП до стены, м	Типы ОП (по конструктивно-светотехнической схеме) и ИС, значение K_3							
				Со схемой IVB с ЛБ40, $K_3=1,6$		Со схемой УПГ с ЛБР80, $K_3=1,6$		Со схемой ПБ с ЛБ65, $K_3=1,8$		Со схемой ПВ с ЛБ65, $K_3=1,8$	
				Количество ОП на модуль, шт.	Удельная мощность ОУ, Вт/м ²	Количество ОП на модуль, шт.	Удельная мощность ОУ, Вт/м ²	Количество ОП на модуль, шт.	Удельная мощность ОУ, Вт/м ²	Количество ОП на модуль, шт.	Удельная мощность ОУ, Вт/м ²
6×9	4	2	2,0	17,0*	25,2	10,0*	29,6	9,0*	21,7	9,2*	22,1
	6	2	2,0	21,2**	31,4	13,0*	38,5	10,6*	25,5	11,1*	26,7
	8	2	2,0	26,2**	38,8	13,8*	40,8	12,7*	30,6	13,0*	31,3
6×12	4	2	2,5	20,8**	23,1	10,8*	24,0	10,3*	18,6	11,1*	20,0
		3	1,5	22,2*	24,7	—	—	—	—	—	—
	6	2	2,5	24,3**	27,0	14,0*	31,1	13,3*	24,0	13,6*	24,6
		3	1,5	26,1*	29,0	—	—	—	—	—	—
	8	2	2,5	27,6**	3,07	16,2**	35,6	14,5*	26,2	15,8*	28,5
		3	1,5	29,4*	32,7	17,4*	38,6	—	—	—	—

* Сдвоенная линия ОП.

** Строченная линия ОП.

*** При использовании в ОП ЛЛ типа Т5 соответствующего номинала можно значительно снизить удельную мощность ОУ.

ОП — кососвет с ЛЛ. При необходимости локализованного освещения шкал приборов, расположенных в помещении с химически агрессивной средой, следует использовать ОП со схемами IV со специальным козырьком.

Более подробно вопросы нормирования освещения в цехах металлопокрытий, а также выбора конкретных решений и способов реализации ОУ изложены в [12.1, 12.2 и 12.29].

Электрическая часть ОУ должна выполняться в соответствии с рекомендациями раздела 9.

12.2.5. Окрасочные цеха

Окраска выпускаемой продукции является неотъемлемым процессом подавляющего большинства промышленных предприятий и производств. Широкая номенклатура окрашиваемых изделий и требования к их качеству и внешнему виду определяют разнообразие способов окраски и сушки и использование обширного ассортимента лакокрасочных материалов.

Окрасочные производства размещаются преимущественно в изолированных помещениях с широким диапазоном строительных параметров, обусловленных габаритами и конфигурацией окрашиваемых изделий, принятыми способами окраски, сушки и производственной программой. В ряде случаев неогражденные окрасочные и сушильные камеры или участки бескамерной окраски и сушки располагаются в общих технологических потоках сборочных цехов. Нанесение лакокрасочных материалов на подготовленные к окраске поверхности производится разными способами — пневматическим и безвоздушным распылением, распылением в электростатическом поле, окунанием, струйным обливом и др. Изделия окрашиваются в специальных

камерах, а также непосредственно в цехах на сборочных и окрасочных позициях. Окрашенные изделия подвергаются сушке чаще всего в камерах разнообразных конструкций и принципов действия и реже на местах окраски.

Наиболее широкое распространение в окрасочном производстве нашли глифталевые, пентафталевые, перхлорвиниловые, нитроцеллюлозные и некоторые другие лаки и эмали с входящими в их состав легковоспламеняющимися растворителями и разбавителями с температурой вспышки паров ниже 61°С. К последним относятся парафиновые углеводороды, ароматические углеводороды, смешанные растворители.

Для паров лакокрасочных материалов характерны следующие общие признаки:

— плотность паров достаточно велика и превышает плотность воздуха в 2–5 раз. Поэтому эти пары при аварийной ситуации, нарушениях технологического процесса и недействующей вентиляции будут стремиться к скоплению в нижних зонах помещений;

— значения нижних пределов концентраций области воспламенения паров разных растворителей в воздухе в сотни раз превышают допустимые по санитарным нормам.

Повышенные требования к устройству надежной вентиляции (резервные вентиляционные агрегаты, блокировки, автоматическая сигнализация и др.) являются препятствием для образования в помещениях повышенных концентраций взрывоопасных паров, существенно превышающих допустимые по санитарным нормам [12.30].

При нормальных производственных условиях вентиляционные установки, блокировочные и автоматические устройства обеспечивают в рабочих зонах и в по-

менениях концентрации в воздухе паров растворителей в пределах установленных санитарными нормами и ГОСТ 12.1.005-76.

При проектировании ОУ в окрасочных производствах важна правильная классификация взрыво- и пожароопасности окружающей среды.

Многочисленными исследованиями воздушной среды, расчетами и опытом эксплуатации установлено, что в помещениях окраски при нормальных условиях образование взрывоопасных концентраций паров легко воспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ) в воздухе невозможно. Это исключает отнесение помещений окрасочных цехов и отделений к взрывоопасным зонам класса В-I. Однако необходимо считаться с тем, что при нарушении технологических процессов, в аварийных ситуа-

циях и при недействующей вентиляции в помещениях и на отдельных участках возможны повышенные и даже взрывоопасные смеси паров ЛВЖ с воздухом.

В зависимости от конкретных условий основные помещения, участки и установки окрасочных цехов преимущественно относятся к взрывоопасным зонам. Рекомендуемая классификация зон окрасочных цехов, в технологических процессах которых используются легковоспламеняющиеся растворители, приведена в табл. 12.20.

К качеству большинства окрашиваемых изделий предъявляются требования соответствия их цвета цвету эталона или утвержденного образца. Окрашенные поверхности должны быть ровными, гладкими, глянцевыми или матовыми, однотонными или с четкими надпи-

Таблица 12.20

Взрывоопасные зоны окрасочных цехов

Наименование зоны	Пространство, занимаемое зоной
Зона класса В-Ia	
Изолированные окрасочные помещения при расчетном объеме взрывоопасной смеси более 5% объема помещения	Весь свободный объем помещения
То же при расчетном объеме взрывоопасной смеси менее 5% свободного объема помещения	На расстоянии 5 м по горизонтали и вертикали от открытых проемов окрасочных и сушильных камер или от краев вытяжных решеток и габаритов окрашиваемого оборудования (при бескамерной окраске)
Окрасочные участки в общих технологических потоках производства в помещениях с невзрывоопасной средой, кроме окраски в электростатическом поле: при общей площади окрасочных и сушильных камер или участков бескамерной окраски не более 200 м ² при общей площади до 2000 м ² или 10% в помещениях площадью 2000 м ² и более при общей площади окрасочных и сушильных камер или участков бескамерной окраски более 200 м ² при общей площади помещения до 2000 м ² или 10% при общей площади помещения более 2000 м ²	На расстоянии 5 м по горизонтали и вертикали от открытых проемов окрасочных и сушильных камер или от краев вытяжных решеток и габаритов окрашиваемого оборудования (при бескамерной окраске) В зависимости от расчетного объема взрывоопасной смеси аналогично изолированным окрасочным помещениям
Краскозаготовительные отделения	Весь свободный объем помещения
Кладовые, склады, насосные станции и другие помещения для хранения и раздачи лакокрасочных материалов и ЛВЖ	Весь свободный объем помещения
Вытяжные вентиляционные камеры из окрасочных помещений и участков класса В-Ia	Весь свободный объем помещения
Зона класса В-Iб	
Участок окраски в электростатическом поле	На расстоянии 5 м по горизонтали и вертикали от проемов камер или в радиусе 5 м вокруг ручных краскораспылителей

Примечания:

1. Зоны в помещениях за пределами указанных в таблице 5-метровых зон следует считать невзрывоопасными и непожароопасными, если там отсутствуют другие факторы, создающие в них взрыво- или пожароопасность.
2. Приведенная классификация зон учитывает наличие блокировок, обеспечивающих надежную работу вентиляции, средств автоматического пожаротушения на участках окраски и других защитных мероприятий, обусловленных ПУЭ и специальными правилами [12.30].
3. Классы взрыво- и пожароопасности зон других, не указанных в таблице вспомогательных и подсобных помещений окрасочных цехов, соответствуют классам аналогичных помещений общепромышленного назначения.
4. Зоны участков окраски водоразбавляемыми лакокрасочными материалами относятся к невзрывоопасным и непожароопасным.

ями и другими изображениями. Качество лакокрасочных покрытий, нанесенных на поверхность изделий, по их внешнему виду регламентируется ГОСТ 9.032-74, согласно которому окрашиваемые поверхности в зависимости от дефектов и изъянов, таких как наличие посторонних частиц в лакокрасочном покрытии (включения), шагрень (рябь на поверхности покрытия), потеки, риски, штрихи, волнистость, разнооттеночность и неоднородность рисунка, подразделяются на 7 классов. При покрытиях класса I допускаются только некоторые едва различимые дефекты, при покрытиях классов II–VI размеры дефектов допустимы в определенных пределах, при покрытиях класса VII показатели внешнего вида покрытий не нормируются. Поскольку нормативные материалы, устанавливающие соотношения между классами покрытий и характеристиками зрительной работы по СНиП [44], отсутствуют, в табл. 12.21 приведены соответствующие рекомендации.

Таблица 12.21

Рекомендуемое соотношение классов лакокрасочных покрытий и разрядов зрительной работы

Класс покрытия по ГОСТ 9.032-74	Размер допускаемых включений на поверхности, мм	Характеристики зрительной работы по СНиП [44]		
		Точность	Наименьший размер объекта различения, мм	Разряд
I	0,2	Очень высокая	0,15–0,3	II
II, III	0,2–0,5	Высокая	0,3–0,5	III
IV, V	0,5–1	Средняя	0,5–1	IV
VI	1–1,5	Малая	1–5	V
VII	–	Очень малая	–	VI

При проектировании ОУ выбор освещенности и качественных характеристик освещения окрасочных цехов и отделений проводится по отраслевым нормам освещенности. Однако в отраслевых нормах уровни освещенности в окрасочных цехах (для соответствующих производственных процессов) имеют существенные различия, вызванные, главным образом, расхождениями между классами качества покрытий и разрядами зрительной работы. В связи с этим в табл. 12.22 приведены рекомендуемые значения освещенности и качественные показатели освещения для характерных помещений и установок окрасочных цехов.

Специфика окрасочных работ обуславливает целесообразность преимущественного использования ИС, обеспечивающих различение цветов и оттенков. Наиболее эффективны для этой цели ЛЛ типов ЛХБ (640), ЛД (765) и ЛДЦ (954). Когда по светотехническим, конструктивным или экономическим соображениям применение ОП с ЛЛ нецелесообразно, при отсутствии повышенных требований к цветопередаче могут быть применены лампы типа МГЛ или ДРЛ (предпочтительно с «красным отношением» 10%). Применение ЛН в окрасочных цехах и отделениях допустимо при нецеле-

сообразности или невозможности установки ОП с РЛ или по иным причинам.

В соответствии с характером производства и возможностью образования взрывоопасных смесей в окрасочных помещениях необходимо устройство рабочего и эвакуационного освещения. Размещение ОП эвакуационного освещения должно производиться с учетом затенений, создаваемых окрасочными и сушильными камерами и коммуникациями.

Широкая номенклатура окрашиваемых изделий определяет применение самых разнообразных способов производства, конструкций и размещения окрасочно-сушильного оборудования. По этой причине отсутствуют обобщенные рекомендации по размещению ОП в типовых строительных модулях помещений окрасочных цехов.

Как правило, в окрасочных цехах применяют общее локализованное освещение с размещением ОП в проходах между камерами для общего наблюдения за ходом производственного процесса, над местами бескамерной окраски, на участках нанесения надписей и изображений и контроля качества окрашиваемых изделий. В отдельных случаях возникает необходимость устройства местного освещения (например, на участках окраски и контроля качества мелких изделий).

Для освещения взрывоопасных зон в окрасочном производстве ОП выбирают в соответствии с установленными ПУЭ минимальными уровнями и видами взрывозащиты и степенью защиты оболочек ОП от воздействия среды.

В зависимости от условий технологического процесса, конструкции окрасочно-сушильного оборудования, параметров и конструктивных особенностей помещений для общего освещения взрывоопасных зон окрасочных цехов и участков могут применяться следующие ОП: в зонах класса В-1а — ОП повышенной надежности против взрыва с ЛЛ типов Н4Т4Л, Н4Т5Л, Н2Т3Л, ОП с РЛВД типов В3Т3, устройства со шелевыми световодами, ОП с ЛН классов по взрывозащите Н4Т2Н, Н4БН, В3Г, В4А, В3Г/В4А, В3Г, Н4Б или с КЛЛ; в зонах класса В-1б — ОП с ЛЛ, РЛВД и ЛН со степенью защиты не ниже IP5X и шелевые световоды.

На рис. 12.26 приведен пример общего и локализованного освещения помещения окраски пассажирских вагонов, выполненного ОП с РЛВД.

Пользование переносными ОП в помещениях окраски следует ограничивать, допуская их применение только в тех случаях, когда это необходимо по условиям эксплуатации.

В зонах класса В-1а для местного освещения (например, при окраске или контроле мелких деталей на столах) могут быть использованы стационарно установленные переносные взрывозащищенные ОП, а в зонах класса В-1б в некоторых случаях могут применяться ОП со степенью защиты IP54, предназначенные для стационарного местного освещения станков машиностроительной промышленности.

Таблица 12.22

Рекомендуемые освещенности и показатели качества освещения для основных помещений и участков окрасочных цехов

Наименование помещения и производственного процесса	Класс лакокрасочных покрытий	Разряд зрительной работы	Поверхность нормирования освещенности	Освещенность, лк		Показатель ослепленности	Коэффициент пульсации, %
				при комбинированном освещении	при общем освещении		
Склады и кладовые лакокрасочных материалов и ЛВЖ	—	VIIIa	—	—	200	—	—
Краскозаготовительное отделение	I–VII	IVб	Горизонтальная на уровне 0,8 м от пола	500	200	40	20
Подготовка изделий для окраски (зачистка поверхностей, шпаклевка, грунтовка)	I II, III IV, V VI, VII	IIIб IVб Vб VI	Горизонтальная и вертикальная поверхности окрашиваемых изделий	1000	300	40	15
				500	200	40	20
				—	200	40	20
				—	200	40	20
Окрасочные отделения и участки при бескамерной окраске распылением или кистевой (окраска, нанесение надписей и изображений)	I II, III IV, V VI, VII	IIб IIIб IVб Vб	Горизонтальная и вертикальная поверхности окрашиваемых изделий	3000	750	40	10
				1000	300	40	15
				500	200	40	20
				—	200	40	20
Окрасочные отделения и участки при окраске в камерах или закрытых установках для окраски окунанием и струйным обливанием	I–VII	VIIIa	В проходах между камерами и установками на уровне пола	—	200	40	20

Примечания.

1. При выполнении в общих помещениях подготовительных и окрасочных работ (без постоянного закрепления рабочих мест) следует принимать освещенности, рекомендуемые для окрасочных отделений.
2. Для специально выделенных рабочих мест контроля качества окраски освещенность необходимо принимать на одну ступень выше норм, установленных для бескамерной окраски (распылением или кистевой).
3. Внутреннее освещение окрасочных камер предусматривается их конструкцией (освещенность в таблице не указана).
4. Стационарное общее освещение внутри сушильных камер не требуется.
5. Для ремонта и осмотра оборудования окрасочных и сушильных камер требуется переносное освещение.
6. Для складов и кладовых лакокрасочных материалов и ЛВЖ значения освещенности даны для ЛН.
7. Освещенность, создаваемая ОП общего освещения в системе комбинированного, должна составлять 10% нормируемой для комбинированного освещения (в соответствии с [44]).
8. Значения коэффициента пульсации освещенности даны для системы общего освещения (при системе комбинированного освещения их следует принимать по [44]).

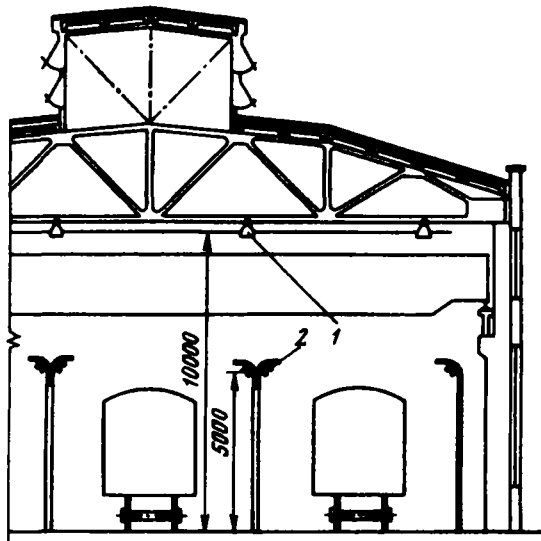


Рис. 12.26. Схема общего и локализованного освещения цеха окраски пассажирских вагонов: 1 — ОП с РЛВД 400 Вт; 2 — линия спаренных двухламповых ОП повышенной надежности с ЛЛ

12.3. ОСВЕЩЕНИЕ ОСНОВНЫХ ЦЕХОВ РАЗНЫХ ОТРАСЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

12.3.1. Черная металлургия

В производстве черных металлов (чугуна, стали и изделий из них) участвуют различные промышленные предприятия, состоящие из многочисленных основных и вспомогательных цехов и отделений. К таким предприятиям относятся обогатительные и агломерационные фабрики, перерабатывающие и подготавливающие руду для выплавки металла; коксохимические заводы, перерабатывающие каменный уголь в кокс; заводы и цеха по производству огнеупорных материалов, требующихся для домен, конвертеров, мартеновских и других печей; заводы с полным и неполным металлургическим циклом, в состав которых входят доменные, мартеновские, конвертерные, электросталеплавильные, труболитейные цеха, установки непрерывной разливки стали; предприятия по производству ферросплавов, прокатные цеха и др. Прокатные цеха и станы отличаются большим разнообразием: по производству прокатных заготовок (блужков и слябов), сортопрокатные, рлсьсобалочные, листопрокатные горячей и холодной прокатки, листоотделочные, по прокатке стальной ленты, волочильные, трубопрокатные, трубосварочные и др.

Большое разнообразие предприятий и цехов черной металлургии не дает возможности привести рекомендации по освещению многочисленных отдельных помещений и рабочих мест. Ограничимся только общими указаниями по устройству ОУ этих предприятий и более подробно остановимся на основных особенностях освещения отдельных рабочих зон, где выполняются наиболее напряженные зрительные работы.

Подавляющее большинство производственных и многие вспомогательные помещения предприятий черной металлургии относятся к помещениям с тяжелыми условиями среды (влажные, сырые, особо сырые, пыльные, с токопроводящей пылью, жаркие, с химически активными реагентами, пожаро- и взрывоопасные разных классов). В ряде помещений присутствуют по два и более из указанных признаков. Перечисленные условия среды оказывают решающее влияние на выбор конструктивного исполнения ОП и электрооборудования, используемых в ОУ, и способов выполнения осветительных сетей.

Нормирование освещенности, коэффициента запаса, показателя ослепленности и коэффициента пульсации проводится по отраслевым нормам искусственного освещения основных цехов заводов черной металлургии. В этих нормах приведены краткие рекомендации по выбору систем и видов освещения, ИС и требования к строительной части производственных зданий.

В большинстве цехов и отделений металлургических предприятий выполняются работы средней и малой точности и грубые работы разрядов IV–VI, требующие создания освещенности (при РЛ) в пределах от 200 до 300 лк. Во многих помещениях требуется только общее наблюдение за производственным процессом (разряд VIII, 75–200 лк). При использовании ЛН, приме-

няемых для работ разрядов VI и VIII, освещенность снижается до 30–100 лк.

Во многих металлургических цехах (доменных, сталеплавильных, прокатных), где в поле зрения работающих попадает расплавленный или раскаленный металл, должна создаваться освещенность 200 лк (разряд VII). Нормы освещенности и показатели качества общего освещения для некоторых основных цехов и отделений заводов черной металлургии приведены в табл. 12.23.

Общее освещение в большинстве производственных помещений выполняется равномерным. Локализованное освещение применяется относительно редко.

К цветности излучения ИС на предприятиях черной металлургии специальных требований не предъявляется. В высоких цехах широко используются лампы типа ДРЛ, более целесообразны НЛВД и МГЛ. Люминесцентные лампы, преимущественно типа ЛБ, применяются в основном в многочисленных электромашиных помещениях. Лампы накаливания находят применение для многих вспомогательных помещений небольшой высоты (менее 2,5 м), туннелей разного назначения, транспортных галерей, в помещениях со взрывоопасными зонами. Эти приборы постепенно должны заменяться на ОП с КЛЛ.

Многие производственные процессы на металлургических предприятиях требуют устройства АО для продолжения работы. Цеха и помещения, где необходимо АО, приведены в отраслевых нормах. Там же указано, где нужно предусматривать ЭО. В высоких цехах, освещаемых лампами типа НЛВД, ДРЛ, МГЛ, для АО целесообразно использовать КЛЛ мощностью 80 и 120 Вт, ВЧ-лампы типа «Ендига» и, что хуже, — ГЛН мощностью 1000 Вт.

Во многих цехах металлургических заводов (доменных, сталеплавильных, прокатных и др.), оборудованных мостовыми кранами, непрерывно занятыми в производственном процессе и вследствие этого не могущими быть использованными для обслуживания ОП, над кранами, как правило, в межферменном пространстве, вдоль пролетов цехов сооружаются специальные стальные мостики, на которых устанавливаются ОП и прокладываются осветительные сети. Размещение мостиков производится с учетом размещения оборудования, технологических линий, инженерных коммуникаций, прокладываемых в межферменном пространстве, строительных особенностей цеха и конструкции ферм.

В цехах с крановым оборудованием, работающих не круглосуточно или имеющих монтажные и ремонтные краны, ОП крепятся к фермам, а их обслуживание производится с кранов. При этом мостовые краны и кран-балки должны иметь приспособления для безопасного обслуживания ОП (рис. 12.27).

При наличии на производственном оборудовании в цехах площадок и мостиков для прохода персонала ОП для освещения проходов часто устанавливаются на стойках, прикрепленных к перилам ограждений площадок и мостиков. В цехах с крановым оборудованием такие мостики, требующие освещения, сооружаются в межферменном пространстве в ремонтных зонах мостовых кранов.

**Нормы освещенности, показатели качества общего освещения, рекомендуемые ИС и ОП
для некоторых основных цехов заводов черной металлургии**

Цех, отделение, участок	Рабочая поверхность	Плоскость, в которой нормируется освещенность (Г-горизонтальная, В-вертикальная)	Разряд зрительной работы	Норма освещенности для ламп, лк		Показатель ослепленности, не более	Коэффициент пульсации, %, не более	Характеристика помещения по условиям среды	Коэффициент запаса	Тип ОП общего освещения	
				Разрядных	Накаливания					Эксплуатационная группа по табл. 6.14	Степень защиты по табл. 6.10
Доменные цеха											
Бункерная эстакада: верхние железнодорожные пути подбункерные помещения	Пути Пол	Г Г	XII VIIIб	10	10	—	—	—	1,5	—	—
				75	50	—	—	Сырое, пыльное	1,5	4	5'3
Скиповая яма	Пол	Г	VIIIб	50	20	—	—	Сырое, пыльное	1,5	5,6	IP52, IP54
Литейный двор	Пол	Г	VI	200	150	40	20	Пыльное	2	3	5'3, 5'4
Площадки обслуживания: наружные внутренние	Пол Пол	Г Г	VIIIб	75	50	—	—	Пыльное	1,7	6	IP53, IP54
				5	5	—	—	—	1,5	6	IP53, IP54
Разливочные машины: место разлива чугуна ковшовый пролет	Воронка Пол	Г Г	VII VIIIa	200	50	40	20	Жаркое, пыльное	1,8	3	5'3, 5'4
				200	10	40	20	Жаркое, пыльное	1,8	3	5'3, 5'4
Депо чугуновозов	Пол	Г	VIIIa	200	150	40	20	Пыльное	1,8	3	5'3, 5'4
Сталеплавильные цеха											
Миксерное отделение: пути подвоза чугуна места заливки и слива чугуна	Пол Ковш и горловина миксера	Г Г, В	VIIIб VII	75	50	—	—	Жаркое, пыльное	2,0	3	5'3, 5'4
				200	150	60	20	Жаркое, пыльное	2,0	3	5'3, 5'4
Мартеновский цех: печной, разливочный пролеты низ мартеновской печи	Пол Пол	Г Г	VII VIIIa	200	150	40	20	Жаркое, пыльное	2,0	3	5'3, 5'4
				200	150	40	20	Пыльное	1,8	2,3	5'0, 5'3, 5'4
Склады скрапа, слитков	Пол	Г	VIIIб	75	50	—	—	Пыльное	1,8	3	5'3, 5'4
Ремонт, подготовка изложниц, скреперное отделение	Пол	Г	VI	50	100	40	20	Пыльное	1,8	3	5'3, 5'4
Конвертерный цех: загрузочный, конвертерный, разливочный пролеты, пролеты под рабочей площадкой железнодорожные пути, пролеты под разливочной площадкой	Ковши, конвертер, изложницы Пол	Г, В Г	VII VIIIб	200	150	40	20	Жаркое, пыльное	2,0	3	5'0, 5'3, 5'4
				75	50	—	—	Пыльное	1,7	4	5'3
Электросталеплавильный цех, печной пролет	Пол, загрузочные окна	Г, В	VII	200	150	40	20	Жаркое, пыльное	2,0	3	5'0, 5'3, 5'4

Цех, отделение, участок	Рабочая поверхность	Плоскость, в которой нормируется освещенность (Г-горизонтальная, В-вертикальная)	Разряд зрительной работы	Норма освещенности для ламп, лк		Показатель ослепленности, не более	Коэффициент пульсации, %, не более	Характеристика помещения по условиям среды	Коэффициент запаса	Тип ОП общего освещения	
				Разрядных	Накаливания					Эксплуатационная группа по табл. 6.14	Степень защиты по табл. 6.10
Цеха горячего проката											
Нагревательные колодцы	Пол	Г	VI	200	150	40	20	Жаркое, пыльное	2,0	3	5'0, 5'3, 5'4
Печи непрерывного действия:	Пол Стенка печи Пол	Г В Г	VI VII IIб	150 200 750	100 150 —	40 40 20	20 20 10	Жаркое, пыльное Жаркое, пыльное Пыльное	1,8 1,8 1,8	3 3 3	5'3, 5'4 5'3, 5'4 5'3, 5'4
толкатели, форсунки, окна загрузки, выгрузки											
Адьюстаж заготовок											
Прокатные станы:	Пол Валки Зона заправки ленты Стеллажи	Г В Г	IVб VII VII	200 200 200	— — —	40 40 40	20 20 20	Жаркое, пыльное Жаркое, пыльное Жаркое, пыльное	2,0 2,0 2,0	3 3 3	5'3, 5'4 5'3, 5'4 5'3, 5'4
пролет стана											
клетки											
моталки непрерывных листовых станов											
Холодильники	Металл	Г	VI	200	150	40	20	Жаркое, сырое	2,0	3	5'3, 5'4
Ножницы, пилы, прессы:	Металл Металл	Г Г	VI Vв+1	200 200	150 150	40 40	20 20	Пыльное Пыльное	1,8 1,8	3 3	5'3, 5'4 5'3, 5'4
горячей резки											
холодной резки	Металл	Г	IIIб	300	200	40	15	Пыльное	1,8	3	5'3, 5'4
Отделение контроля и отделки листа и сортового листа											
Цеха холодного проката листа											
Агрегаты непрерывного травления	Лента	Г	Va	300	—	40	20	Сырое, химически активное	1,8	3	5'3, 5'4
Прокатные станы:	Пол Валки	Г В	IVб IVв	200 200	150 150	40 40	20 20	Пыльное Пыльное	1,8 1,8	3 3	5'3, 5'4 5'3, 5'4
пролет стана											
клетки	Пол	Г	VI-1	150	100	60	20	Сырое	1,8	2,3	5'3, 5'4
Маслоподвалы	Столы	Г	IVб	200	150	40	20	Пыльное	1,8	3	5'3, 5'4
Агрегаты резки											
Агрегаты непрерывного отжига:	Лента	В	IVa+1	400	—	40	20	Пыльное	1,5	5,6	IP52, IP53,
зона осмотра поверхности											
площадка устройства очистки металла:	Лента Вентили, задвижки	Г В	IV VIIa	200 200	— —	40 40	20 20	Пыльное Пыльное	1,5 1,5	6 6	IP54 IP53, IP54 IP53, IP54
верхняя											
нижняя											
верхние площадки-накопители	Оборудование	Г	VIIIб	75	50	—	—	Пыльное	1,5	6	IP53, IP54
Башенные печи:	Оборудование Пол Пол	Г Г Г	Vв-1 VIIIб VIIIб	150 75 75	100 50 50	40 — —	20 — —	Пыльное, жаркое Пыльное, жаркое Пыльное, жаркое	1,5 1,5 1,5	6 6 6	IP53, IP54 IP53, IP54 IP53, IP54
нижние и верхние площадки приводных роликов											
средние площадки под печами											
Отделение отделки и упаковки:	Стол	Г	Iб	1250*	—	20	10	Пыльное, жаркое	1,6	2,3	IP20
столы контроля листов	Пол	Г	Vв	200	—	40	20	Пыльное	1,6	3	5'3, 5'4
столы подачи, места упаковки листов											
Склад пакетов листов	Пол	Г	VI	200	—	40	20	Пыльное	1,6	3	5'3, 5'4

* Освещенность создается общим и дополнительным локализованным освещением.



Рис. 12.27. Высокий цех с кранбалкой

В состав многих цехов металлургических заводов входят различные открытые технологические установки и участки, требующие искусственного освещения. Так, доменный цех имеет литейный двор, бункерную эстакаду, наклонный мост, пылеуловители, воздухогреватели, железнодорожные пути для чугуновозов и др. Освещение некоторых из этих участков осуществляется прожекторами или ОП с мощными МГЛ или ГЛН, расположенными на высоких технологических установках или на специально сооружаемых прожекторных мачтах, мостиках. На технологических установках, имеющих лестницы и мостики для прохода обслуживающего персонала, при отсутствии возможности их освещения прожекторами устанавливаются ОП с ЛН на стойках, прикрепленных к перилам ограждения мостиков.

Для указанных наружных объектов требуется создавать относительно невысокие уровни освещенности (2–5 лк). В зонах многих из указанных открытых установок и участков выделяются дым, копоть, химически активные вещества, имеются взрывоопасные зоны, что должно учитываться при выборе конструктивного исполнения ОП и способов прокладки осветительных сетей.

Для высоких открытых технологических установок и дымовых труб требуется устройство светового ограждения, выполняемого в соответствии со специальными правилами.

В некоторых цехах и отделениях заводов черной металлургии выполняются сложные или специфические зрительные работы, требующие применения различных специальных приемов освещения.

Работы, связанные с большим зрительным напряжением, ведутся в адьюстажных отделениях прокатных цехов, где производится комплекс операций по браковке, сортировке, удалению пороков, клеймлению прокатных заготовок и готовой продукции. Адьюстажные отделения занимают значительные площади, достигающие нескольких тысяч квадратных метров при ширине зоны работы от 3 м до всей ширины пролета (до 36 м).

В адьюстажных отделениях цехов горячего проката производится осмотр слитков или заготовок и удаление пороков огневой зачисткой, пневматическими зубилами или передвижными наждачными станками. Наиболее напряженными операциями являются обнаружение пороков (трещины, зарезы и т.п., ширина которых может составлять 0,02 мм, длина 12 мм и более) и контроль за их удалением.

Зрительная работа в адьюстажных отделениях связана с различием мелких деталей, имеющих малый контраст с фоном. Условия искусственного освещения оказывают большое влияние на ПТ и качество работы. По данным исследований, улучшение освещения мест браковки стальных листов, покрытых цветным металлом, на ряде заводов повысило ПТ на 4–9%, снизило брак на 30%, а улучшение освещения мест контроля цельнотянутых стальных труб позволило отказаться от повторной браковки.

Работа по удалению пороков относится к разряду Пб и требует при одном общем освещении обеспечивать освещенность 750 лк. Эту освещенность рекомендуется создавать на всей площади адьюстажа ОП с РЛВД, установленными в верхней зоне цеха.

При небольшой ширине зоны адьюстажа (до 6–7 м) возможно локализованное освещение ОП, установленными на поворотных кронштейнах (рис. 12.28). В рабочем положении кронштейн перпендикулярен продольной оси пролета, а при транспортировке заготовок кра-

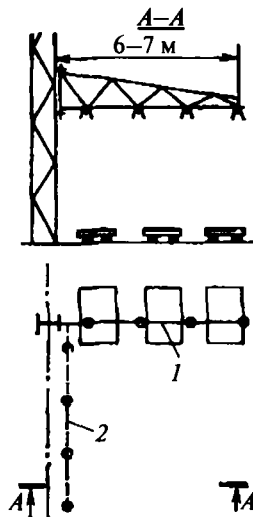


Рис. 12.28. Поворотный кронштейн ОП для освещения зоны адьюстажа, расположенный вдоль колонн цеха: 1 — рабочее положение; 2 — положение при транспортировке заготовок крапом

ном поворачивается в положение, параллельное оси пролета.

Для доведения уровня освещенности до требуемого разрядом Ia значения 4500+ 5000 лк при комбинированном освещении (800 лк от общего освещения) при работе контролеров пользуются ручными переносными ОП с ЛН, питаемыми напряжением 40 В от штепсельных розеток. Предпочтительнее специальные ОП с зеркальными МГЛ малой мощности (100—150 Вт).

В адьюстажных отделениях отделки сортового проката выявляются такие же пороки, как на заготовках, и ведутся работы по удалению пороков. При этом преобладают работы по контролю, для которых освещенность нормируется по разряду Ia. В связи с трудностью устройства местного стационарного освещения и применением ручных переносных ОП рекомендуется устраивать общее освещение с освещенностью 1500 лк. Способы освещения адьюстажа холодного проката рекомендуются те же, что и для адьюстажа заготовок.

В адьюстажных отделениях листопрокатных цехов необходимо в ограниченное время выявить трудно различимые пороки листов. В цехах горячей прокатки листы лежат на стеллажах высотой 0,1—0,2 м и контролеры ходят по листам и отмечают мелом выявленные пороки, которые удаляются переносными наждачными точилами. Поверхность листов — темная, работа относится к разряду Ia.

В цехах холодного проката стопы листов подносятся краном к столам контролеров, поверхность листов — светлая, работы относятся к разряду Ib. Трудность устройства местного освещения и неудобство применения переносных ОП приводят к необходимости устройства общего освещения, выполняемого ОП, устанавливаемыми в верхней зоне цеха и создающими нормируемую освещенность по всему пролету 1000+ 1250 лк. Дополнительно устанавливаются ОП локализованного освещения. При расположении рабочих столов контролеров на удалении до 10 м от края пролета ОП локализованного освещения устанавливаются на стенах и колоннах, что создает благоприятное направление света, исключающее отраженную блескость. Для отдельных рабочих мест возможна установка ОП локализованного освещения также на поворотных кронштейнах (см. рис. 12.28).

Для контроля листов с большим зеркальным отражением эффективны системы освещения отраженным светом. Одним из возможных решений таких ОУ может быть вогнутая диффузно отражающая поверхность, расположенная на расстоянии 1,2—1,5 м над рабочим столом и освещаемая направленным на нее снизу ОП с ЛЛ.

В горячих цехах (доменные, мартеновские, конвертерные и т. п.), где в поле зрения работающих попадает расплавленный металл, рекомендуется предусматривать дополнительное освещение мест заливки и выливки металла ОП или прожекторами, направленными на эти места. Такое же дополнительное освещение устраивают для клетей прокатных станков в случаях, когда ОП общего освещения не удается создавать на клетях необходимую освещенность. В горячих цехах имеются мес-

та, где расплавленный или раскаленный металл создает сильные восходящие потоки горячего воздуха (например, в местах разливки и на путях транспортировки жидкого чугуна и стали, в районе нагревательных колодцев и т.п.). В таких местах в верхней зоне цеха температура воздуха может быть столь высока, что установка ОП и прокладка электрической сети оказываются или вовсе невозможными, или требуют применения ОП и проводов, наиболее стойких к повышенной температуре.

Для больших производственных помещений металлургических предприятий, имеющих естественное освещение, при питании ОУ от нескольких подстанций целесообразно устройство централизованного дистанционного управления ОП общего рабочего АО и ЭО основных пролетов. Для освещения встроенных в такие пролеты помещений (электромашинных, контор, кладовых и т.п.) предусматривают местное управление. Для небольших производственных и вспомогательных помещений независимо от наличия или отсутствия естественного света применяют местное или централизованное ручное управление.

Для протяженных помещений, редко посещаемых людьми и имеющих два и более входа (туннели всех назначений, кабельные и шинные галереи и т.п.), управление освещением осуществляется от каждого из входов или от тех из них, которые считаются основными. Для некоторых помещений с рабочим и аварийным освещением (или ЭО), имеющих два входа, предусматривают местное управление рабочим освещением от одного из входов, а АО (ЭО) — от другого входа.

На шинах КТП многих предприятий черной металлургии длительно поддерживается напряжение выше номинального, что часто вынуждает применять в осветительных сетях ограничители напряжения типа ТОН-3, ППТТ или другие.

Большое количество помещений высотой менее 2,5 м с повышенной опасностью и особо опасных в отношении поражения электрическим током, освещаемых ОП с ЛН, обуславливает необходимость широкого применения на предприятиях черной металлургии напряжения 40 В для питания общего освещения таких помещений.

В помещениях, где необходимо переносное освещение, сеть со штепсельными розетками для его питания выполняется на напряжение 40 или 12 В в зависимости от характера среды в помещениях и других условий, создающих опасность поражения током.

При периодически проводимых ремонтных работах доменных, мартеновских, электросталеплавильных печей, конвертеров, когда производственный процесс прекращается и в относительно короткие сроки необходимо произвести замену огнеупорной выкладки внутренних стенок печей, применяют ручные или устанавливаемые на стойках ОП, питаемые напряжением 12 В. Для их подключения предусматривают трех- и однофазные понижающие трансформаторы, электрические сети и щитки со штепсельными розетками.

Способы прокладки питающей и групповой осветительных сетей выбирают исходя из конкретных условий среды в помещениях и мест прокладки сети.

12.3.2. Нефтехимическая и нефтеперерабатывающая промышленности

Предприятия нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности включают в себя многие сотни различных цехов, производств, технологических процессов и операций. В большинстве — это производства с вредными условиями труда, связанные с применением в технологических процессах токсичных, горючих и взрывоопасных веществ.

Современные нефтехимические и нефтеперерабатывающие предприятия состоят из отдельных одно- и многоэтажных производственных зданий и открытых технологических установок, часто значительной высоты, связанных между собой подземными каналами и открытыми эстакадами с трубопроводами. Здания, в которых технологические процессы ведутся с применением токсичных или взрывоопасных веществ с плотностью по воздуху меньше единицы, имеют аэрационные фонари, диффлекторы и другие устройства для удаления легких газов из-под верхнего перекрытия. В многоэтажных зданиях для этих целей устраиваются аэрационные противовзрывные проемы. Во взрывоопасных помещениях ограждающие конструкции выполняются легко сбрасываемыми. Наружные установки, связанные технологическими процессами с установками, расположенными в зданиях, в основном располагаются вдоль безоконных глухих стен или с торцов зданий.

Технологическое оборудование нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности, как правило, является крупногабаритным, многоярусным, имеющим многочисленные площадки для размещения, осмотра и обслуживания контрольно-измерительных приборов, запорной и регулирующей арматуры.

На территории заводов расположены склады для хранения сырья, промежуточных продуктов и готовой продукции. В основном это емкости, газгольдеры с расположенными на них замерными люками или устройствами, дыхательными и предохранительными клапанами, дренажными устройствами и устройствами замера проб, приборами контроля, измерения и автоматизации. Все они имеют площадки обслуживания, лестницы, переходы. Технологическое оборудование, расположенное внутри и вне зданий, а также емкости с сырьем и готовой продукцией связаны между собой системами трубопроводов, расположенных в каналах и на эстакадах. Как правило, предусматривается автоматизация управления и контроля за процессами с центральных или местных пунктов управления. Для зрительного наблюдения за процессами, где это необходимо, в стенах аппаратов, кабин, абсорберов устраивают смотровые окна.

Территории заводов имеют разветвленную сеть дорог и пешеходных дорожек между цехами, установками и т.д.

Помещения для электрооборудования, приборов и аппаратов контроля и автоматизации размещаются в

отдельно стоящих зданиях или во вставках с подсобно-бытовыми помещениями.

Среда в производственных помещениях и наружных установках в основном химически агрессивная, взрыво- или пожароопасная разных классов.

В производствах нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности зрительные работы относятся преимущественно к разрядам IIIв, IVв, IVг, Va, VI, VIIa и VIIб, т.е. связаны с общим наблюдением за ходом технологических процессов, показаниями приборов, аппаратуры управления и сигнализации, выполнением операций по управлению регулирующей и запирающей арматурой, наблюдением за состоянием оборудования, осуществлением контроля при погрузочно-разгрузочных операциях. Повышенное зрительное напряжение имеет место при снятии показаний или постоянном наблюдении за контрольно-измерительными приборами и приборами сигнализации; ремонте контрольно-измерительной аппаратуры и приборов; обслуживании технологического оборудования и наблюдении за процессами; регулировании и переключении аппаратов.

Зрительные работы на наружных технологических установках относятся в основном к разрядам X, XI, XII и XIII, т.е. связаны с общим наблюдением за состоянием технологического оборудования, а также с операциями с запорно-регулирующей арматурой. Сооружения, которые возвышаются над окружающими застройками или превышают минимально допустимую по условиям безопасности полетов высоту, должны иметь световые ограждения.

Аварийное освещение необходимо устраивать в помещениях (рабочих зонах) центральных и местных пультов управления технологическими процессами, в электротехнических помещениях, в помещениях с контрольно-измерительными приборами и приборами сигнализации, в помещениях или на участках расположения запорной и регулирующей арматуры, в насосных, в компрессорных, в венткамерах, а также во всех помещениях и в наружных установках, где не исключена вероятность взрыва, пожара, отравления людей ядовитыми и токсичными газами. В связи с этим к устройству аварийного освещения необходимо подходить с особой тщательностью, в необходимых случаях повышать требуемую по нормам освещенность от АО. Так, в местах управления, контроля и регулирования минимальная освещенность от АО должна составлять до 15–20% освещенности, нормируемой для рабочего освещения при системе общего освещения, но не менее 5 лк внутри зданий и 2 лк в наружных установках.

Эвакуационное освещение в помещениях или в местах производства работ вне зданий следует выполнять в соответствии с нормами.

Отраслевые нормы для большинства производств нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности отсутствуют. Поэтому при выборе значений освещенности, коэффициентов запаса и других нормируемых светотехнических параметров следует руководствоваться отраслевыми нормами аналогичных производств и нормами [44].

В табл. 12.24 приведены нормы освещенности для некоторых наиболее характерных помещений нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности. При выборе освещенности необходимо учитывать, что многие производственные процессы, происходящие в помещениях и в наружных установках, автоматизированы и управляются дистанционно. Поэтому обслуживающий персонал находится в них периодически, и это позволяет в помещениях, где выполняются работы разрядов V и VI, снижать освещенность на одну ступень.

Специфика расположения технологического оборудования, его крупногабаритность, многочисленные площадки, лестницы и переходы, насыщенность помещений трубопроводами, воздуховодами требует тщательного подхода к выбору систем внутреннего и наружного освещения. Наиболее целесообразным является локализованное и частично комбинированное освещение.

Зоны, в которых расположены приборы контроля, управления и сигнализации, запорная и регулирующая арматура, эмсевики, шкафы, пульта и т.п., требуют нормирования вертикальной освещенности.

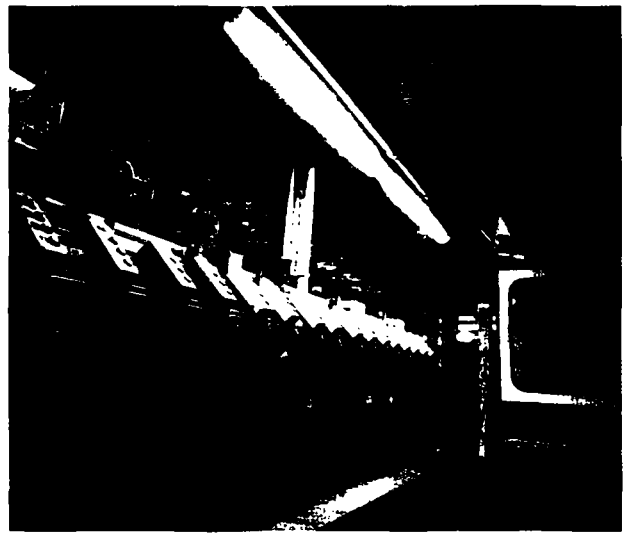
Для наблюдения за процессами внутри технологических аппаратов устраивают местное освещение. Если оборудование не укомплектовано ОП местного освещения, то их установку целесообразно выполнить, приставив ОП к оборудованию около смотровых окон или люков, на шарнирных кронштейнах или на металлическом гибком герметическом рукаве. Местное или локализованное освещение также целесообразно устраивать по фронту шкафов, пультов управления и контроля, у запорной и регулирующей арматуры на установках, расположенных внутри помещений и снаружи (рис. 12.29).

Для внутреннего и наружного освещения следует использовать преимущественно РЛ (ЛЛ, НЛВД, ДРЛ, МГЛ), и только в случае невозможности или технико-экономической нецелесообразности их применения допускается использование ЛН.

Специфических требований к применению тех или иных ИС нет, кроме мест, где по условиям технологии необходимо цветоразличение. На таких участках следует применять КЛЛ или ЛЛ (типа 840, 860), если минимальная температура воздуха помещения не менее $+5^{\circ}\text{C}$ и лампы питаются напряжением не ниже 90% номинального. Для аварийного, эвакуационного и охранного освещения следует применять ЛН, ЛЛ и КЛЛ.

Осветительные приборы выбирают исходя из конкретных условий среды с учетом обеспечения взрыво-, пожаро- и электробезопасности при их эксплуатации.

В силу специфичности производств нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности при выборе ОП предпочтение должно отдаваться ОП с лампами типа НЛВД, ДРЛ и ЛН, имеющими меньшие габариты по сравнению с ОП с ЛЛ, хотя последние можно применять, если это целесообразно. Расположение ОП должно обеспечивать нормируемые светотехнические показатели, безопасный и удобный доступ для обслуживания и надежное крепление ОП.



а)



б)

Рис. 12.29. Освещение на химическом заводе [12.44]: а - локализованное; б - местное

Общее локализованное освещение является основной системой освещения. Осветительные приборы располагают вдоль технологического оборудования по возможности близко к освещаемым местам и рабочим зонам. Для крепления ОП к перекрытиям следует использовать подвесы, для установки на стенах и колоннах здания — кронштейны и стойки на перилах технологических и переходных площадок и мостиков. Как исключение, для удобства обслуживания ОП, для прокладки электротехнических и других коммуникаций могут использоваться мостики. Осветительные приборы могут монтироваться к крепежным конструкциям технологических трубопроводов и воздуховодов и другим конструкциям технологического оборудования. Высоту установки ОП выбирают с учетом их безопасного и удобного обслуживания, она не должна превышать 5 м над уровнем пола при обслуживании ОП со

**Нормы освещенности и показатели качества освещения некоторых помещений
нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности**

Помещение, производственный участок	Плоскость нормирования освещенности (Г — горизонтальная, В — вертикальная), высота от пола, м	Разряд зрительной работы	Минимальная освещенность в системе общего освещения, лк	Показатель ослепленности, не более	Коэффициент пульсации, %, не более
Машинные залы насосных, компрессорные	Г, 0,8	VI	200	40	20
Помещения холодильников, абсорберов, скрубберов, змеевиков	Г, 0,8	VIIIa	200	60	20
Площадки обслуживания	В, на поверхности оборудования, на запорной и регулирующей арматуре	VI	150*	40	20
Ремонтные площадки	Пол	VI	200	40	20
Основные проходы	Пол	VIIIб	75	—	—
Пункты регулирования и переключения	Пол	VI	150*	40	20
Помещения для приборов контроля, автоматизации, газоанализаторов, плотномеров:					
фасад щита приборов	В, 1,5	IVв	200	40	20
задняя сторона щита приборов	В, 1,5	VI	150*	40	20
Экспресс-лаборатории	Г, 0,8	IIIв	300	40	15
Весовые	Г, 0,8	IIIв	300	40	15
Помещения для хранения реактивов, проб	В, 1,0	Vг	200	60	20
Помещения газоспасательной службы:					
комната дежурных	Г, 0,8	Vб	200	40	20
комната отдыха	Г, 0,8	—	150	40	15
Склады емкостей химических и легковоспламеняющихся жидкостей:					
с разливом на складе	Пол	VIIa	100**	60	20
без разлива на складе	Пол	VIIIб	50**	—	—
Склады химикалий	Пол	VIIIб	20**	—	—
Наружные установки:					
оборудование на площадках, этажерках	Г, 0,8	XI	10	—	—
сырьевые, товарные и промежуточные склады	Г, на емкостях, горловинах	XII	5	—	—
Склады химикатов и легковоспламеняющихся жидкостей, нефти, мазута и т.п.	Г, на мостиках, проходах, ступенях	[44]	3	—	—
Предохранительные и дыхательные клапаны, запорная и регулирующая арматура	На оборудовании	XI	10	—	—
Замерные люки и устройства, места отбора проб и дренажа	На оборудовании	X	30	—	—
Сливно-наливные эстакады:					
на горловине цистерны и пульте управления	На оборудовании	XI	10	—	—
на площадке обслуживания	Пол	XII	5	—	—
на проходе	Пол	[44]	3	—	—
Нефтеловушки, отстойные пруды	На уровне поверхности	XIII	2	—	—

* Освещенность уменьшается на одну ступень.

** При использовании ЛН.

стремянков и приставных лестниц. Осветительные приборы не следует устанавливать над крупногабаритным оборудованием, трубопроводами, емкостями, приямками, шитами, пультами и в местах, где невозможна установка стремянок, лестниц и других напольных передвижных или переносных средств. Не рекомендуется устанавливать ОП выше 3,5 м над технологическими площадками, мостиками, переходами и т.п. при их креплении на стенах и выше 2,5 м при установке на стойках вдоль ограждения. Освещение помещений ОП, смонтированными только с одной стороны на стенах (кронштейнах), допускается в помещениях, ширина которых не более 6 м, а при размещении их с двух сторон — при ширине не более 12 м. В обоих случаях затенения не должно быть.

При устройстве освещения на открытых наружных технологических установках в целях уменьшения капитальных и эксплуатационных затрат и экономии электрической энергии нормируемую освещенность следует обеспечивать только на участках постоянного обслуживания оборудования, в зонах переключающей и запорной арматуры, смотровых окон, на дыхательных клапанах и т.п. На всех других участках, прилегающих к рабочим зонам, допускается устраивать освещение, достаточное лишь для общей ориентации и безопасного прохода обслуживающего персонала. Здесь же допускается не устанавливать стационарного аварийного и эвакуационного освещения при условии, что у обслуживающего персонала обязательно имеются ручные переносные аккумуляторные фонари.

Для освещения внутри аппаратов и сооружений во время их осмотра и ремонта в действующем производстве должны применяться взрывозащищенные переносные ОП на напряжение не более 12 В, а также аккумуляторные фонари. Для подключения переносных ОП необходимо устраивать специальную сеть.

Управление освещением производственных помещений и наружных установок следует осуществлять дистанционно из мест, удобных для обслуживающего персонала. Компоновку питающих и групповых линий, а также схемы управления, особенно наружных установок, необходимо осуществлять так, чтобы они соответствовали технологическим линиям, порядку и частоте осмотра оборудования обслуживающим персоналом, а для зон, редко посещаемых персоналом, нужно предусматривать местные отключающие аппараты.

Места установки групповых щитков, аппаратов управления, штепсельных розеток, ответвительных коробок и др. необходимо удалять от мест скопления, разгрузки, разлива горючих и агрессивных материалов, а при технико-экономической и эксплуатационной целесообразности выносить в помещения с нормальными условиями среды.

12.3.3. Электротехническая промышленность

Электротехническая промышленность имеет множество производств, причем наиболее характерные для них процессы близки по зрительным задачам и технологии к отдельным отраслям радиотехники, приборостроения и машиностроения.

Специфическими являются следующие производства: электромашиностроение, производство силовых трансформаторов, низковольтной аппаратуры, комплектных устройств, а также изготовление ИС.

Производство электрических машин осуществляется на заводах по изготовлению средних и малых машин и на предприятиях, выпускающих гидро- и турбогенераторы. Анализ зрительных задач показал, что в производстве электрических машин наиболее часты работы высокой точности — разряда III (например, изготовление коллекторов: укладка обмоток, сборка, контроль на испытательных станциях и т.н.) (рис. 12.30). Встречаются также работы очень высокой точности — разряда II (например, намотка катушечных групп, работа на механических участках, участках доделки и контроля и т.п.). Контраст объекта с фоном различный — малый, средний и большой. При выполнении работ разрядов I–IV следует применять систему комбинированного освещения. Система общего освещения допускается при технической невозможности или нецелесообразности устройства местного освещения. Нормативные требования к освещению цехов, участков и рабочих мест электромашиностроительных заводов содержатся в [12.2]. Отдельные данные, характеризующие требования норм освещения основных цехов и участков в целом, приведены в табл. 12.25. В случаях, когда освещение конкретного цеха допустимо выполнять системой как комбинированного, так и общего освещения, значения нормируемых показателей указаны в табл. 12.25 для обеих систем.



Рис. 12.30. Освещение цеха сборки электромашин [12.47]

Строительные параметры зданий основных цехов весьма разнообразны. Однако имеются два основных варианта строительных решений — с малыми модулями и высотами помещений и с большими. Первые характерны для заводов малых и средних машин, вторые — для предприятий, выпускающих гидро- и турбогенераторы. Наиболее часто встречающиеся варианты строительных параметров приведены в табл. 12.26. Там же даны характеристики условий среды, рекомендуемые типы ИС и ОП, а также коэффициенты запаса ОУ.

Примеры норм освещенности и качественных показателей освещения ряда электротехнических производств (освещение Р.Л)

Цех, участок	Плоскость, в которой нормируется освещенность (Г — горизонтальная, В — вертикальная), высота над полом, м	Разряд и подразряд зрительной работы	Минимальная освещенность, лк			Показатель ослепленности, не более	Коэффициент пульсации, %, не более
			Комбинированное освещение		Одно общее освещение		
			Всего	От общего			
Общеотраслевые цеха, участки, оборудование							
Заготовительно-штамповочный цех металла (резка листа, рубка прутка, гибка колец, штамповка, вытяжка, вырубка деталей, навивка, разрезание и шихтовка магнитопроводов)	Г	Va	400	200	300	40	20
Цех изготовления изоляции	Г	Vб	200	150	200	40	20
Цех пластмасс — отделение подготовки сырья, таблетирование, перемол отходов	Г	Va	400	200	300	40	20
Прессовое отделение, отделение механической обработки	Г	IVa	750	200	300	40	20
Сушильно-пропиточное отделение, участок лакировки, участок отжига	Г, 0,8	VI	—	—	200	40	20
То же на выходе установки	Г	Va	400	200	300	40	20
Разделка провода, вязка жгутов	Г	IVб	500	200	200	40	20
Пайка оконцевателей	Г	IIIв	750	200	300	40	20/15***
Намотка катушек на автомате	Г	IIIб	1000	200	—	40	20/15
Контроль электрических параметров	Любая	IVг	300	200	200	40	20
Обработка сырьевых материалов (мельницы, смесители, вальцы, элеваторы, сушилки, реакторы и т.д.): для работы	Г, 0,8	VIIa	—	—	200	40	20
для ремонта и наладки оборудования	Г, В	IVб	500	200	200	40	20
Электромашиностроение							
Литейный цех, участок заливки алюминия в пазы ротора	Г	IIIв	—	—	300	40	15
Обмоточный цех: заготовительный участок	Г	Vб	200	150	200	40	20
обмоточный участок	Г, 0,8	—	—	—	300	40	20
Укладка обмоток, межфазовой изоляции: для малых машин	Г	IIв	4000	400	500	20	20/10***
для средних и крупных машин	Г	IIIв	750	200	300	40	20/15***
Цех изготовления коллекторов	Г	IIIб	1000	200	300	40	20/15***
Сборка малых машин	Г	IIв	2000	200	500	20	20/10***
Сборка крупных и средних машин	Г	IIIв	750	200	300	40	20/15***
Производство трансформаторов и высоковольтной аппаратуры							
Сборка пакета и магнитопровода: для трансформаторов I—III габаритов	Г	IIIб	1000	200	300	40	20/15***
для трансформаторов IV—VI габаритов	Г	IVб	500	200	200	40	20
Визуальный контроль магнитопровода	В	IIIб	1250	200	—	20	20/10***
Отделение изготовления обмоток: для трансформаторов I—III габаритов	Г	IIIб	1000	200	300	40	20/15***
для трансформаторов IV—VI габаритов и реакторов	Г	IVб	500	200	200	40	20

Цех, участок	Плоскость, в которой нормируется освещенность (Г — горизонтальная, В — вертикальная), высота над полом, м	Разряд и подразряд зрительной работы	Минимальная освещенность, лк		Показатель ослепленности, не более	Коэффициент пульсации, %, не более	
			Комбинированное освещение				
			Всего	От общего			
Визуальный контроль обмоток	Г	IIIб	1250	200	—	40	20/10***
Сборка трансформаторов I—III габаритов и малогабаритной высоковольтной аппаратуры	В	IIIб	1000	200	300	40	20/15***
Сборка трансформаторов IV—VI габаритов и крупногабаритной высоковольтной аппаратуры	В	IVб	500	200	200	40	20
Цех малых трансформаторов	Г	IIб	3000	300	750	20	20/10***
Производство низковольтной аппаратуры и комплектных устройств							
Узловая и окончателная сборка низковольтной аппаратуры	Г	IIIб	1000	200	300	40	20/15***
Сборка комплектных устройств	Г, В	IIIб	1250	200	400	40	20/15***
Производство ИС, изготовление колб и весового стекла							
Составной цех, склад сырья, загрузка приемных бункеров	Г, 0	VIa	—	—	75	60	20
Смесительное отделение	Г	IVб	500	200	200	40	20
Отделение варки стекла, место загрузки печи	Г	VII	—	—	200	40	20
Выработка стекла, мундштучная, тянущая машина, колбово-дувной и оплавочный автоматы и т.д., стеклозаготовительное отделение (развертка тарелок, выдувание колб из дрота, резка дрота и т.д.)	Г	IVa	750	200	300	40	20
Визуальная разбраковка колб и трубок	Г	—	—	—	100	—	—
Браковка штабиков и штенгелей	Г	IVв*	500	200	—	40	20/15**
Обработка кварцевого сырья	Г	IVб	500	200	200	40	20
Перетяжка блоков в трубы, место загрузки печи	Г	VII	—	—	200	40	20
Тянущая машина	Г	IVa	—	—	300	40	20
Изготовление ИС							
Электродно-спиральный цех	Г, 0,8	—	—	—	300	20	20
Перемотка проволоки и спиралей на шпули	Г	IIIa	2000	200	—	—	20/15***
Спирализация, резка спиралей	Г	Iв	2500	300	750	—	20/10***
Сварка электродов, контроль	Г	IIв	4000	400	—	20	20/10***
Цокольный цех	Г, 0,8	—	—	—	300	40	20
Штамповка цоколей, накатка резьбы, заливка изоляционным стеклом	Г	IIIб	1000	200	300	40	20/15**
Сборка цоколей ЛЛ и стартеров, нанесение мастики на цоколи	Г	IVб	500	200	200	40	20
Сборка ЛЛ	Г, 0,8	—	—	—	300	40	20
Мойка и сушка колб, нанесение люминофора, выжигание нитроклетчатки	В	IIIв	750	200	300	40	20/15**
Монтаж ножек	Г	IIв	2000	200	—	20	20/10*
Браковка ножек	Г	—	—	—	100	—	—
Откачка и наполнение ламп, цоколевание	В	IIIб	1000	200	300	40	20/15***
Сборка ЛН	Г, 0,8	IIв	—	—	500**	40	20

Цех, участок	Плоскость, в которой нормируется освещенность (Г — горизонтальная, В — вертикальная), высота над полом, м	Разряд и подразряд зрительной работы	Минимальная освещенность, лк			Показатель ослепленности, не более	Коэффициент пульсации, % не более
			Комбинированное освещение		Одно общее освещение		
			Всего	От общего			
Монтаж ножек Заварка ламп, цоколевание Производство кварцевых ламп Монтажное отделение Откачка и наполнение горелок и ламп, штамповка ножек, цоколевание	Г	IIв*	2500	300	—	20/10***	
	В	IIIб	1000	200	300	20/15***	
	Г, 0,8	—	—	—	300	20	
	В	IIв	2000	200	500	20/10***	
	В	IIIб	1000	200	300	20/15***	

* Освещенность повышена, так как напряженная зрительная работа выполняется в течение всего рабочего времени.

** Уровень освещенности найден экспериментально.

*** Цислитель — для общего освещения; знаменатель — для местного освещения и для системы общего освещения в системе комбинированного.

Использование ОП 7-й, 6-й и 5-й эксплуатационных групп допускает снижение нормированного значения коэффициента запаса на 0,35; 0,2 или 0,1 для ОУ помещений с тяжелыми условиями среды. Поэтому для отдельных цехов в табл. 12.26 в ряде случаев приведены два значения для K_3 , каждое из которых может быть использовано при расчетах ОУ со своей группой ОП.

В производстве электромашин специальных требований к цветопередаче п цветоразличению не предъявляется, поэтому выбор типа ИС определяется только соотношением уровня необходимой освещенности и высоты помещения. Для низких помещений всегда целесообразно использовать в основном ЛЛ типа ЛБ, в средних (6–10 м) и высоких (свыше 10 м) помещениях следует применять РЛВД большой единичной мощности.

Выбор ОП общего освещения зависит от уровня нормируемой освещенности, плоскости, в которой ее требуется обеспечить, высоты помещения и условий среды [12.25]. Так, для освещения невысоких помещений с нормальными условиями среды целесообразно использовать ОП с ЛЛ преимущественно типа Т5, имеющие КСС типов Д1, Д2 или Д3. Для цехов высотой более 6 м рекомендуется в основном применять ОП с РЛВД с КСС типов Д, а для высоких помещений — ОП с КСС типов Г1, Г2 или Г3 (рис. 12.31). В помещениях высотой более 15 м экономичность ОУ может быть увеличена путем установки ОП с КСС типа К. В помещениях средней и большой высоты, где выполняются зрительные работы очень высокой точности, желательно применение ОП с ЛЛ или с МГЛ при КСС типов Г2 и Г3.



Рис. 12.31. Освещение высоких цехов [12.44]

Строительные параметры, условия среды и рекомендуемые типы ИС, ОП и К₃

Цех, отделение, участок	Строительные параметры помещения, м		Среда	Коэффициент запаса, К ₃	Тип ИС	Осветительные приборы общего освещения			
	Модуль	Высота				КСС в нижнюю полусферу по табл. 6.5	Конструктивно-светотехническая схема по табл. 6.14	Эксплуатационная группа по табл. 6.14	Степень защиты по табл. 6.10
Электромашиностроительное производство									
Цех изготовления сердечников	6×6-6×18	3,6-6,0	Пыльная	1,6	ЛЛ в сочетании с ДРЛ или ЛН ЛЛ ДРЛ, ДНаТ	Нетиповое кососвет Д2, Д3 и кососвет Д1, Д3 Д1, Д3 Д3, Г1 Д3, Г1 Д2, Г3 Д3, Г2 Г1, Г2 Г1, Г2, Г3	VIIБ IA IB, IIБ IVA, IA IVA, VA, VIA IIA, IVA, IA IIA, IA IIA, IA IVA, IIА IIA, IA IVA, IA, IIA	7 5 3, 4 7, 5 5, 6, 7 5, 2 4, 5 6, 4 7, 5 4, 5 7, 4, 5	5'3, 5'4 5'0 5'3, IP20 IP54, 5'3 IP52, 5'0 5'0, IP52, 5'3 5'0, IP20 5'0, 5'3 IP52, IP20 5'0, 5'3 IP52, 5'0, IP20
	6×6-6×24	6,0-9,0		1,8 1,6 1,6 1,6 1,8; 1,6 1,6; 1,8 1,6 1,8 1,6; 1,8					
		9,0-14,4							
Цех изготовления обмоток, участок укладки, намотки	6×6-6×18	4,2-6,0	Нормальная	1,5	ЛЛ ЛЛ ДРЛ ЛЛ ДРИ	Д2, Д3 кососвет, Ш1 Д3, Г1, Г3 Г1 Г1, Г2	IB, IIБ IIБ IIA IIБ IIA	3, 4 4 4, 5 4 5	IP20 IP20 IP20 IP20 IP20
	6×12-6×24	6,0-12,6		1,5 1,5 1,5 1,5					
Участок пропитки	6×6-6×18	3,4-6,0	Классов В-Ia, В-Iб и химически агрессивная	1,6	ЛЛ ДРЛ ДНаТ ДРЛ ЛН	Нетиповое Д1 Д1 Д1, Д2, С Д1, нетиповое	VIБ IVA IVA VIA VIA	5 7 7 6, 4 5, 6	IP65 IP54 IP54 IP56, IP54 IP54
		6,0-10,0		1,6 1,6 1,6 1,3					
Участок заливки алюминием	6×6-6×18	4,2-6,0	Пыльная	1,6	ЛЛ ДРЛ, ДНаТ ДРЛ	Нетиповое Д1, Д3 Д3	VIIБ IVA IIA, IVA, VA, VIA	7 7, 5 6, 5, 7	5'3, 5'4 IP54, 5'3 5'0, IP52
		6,0-10,8		1,6 1,6					
Производство трансформаторов и высоковольтной аппаратуры									
Штамповочно-сварочный участок	6×6-6×30	4,8-1,0	Пыльная	См. рекомендации для участков изготовления сердечников					
		15,0-18,0		1,8; 1,6	ДРЛ ДРЛ ДНаТ	Г3, К1 Г2, К1 Д3, Г3, К1	IA, IIA IVA, IIA IIA	4, 5 7, 5 6	5'3, 5'0 IP52, IP20 5'3, 5'0
				1,6 1,8; 1,6					

Цех, отделение, участок	Строительные параметры помещения, м		Среда	Коэффициент запаса, K _з	Тип ИС	Осветительные приборы общего освещения			
	Модуль	Высота				КСС в нижнюю полу-сферу по табл. 6.5	Конструктивно-светотехническая схема по табл. 6.14	Эксплуатационная группа по табл. 6.14	Степень защиты по табл. 6.10
Цех изготовления магнитопроводов	6×6—6×36	6,0—9,0	Нормальная	1,5	ДРЛ	ДЗ, Г1	IIA	4, 5	IP20
				1,5	ДРИ	Г1	IIA	5	IP20
		1,5		ДНаТ	Г3	IA	4	IP23	
		1,5		ДРЛ	Г2, К1	IIA	4, 5	IP20	
		1,5		ДРИЗ-2	Г1	VIA	7	5'0	
		1,5		ДРЛ	К1	IIA	4, 5	IP20	
		1,5		ДРИЗ-3	К2	VIA		5'0	
		1,5		ДНаТ	К1	IA	4	IP23	
		1,5		ДРИ	К1, К3	IIA	4	IP20	
		1,5		ДРИЗ-3	К2, К3	VIA	7	5'0	
	1,5	ДРИ		К3	IIA	4	IP20		
1,5	ДНаТ	К1	IA	4	IP23				
Участок пропиток и сушки	6×6—6×18	4,2—9,6	Классов В-1а, В-1б и химически агрессивная	См. рекомендации для участников пропитки					
Механосборочный цех*	6×6—6×18	4,8—6,0	Нормальная	1,5	ЛЛ	Д2, Д3	IB, IIБ	3, 4	IP20
		6×6—6×36		6,0—9,0	1,5	ЛЛ	Ш1, кососвет	IIБ	4
	9,0—15,0			1,5	ЛЛ	Г1, Ш1	IIБ	4	IP20
				1,0—20,0	1,5	ДРЛ	Д3, Г1	IIA	4, 5
	1,5				ДРИ	Г1	IIA	5	IP20
	1,5				ДРЛ	Г3, К1	IIA	4, 5	IP20
	1,5				ДРИЗ-2	Г1	VIA	7	5'0
	1,5				ДРЛ	К1	IIA	4, 5	IP20
	1,5				ДРИЗ-3	К3	VIA	7	5'0
	1,5				ДРИ	К1, К3	IIA	4	IP20
	1,5				ДРИЗ-3	К3	VIA	7	5'0
1,5	ДРИ	К3	IIA	4	IP20				
Производство низковольтной аппаратуры и комплектных устройств									
Слесарно-сборочный цех**	6×6—6×24	4,2—6,0	Нормальная	См. рекомендации для участков изготовления обмоток					
		6,0—12,5		См. рекомендации для участков изготовления магнитопроводов					
Сборочный цех*	6×6—6×24	4,8—9,6	Нормальная	См. рекомендации для участков изготовления обмоток и магнитопроводов					
Производство источников света									
Составной цех	6×6—6×18	4,5—6,0	Очень пыльная	1,6	ЛЛ	Нетиповое	VIIБ	7	5'3, 5'4
		6,0—9,0		1,6	ДРЛ, ДНаТ	Д1, Д3	IVA, IA	7, 5	IP54, 5'3
				1,6	ДРЛ	Д1, Д3, нетиповое	IVA, VA, VIA	5, 6, 7	IP52
		9,0—13,5		1,6; 1,8	ДРЛ, ДНаТ	Д3, Д2	IIA, IVA	6, 7	5'0, IP52
					ДРЛ	Д3	IVA, IA	7, 4	IP52, 5'3

Цех, отделение, участок	Строительные параметры помещения, м		Среда	Коэффициент запаса, K_3	Тип ИС	Осветительные приборы общего освещения			
	Модуль	Высота				КСС в нижнюю полу-сферу по табл. 6.5	Конструктивно-светотехническая схема по табл. 6.14	Эксплуатационная группа по табл. 6.14	Степень защиты по табл. 6.10
Стекольный цех, отделение варки (зона печи)	6×12—6×30	7,2—15,0	Пыльная, жаркая	1,6	ДРЛ	Д1, Д3, нетиповое	IVA, VA, VIA	5, 6, 7	IP52
Отделение стеклозаготовительное	6×6—6×30	4,8—15,0	Пыльная	См. рекомендации для участков изготовления сердечников					
Цех кварцевого стекла, керамический	6×12—6×18	4,8—15,0	Пыльная, жаркая	См. рекомендации для участков изготовления сердечников					
Технохимический цех**	6×6—6×12	5,0—7,2	Классов В-Ia, В-Iб и химически агрессивная	1,6 1,6 1,3	ДРЛ, ДНаТ ДРЛ ЛН	Д1 Д1, Д2, С Д1, нетиповое	IVA VA, VIA VIA	7 6, 4 5, 6	IP54 IP56, 5'4 IP54
Электродно-спиральный цех	6×6—6×18	4,5—7,2	Нормальная	См. рекомендации для участков изготовления обмоток					
Цокольный цех	6×6—6×18	4,5—7,2	Пыльная	См. рекомендации для участков изготовления сердечников					
Цех сборки ЛЛ	6×6—6×18	6,0—7,2	Нормальная Классов В-Ia, В-Iб	1,5	ЛЛ	Г1	IБ, IIБ	4	IP20
				1,5	ДРЛ	Д3, Г1	IIА	4	IP20
				1,5	ЛЛ	нетиповое	VIБ	5	IP65
				1,5	ДРЛ	Д1, Д2	IVA, VIA	7, 6	IP54
Цех сборки ЛН	6×6—6×24	4,5—6,0 6,0—7,2	Нормальная	1,5	ЛЛ	Д2, Д3	IБ, IIБ	3, 4	IP20
				1,5	ДРЛ	Д3, Г1	IIА	4, 5	IP20
				1,5	ДРИ	Г1, Г2	IIА	5	IP20

* Освещаются в соответствии с рекомендациями для механических цехов.

** Освещаются в соответствии с рекомендациями для сборочных цехов.

*** Освещаются в соответствии с рекомендациями для окрасочных цехов.

В отдельных цехах на ряде рабочих мест необходимо обеспечивать нормируемую освещенность как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости. При системе комбинированного освещения требуемая вертикальная освещенность может быть создана ОП местного освещения. При системе общего освещения можно использовать два приёма. Первый полезен при необходимости обеспечения вертикальной освещенности только на части рабочих мест. Если они расположены раздельно и их число мало, то вертикальная освещенность может быть обеспечена ОП типа «кососвет», устанавливаемыми локализованно дополнительно к ОП общего равномерного освещения. Если рабочие места организованы в ряд (например, сборочный конвейер), то в дополнение к ОП общего равномерного освещения следует использовать ОП с несимметричной КСС, установленные в линию и обеспечивающие локализованное освещение. Когда при общем освещении вертикальная освещенность необходима на большинстве рабочих мест, применяется второй приём — для общего равномерного освещения используются ОП полусферического светораспределения (с КСС типа Л или Ш1).

Линии ОП общего освещения следует располагать в основном над рядами рабочих мест. В высоких и широких цехах, особенно при тесном расположении оборудования, линии ОП могут устанавливаться реже. Однако расстояние между ними должно быть кратным расстоянию между рядами рабочих мест. (Уменьшение количества линий ОП допустимо только при отсутствии высокого оборудования или конструкций, которые могут затенять рабочие места.)

Производство силовых трансформаторов характеризуется наличием зрительных работ очень высокой и высокой точности, нуждающихся в системе комбинированного освещения, которую трудно реализовать при больших габаритах изделий и необходимости обеспечения не только горизонтальной, но и вертикальной освещенности. Поэтому местное освещение в трансформаторостроении часто реализуется с помощью ОП общего освещения, снабженных дополнительным козырьком для обеспечения защитного угла не менее 30°. Рекомендации по выбору необходимых типов ОП для общего и местного освещения приведены в табл. 12.26 и 12.27.

Производство низковольтной аппаратуры и комплектных устройств включает крупные цеха пластмасс, ОП для которых должны иметь степень защиты не менее IP50.

Характерной чертой производства ИС является наличие зрительных работ высокой, очень высокой и наивысшей точности. Это приводит к необходимости использования комбинированного освещения. Установки местного освещения на многих рабочих местах ОТК специфичны, так как должны обеспечить возможность просмотра отдельных узлов и элементов ИС на фоне равномерно светящей поверхности (работы «на просвет»).

Остальные вопросы освещения цехов электротехнических производств рассмотрены в [12.27, 12.28]. Элек-

трическая часть ОУ должна выполняться в соответствии с рекомендациями разд. 9.

12.3.4. Легкая промышленность

Легкая промышленность — это совокупность отраслей промышленности, производящих предметы массового потребления. Основные подотрасли: текстильная, швейная, кожевенная, меховая, обувная.

Наиболее объемной является текстильная подотрасль промышленности, которая включает производство хлопчатобумажной продукции, льняных, шерстяных, шелковых тканей, тканей из искусственного волокна, трикотажных, текстильно-галантерейных и пенькоджутовых изделий.

Проектирование и реконструкция предприятий легкой промышленности осуществляются на основании [12.7–12.12] и табл. 12.28.

В зависимости от технологических решений в текстильной промышленности (прядельное, крутильное и ткацкое производства) используются два типа зданий:

одноэтажные бесфонарные с эксплуатируемым межферменным пространством и укрупненной сеткой колонн и многоэтажные широкой застройки с техническими этажами, с укрупненной сеткой колонн на всех или верхних этажах. Высота пространства для обслуживания ОП принимается не ниже 1,8 м.

Здания льняных производств строятся, как правило, одноэтажными, шириной не более 60 м.

Красильно-отделочные производства размещаются преимущественно в одноэтажных зданиях. Разрешается проектирование многоэтажных корпусов шириной до 60 м с боковым освещением.

Здания трикотажных и швейных производств — преимущественно многоэтажные.

Ряд производств легкой промышленности, в которых по условиям технологии требуется постоянство климата (температуры, влажности, подвижности воздуха), проектируются с площадью оконных проемов не более 20% площади наружных стен или без естественного света. Исключение составляют отделочные производства текстильных и трикотажных предприятий, производство нетканых материалов, ковров, ковровых изделий и изделий из натуральных кож, где, как правило, предусматривается естественное освещение.

Технологический процесс большинства предприятий легкой промышленности связан с применением твердых и жидких горючих и легковоспламеняющихся веществ и принадлежит к числу пожаро- и взрывоопасных производств (табл. 12.29). Категория производств по взрывной, взрывопожарной и пожарной опасности принимается по нормам технологического проектирования или специальным перечням производств.

Производственное оборудование отличается многообразием рабочих поверхностей, расположенных в горизонтальной, вертикальной или наклонной плоскостях. Протяженность оборудования составляет 6–18 м, высота 1,5–4,6 м, ширина (для трикотажных предприятий — диаметр) 0,6–5,2 м.

Процесс производства тканей из любых видов волокон характеризуется наличием длинного ряда техноло-

Таблица 12.27

Рекомендации по освещению рабочих мест в электротехнической промышленности

Рабочее место, процесс	Освещенность от ОП местного освещения, лк	Тип ИС и ОП	Высота выходного отверстия ОП над рабочей поверхностью, мм	Примечание
Электромашиностроительное производство				
Станки намотки катушек	800–900	ЛЛ, СП МО	50–400	Осветительный прибор крепится к станку так, чтобы его выходное отверстие размещалось над катушкой на высоте 350–400 мм
Стол изоляции секций машин	800	ЛЛ (КСС типа ЛШ1 или кососвет)	600–1000	Выбор КСС зависит от компоновки столов, ОП устанавливаются на жесткой раме над столами
Столы укладки обмотки в пазы и пайки проводов	600–1800	Осветительные приборы с ЛЛ типа ЛБ65 или ЛБ80 (перекрытые рассеивателями или имеющие защитный угол не менее 30°), СП МО с ГЛН	600–1000 (для ОП с ЛЛ)	Световой прибор МО устанавливается слева от обмотчицы так, чтобы световой поток направлялся внутрь корпуса
Конвейер по укладке обмоток в пазы	600–1000	Осветительные приборы с ЛЛ типа ЛБ65 или ЛБ80 (перекрытые рассеивателями или имеющие защитный угол не менее 30°), СП МО с ГЛН	600–1000 (для ОП с ЛЛ)	Световой прибор МО устанавливается слева от обмотчицы так, чтобы световой поток направлялся внутрь корпуса
Пульт испытательного стенда	200–300	ЛЛ или СП МО с ГЛН	—	Осветительные приборы крепятся на кронштейнах к вертикальной поверхности
Производство силовых трансформаторов и высоковольтной аппаратуры				
Сборка трансформаторов механизированных мостков	350–850	ЛЛ с СП типа «кососвет»	2250 (над рабочей площадкой)	Линии ОП устанавливаются на ограждении грузовой площадки (для освещения верхней зоны) и пол рабочей площадки (для освещения нижней зоны)
Стеллаж сборки магнитопроводов	350–850	СП типа «кососвет» с лампой типа ДРЛ мощностью не более 400 Вт	5000	Осветительные приборы, ориентированные на рабочую зону, устанавливаются на колонне, стене или переносной стойке
Место напольной сборки трансформаторов различных габаритов	350–850 (300 при локализованном освещении)	СП типа «кососвет» с лампой типа ДРЛ мощностью не более 400 Вт или СП с ЛЛ	2000–3500	Осветительные приборы устанавливаются на переносной стойке (колонне, стене)
Производство высоковольтной аппаратуры и комплектных устройств				
Сборочный цех, конвейер (работа сидя или стоя)	300 (локализованное освещение)	ЛЛ (сплошные линии или с разрывами)	700–1800 700–1800	В зависимости от габаритных размеров конвейера, организации на нем рабочих мест и КСС ОП линии ОП располагаются над конвейерами или над проходами между ними
Конвейер (работа только сидя)	850 (комбинированное освещение)	ЛЛ	350–450	Вариант применим при небольших размерах изделия и достаточной площади рабочего места

Окончание табл. 12.27

Рабочее место, процесс	Освещенность от ОП местного освещения, лк	Тип ИС и ОП	Высота выходного отверстия ОП над рабочей поверхностью, мм	Примечание
Стол контроля	850	ЛЛ	600–800 350–450	С помощью экранов различных цветов, располагаемых за проволокой, создается фон, увеличивающий видимый контраст объекта наблюдения
Участок намотки	800–900	ЛЛ	350–600	Осветительные приборы со схемой IV С ЛЛ, перекрытые рассеивателем, используются при работе с блестящими изделиями
Рабочее место ОТК	1800	СП с ЛЛ, СП МО с ГЛН	500–700 250–350 400	Осветительный прибор НКП03 применяется при разбраковке изделий, которые могут иметь объемные дефекты, а ИКП01 или НКП04 — в тех же случаях, но при условии выполнения разбраковки в помещениях с тяжелыми условиями среды
Производство ИС				
Место визуального контроля отдельных элементов ламп; стол контроля тарелочек, спиралей и т.п.	—	ЛЛ типа ЛБ8 (3 шт.)	—	Контроль на фоне молочного стекла размером 186×250 мм. Расстояния от оси ЛЛ до молочного стекла 50 мм, между осями ламп 60 мм. Люминесцентные лампы должны быть включены в разные фазы трехфазной питающей сети
Контроль колб ЛН	1500 (на вертикальном экране)	ЛЛ с СП типа кососвет, (2 шт. на каждое место)	500 (над серединой экрана)	Обнаружение дефектов производится на фоне вертикального экрана, расположенного непосредственно под ОП. Экран имеет три части: черную матовую — для различения заливов, расстекловки, трещин; белую матовую — для различения пузырей, ипоролных включений и трещин; клетчатую (черная сетка наложена на белый матовый фон) — для различения свилей
Стол браковки электропроводов	1700–1800	ЛЛ	300 500–600	Осветительные приборы устанавливаются на жесткой раме над столом, их выходные отверстия должны быть перекрыты рассеивателями
Сборка миниатюрных ЛН: монтаж пожек	2200–2300	ЛЛ	200–300	Осветительный прибор размещается над столом перед работающим
цоколевание, заварка ламп	850–900	СП МО с ГЛН	300–400	Освещаются места загрузки и съема продукции
Контроль нанесения люминофора на трубки	—	ЛЛ типа ЛБ65 (6 шт.) или типа ЛБ80 (6 шт.)	—	Трубки, покрытые люминофором, просматриваются на фоне молочного стекла, под которым на расстоянии 40 мм установлены ЛЛ, включенные в разные фазы трехфазной питающей сети

Нормы освещенности и показатели качества освещения предприятий легкой промышленности

Цех, участок, производственное оборудование	Рабочая поверхность (Г — горизонтальная, Н — наклонная, В — вертикальная)	Разряд и подразряд зрительной работы	Освещенность			Характеристика качества освещения	
			при одном об- щем освещении	при комбинированном освещении		Коэффициент пульсации освещенности (K_p), %	Показатель ослепленности (Р)
			Всего	В том числе от общего			
Текстильная промышленность							
Питатели, разрыхлители, смесители, чистители, машины трепальные, шипальные	Г — питающая решетка, зона обслуживания	VI	200	—	—	20	40
	В — смотровые окна	VIIIб	75				
Чесальные, гребнечесальные, кардочесальные машины, агрегаты чесальных машин: неокрашенное волокно окрашенное волокно	Г — прочес, холст, гребни, лентоукладчик	Vв Va VIIIб	200	—	—	20	40
	В — бункер		300	—	—		
			75				
Прядильные кольцевые, крутильные кольцевые, прядильно-крутильные машины при толщине нитей 50 текс и менее: неокрашенная пряжа окрашенная пряжа	Г — нити после выпускных приборов	IIIв IIIб	300	—	—	15	40
			400*	—	—		
Прядильные пневмомеханические машины: неокрашенная пряжа окрашенная пряжа	Г — бобина	IIв IIб	500	—	—	10	20
			750				
Прядильные аэромеханические машины	Г — бобина	IIIв	300	—	—	15	40
Ткацкие станки (светлая пряжа толщиной 50 текс и менее)	Г — полотно, основа	IIв	500	—	—	10	20
Ткацкие станки (темная пряжа толщиной 50 текс и менее)	Г — полотно, основа	IIб	750	—	—	10	20
Браковочно-учетные машины: неокрашенные ткани окрашенные ткани	Н — поверхность стола	IIIв IIIа	—	1000*	200	20/15	40
				2000	200		
Швейная промышленность							
Швейные цехи по пошиву верхней одежды, женского платья, мужских костюмов, мужских рубашек и других изделий из темных тканей	Г — 0,8 м от пола	—	750	—	—	20	20
Швейные машины стачивающего, красобметочного, стачивающе-обметочного стежка Швейные машины полуавтоматического действия для пришивания пуговиц, обметывания петель, изготовления закрепок, выполнения строчек сложной конфигурации, обтачивания деталей одежды	Г — ткань в зоне иглы в радиусе 10 см	IIа	750**	2000**	400	20/10	
	Г — ткань в зоне иглы в радиусе 10 см	IIв	500	2000	300*	20/10	

Цех, участок, производственное оборудование	Рабочая поверхность (Г — горизонтальная, Н — наклонная, В — вертикальная)	Разряд и подразряд зрительной работы	Освещенность			Характеристика качества освещения	
			при одном об- щем освещении	при комбинированном освещении		Коэффициент пульсации осве- щенности (K_p), %	Показатель ос- лепленности (Р)
				Всего	В том числе от общего		
Швейные цехи по пошиву одежды, женского и постельного белья из светлых тканей	Г — 0,8 м от пола	—	500	—	—	20	20
Швейные машины	Г — ткань в зоне иглы в радиусе 10 см	IIв	500	2000	300*	20/10	
Швейные цехи по пошиву товаров широкого потребления из темных тканей	Г — 0,8 м от пола	—	500	—	—	20	40
Швейные машины стачивающего, краеобметочного, стачивающе-обметочного стежка	Г — ткань в зоне иглы в радиусе 10 см	IIIа	500	2000	300*	20/15	
	Швейные машины полуавтоматического действия для пришивания пуговиц, обметывания петель, изготовления закрепок, выполнения строчек сложной конфигурации, обтачивания деталей одежды	IIIб	400*	1500*	300*	20/15	
Швейные цехи по пошиву товаров широкого потребления из светлых тканей	Г — 0,8 м от пола	—	300	—	—	20	40
Швейные машины	Г — ткань в зоне иглы в радиусе 10 см	IIIв	300	1000	200	20/15	40
Швейные цехи по пошиву изделий, не имеющих повышенных требований к внешнему виду (тары, спецрукавиц и т.п.)	Г — 0,8 м от пола	—	200	—	—	20	40
Швейные машины	Г — ткань в зоне иглы в радиусе 10 см	IIIв	300	200	750	20/15	
Обувная промышленность							
Участок размножения шаблонов	Г — 0,8 м от пола	—	200	—	—	20	20
Оборудование для серийного размножения шаблонов деталей обуви	Г — поверхность стола	IIв	—	2000	200	20/10	20
Оборудование для вырезания шаблонов деталей обуви	Г — поверхность вырезаемых деталей	IIв	—	2000	200	20/10	20
Машины для измерения площади шаблонов	Г, В — шкалы измерительных приборов	IVв	200	—	—	20	40
Участок по ремонту колодок	Г — 0,8 м от пола	—	200	—	—	20	40
Верстаки для ремонта колодок	Г — поверхность верстака	IVб	200	—	—		
Участки раскроя и обработки деталей низа и верха обуви	Г — 0,8 м от пола	—	200	—	—	20	40

Цех, участок, производственное оборудование	Рабочая поверхность (Г — горизонтальная, Н — наклонная, В — вертикальная)	Разряд и подразряд зрительной работы	Освещенность			Характеристика качества освещения	
			при одном об- щем освещении	при комбинированном освещении		Коэффициент пульсации освеще- нности (K_p), %	Показатель ос- лепленности (Р)
				Всего	В том числе от общего		
Прессы для вырубki деталей низа обуви, столы сортировки деталей, контроля качества и комплектования обработанных деталей низа обуви Оборудование для механической обработки деталей Машины для формования деталей Прессы для вырубki деталей верха обуви, столы контроля и сортировки деталей верха обуви Раскройные машины *** Агрегаты автоматического раскроя текстиля: стол настила стол раскроя	Г — вырубочная колода, поверхность стола	IVб	—	600*	200	10	20
	Г — зона действия исполнительных механизмов	IVб	200	500	200		
	Г — зона действия исполнительных механизмов	Vб	200	—	—		
	Г — вырубочная колода	IVа	—	1000*	200		
	Г — полотно (нож)	IIб	750	—	—		
Сборочный цех заготовок обуви	Г — поверхность стола	IVа	300	1000*	200	20	40
	Г — поверхность стола	IVа	—				
	Г — 0,8 м от пола	—	200				
Оборудование для обработки деталей, перфорирование, тонирование, тиснение, разметка линий декоративных строчек, разглаживание швов, околачивание канта и вставка фурнитуры, спуск, подрезание и загибка краев Швейные машины для сборки заготовок обуви	Г — зона действия исполнительных механизмов	IVв	200	—	—	20/15	40
	То же	IVа	—	750	200		
	Г — изделие в зоне иглы	IIIа	—	2000	300*		
Участки сборки обуви	Г — 0,8 м от пола	—	300	—	—	20	40
Оборудование для формования, фиксации форм, подготовки следа, затяжки обуви Оборудование для приклеивания низа обуви Оборудование для пришивания рантов и подошв Швейные машины для сборки заготовок обуви Оборудование для крепления низа обуви гвоздями, винтами Оборудование для горячей вулканизации низа обуви	Г — зона действия исполнительных механизмов	IVа	300	750	200	20/15	40
	Г — зона действия исполнительных механизмов	Vб	200	—	—		
	Г — изделие в зоне иглы	IVб	—	500	200		
	Г — изделие в зоне иглы	IIIа	—	2000	300*		
	Г — зона действия исполнительных механизмов	IVв	—	400	200		
Г — поверхность пресс-форм	IVб	—	500	500	200		

Цех, участок, производственное оборудование	Рабочая поверхность (Г — горизонтальная, Н — наклонная, В — вертикальная)	Разряд и подразряд зрительной работы	Освещенность			Характеристика качества освещения	
			при одном об- щем освещении	при комбинированном освещении		Коэффициент пульсации осве- щенности ($K_{п}$), %	Показатель ос- лепленности (Р)
				Всего	В том числе от общего		
Оборудование для литья под давлением низа обуви и каблучков	Г — поверхность форм	IVб	300*	—	—		
Оборудование для обработки готовой обуви	Г — зона действия испол- нительных механиз- мов	IVа	—	750	200		
Столы для устранения дефектов и контроля ка- чества готовой продукции	Г — поверхность стола	IIIа	—	2000	300*		

* Освещенность повышена на одну ступень вследствие высокого зрительного напряжения.

** Освещенность установлена экспериментальным путем.

*** Предусмотреть встроенный светильник в зоне ножа для стационарных машин и стационарное зеркало с тыльной стороны ножа для контроля резки мелких деталей.

П р и м е ч а н и е. При дробном значении коэффициента пульсации в числителе приведено максимально допустимое значение $K_{п}$ для общего освещения (при одном общем освещении) и общего — в системе комбинированного, а в знаменателе — для местного освещения в системе комбинированного.

Таблица 12.29

Строительные параметры и рекомендации по выбору ОП для основных технологических цехов предприятий легкой промышленности

Предприятие, отдел, участок	Строительные параметры помещения, м			Класс помещения по ПУЭ	ОП общего освещения	
	Модуль	Высота здания, м, не менее			Эксплуатационная группа по табл. 6.14	Степень защиты по табл. 6.10
		одноэтажное	многоэтажное			
Текстильные предприятия						
Разрыхлительно-очистительный, угарный, трепаль- ный, приготовительно-прядельный	12×8; 6×9; 6×18	4,8	5,5	П-II	3 5,7 7 7	IP53 IP54 IP65 IP54
Прядельный, крутильный, ткацкий	12×18; 6×18;	4,8	5,5	П-II	6 5, 7	IP54 5'4
Отделочный	6×9	4,8	5,5	П-II, П-IIа	3	IP53
Красильный, отбельный, печатный, зрельный	6×18;	6	5,5	П-II, П-IIа	3 2	IP54 5'4
Трикотажные и швейные предприятия						
Вязальный	6×6; 6×9; 6×12	4,2 4,8	3,9 4,9	П-II П-IIа	5, 7	5'4
Раскройный, швейный, влажно-тепловой обработки	6×6; 6×9; 6×12	4,2	3,9	П-IIа	3 3	3IP54 IP53

гических операций, начиная от первичной обработки сырья (лен, хлопок, шелк, шерсть), которое затем подвергается последовательно разрыхлению, трепанию, прочесыванию, образованию ленты и/или ровницы, прядению, трощению, кручению, окрашиванию или отбеливанию, подготовительным операциям для ткачества, собственно ткачества, после которого следует ряд заключительных отделочных операций. Оборудование сортировочно-разрыхлительных цехов в большинстве случаев объединено в поточные линии (кипа — лента), в связи с чем требуется постоянное усиленное наблюдение за ходом технологического процесса в целях обеспечения его синхронности. Особенно трудоемка зрительная работа при выработке меланжевой (окрашенной) пряжи, которая связана с необходимостью цветоразличения (определение неравномерности окраски). В целом работа относится к категории малой точности и грубой, но качество холстов и пряжи, полученных в сортировочно-трепальных цехах, определяет качество продукции при последующих процессах ее обработки. В прядении большое внимание уделено развитию пневмомеханического способа прядения. Наряду с машинами типов БД и ППМ внедрены прядильные роторные и аэродинамические машины, вырабатывающие пряжу большой толщины. Зрительная работа на машинах типа БД облегчена за счет сигнализации о местах обрыва ленты и пряжи, но остается весьма напряженной. Для выработки нитей более высоких номеров (более тонких) по-прежнему применяются кольцепрядильные машины, работа на которых требует особо высокого напряжения зрения. Общая загруженность прядильщицы составляет более 85% длительности рабочей смены, на ликвидацию обрывов требуется около 30% рабочего времени.

В приготавительно-ткацких отделах весьма трудоемко обслуживание крестомотальных автоматических машин, наиболее напряженной операцией является отыскивание обрыва нитей на бобине. Рабочая поверхность (бобина) расположена на уровне 0,5 м от пола. Работа на проборных станках до сих пор выполняется практически вручную и требует в течение всей рабочей смены высокого напряжения зрения, сопровождающегося монотонностью выполняемых операций. Не менее напряженна и работа узловязальщика. Обслуживание ткацких станков связано с большими физическими нагрузками (в частности, за смену ткач проходит расстояние до 15 км и находится в вынужденной позе «стоя» до 80% времени рабочей смены) и высоким напряжением зрения (точная зрительная работа занимает до 60% рабочего времени, напряженная зрительная работа продолжается более 50% рабочего дня, при работе с цветными нитями требуется цветоразличение). Ткацкие станки отличаются большим разнообразием, некоторые (пневмомеханические станки) имеют наклонные рабочие поверхности, конструкция других (жаккардовые станки, станки тина СТБ) имеют конструктивные элементы, создающие затенение рабочих поверхностей, что требует применения специальных приемов освещения [12.11].

Перечисленное выше позволяет отнести работу в прядильно-ткацких цехах к категории высокой и очень

высокой точности. Работа является напряженной — точная зрительная работа продолжается более 30% времени рабочей смены.

В отделочном производстве внедрены линии различного назначения, совмещающие от двух до четырех операций, скорость обработки — от 90 до 250 м/мин. К их числу относятся линии отбельно-красильная, каландрирования и термообработки и др. Линии оснащены средствами автоматизации, однако на всех переходах технологического процесса отделочного производства имеет место визуальный контроль, на участках поточных линий работа осложнена обилием информации. Внедрение нового высокопроизводительного оборудования видоизменяет зрительную работу, но чаще всего не делает ее более легкой. Расширение фронта обслуживания оборудования влечет за собой рост технологической нагрузки, увеличение роли зрения — основного источника информации. Повышаются требования к искусственному освещению.

Последние десятилетия для текстильной промышленности характерны тем, что сократились объемы выпускаемой продукции, в текстильной отрасли несколько изменился баланс используемого сырья (уменьшился выпуск тканей из натуральных шерстяных и шелковых волокон, возрос удельный вес тканей из льна), практически прекратили свое существование предприятия-гиганты, изменилась форма собственности. Однако сам технологический процесс претерпел весьма незначительные изменения, зрительные задачи остались прежними, в связи с чем изменение нормативных требований к освещению можно связать лишь с введением в действие новых нормативных документов СНиП и СанПиН. Выдержки из отраслевых норм искусственного освещения предприятий текстильной отрасли промышленности [12.11], актуализированные в соответствии с требованиями СНиП 23-05-95*, приведены в табл. 12.30.

Таблица 12.30

К расчету размера объекта различения

Тип пряжи	Значение R
Хлопчатобумажная суровая	1,25
Хлопчатобумажная отбеленная	1,30
Льняная сухого прядения	1,55
Льняная мокрого прядения	1,22
Шерстяная	1,33
Шелк-сырец	1,40
Вискозная штапельная	1,23
Ацетатный шелк	1,48
Капрон	1,50

Размер объектов различения на предприятиях текстильной промышленности определяется с учетом номинальной толщины пряжи — по уравнению:

$$d = 0,03162R\sqrt{T},$$

где d — диаметр пряжи, мм; R — коэффициент, зависящий от природы волокна; T — толщина пряжи, текс. Значения R приведены в табл. 12.30.

В зависимости от группы волокна и способа его обработки толщина нити может изменяться даже на однородном оборудовании. Например, в цехах сухого и мокрого прядения льна (при оческовой системе) диаметр нитей 0,3 мм, а при системе мокрого прядения — 0,1–0,3 мм. На прядильных машинах ровнича имеет толщину более 1 мм, а толщина нитей исчисляется десятками долями миллиметра. Пряжа для грубых сукон и технических тканей имеет диаметр 0,3 мм, шелковая пряжа — 0,1 мм.

Так как нити являются протяженными объектами, выбор разрядов зрительных работ проведен в ряде случаев по эквивалентному размеру объекта различения, определенному по методике, изложенной в приложении В СНиП 23-05-95*. К тому же, как показывают исследования, учет только геометрических размеров (диаметра и длины нити) недостаточен, эквивалентный размер рельефного объекта — нити — существенно зависит от распределения яркости по поверхности нити, что позволяет выявить ее видимый (высвеченный) размер по кривым, приведенным в [12.32].

Размеры объектов различения на предприятиях текстильной промышленности изменяются в широких пределах, однако преобладает зрительная работа, относящаяся к разрядам II и III. Коэффициент отражения материалов 0,06–0,8.

По степени контраста объектов различения и фона зрительная работа относится к двум группам: первая группа объединяет производственные операции, при выполнении которых различаемый объект находится на фоне частей оборудования (леточные, ровничные, сновальные, прядильные и другие машины), ко второй группе относятся зрительные операции по различению нитей и их переплетений на фоне тех же нитей (мотальные, сновальные, шпихтовальные, машины, ткацкие станки и т.д.). По отраслевым нормам искусственного освещения [12.6] при работах первой группы контраст большой или средний (от 0,2 до 0,5), во втором случае контраст всегда малый (менее 0,2), так как значения коэффициентов отражения фона и детали одинаковы. В перечисленных группах имеет место фиксированное направление линии зрения работающих на рабочую поверхность.

Трикожная промышленность характеризуется разнообразием ассортимента изделий. Пряжа и нити, используемые в отрасли, изготавливаются из натуральных (хлопок, шерсть) и химических (синтетических и искусственных) волокон высокого качества. Характер зрительной работы осложняется наличием нитей и пряжи, разнообразных по цвету, оттенкам, и малой их толщиной. Отдельные нити обладают блеском. Нити различаются в движении — скоростью наматывания нитей — от 220 до 860 м/мин. Напряженная зрительная работа в большинстве случаев продолжается в течение всего рабочего дня. Особенно напряженной является работа на участках перематывания нитей и трикотажно-вязальных, в момент отыскивания и ликвидации

обрыва, при замене и правке игл и работа контролеров готовой продукции, что требует создания высоких уровней освещенности [12.8].

Для швейной промышленности характерно наличие очень разных зрительных задач и степени ответственности при выполнении принципиально одинаковых операций. Так, стачивание деталей модельной одежды требует высокой точности выполнения шва и контроля отсутствия разнотона соединяемых деталей, что не актуально при пошиве упаковочной тары или элементов спецодежды.

В последние годы появилось большое число мелких предприятий, занимающихся в основном пошивом комплектов постельного белья, спецодежды и других изделий, требующих к качеству которых существенно ниже по сравнению с пошивом верхней одежды и платья.

В раскройных цехах, где визуальный контроль составляет более 75% времени, имеет место необходимость цветоразличения. Широко внедрены швейные машины полуавтоматического действия, на которых контроль качества операций выполняется не только вручную, но и в машинное время, и быстроходные швейные машины, выполняющие в минуту 5000 стежков и более. В ряде случаев швей-мотористка выполняет до шести операций в ограниченное время. Ручные операции, связанные с высоким напряжением зрения, занимают до 35% рабочего времени, в том числе с контролем качества — до 14%. Имеет место монотонность труда — число технологически неделимых операций, объединенных в одну организационную операцию, в 60% случаев не превышает трех, продолжительность одной операции колеблется от 10 до 150 с, в то время как число повторений в час достигает 180 и выше. Контроль качества изделий осуществляется на всех переходах, на промерочно-браковочных машинах контролер просматривает до 5000 м ткани за смену. Имеет место цветоразличение. По показателям точности зрительной работы и количественным критериям, изложенным в [12.5], работа в раскройных и швейных цехах швейных фабрик относится к категории напряженной. Требования к освещению швейных предприятий изложены в [12.10–12.12, 12.34–12.36]. Как показывает практика, представляется целесообразным дифференцировать требования к освещению пошивочных цехов (табл. 12.29).

На предприятиях обувной промышленности зрительные работы, выполняемые при обслуживании основного технологического оборудования, относятся, как правило, к III и IV разрядам, нормируемые уровни освещенности в большинстве случаев составляют 200–300 лк (табл. 12.28) при системе общего освещения и до 750 лк при системе комбинированного освещения. Освещенность 1000 лк при комбинированном освещении требуется на агрегатах автоматического раскроя текстиля, столах контроля и сортировки деталей, и 2000 лк на столах контроля готовой продукции и устранения дефектов. Ввиду необходимости цветоразличения на большинстве оборудования требуется использование ЛЛ с улучшенной цветопередачей (групп 830, 860, 930).

Необходимые условия освещения оборудования и площадей цехов в целом выбираются в соответствии с отраслевыми нормами освещения [12.4–12.12]. В отраслевых нормах качество освещения характеризуется ограничением значений коэффициента пульсации освещенности и показателя ослепленности, наличием требований к равномерности освещения, к применению ИС различного спектрального состава, регламентированием составляющей общего освещения в системе комбинированного, рекомендациями по применению специальных приемов освещения: на просвет, использование встроенных и переносных ОП для временного усиления освещенности и т.д.

На участках проборных станков, тканеукладчиков, белосушильных агрегатов, печатных машин, гребнечесальных машин шерстяных фабрик, контроля продукции, вышивки и художественной росписи, в помещениях раскройных цехов швейных фабрик и ряде других, в соответствии с требованиями отраслевых норм должны применяться лампы типов ЛЕЦ или ЛДЦ (840, 954) с исправленной цветностью, что подтверждено экспериментальными исследованиями [12.34]. Во всех других цехах и отделах рекомендуется использоваться лампы типа ЛБ (группы 535).

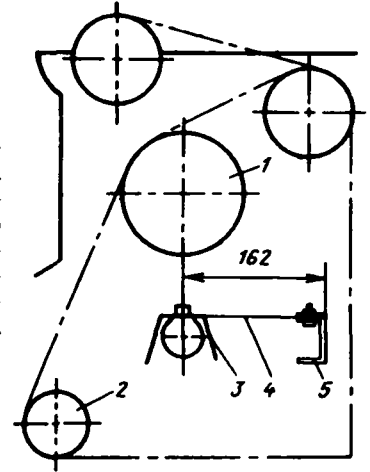
Коэффициент запаса в большинстве цехов 1,6–1,8, количество чисток ОП с применением моющих средств 2–3 в год и дополнительно сухая чистка — не реже двух раз в месяц. Коэффициент запаса и сроки чистки ОП установлены большей частью экспериментально. Во всех помещениях обязательно рабочее освещение и ЭО. В производственных цехах требуется выполнять преимущественно общее локализованное и комбинированное освещение. Последнее определяется необходимостью обеспечения высокого уровня освещенности рабочих поверхностей и специального направления света на объект различения, а также размещением оборудования в виде линий и конвейеров. Перечень оборудования, требующего наличия ОП местного освещения, приведен в отраслевых нормативных документах.

Размещение ОП общего освещения должно быть увязано со строительными конструкциями потолка, размерами отдельных его элементов, размещением вентиляционных устройств и других коммуникаций. При типовом проектировании предприятий ОП встраиваются в специальные проемы потолочных плит, различный уровень освещенности регулируется количеством и мощностью ИС и ОП. Варианты размещения ОП приведены в [12.11, 12.12]. Пример размещения ОП для кругловязальных машин показан на рис. 12.32, а–д.

Линии ОП размещаются преимущественно поперек оборудования. В этом случае обеспечиваются высокая видимость нитей [12.35] и равномерное распределение освещенности в зоне рабочих мест, которое незначительно нарушается даже при выходе из строя одного-двух ОП. Исключение составляют пневматические ткацкие станки типа П-105, имеющие наклонные рабочие поверхности, для которых линии ОП целесообразно располагать вдоль станков [12.38].

В ряде случаев требуются встроенные в оборудование или пристроенные ОП. Они предназначены для

Рис. 12.32. Схема освещения ткацкого станка типа АТМ-175: 1 — верхний (петельный) навои; 2 — нижняя (коренная) основа; 3 — одноламповый ОП; 4 — кронштейн; 5 — рама станка



искусственного усиления контраста, и создаваемая ими освещенность не нормируется. Для примера на рис. 12.32 приведена схема освещения ткацкого станка типа АТМ-175. На станке верхний (петельный) навои 1 почти полностью экранирует световой поток ОП общего освещения, вследствие чего нити нижней (коренной) основы 2 трудно различимы. Для улучшения видимости нитей основы между аркатами и нитями верхней основы 1 установлен одноламповый ОП 3 с ЛЛ мощностью 58(65) Вт, ОП с помощью кронштейна 4 крепится к раме 5 станка, ПРА ОП в специальной коробке вынесено на балку верхнего перекрытия. Питание к ОП подводится по станине станка в металлорукаве. Включение ОП осуществляется с помощью выключателя, размещенного на боковой раме станка. Встроенный в станок ОП обеспечивает на нитях основы освещенность 400–500 лк, зрительное утомление работников сокращается на 7–10%, время на ликвидацию обрыва основной нити — на 25–30%.

Аналогичная схема освещения полотна на просвет выполняется на станках типа СТБ.

В схеме, приведенной на рис. 12.33, ОП местного освещения браковочно-учетной машины устанавливаются под углом 30° к плоскости смотрового стола. При

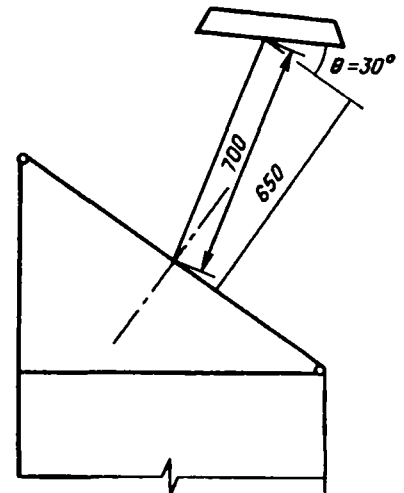


Рис. 12.33. Схема освещения браковочно-учетной машины

изменении угла наклона стола положение ОП относительно стола должно оставаться постоянным. При контроле цветных тканей система должна обеспечивать возможность создания уровней освещенности 1500 лк и 2000 лк в системе комбинированного освещения, в том числе 300 лк от общего освещения. Оптимальным является уровень освещенности 1500, 2000 лк в системе комбинированного освещения для контролеров в возрасте 40 лет и старше, при контроле темных тканей, а также для контроля продукции в конце смены. Освещение браковочно-учетных машин рекомендуется выполнять четырехламповыми светильниками с ЛЛ ЛЕЦ или ЛДЦ (группы 840 и 954), при этом должна быть предусмотрена возможность раздельного включения ламп с соблюдением нормативных требований по ограничению пульсаций освещенности.

При контроле суровых (неотделанных) тканей достаточным является уровень освещенности 1000 лк (в том числе 300 лк от общего освещения), обеспечиваемый лампами типа ЛБ.

Нередко местное освещение является конструктивным элементом машины.

На мотальных машинах типа М-2М (рис. 12.34) двухламповые ОП с лампами типа ЛБ36 устанавливаются с каждой стороны машины по 12 шт., на высоте 900 мм от оси мотальных барабанчиков, ОП на крючках 4 подвешиваются к трубам 3, проходящим вдоль машины с двух сторон, и крепятся с помощью кронштейнов 1 на поперечных трубах 2. Последние через специальные муфты крепятся к вертикальным трубам 7, расположенным на стойках транспортера или на стойках полок бобин. Для ограничения слепящего действия ОП снабжены экранирующими пластинами 6. Совместно с ОП общего освещения на рабочих поверхностях (бобинах) обеспечивается освещенность до 850 лк. Видимость нитей повышается в 2 раза, зрительное утомление работниц снижается на 5%.

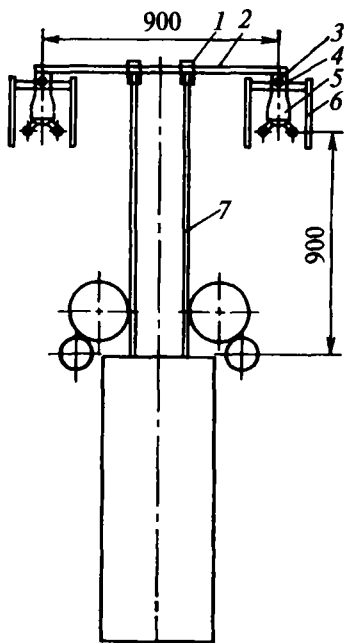


Рис. 12.34. Схема локализованного освещения мотальных машин: 1 — кронштейны; 2 — трубы поперечные; 3 — трубы продольные; 4 — крючки; 5 — ОП; 6 — светоотражающие пластины; 7 — трубы вертикальные

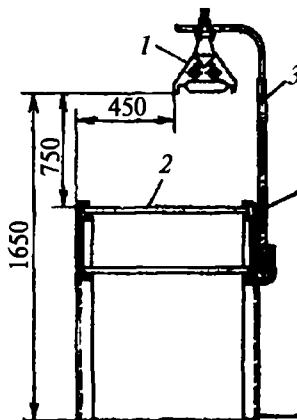


Рис. 12.35. Схема освещения конвейера сортировки шерсти: 1 — светильник типа ПВЛМ-ДР; 2 — полотно конвейера; 3 — кронштейн

Аналогичная схема (рис. 12.35) используется при освещении конвейеров сортировки шерсти.

Комплектные осветительные устройства со шелевыми световодами могут применяться в приготовительных-прядельных цехах льняных фабрик, имеющих в своем составе взрывоопасные фильтр-камеры, а также в других цехах предприятий легкой промышленности.

Световод успешно используется и в помещениях зарядки электрокаров.

Расчет освещенности от ОП общего освещения должен выполняться с учетом затенений от оборудования, расположения рабочих поверхностей в различных плоскостях и незначительным влиянием отраженной составляющей. При расчете необходимо ориентироваться на использование ОП с ЛЛ, расположенных в виде линий преимущественно поперек оборудования. Подробное изложение методики и пример расчета приведены в [12.36].

При выполнении расчетов необходимо учитывать экранирование света элементами оборудования. Машины вязальных цехов трикотажных фабрик, прядельных и приготовительно-ткацких цехов текстильных фабрик экранируют до 30%, ткацкие станки без кареток — до 15%, ткацкие станки с каретками и пневматические ткацкие станки типов П-105 и П-125 — до 50% падающего светового потока.

Экранирование света характеризуется коэффициентом затенения $K_{зт}$. Применительно к предприятиям текстильной промышленности значение $K_{зт}$ зависит от отношения высоты оборудования над расчетной точкой h и ширины рабочего прохода b к высоте подвеса ОП над расчетной плоскостью H (рис. 12.36).

Выбор значения $E_{зт}$ при расположении светящихся линий поперек оборудования следует проводить по приведенным кривым. Освещенность с учетом затенения $E_{зт}$ определяется по формуле:

$$E_{зт} = EK_{зт}$$

При расположении светящихся линий вдоль оборудования $K_{зт}$ не вводится, но при расчете освещенности учитываются лишь те линии ОП, которые не экранируются оборудованием. Определение освещенности от этих линий проводится путем графического построения.

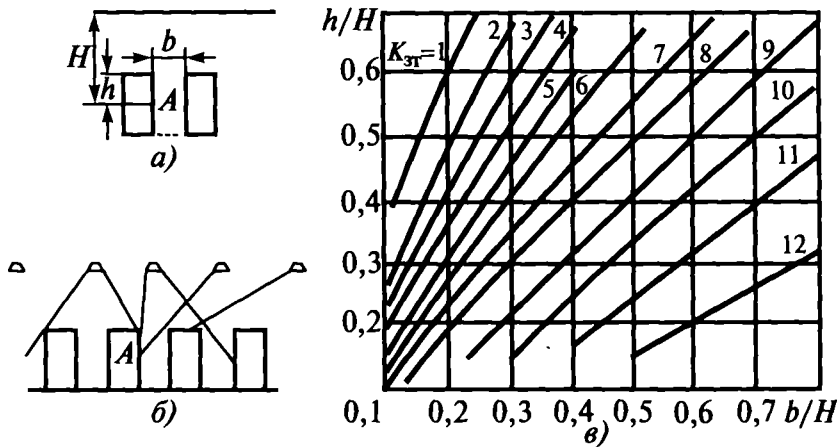


Рис. 12.36. К расчету освещения с учетом затенения: *a* — параметры, определяющие уровень затенения; *b* — экранирование света оборудования; *в* — значения $K_{зт}$

В швейных цехах швейных фабрик отраслевыми нормами [12.8] предусмотрена система комбинированного освещения, обеспечивающая освещенность 2000 лк в зоне иглы (в радиусе 100–150 мм). Поскольку в каждой секции наряду с машинными операциями различной сложности выполняются ручные операции, составляющая общего освещения в системе комбинированного не должна быть менее 750 лк. С учетом большого разнообразия в размещении оборудования рекомендуется схема общего освещения с равномерным или локализованным размещением ОП. Для каждого варианта размещения оборудования относительно светящей линии определяется $K_{зт}$. В [12.10] приведены наиболее часто встречающиеся на практике случаи взаимного расположения швейной машины и светящей линии: параллельное ($\alpha=0^\circ$); перпендикулярное ($\alpha=90^\circ$) и под углом 45° (α — угол между осью машины и проекцией светящей линии на плоскость). На рис. 12.37 приведен график зависимости $K_{зт} = f(p')$ для различных α , где $p' = p/H_p$ — относительное расстояние между головкой машины и проекцией светящей линии, вышолненной из ОП с конструктивно-светотехнической схемой VII (см. раздел 6), на плоскость; H — расчетная высота подвеса ОП, м.

Значения p' принимаются со знаком плюс, когда линия зрения направлена в сторону светящей полосы, и со знаком минус при направлении в противоположную сторону. Исходными данными для расчета являются уровень освещенности в расчетной точке от каждой

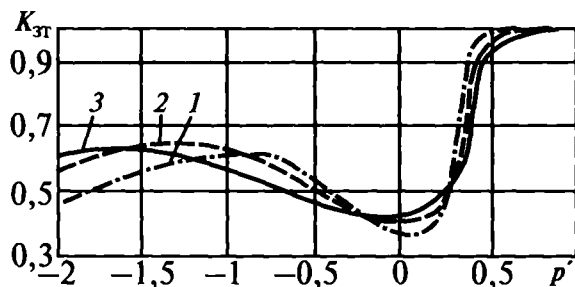


Рис. 12.37. График для определения коэффициента затенения $K_{зт}$. Угол α в градусах: 1 — 0; 2 — 45; 3 — 90

светящей линии, значения p' и коэффициентов затенения $K_{зт1}, \dots, K_{зтn}$ (n — число светящих линий). Суммарный коэффициент затенения находится как частное от деления суммы освещенностей от отдельных светящих полос с учетом затенения на суммарную освещенность в расчетной точке.

Освещенность в зоне иглы швейной машины с учетом затенения определяется по приведенной формуле, где в данном случае E — суммарная освещенность в расчетной точке с учетом прямой и диффузной составляющих освещенности.

Независимо от принятого расположения ОП в линиях (равномерное или локализованное освещение) наименьшее экранирование светового потока достигается в том случае, когда относительное расстояние $p' > 0,38$. Расположение светящих линий непосредственно над иглой швейной машины ($p'=0$) является недопустимым, так как в этом случае имеет место максимальное экранирование светового потока.

На участках влажно-тепловой обработки затенение света элементами оборудования определяется путем графического построения [12.36]. Для этого на разрезе помещения обозначаются производственное оборудование и ОП, а затем определяется угол действия ОП. Нормы освещенности и показатели качества освещения предприятий легкой промышленности приведены в табл. 12.30.

В помещениях без естественного света или с недостаточным естественным освещением целесообразно предусматривать ОСУ [СНиП 23-05-95*]. Опыт показывает, что для предприятий легкой промышленности наиболее эффективны установки длительного действия, так как все работающие в производственном помещении подвергаются действию малых доз УФ-излучения в течение всего рабочего дня, для таких установок не требуется специальных помещений, работающие не затрачивают времени на посещение фотариев.

Основным элементом ОСУ являются облучатели с эритемными лампами малой мощности.

В производственном помещении без естественного света в горизонтальной плоскости на уровне 1 м от пола в течение рабочей смены рекомендуется обеспе-

чить облученность 5 мэр/м^2 , доза за сутки — $40 \text{ мэр} \cdot \text{ч/м}^2$.

Облучательные светотехнические установки оборудуются в основных технологических цехах текстильных, швейных и трикотажных фабрик (исключение составляют отделочные производства, в которых установки подобного рода не рекомендуются). Эритемные облучательные установки длительного действия устраиваются в помещениях, где нормируемая освещенность составляет 200 лк и более, а запыленность воздуха не превышает $3\text{--}4 \text{ мг/м}^3$. Наличие ОСУ длительного действия приводит к уменьшению заболеваемости работающих на 10% и более и к снижению бактериальной загрязненности воздуха более чем в 3 раза [12.37]:

12.3.5. Деревообрабатывающая промышленность

Виды производств деревообрабатывающей промышленности весьма разнообразны. Основными и наиболее крупными из них являются: лесопильное, столярное, фанерное, мебельное, домостроительное, а также производство плит (древесностружечных, древесноволокнистых, ламинированных и др.) и клееных деревянных конструкций. Меньшую долю в общем объеме производства составляет изготовление древесной муки, лыж, спичек, тары и некоторой другой продукции. Кроме самостоятельных производств имеется большое количество деревообрабатывающих цехов в составе строительных баз, ремонтных блоков, предприятий разных отраслей промышленности.

Типы застройки на действующих предприятиях различны. Наиболее распространены одноэтажные (однопролетные и многопролетные) здания, реже встречаются многоэтажные и комбинированные. Здания имеют, как правило, естественное освещение (боковое, верхнее или комбинированное). Особенностью развития отрасли является широкое внедрение комплексной переработки древесины и связанные с этим строительство укрупненных комбинатов и внедрение в производство автоматизации и механизации.

Характерные для деревообрабатывающей промышленности работы могут быть объединены в следующие группы: 1) механическая обработка древесины (например, распиловка бревен, рубка, лущение и строгание чурбаков, станочная обработка и обрезка древесных изделий, фанеры и др.); 2) сушка древесных материалов, шпона, стружки, опилок; 3) обработка древесных материалов, заготовок и изделий клеями, смолами и другими растворами или препаратами; 4) прессование и склеивание материалов; 5) сборочные и сборочно-столярные операции; 6) шлифование, отделка лаками и красками, полирование изделий; 7) сортировочные и контрольные операции (как самостоятельные, так и в составе названных выше процессов); 8) складирование первичного сырья, промежуточной и окончательной продукции; 9) погрузочно-разгрузочные и транспортные операции как на складах, так и на большинстве этапов работы, причем часто с выполнением сортировки или контроля. Уровень механизации и автоматизации этих операций еще недостаточно высок, но растет

значительными темпами в последние годы, что влечет за собой изменение требований к ОУ.

Основными зрительными задачами на многих операциях, и в первую очередь на сортировочно-контрольных, фанерном, мебельном, столярном, лесопильном, лыжном и других производствах, являются следующие:

1) различение пороков древесины (сучков, грибковых поражений, химических окрасок, пороков строения древесины) и дефектов механической обработки. Пороки бывают светлыми и темными, разных оттенков, мало отличающимися по цветности. Дефекты механической обработки оцениваются по наличию трещин (сомкнутых и разошедшихся), царапин, рисок, вмятин, багорных наколов, шероховатости поверхности. Размеры дефектов могут быть очень малыми (до $0,2 \text{ мм}$). Яркостный контраст объектов различения и фона мал, нередко обнаружить дефекты можно только с помощью тенсобразования, при определенном направлении падения света (предпочтительным направлением является падение света поперек волокон древесины). Оптимальные углы падения света составляют $45\text{--}60^\circ$. Фон, на котором рассматриваются дефекты, — светлый, реже — средний и темный;

2) работа с предметами, обладающими зеркальным отражением (лакированные и полированные мебельные заготовки, ламинированная фанера и др.). При этом требуется различать как дефекты защитного покрытия, обладающего направленным отражением (царапины, риски, неравномерность покрытия, посторонние включения, потертости и др.), так и текстуру древесины, направление волокон, дефекты диффузного фона, находящиеся под покрытием. Качественный контроль можно осуществлять только при ограничении отраженной блескости;

3) наличие зрительного поиска, в том числе в условиях ограниченного времени осмотра, и необходимость зрительного суммирования количества дефектов и пороков древесины для оценки сортности, что является общим для указанных выше групп работы. Для этого требуется просматривать всю поверхность материала. Расстояние от глаз работающего до объекта различения составляет более $0,5 \text{ м}$.

Отраслевые нормы искусственного освещения предприятий лесной и деревообрабатывающей промышленности охватывают основные виды производств; данные для наиболее крупных из них приведены в табл. 12.31. Нормы указаны для РЛ и соответствуют требованиям СНиП [44].

Зрительные работы в основном относятся к разрядам III–VI с преобладанием работ высокой и средней точности (разряды III и IV). Например, нормы освещенности в системе одного общего освещения составляют в целом от 200 до 500 лк .

Зрительными работами высокой точности и большими уровнями освещенности (500 лк) отличается производство мебели. Здесь, а также в лыжном производстве (разряды III и IV) нормами предусмотрено применение систем как комбинированного, так и общего освещения.

Нормы освещенности и качественные показатели освещения

Производственное помещение, участок, операция, рабочее место, оборудование	Рабочая поверхность, на которой нормируется освещенность	Плоскость, в которой нормируется освещенность (Г — горизонтальная, В — вертикальная)	Разряд и подразряд зрительной работы	Освещенность, лк			Показатель ослепленности, не более	Коэффициент пульсации, %, не более
				Комбинированное освещение		При системе общего освещения		
				Всего	в том числе общего освещения			
Лесопильное производство								
Отделение переработки и транспортировки отходов (1-й этаж лесопильного цеха)	0,8 м от пола	Г	—	150	—	—	60	20
Отделение лесопильное (2-й этаж): рама лесопильная со стороны выдачи агрегаты фрезерно-пильные для распиловки бревен	0,8 м от пола	Г	—	200	—	—	40	20
	Брус, доска	В	IVв	400	200	200	—	—
	Зона работы	Г	IIIг	400	200	200	—	—
Отделение сортировки пиломатериалов: места браковки и маркировки досок транспортёр поперечный цепной для разборки досок по сортам	0,8 м от пола	Г	—	400	200	200	40	20
	Доска	Г	IIIв	750	200	300	—	20/15
	Доска	Г	IVг	—	—	200*	—	—
Склад пиломатериалов (на открытой территории)	Земля	Г	XII	—	—	10	—	—
Цех сушильный	Пол	Г	—	—	—	75	80	20
Столярное производство								
Изготовление и сборка оконных блоков, дверных полотен, погонажа и строительных конструкций: отделение машиносборочное участок раскроя пиломатериалов участок изготовления речного заполнения дверного полотна участок профильной обработки, цилиндрического фрезерования, зашивки, заделки сучков, обработки продольных и поперечных кромок, выборки гнезд, форматной обрезки деталей и узлов участки шлифования деталей, узлов и изделий участки сборки оконных створок, дверных полотен и коробок	0,8 м от пола	Г	—	—	—	200	40	15
	Станки торцовочные и прирезные	Г	IVб	500	200	200	—	—
	Станок для набора шита	Г	IVб	500	200	200	—	—
	Станки	Г	IVв	400	200	200	—	—
	Станки	Г	IIIв	750	250	300	—	—
	Изделие	Г	IIIг	400	200	200	—	—
Отделение малярное	0,8 м от пола	Г	—	—	—	200	40	20
Полуавтоматическая линия окраски столярных изделий	0,8 м от пола	Г	—	—	—	150	40	20
Отделение остекления и сборки блоков	0,8 м от пола	Г	—	—	—	200	40	15
Производство мебели								
Поток изготовления шитовых деталей: отделение раскроя и ребросклеивания стол для разметки и подборки текстуры шпона** станки кромкофуговальные и ребросклеивающие***	0,8 м от пола	Г	—	—	—	300	40	15
	Стол	Г	IIIв	1000*	300	300	—	—
	Станина	Г	IIIв	750	200	300	—	—

Производственное помещение, участок, операция, рабочее место, оборудование	Рабочая поверхность, на которой нормируется освещенность	Плоскость, в которой нормируется освещенность (Г — горизонтальная, В — вертикальная)	Разряд и подразряд зрительной работы	Освещенность, лк			Показатель ослепленности, не более	Коэффициент пульсации, %, не более
				Комбинированное освещение		При системе общего освещения		
				Всего	в том числе общего освещения			
Отделение раскроя, калибрования и фанерования мебельных шитов: станки для раскроя плит	0,8 м от пола Плита	Г	IIIв	750	200	300	40	15
Отделение повторной машинной обработки и фанерования кромок, шлифовальное отделение	0,8 м от пола	Г	IIIв	750	200	300	40	20
Отделение первичной обработки брусковых деталей	0,8 м от пола	Г	IIIв	750	200	300	40	15
Отделение повторной машинной обработки и шлифования деталей: станки деревообрабатывающие	0,8 м от пола Деталь	Г	IIIв	750	200	300	40	20
Отделение лакирования и облагораживания**	0,8 м от пола	Г	IIIв	750	300	300	40	15
Отделение комплектовки и контрольной сборки	Изделие	Г	IVб	500	200	200	40	20
Фанерное производство								
Отделение разделки фанерного сырья на чураки и дрова и гидротермической обработки чураков	0,8 м от пола	Г	—	—	—	150	40	20
Отделение лушильное	0,8 м от пола	Г	—	—	—	200	40	15
Отделение сушки шпона	0,8 м от пола	Г	—	—	—	200	40	20
Отделение сортировочное и починочное	Стол, конвейер	Г	IIв	1500	200	400	20	10
Отделение клеильное:	0,8 м от пола	Г	—	1500	200	400	40	15
сушилки шпона конвейерные, камерные столы или конвейеры, подступные места для сборки пакетов	Места загрузки и выгрузки Шпон, пакет	Г, В	IIIв	750	200	300	20	10
Отделение сортировочно-обрезное	0,8 м от пола	Г	—	750	200	300	40	20
Цех изготовления смол: участок вакуум-реакторов	0,8 м от пола Зона обслуживания оборудования	Г	IVб	400	200	200	—	—
Производство древесных плит								
Изготовление древесностружечных плит: отделение изготовления стружки	0,8 м от пола	Г	—	—	—	150	40	20
участки сушки стружки	Сушильные барабаны	Г	VIIIб	—	—	75	—	—
участок проклеивания стружки, формирования прессования и обрезки плит	Форсунки, приборы, конвейер	Г	IVб	400	200	200	—	—
Отделение окончательной обработки плит: участок сортировки плит	0,8 м от пола Стол	Г	IVб IIв	400 2000	200 200	200 500	40 20	20 20/10
Ламинирование плит и фанеры: отделение печатания текстурной бумаги	0,8 м от пола	Г	IIв	2000	200	500	20	10
Отделение пропитки и сушки бумаги: агрегат пропитки и сушки на стороне съема и резки бумаги*4	0,8 м от пола Полотно бумаги	Г В	IIв IIIб	2000 1000	200 200	500 300	40	10
Отделение прессования: конвейер формирования пакетов	0,8 м от пола Конвейер	Г	IIIб	1000	200	300	40	15
Отделение окончательной обработки плит	0,8 м от пола	Г	IIIб	1000	200	300	40	15

Производственное помещение, участок, операция, рабочее место, оборудование	Рабочая поверхность, на которой нормируется освещенность	Плоскость, в которой нормируется освещенность (Г — горизонтальная, В — вертикальная)	Разряд и подразряд зрительной работы	Освещенность, лк			Показатель ослепленности, не более	Коэффициент пульсации, %, не более
				Комбинированное освещение		При системе общего освещения		
				Всего	в том числе общего освещения			
Производство домов								
Отделение раскройки и оклеивания древесных плит и фанеры по пласти и по кромке, отделение изготовления окон, дверей и мебели	Зона обслуживания оборудования, рабочие места	Г	IVБ	500	200	200	40	20
Отделение изготовления фронтона, панелей крыши, элементов стен и перекрытий, отделение обработки асбоцементных листов	Деталь, лист	Г	IVг	—	—	200	40	20
Отделение изготовления деталей каркаса, панелей и отделки	Деталь	Г	IIIг	400	200	200	40	15
Участки и оборудование, общие для разных производств								
Склады готовой продукции, промежуточного складирования и выдержки	Пол	Г	VI	—	—	200	60	20
Отделение приготовления клея	Оборудование, приборы	Г	VБ	—	—	200	40	20
Отделение приготовления лаков и красок	Мешалки, емкости, приборы	Г	IVБ	500	200	200	40	20
Пилоножеточное отделение	0,8 м от пола	Г	IVБ	500	200	200	40	15
Прессы различные, ваймы	Поверхность оборудования	В	IVБ	500	200	200	40	20
Станки клеенаносящие	Вальцы, деталь	Г	IIIв	750	200	300	40	15

Примечания:

1. В графе «Коэффициент пульсации» при дробном обозначении коэффициента пульсации приведено нормируемое значение: в числителе — для общего освещения в системе комбинированного, в знаменателе — для местного освещения и для системы общего освещения.

2. При отсутствии в графах «Показатель ослепленности» и «Коэффициент пульсации» значений этих параметров их значения соответствуют требуемым по помещению в целом, при прочерке качественные показатели для этих рабочих мест не регламентируются.

* Норма освещенности увеличена на одну ступень вследствие выполнения напряженной зрительной работы непрерывно в течение всего рабочего дня.

** Предусмотреть для местного освещения ЛЛ типа ЛДЦ.

*** При контроле качества шва на просвет яркость светящегося фона должна быть 500–1000 кд/м².

*4 На период чистки валков предусмотреть местное освещение не менее 1500 лк.

При контрольно-сортировочных операциях разных видов производств и некоторых станочных работ разряд зрительной работы более высокий — II, норма освещенности в системе одного общего освещения составляет 200–750 лк.

В целом, несмотря на преобладание работ высокой и средней точности, наиболее целесообразной является система общего освещения. Объясняется это большими размерами обрабатываемых изделий, а также тем, что конструктивные и технологические особенности оборудования затрудняют применение местного освещения.

Осветительные приборы общего освещения независимо от системы освещения целесообразно располагать локализованно по причинам, указанным выше, а также при наличии высокого оборудования, затеняющего рабочие места или имеющего большие рабочие поверхности в вертикальной плоскости (например, прессы, бункера запаса шены и стружки, сушилки и др.), при освещении механизированных и поточных линий с разветвленной сетью воздухопроводов, для устранения отраженной блескости.

Роль местного освещения при выполнении работ с древесиной состоит скорее в обеспечении определенной направленности светового потока, чем в повышении освещенности.

Отличительной особенностью предприятий деревообрабатывающей промышленности является пожароопасность почти всех помещений и взрывоопасность многих из них, в том числе по пыли [12.38]. Встречаются все виды классов пожаро- и взрывоопасных помещений и наружных установок.

В табл. 12.32 дана классификация помещений по пожаро- и взрывоопасности для основных отделений и участков крупных видов производств, составленная на основе перечня категорий производств по взрывной, взрывопожарной и пожарной опасности и классов взрывоопасных и пожароопасных зон предприятий лесной и деревообрабатывающей промышленности, разработанного ведущими институтами отрасли.

Условия среды большинства производственных помещений отрасли пыльные. Согласно требованиям [12.38], предельно допустимая концентрация древесной пыли составляет 6 мг/м^3 . Фактическая запыленность многих производственных участков отрасли близка к такому уровню. Значения коэффициентов запаса в соответствии с требованиями отраслевых норм освещения также приводятся в табл. 12.32. В этой же таблице даются рекомендации по выбору ИС и ОП для конкретных отделений и участков, а также в зависимости от условий среды.

Строительные модули помещений составляют от 6×9 до 6×24 м. В настоящее время в проектировании и строительстве наблюдается тенденция к увеличению ширины пролетов и шага колонн до 12×18 и 12×24 м. Высота помещений находится в пределах от 3 до 14 м. Более высокие относятся к производству древесных плит, прессовым, сушильным и другим участкам, на которых используется высокое оборудование.

Для освещения наиболее массовых помещений средней высоты с учетом характера выполняемых работ рекомендуется использовать ЛЛ, как правило, типа ЛБ, преимущественно Т5 (группа 535 по цветности). Эти ИС следует применять не только для точных работ, но и для работ малой точности и грубых. При необходимости правильного цветоразличения целесообразно использовать лампы типов ЛХБ и ЛДЦ (640 и 954).

При больших высотах рекомендуется применение РЛВД, в первую очередь МГЛ, обеспечивающих лучшую цветопередачу (что особенно существенно для работы со светлыми древесными материалами), и во вторую очередь — типа ДРЛ («красное отношение» 10%).

Лампы накаливания допускается использовать для общего освещения только в обоснованных случаях. Применять ЛН возможно для местного освещения (кроме случаев, требующих правильного цветоразличения — на шпонопочиночных станках и пр.), во вспомогательных помещениях и в помещениях для временного пребывания людей, для аварийного и эвакуационного освещения. Во всех этих случаях предпочтение следует отдавать КЛЛ.

Для освещения открытых производственных и складских участков на территории рекомендуется применение мощных ГЛН и РЛВД, в том числе НЛВД.

Общие положения выбора ОП для пожаро- и взрывоопасных зон установлены требованиями гл. VII-3 и VII-4 ПУЭ и изложены выше.

В наружных пожароопасных зонах П-III допускаются следующие минимальные степени защиты ОП: 23 — для ОП с ЛН при наличии сплошного защитного силикатного стекла, IP23 — для ОП с РЛ, причем для ОП с РЛВД необходимо наличие металлической сетки или иного приспособления, препятствующего выпадению ламп. Однако из-за отсутствия уплотненных вводов в ОП указанных исполнений рекомендуется использовать приборы со степенью защиты не менее IP43. Для освещения бассейнов и мест выгрузки бревен из воды степень защиты ОП от проникновения воды должна соответствовать условиям мест их установки. Степень защиты независимых ПРА для ОП, устанавливаемых внутри зданий в пожароопасных зонах, не должна быть ниже IP4X, а для наружных — IP43.

Перспективным способом освещения помещений с тяжелыми условиями среды, в первую очередь взрыво- и пожароопасных и со значительным запылением, является применение осветительных устройств с полыми световодами.

Особое внимание должно уделяться АО. Рабочие места, где необходимо устройство АО, а также значения минимальной освещенности, установленные отраслевыми нормами освещения, приведены в табл. 12.33. В нормах учтены не только необходимость продолжения работы при непрерывных технологических процессах, но и возможность завершения определенного цикла технологического процесса, связанного с опасностью травматизма, с высокой стоимостью обрабатываемого материала или оборудования.

Таблица 12.32

Условия среды, рекомендуемые ИС и ОП общего освещения в основных цехах деревообрабатывающей промышленности

Основное отделение, участок, помещение	Условия среды*	Тип ИС	Коэффициент запаса**	Осветительные приборы общего освещения	
				Минимальная степень защиты по табл. 6.10	Эксплуатационная группа по табл. 6.14
Участки механической обработки древесины, древесных заготовок и деталей, сортировочных устройств с торцовкой пилопродукции, формовочно-прессовый и обрезки древесностружечных плит	П-II	ЛЛ (ЛБ, ЛБР) МГЛ ДРЛ***	1,6	5Х	3-7
			1,6	IP5X	7
			1,6	IP5X	5-7
Участки лесопильных рам, станков, агрегатов, смесительные в производстве древесностружечных плит	П-II	ЛЛ (ЛБ, ЛБР) МГЛ ДРЛ***	1,8	5Х	3-7
			1,8	IP5X	7
			1,8	IP5X	5-7
Участки сортировки фанеры и древесностружечных плит	П-II	ЛЛ (ЛХБ, ЛДЦ) МГЛ	1,8	5Х	3-7
			1,8	IP5X	7
Участки сортировки и облагораживания шпона	П-IIа	ЛЛ (ЛХБ, ЛДЦ) МГЛ	1,6	5Х	3-7
			1,6	5Х*4	4, 5, 7
Участки лущения чураков, сушки шпона, клейки фанеры, раскрой листовых и рулонных материалов, изготовления элементов в столярном производстве и в домостроении	П-IIа	ЛЛ (ЛБ, ЛБР) МГЛ	1,6	5Х	3-7
			1,6	5Х*4	4, 5, 7
Участки сборки столярных изделий, мебели, комплектации деталей, упаковки мебели, щитовых деталей. Клеильно-прессовые и сушильно-остывочные в производствах клееных деревянных конструкций, столярном, в домостроении	П-IIа	ЛЛ (ЛБ) МГЛ	1,5	5Х	3-7
			1,5	IP2X*4	4, 5, 7
Склады готовой продукции, атмосферной сушки пилопродукции, хранения плит, фанеры, шпона, помещения сортировочных устройств без торцовки пилопродукции	П-IIа	ЛЛ (ЛБ) МГЛ ДРЛ***	1,5	5Х	3-7
			1,5	IP2X*4	4, 5, 7
			1,5	IP2X*4	3-7
Отделения гидротермической обработки фанерного сырья, спичечных чураков*6	П-IIа, сырое	МГЛ ДРЛ НЛВД ЛЛ (ЛБ)	1,6	5'3*4	7
			1,6	5'3*4	4, 5, 7
			1,6	IP23*4	4, 7
			1,6	5'3	3-7
Участки шлифования древесных заготовок деталей, плит, фанеры, калибрования щитовых заготовок, облагораживания лаковых покрытий	В-IIа	ЛЛ (ЛХБ, ЛДЦ, ЛБ) МГЛ	1,8	IP5X без взрывозащиты	4-6
			1,8		4, 6, 7
Участки отделки столярно-строительных изделий и клееных деревянных конструкций	В-Iа	ЛЛ (ЛХБ, ЛДЦ) МГЛ	1,8	Взрывозащитенные*5	4, 5
			1,8		5, 6
Помещения намазки (пропитки) шпона с последующей сушкой	В-Iа	ЛЛ (ЛБ) ДРЛ*** ЛН	1,6	Взрывозащитенные*5	4, 5
			1,6		4-6
			1,4		4-7
Участки приготовления смол	В-Iа	ЛЛ (ЛБ) ДРЛ*** ЛН	1,5	Взрывозащитенные*5	4, 5
			1,5		4-6
			1,3		4-7
Участки приготовления лакокрасочных покрытий	В-I	МГЛ ДРЛ*** ЛН	1,8	Взрывобезопасные*5	5, 6
			1,8		4-6
			1,5		4, 6, 7

* Класс помещений для одноименных участков должен уточняться технологами в зависимости от используемых материалов (жидкостей), от размещения опасных зон и других условий. При отсутствии специальных примечаний указан наиболее высокий класс.

** Значения коэффициентов запаса 1,8-2,0 (для ЛЛ и РЛВД) и 1,5 (для ЛН) могут быть снижены на 0,2, если предусматриваются ОП 5-7-й эксплуатационных групп.

*** Рекомендуется применять лампы типа ДРЛ с «красным отношением» 10%.

*4 При наличии металлической сетки или иного приспособления, препятствующего выпадению ламп.

*5 Для соответствующих групп и категорий взрывоопасных смесей.

*6 Предпочтительны ОП с корпусами и отражателями из пластмассы, стеклопластика, фарфора и т.д.

Таблица 12.33

Нормы аварийного освещения

Цех, отделение	Минимальная освещенность поверхности, лк
Лесопильное производство (машина рубительная), фанерное производство (участок вакуум-реакторов цеха изготовления смол), компрессорная и насосная станции	5
Лесопильное производство (рама лесопильная), столярное, мебельное, лыжное производства и домостроение (отделение приготовления клея, краски и лака, сушки, прессования), фанерное производство (сушильный цех, автоклавы в цехе изготовления фанерных труб, участки подготовки пропиточного раствора цеха изготовления древесных слоистых пластиков), спичечное производство (отделение приготовления зажигательной массы, изготовления спичек), цех изготовления древесностружечных плит (кроме отделения изготовления стружки и окончательной обработки плит), древесноволокнистых плит и древесной муки, цех ламинирования плит и фанеры	10
Отделение отделки в производствах столярном, мебельном, лыжном и домостроительном	15

12.3.6. Общепромышленные объекты

К общепромышленным объектам относятся цеха, отделения, помещения, характерные для всех отраслей промышленности, как-то: галереи и туннели, электропомещения, автогаражи, объекты водоснабжения и канализации, депо электропогрузчиков и электрокар, аккумуляторные, склады, котельные, узлы связи промышленных предприятий, лаборатории и т.п.

Освещение ремонтных цехов (ремонтно-механических, ремонтно-строительных и т.п.) здесь не рассматривается, так как принципиальные решения их ОУ аналогичны освещению механических, деревообрабатывающих и других цехов основного производства.

Общепромышленные производства имеют разнообразие строительные и технологические компоновки и соответственно различные системы освещения.

Галереи и туннели. Решения по их освещению приведены в табл. 12.34. В качестве ИС могут быть применены как РЛ (КЛЛ, ЛЛ, маломощные РЛВД) так и ЛН. В галереях и туннелях конвейеров с гидравлической уборкой пыли предпочтительнее применение ЛЛ, установленных в ОП со степенью защиты 5'4 или IP54. В тех случаях, когда применение ЛЛ невозможно, например в неотапливаемых галереях, при гидравлической уборке пыли могут быть допущены ОП с ЛН, имеющие термостойкие стекла, или ИС мощностью меньшей, чем номинальная мощность для данного типа ОП. Наилучшим в этом случае является применение ОП с СД, имеющими исключительно большой срок службы и малое энергопотребление, а также КЛЛ.

Осветительные приборы должны располагаться так, чтобы обеспечивать освещение не только проходов между конвейерами и лент конвейеров, но и зоны под конвейерами для возможности уборки просыпи, осмотра роликов и т.п. Как правило, ОП рекомендуется располагать по осям проходов между конвейерами.

С учетом эпизодичности посещения галерей и туннелей обслуживающим персоналом и малочисленности последнего, а также характера работ в них аварийное и эвакуационное освещение не требуется, хотя и рекомендуется для протяженных многоконвейерных галерей без естественного света и туннелей.

Исключение составляют галереи токопроводов напряжением выше 1 кВ, где на АО выделяется каждый второй ОП.

В туннелях и галереях без естественного света должна быть обеспечена возможность безопасной смены ламп и ремонта осветительной установки на напряжение 380/220 В при искусственном освещении, что достигается соответствующим управлением, например выделением на дежурное освещение каждого третьего ОП или одного из рядов при многорядном расположении. При выборе напряжения для ОП галерей и туннелей, высота которых, как правило, не превышает 2,5 м. необходимо учитывать как вопросы техники безопасности, так и реальные возможности обеспечения нормированных освещенностей и допустимых потерь напряжения.

Более широкому внедрению напряжения 220 В в освещение галерей и туннелей способствуют и определенные преимущества ЛЛ, не рассчитанных на малое напряжение.

Таким образом, несмотря на рекомендации о применении напряжения 40 В, приведенные в табл. 12.34, в отдельных случаях не исключена возможность выполнения ОУ на напряжение 220 В. Большие затраты кабельной продукции имеют место при выполнении сети переносного освещения в протяженных сооружениях, каковыми являются галереи и туннели. Уменьшение расхода кабеля может быть достигнуто рациональной схемой питания штепсельных розеток.

В галереях токопроводов и кабельных, обслуживаемых квалифицированным персоналом, переносное освещение допустимо питать от сети общего освещения с подключением переносных трансформаторов через штепсельные розетки на напряжение 220 В.

При напряжении сети общего освещения 40 В целесообразно подключать к этой сети штепсельные розетки, при напряжении сети 220 В — подключать к сети общего освещения блоки «трансформатор-розетка» через 30—40 и более метров. В галереях с достаточным естественным светом и искусственным освещением, выполненным ЛЛ, допустимо вообще отказываться от установки штепсельных розеток для переносного освеще-

Освещение галерей и туннелей

Наименование помещения	Характеристика помещения по условиям среды	Плоскость нормирования освещенности	Разряд и под-разряд зрительной работы	Рекомендуемые значения				Напряжение сети общего освещения, В	Аварийное (А) или эвакуационное (Э) освещение	Наибольшая величина допустимого напряжения переносного освещения, В	Примечание
				при РЛ		при ЛН					
				Освещенность, лк	Коэффициент запаса	Освещенность, лк	Коэффициент запаса				
Галереи токопроводов	Нормальное*	Пол	VIIIв	50	1,5	20	1,3	220	А***	12-40**	***
Галереи, туннели конвейеров руды, известняка и других негорючих материалов	Пыльное	Пол	VIIIв* ⁴	50	1,6-2,0* ⁵	20	1,4-1,7* ⁵	220	Э* ⁷	12-40* ⁸	* ⁹
Галереи и туннели конвейеров угля, торфа и других горючих материалов	Класса П-II* ¹⁰	Пол	VIIIв* ⁴	50	2,0	20	1,7	220	Э* ⁷	12-40* ⁸	* ⁹
Галерей и туннелей агломерата и других раскаленных материалов	Пыльное, жаркое	Пол	VIIIв* ⁴	50	2,0	20	1,7	220, 40* ⁶	Э* ⁷	12-40* ⁸	* ⁹
Туннели окалинны	Пыльное, сырое, жаркое	Пол	VIIIв* ⁴	50	2,0	20	1,7	40	—	12-40* ⁸	
Кабельные туннели	Влажное	Пол	VIIIг	20	1,5	10	1,3	40	—	12-40* ⁸	
Кабельные галереи	Нормальное*	Пол	VIIIг	20	1,5	10	1,3	220	—	12-40*	
Масляные туннели	Класса П-II	Пол	VIIIг* ⁴	20	1,5	10	1,3	220, 40* ⁶	—	12-40* ⁸	
Теплофикационные туннели	Сырое, жаркое	Пол	VIIIг* ⁴	20	1,5	10	1,3	40	—	12-40* ⁸	
Туннели водопроводные, пульпопроводов, хвостопроводов	Сырое	Пол	VIIIг* ⁴	20	1,5	10	1,3	220, 40* ⁶	—	12-40* ⁸	

* В полуоткрытых галереях, расположенных на территории непыльных производств (условия среды в галереях в этих случаях пыльные), коэффициент запаса: 1,8 — при РЛ; 1,5 — при ЛН.

** Переносные лампы подключаются к штепсельным розеткам напряжением 220 В (устанавливаемым через 30-40 м) через переносные трансформаторы 220/12-40 В.

*** Освещение галерей токопроводов напряжением выше 1 кВ должно питаться от двух источников с чередованием присоединения ламп к обоим источникам. Там, где токопроводы прокладываются без оболочек (IP00), ОП должны быть установлены так, чтобы было обеспечено их безопасное обслуживание. В этом случае осветительная электропроводка должна быть экранирована (кабели с металлической оболочкой, электропроводки в стальных трубах, осветительные шинопроводы и т.п.).

*⁴ В узловых точках галерей и туннелей (натяжные устройства лент конвейеров, камеры переключения трубопроводов и т. д.) освещенность принимается на ступень выше, чем по помещению в целом.

*⁵ Коэффициент запаса определяется количеством и характером пыли.

*⁶ При высоте установки ОП менее 2,5 м должно, как правило, приниматься напряжение не более 40 В.

*⁷ Эвакуационное освещение рекомендуется в многоконвейерных протяжных туннелях и галереях без естественного света.

*⁸ Выбор между напряжением 12 и 40 В определяется принятым значением напряжения переносного освещения по основным цехам. При напряжении сети общего освещения галерей и туннелей 40 В это напряжение принимается и для переносного освещения. Штепсельные розетки переносного освещения устанавливаются: в галереях и туннелях конвейеров, кабельных туннелях — через 30-40 м (как правило, в блоке с трансформатором); в водопроводных и теплофикационных туннелях, в туннелях пульпопроводов и хвостопроводов — в узловых точках.

*⁹ Осветительные приборы в галереях и туннелях конвейеров устанавливаются вне зоны конвейеров. При гидравлической уборке пыли рекомендуется установка ОП с ЛЛ типов ПВЛМ, ЛСШ8, ЛСП22, ЛСП16, ПВЛП и т.п. (в отопляемых галереях и туннелях).

*¹⁰ Характеристика среды указана как одна из наиболее вероятных и должна уточняться с технологами (возможно отнесение к классу взрывоопасной зоны В-IIа).

ния, за исключением узловых точек. Электропроводки в галереях и туннелях преимущественно выполняются кабелями (марок АВВГ, АВРГ и т.п.) на тросе (катанке). В зонах высоких температур (галереи агломерата и др.) используются теплостойкие кабели и провода.

В запираемых галереях и туннелях, эпизодически посещаемых специальным персоналом и не используемых в качестве проходов между зданиями и сооружениями для другого персонала, принимается так называемая «коридорная» схема управления из двух и более мест, т.е. аппараты могут устанавливаться у каждого из входов, через которые имеется доступ в помещение. К таким сооружениям относятся кабельные, теплофикационные, водопроводные галереи и туннели, галереи токопроводов.

В галереях и туннелях допускается питать сеть переносного освещения от отключаемой сети общего освещения.

Электропомещения. Решения по освещению электропомещений приведены в табл. 12.35.

Для освещения электропомещений в основном применяют общее локализованное освещение. Основными ИС для освещения помещений щитов, трансформаторных подстанций, электромашинных помещений и т.п. являются РЛ. С учетом отсутствия естественного света в кабельных этажах, подвалах и шахтах, а также существенно большего по сравнению с ЛН срока службы, ЛЛ рекомендуются для освещения указанных помещений. Применение ЛН следует, как правило, ограничивать случаями, когда не могут быть использованы РЛ (например, при необходимости использовать малое напряжение).

В зависимости от высоты установки ОП рекомендуется использовать ЛЛ типа ЛБ, КЛЛ или РЛВД типов ДРЛ и ДРИ. В отдельных случаях могут использоваться ГЛН типа КГ, например при освещении отраженным светом высоких бескрановых пролетов электромашинных помещений.

В северных широтах для освещения электропомещений, имеющих ворота для выкатки оборудования на улицу (камеры трансформаторов, помещения КТП, распределительные устройства и т.п.), применение ЛЛ не рекомендуется в связи с их ненадежной работой в период ремонтных работ, когда температура в помещении может быть значительно ниже 5°C .

Во всех электропомещениях, как правило, должно обеспечиваться освещение верхней зоны. Доля светового потока, направляемого в верхнюю полусферу, может быть различной в зависимости от коэффициентов отражения строительных и электротехнических конструкций, назначения и размеров помещения, расположения шин, кабелей и т.п. С этой целью должны применяться ОП преимущественно прямого или рассеянного света.

В электромашинных, операторских, диспетчерских и тому подобных помещениях выбор и размещение ОП должны осуществляться с учетом требований промышленной эстетики. В частности, при установке на подвесных конструкциях ОП с ЛЛ рекомендуется использовать непрерывные линии, в диспетчерских и опера-

торских предпочтение следует отдавать ОП, встраиваемым в подвесные потолки, и т.д.

В помещениях или зонах помещений с временным пребыванием людей, в которых направление светового потока ОП совпадает с направлением линий зрения (задняя сторона щитов и камер распределительных устройств, камеры реакторов, трансформаторов и т.п.), целесообразно применять открытые ИС (как правило, ЛЛ мощностью 36 Вт в одноламповых ОП без рассеивателя, КЛЛ и ЛН мощностью 60 Вт в настенных патронах).

В электропомещениях помимо рабочего освещения предусматривается, как правило, АО, выполняющее одновременно и функции ЭО.

Надежность питания ОУ определяется степенью надежности электроснабжения предприятия в целом.

Питание трансформаторов малого напряжения для штепсельных розеток переносного освещения, обеспечивающих аварийные ремонтные работы за щитами, рекомендуется выполнять от сети АО.

Питание рабочего, аварийного и переносного освещения отдельно стоящих зданий КТП целесообразно осуществлять от вводных шкафов последних, в которых заводы-изготовители обычно предусматривают аппараты управления и защиты, а также трансформаторы малого напряжения для освещения.

Для управления освещением электропомещений в основном должны применяться местные выключатели, в крупных электропомещениях — групповые щитки. При наличии нескольких входов в электропомещение без постоянного нахождения в нем персонала у каждого из входов, как правило, устанавливаются переключатели, обеспечивающие возможность включения освещения (полностью или частично) от любого из входов. Возможен вариант выделения на «коридорную» схему только ОП аварийного или «дежурного» освещения с управлением остальным освещением по участкам местными выключателями.

Если протяженные кабельные подвалы (этажи) разделены на отсеки перегородками с дверями, то у каждого из входов должны быть установлены переключатели для управления по «коридорной» схеме.

Освещение помещений щитов должно предусматривать меры по ограничению отраженной блескости. При размещении ОП с ЛЛ на стене следует избегать непрерывных светящихся линий. В электропомещениях большой высоты допускается установка ОП на щитах. Освещение задней стороны щита может осуществляться ОП, смонтированными на перекрытии, стенах и непосредственно на щите, но рекомендуемым решением следует считать установку ОП на стене. Для щитов с проходом внутри (щиты глубиной 1800 мм) ОП поставляются, как правило, комплектно со щитами.

Освещение помещений распределительных устройств аналогично освещению помещений щитов.

Камеры, как правило, комплектуются штепсельной розеткой, одним-двумя настенными патронами и выключателем. Некоторые типы камер комплектуются ОП общего освещения помещения. Проектом электроосвещения предусматривается подвод питания на ма-

Освещение электропомещений

Наименование помещения, рабочего места оборудования	Характеристика помещения по условиям среды	Плоскость нормирования освещенности (Г — горизонтальная, В — вертикальная), ее высота от пола, м	Разряд и подразряд зрительной работы	Освещенность при системе общего освещения, лк	Коэффициент запаса	Аварийное (А) освещение	Напряжение питания переносного освещения, В	Примечание
Камеры трансформаторов и реакторов	Нормальное	В, 1,5 (на оборудовании)	VI	200 ^{*. **}	1,5	—	40	***
Помещения щитов с периодическим пребыванием людей (помещения станций управления, распределительных устройств, релейных щитов и т.п., помещения КТП): фасад щита, камеры КТП задняя сторона щита камеры	Нормальное	В, 1,5 В, 1,5	IVг VI	200 [*] 200 ^{*. **}	1,5	A ^{*4}	40 ^{*5}	
Помещения щитов с постоянным пребыванием людей и постоянным обслуживанием (диспетчерские, операторские помещения главных щитов и т.п.): фасад щита задняя сторона щита	Нормальное	В, 1,5 В, 1,5	IVг VI	300 ^{*6. *7} 100 ^{*. **}	1,5	A ^{*4}	40 ^{*5}	
Помещения статических конденсаторов	Нормальное	В (на конденсаторах)	IVг	100 [*]	1,5	A ^{*4}	40 ^{*5}	
Электромашинные помещения: с постоянным пребыванием людей с периодическим пребыванием людей	Нормальное	Г, 0,8 В, 1,5 (на щитах)	IVг IVг	300 ^{*6} 200	1,5	A ^{*4}	40	
Кабельный подвал	Влажное	Пол	VIIIв	50	1,5	A ^{*8}	40	
Кабельный этаж	Нормальное	Пол	VIIIв	50	1,5	A ^{*8}	40	
Этаж шин	Нормальное	В (на шинах)	VIIIб	100 ^{*9}	1,5	A ^{*4}	40	
Кабельные шахты	Нормальное	Пол	VIIIг	20	1,5	—	40	

* Освещенность понижена из-за кратковременного пребывания людей в помещении.

** Допускается снижение освещенности до 75 лк. Работы более высоких разрядов выполняются при переносном освещении.

** Осветительные приборы рекомендуется устанавливать перед ограждением камер для возможности замены вышедших из строя ИС без отключения высоковольтного оборудования и ограничения влияния магнитных полей, создаваемых реакторами, на осветительные сети и ИС. Как правило, должны использоваться открытые ИС, а при большом объеме камер — лампы-светильники.

*4 Аварийное освещение рекомендуется предусматривать в большем объеме, чем это требуется по СНиП [44] (например, выделяются каждый второй или третий ОП или их отдельные ряды). Допускается, как исключение, в небольших электропомещениях (помещения станций управления, КТП, распределительные устройства) не устраивать стационарного АО, а использовать в качестве резервного освещения переносные ОП с аккумуляторами или сухими элементами.

*5 Для подключения пылесосов, аппаратуры для проверки и испытания электрооборудования и т.п. помимо сети на напряжение 40 В должна быть предусмотрена сеть штепсельных розеток на напряжение 220 В. Максимальное расстояние между штепсельными розетками рекомендуется принимать не более 12 м.

*6 Освещенность повышена в связи с выполнением напряженной зрительной работы в течение всего рабочего дня.

*7 Для крупных диспетчерских и операторских на фасадах щитов и пультах управления рекомендуется освещенность 300 лк. На фасадах щитов со светящимися символами освещенность не должна превышать 200 лк.

*8 В помещениях большой площади рекомендуется устройство АО.

*9 Освещенность повышена в связи с опасностью травматизма.

ное напряжение (12 или 40 В в зависимости от значения малого напряжения в целом на предприятии) к штепсельным розеткам и к встроенным в камеры ОП. К ОП общего освещения помещения (если ими комплектуются камеры) подводится напряжение 220 В и устанавливается для каждого ряда аппарат управления.

Освещение электромашинных помещений осуществляется в основном ОП, устанавливаемыми на перекрытии (фермах), и должно обеспечивать, как правило, нормируемые освещенности не только на электромашинах, но и на щитах и в камерах. Установку дополнительных ОП в нижней зоне электромашинных помещений большой высоты следует предусматривать лишь для отдельных участков, экранированных строительными и электротехническими конструкциями.

Освещение диспетчерских и операторских помещений отличается рядом специфических особенностей. В помещениях операторов, где в процессе управления производится наблюдение за технологическими процессами через смотровые стекла, тип и расположение ОП должны обеспечивать максимально возможное ограничение ослепленности, возникающей из-за их изображения в смотровых стеклах, ОП не должны иметь светящихся боковин, их решетки должны быть окрашены в темный цвет. Изображение ОП в смотровом стекле должно располагаться как можно выше глаз оператора, что соответствует расположению ОП на минимальном расстоянии от смотрового стекла. Однако при таком расположении увеличивается отраженная блескость от приборов поста управления в направлении глаз оператора, что приводит в конечном счете к необходимости устанавливать ОП на некотором удалении от смотрового стекла по оси кресла, вдоль пульта.

В помещениях операторов, где контроль технологических процессов осуществляется по показаниям на щите, и в диспетчерских, где производятся аналогичные работы, предусматривается общее освещение с локализованным размещением ОП в зоне пульта управления и щитов. Для щитов со светящимися символами освещенность щита должна составлять 100–200 лк. При освещенности выше 200 лк существенно ухудшается видимость световых символов, при освещенностях ниже 100 лк плохо читаются надписи.

При наличии подвесных потолков ОП встраиваются или пристраиваются к ним.

Рекомендуемыми типами ОП для освещения помещений операторов (помещения постов управления) являются ОП прямого света с экранирующими решетками, окрашиваемыми в темный цвет, пристраиваемые к перекрытию либо встраиваемые в подвесные потолки.

Возможно устройство в подвесных потолках световых панелей, а для помещений большой высоты — отраженного освещения.

Заднюю сторону щитов рекомендуется освещать ОП, установленными на стенах или конструкциях щитов.

Резервирование питания освещения диспетчерских и основных операторских помещений должно быть максимальным в пределах возможностей, предоставляемых схемой электроснабжения предприятия.

Вентиляционные установки. Нормируемая освещенность для помещений и площадок вентустановок составляет 75 лк при РЛ (разряд VIIIб), для отсеков калориферов, фильтров и забора воздуха 20 лк при РЛ и 7 лк при ЛН (разряд VIIIг).

Для крупных вентустановок рекомендуется повышать освещенность на одну ступень.

Помещения приточных вентиляторов с приточными воздуховодами, не оборудованными самозакрывающимися обратными клапанами, а также помещения вытяжных вентиляторов, обслуживающих взрывоопасные зоны, относятся к тому же классу, что и обслуживаемые ими зоны.

Помещения приточных вентиляторов с системами рециркуляции воздуха, а также вытяжных вентиляторов, обслуживающих пожароопасные зоны класса П-Па, относятся к тому же классу, что и обслуживаемые ими помещения.

Помещения вентиляторов местных отсосов относятся к пожароопасным того же класса, что и обслуживаемые ими зоны.

Условия среды в помещениях вытяжных вентиляторов, обслуживающих прочие (невзрыво- и непожароопасные) зоны, близки к условиям среды этих зон.

В качестве ИС для помещений и площадок вентустановок могут быть использованы как РЛ, так и ЛН. При установке ОП ниже расположения воздухопроводов рекомендуются ОП, обеспечивающие освещение воздухопроводов.

Электроосвещение внутреннего объема кондиционеров должно поставляться заводом-изготовителем комплектно с кондиционерами. Проектировщик-светотехник предусматривает только подвод питания к ОП кондиционеров.

Автогаражи. Решения по освещению автогаражей приведены в табл. 12.36.

В качестве ИС рекомендуются в основном РЛ, ЛН допускаются при хранении автомобилей, в осмотровых канавах, во взрывоопасных зонах, в кладовых.

При размещении ОП в помещениях хранения автомобилей, в отделениях ремонтном и технического обслуживания необходимо учитывать возможность обслуживания ОП непосредственно с автомобилями.

В ремонтных отделениях рекомендуется, как правило, система комбинированного освещения, в прочих отделениях — система общего освещения.

Аварийное и эвакуационное освещение устраиваются в соответствии с общими положениями СНиП. В гаражах на 25 автомобилей и более рекомендуется устройство эвакуационного освещения в основных помещениях и в проходах, используемого так же, как дежурное освещение, независимо от числа работающих.

В небольших гаражах, где текущий ремонт может производиться непосредственно в помещениях стоянки автомобилей, в последних рекомендуется установка штепсельных розеток.

Осветительные приборы осмотровых канав устанавливаются в нишах, расположение которых согласовывается электриками со строителями (см. рис. 12.26).

Освещение автогаражей

Наименование помещения, рабочего места, оборудования	Характеристика помещения по условиям среды	Плоскость нормирования освещенности (Г — горизонтальная, В — вертикальная), высота от пола, м	Разряд и под-разряд зрительной работы	Общее освещение, лк	Коэффициент запаса	Аварийное (А) или эвакуационное (Э) освещение	Напряженне питания переносного освещения, В
Закрытая стойка автомобилей**	—	Пол	—	50	1,5	—	—
Открытая стойка автомобилей***	Класса П-III	Пол	XII	10	1,5	—	—
Ремонтное отделение	—	Пол	Va*6	300	1,5	Э*, *4	40
Отделения технического обслуживания автомобилей*4:							
осмотровые канавы*5	Нормальное	Г (низ машины)	VI	200	1,5	—	40
пост мойки автомобилей:	Сырое	В (на машине)	—	—	1,5	Э**	40
механизированной			VIIIa	200	—	—	—
ручной			VI	200	—	—	—
Агрегатно-механическое, электротехническое и моторное отделения	Нормальное	Г, 0,8	IIв*6	500	1,5	—	40
Мойка агрегатов, узлов, деталей	Сырое	Г, 0,8	VI	200	1,5	—	—
Столярное отделение	Класса П-II	Г, 0,8	IVб*6	200	1,6	—	40
Обойное отделение	Класса П-IIa	Г, 0,8	IVб	200	1,5	—	40
Шинномонтажное отделение	Класса П-II*7	Пол	Vб	200	1,8	—	40
Вулканизационная (шинремонтное отделение)	Класса П-I	Г, 0,8	Va	200	1,5	—	40
Отделения кузнечно-рессорное, сварочно-жестяникское, медницко-радиаторное	Пыльное	Г, 0,8	IVб*6	200	1,8	—	40
Помещение зарядных устройств аккумуляторных батарей	Нормальное	Г, 0,8	VI	100*8	1,5	—	40
Помещение ремонта аккумуляторов	Нормальное	Г, 0,8	IVб*6	200	1,5	—	40
Помещение зарядки стартерных аккумуляторных батарей	Класса В-Iб*13	Пол	VI	100*8	1,5	—	—
Склад карбида кальция в барабанах*9	—	Пол	—	50	1,5	—	—
Склад баллонов сжиженного нефтяного газа (наполненных и использованных)	Класса В-Ia (IIAT2)	Пол	—	75	1,5	—	—
Склад порожних (дегазированных) баллонов из-под сжиженного нефтяного газа	Нормальное	Пол	—	75	1,5	—	—
Склад горючесмазочных материалов	Класса В-Ia (IIAT3)	Пол	—	75	1,5	—	—
Кладовая масел	Класса П-I	Пол	—	75	1,5	—	—
Окрасочное отделение (подготовка к окраске, окраска, сушка)	Класса В-IIa*10 (IIAT1 или IIAT3)	Г и В (на окрашиваемых поверхностях)	IVб*11	200	1,5	А	—
Кладовая лакокрасочных материалов	Класса В-Ia (IIAT3)	Пол	—	75	1,5	—	—
Склад баллонов ацетилена (наполненных и использованных)	Класса В-Ia (IIAT2)	Пол	—	75	1,5	—	—
Склад баллонов кислорода (наполненных и использованных)	Нормальное	Пол	—	75	1,5	—	—
Кладовая кислот и щелочей	Класса П-I	Пол	—	75	1,5	—	—
Ремонт и испытание приборов системы питания автомобилей*12	—	Г, 0,8	IIв*6	300	1,5	—	40

* Закрытые стойки относятся к нормальным условиям, но при этом должны применяться: ОП с РЛВД и ЛН со степенью защиты не менее IP4X, с ЛЛ — 5'X; электропроводки и электроустановочные изделия — как для пожароопасных зон класса П-I.

- При хранении автомобилей, работающих на сжиженном нефтяном или природном газе, в случаях, когда наибольшая емкость газа в баллоне превышает нормируемые значения для 1 м³ свободного объема помещения (1,45 г — для нефтяного газа; 1,1 г — для природного газа), необходимо дополнительно: устройство ЭО во взрывозащищенном исполнении (ПАТ1); автоматическое отключение остального освещения при подаче соответствующих сигналов, когда концентрация газа превысит 20% нижнего предела взрываемости.
- ** В гаражах на 25 автомобилей и более рекомендуется устройство ЭО.
 - *** В зоне открытой стоянки автомобилей рекомендуется «безопасное» освещение (с крыш зданий, прожекторных мачт и т.п.).
 - *4 При автомобилях, работающих на сжиженном нефтяном или природном газе, отделения относятся к нормальным, если соблюдены требования, изложенные в примечании*.
 - *5 Осветительные установки смотровых канав должны обеспечивать возможность работы с ходовыми частями автомобилей, а также создавать равномерное освещение на полу канавы для прохода людей. Освещенность обеспечивается стационарными и переносными ОП. Осветительные приборы, как правило, устанавливаются в нишах капотов. Стены ниши не должны экранировать световой поток, поэтому рекомендуется боковые ниши раскрывать под углом (45°) или встраивать в них отражатели. Для защиты ОП от механических воздействий рекомендуется перекрывать ниши защитной сеткой. Трубы сети в смотровых канавах следует, как правило, прокладывать скрыто.
 - *6 Для отдельных рабочих мест (станки, верстаки и т.п.) освещенность нормируется в соответствии с характером работы на них и обеспечивается местным освещением, рассматриваемым как дополнение к общему освещению (при комбинированном освещении 500/200 лк).
 - *7 При отсутствии шероховатых работ условия среды в шиномонтажной нормальные, коэффициент запаса 1,5.
 - *8 Освещенность снижена ввиду кратковременности работы.
 - *9 Класа В-1 (ИП2) — при наличии естественной вентиляции, В-1а (ИП2) — при наличии механической приточной вентиляции.
 - *10 Возможно отнесение помещения к классу П-1 при условии выполнения работ в камерах, занимающих до 50% площади включительно, либо при выполнении подготовительных работ без камер с применением негорючих жидкостей.
 - *11 При окраске и сушке в камерах для зоны вне камер освещенность 100 лк.
 - *12 Условия среды для автомобилей, работающих на бензине или дизельном топливе, зависят от количества топлива, находящегося в обращении, и могут быть классов В-1а, П-1 или нормальными. Для автомобилей, работающих на сжиженном нефтяном или сжатом природном газе, — нормальные условия среды.
 - *13 Класа В-1б — верхняя зона на 1/3 высоты помещения.

Объекты водоснабжения и канализации. Решения по электроосвещению приведены в табл. 12.37.

Объекты хозяйственно-питьевого водоснабжения, имеющие отраженную санитарную охранную зону, должны проектироваться с охранным освещением по периметру ограждения. Это освещение управляется или автоматически, или вручную при срабатывании охранной сигнализации. Ширина освещаемой охранным освещением полосы — 5–10 м вдоль внутренней стороны ограждения.

Наружное освещение нескольких или иловых площадок, полей орошения и фильтрации, шлюзового, охлаждающих прудов и брызгательных бассейнов, как правило, выполняется только в зоне основных дорог и на площадках разгрузки материалов.

Если в растворах, перекачиваемых через очистные сооружения производственных сточных вод, содержатся взрывоопасные вещества, такие сооружения могут быть отнесены к взрыво- и пожароопасным соответствующего класса.

Электроосвещение традирен следует предусматривать только для групп вентиляторных традирен, устанавливая ОП вне традирен (прожекторы на мачтах и зданиях). Для одиночных вентиляторных традирен электроосвещение ввиду тяжелых условий среды практически не предусматривается, за исключением пыле-сильных розеток на отметке установки вентиляторов.

Следует отметить, что обеспечение нормируемых освещенностей на всей площади отстойников, фильтров, аэротенков и тому подобных больших емкостей не обязательно, особенно при их наружной установке. Важно обеспечить подход к ним, проходы по мостикам обслуживания, возможность наблюдения за движущимися частями, частью волной пенерности и т.д. Таким образом, в этом случае может быть допущена большая неравномерность освещения, при котором, тем не менее, обеспечивается взятие проб, общее наблюдение за ходом производственного процесса, проход персонала.

Система освещения объектов водонаблюдения и канализации, как правило, обипа локализованная. Источники света — преимущественно РЛВД, ДН допускаются лишь для небольших объектов.

Дело электроноэручиков и электрокар. Зарядные помещения дело в верхней зоне относятся к взрывоопасным класа В-1б с категорией и группой взрывоопасной смеси 4А-Т1 (вологод). Нижняя зона считается взрывоопасной. Граница между верхней и нижней зонами помещения условно проходит на отметке 0,75 обшей высоты, считая от уровня пола, но не выше отметки кранового пути, если таковой имеется. Освещенность в дело (стоянка и зарядная) принимается 100 лк (разряд VI, с понижением освещенности ввиду кратковременности работ). Если зарядка аккумуляторов производится в отдельной зоне, то освещенность повышается до 150 лк.

Аккумуляторные. Решения по электроосвещению аккумуляторных приведены в табл. 12.38.

При освещении помещений стационарных аккумуляторных батарей ОП следует располагать между стенами с аккумуляторами, выключатели устанавливать

Освещение объектов водоснабжения и канализации

Наименование помещения, рабочего места, оборудования	Характеристика помещения по условиям среды	Плоскость нормирования освещенности (Г — горизонтальная, В — вертикальная), ее высота от пола, м	Разряд и подразряд зрительной работы	Освещенность при системе общего освещения, лк	Коэффициент запаса	Аварийное (А) и эвакуационное (Э) освещение	Напряженность питания переносного освещения, В
Машинные залы насосных станций: с постоянным дежурством персонала без постоянного дежурства персонала	Влажное	Г, 0,8	VI	200*	1,5	A	40
Отдельно стоящие насосы в здании	—	Г, 0,8	VIIIб	100**	—	—	—
Насосные подземные на трубчатых колодцах	Сырое	Г, 0,8	VIIIв	75	1,5	—	40
Водонапорные башни	Влажное	Пол площадок и лестниц	VIIIв	50	1,5	—	40
Помещение воздуходувок и компрессоров	Нормальное	Г, 0,8	VI	100**	1,5	A	40
Отделение барабанных сеток и микрофильтров	Влажное	Г, 0,8	VI	100**	1,5	A	40
Помещения сеток, решеток-дробилок	Влажное	Пол	VI	100**	1,5	A	40
Помещения мокрого хранения реагентов	Химически активное, сырое	Пол	—	50	1,8	—	—
Склад угля	Класса П-II	Пол	—	50	2,0	—	—
Склад кремнефтористого натрия	Пыльное, химически активное	Пол	—	50	1,8	—	—
Склад хлора	Химически активное	Пол	—	50	1,8	—	—
Склад полиакриламида	Нормальное	Пол	—	50	1,5	—	—
Склад аммиака	Класса В-1б	Пол	—	50	1,5	A	—
Помещение приготовления реагентов	Химически активное, сырое	Г, 0,8	VIIIa	200	1,8	A	12
Углевальная	Класса П-II	Г, 0,8	VIIIa	200	2,0	—	40
Фтораторная	Химически активное, влажное	Г, 0,8	VIIIa	200	1,8	—	40
Хлордозаторная	Химически активное, сырое	Г, 0,8	VIIIa	200	1,8	A	40
Помещение приготовления полиакриламида	Влажное	Г, 0,8	VIIIa	200	1,5	—	40
Аммонизаторная	Класса В-1б	Г, 0,8	VIIIa	200	1,5	A	40
Озонаторная	Влажное	Г, 0,8	VIIIa	200	1,5	—	40
Фильтровальный зал: верхняя площадка	Влажное	Пол, А-1 (на шкафах управления)	VIIIa	200	—	A	40
нижняя и промежуточная площадки	—	На задвижках и вентилях	VIIIб	75	—	—	—
Песколовки, биофильтры, преаэраторы, аэротенки, отстойники и другие сооружения по очистке сточной воды по всей площади:	Сырое	Поверхность сооружения	VIIIв	50	1,5	—	—
в зданиях	—	Поверхность сооружения	—	1	1,5	—	—
вне зданий	—	—	—	—	—	—	—
Площадки механизмов, шкафов управления распределительных камер, проходные площадки:	Сырое	Г, 0,8	VIIIб	75	1,5	Э	40
в зданиях	—	Г, 0,8	XII	10	1,5	—	40
вне зданий	—	Г, 0,8	VI	100**	1,5	A	12
Помещение вакуум-фильтров, центрифуг, фильтр-прессов	Влажное	Г, 0,8	VI	100**	1,5	A	12
Площадки гидроциклонов	Сырое	Г, 0,8	VIIIa	200	1,5	—	40
Помещение сушки осадка (барабанные сушила)	Класса П-IIIa	Г, 0,8	VI	100**	1,5	A	12
Камера переключения метантенками	Класса П-IIIa	В, 1,0	VIIIб	75	1,5	A	—
Электролизерная***	—	Г, 0,8	VIIIв	200	1,5	A	—

* В небольших насосных допускается снижение освещенности до 150 лк.

** Освещенность снижена в связи с кратковременностью работ.

*** Осветительные приборы принимаются со степенью защиты не менее IP44.

Освещение аккумуляторных

Наименование помещения, рабочего места, оборудования	Характеристика помещения по условиям среды	Плоскость нормирования освещенности (Г — горизонтальная, В — вертикальная), ее высота от пола, м	Разряд и подразряд зрительной работы	Освещенность при системе общего освещения, лк	Коэффициент запаса	Аварийное (А) освещение	Напряжение питания переносного освещения, В
Помещение стационарных аккумуляторных батарей	Класса В-Iа, химически активное	Г, 0,8	VI	100*	1,5	A	—
Помещение переносных аккумуляторов с зарядкой их под местной вытяжкой	Нормальное**	Г, 0,8	VI	100*	1,5	—	—
Тамбур перед помещением стационарных аккумуляторных батарей	Класса В-Iб	Пол	—	50	1,5	—	—
Помещение ремонта аккумуляторов	Химически активное	Г, 0,5	IVб	200	1,5	—	40
Помещение зарядных агрегатов	Нормальное	Г, 0,5	VI	100*	1,5	—	40
Электролитная	Химически активное	Г, 0,5	VI	100*	1,5	—	—
Дистилляционная	Нормальное	Г, 0,5	VI	100*	1,5	—	—
Кладовая аккумуляторов	Химически активное	В-I (на стеллажах)	—	50	1,5	—	—
Кислотная	Химически активное	Пол	VIIа	200	1,5	—	—

* Освещенность снижена ввиду кратковременности работ.

** Среда должна уточняться (возможно отнесение помещения к взрывоопасному — класса В-Iб).

Таблица 12.39

Освещение закрытых складов

Наименование помещения, рабочего места, оборудования	Характеристика помещения по условиям среды	Плоскость нормирования освещенности (Г — горизонтальная, В — вертикальная), ее высота от пола, м	Разряд и подразряд зрительной работы	Освещенность при системе общего освещения, лк	Коэффициент запаса	Аварийное (А) освещение	Напряжение питания переносного освещения, В
Склады** крупногабаритных предметов и сыпучих материалов:		Пол	—	50 — механизированные, 30 — немеханизированные		—	—
склад сыпучих горючих материалов (уголь, торф и т.п.) ^{*5}	Класса П-II***				1,8–2,0 ^{*4}		
склад сыпучих негорючих материалов (песок, цемент и т.п.)	Пыльное				1,8–2,0 ^{*4}		
склад крупногабаритных горючих материалов (лес, доски и т.п.) ^{*5}	Класса П-IIIа				1,5		
склад крупногабаритных негорючих материалов (металл и т.п.)	Нормальное				1,5		
Склады наполненных и порожних емкостей для химически активных, пожаро- и взрывоопасных жидкостей:		Пол	—	75 ^{*6}	1,5	—	—
склад емкостей химических жидкостей ^{*5} : щелочей, кислоты и т.п.	Класса П-I, химически активное						

Наименование помещения, рабочего места, оборудования	Характеристика помещения по условиям среды	Плоскость нормирования освещенности (Г — горизонтальная, В — вертикальная), ее высота от пола, м	Разряд и подразряд зрительной работы	Освещенность при системе общего освещения, лк	Коэффициент запаса	Аварийное (А) освещение	Напряжение питания переносного освещения, В
склад горючих жидкостей (мазут, минеральное масло и т.п.) ⁵	Класса П-Г ⁷						
склад легковоспламеняющихся жидкостей (бензин, дизельное топливо и т.п.)	Класса В-Ia					A*8	
Материальные, инструментальные и другие склады, не оборудованные кранами-штабелерами, при стеллажном хранении ^{5*,9}	—	В, 1,0 (на стеллаже)	—	75	1,5	—	—
Материальные склады, склады оборудования и т.п. при напольном хранении ^{5*,9}	—	Пол	—	75	1,5	—	—
Материальные, инструментальные и другие склады, оборудованные кранами-штабелерами:							
при неавтоматизированных кранах-штабелерах ^{5*,9}	—	Пол	—	50	1,5	—	40*10*,11
при автоматизированных кранах-штабелерах ^{5*,9}	—	Пол	—	30	1,5	—	40*10*,11
Экспедиция приема и выдачи груза ⁹	—	Пол	V6	200	1,5	—	40*10*,12
Сортировка и комплектация грузов ⁹	—	Пол	IV6	200	1,5	—	40*10*,12
Завозная кладовая ^{5*,9}	—	Пол	—	50	1,5	—	—
Рампа:							
в здании ^{9*,14}	—	Пол	—	50	1,5	—	40*10*,13
вне здания ^{9*,14}	—	Пол	XII	10	1,5	—	40*10*,13

* Во всех крупных механизированных складах рекомендуется устройство ЭО, используемого так же, как дежурное освещение.

** Освещение отдельных зон складских помещений должно управляться раздельно. Освещение проходов между стеллажами, как правило, должно также управляться раздельно. При автоматизированных КШ раздельное управление освещением между рядами стеллажей предусматривается при любом их количестве.

*** Класс указан как наиболее вероятный и должен уточняться в соответствии с действующими нормами технологического проектирования соответствующих производств.

*4 В зависимости от количества и характера пыли.

*5 Электроустановки запираемых пожароопасных складских зданий и помещений должны иметь аппараты общего отключения всех электросетей вне этих зданий и помещений независимо от наличия отключающих аппаратов внутри помещений. Аппараты общего отключения должны быть доступны для обслуживания в любое время суток и должны устанавливаться в ящиках из несгораемых материалов с приспособлением для пломбирования, на ограждающей конструкции из несгораемых материалов, а при ее отсутствии — на отдельной опоре.

*6 При отсутствии разлива в складе освещенность может быть снижена до 50 лк.

*7 Горючие жидкости, нагретые по условиям производства до температуры вспышки и выше, относятся к взрывоопасным, соответственно помещения для них — к классу В-Ia.

*8 В небольших складских помещениях допускается использовать в качестве ОП АО переносные аккумуляторные фонари во взрывозащищенном исполнении.

*9 При хранении горючих материалов, а также негорючих материалов в горючей упаковке — класса П-Ia (для рампы вне здания — П-III), в прочих случаях — нормальное.

*10 В пожароопасных складских помещениях установка штепсельных розеток не разрешается.

*11 Штепсельные розетки устанавливаются в проходах между стеллажами (примерно через 18 м) и в зоне ремонта крана-штабелера.

*12 Штепсельные розетки при отсутствии механизмов для приема, выдачи, сортировки и комплектации грузов не устанавливаются.

*13 Штепсельные розетки предназначены для освещения внутри разгружаемых (нагружаемых) вагонов.

*14 Электроосвещение рампы и завозной кладовой должно сохранять питание при отключении основного освещения склада.

вне помещения (в тамбуре, в коридоре). В помещении ремонта аккумуляторов, на столах и верстаках для ремонта устраивается местное освещение, рассматриваемое как дополнительное к общему освещению.

Закрытые склады. Решения по освещению складов приведены в табл. 12.39.

Для складских помещений обычно применяют общее равномерное освещение. При наличии стеллажей ОП, как правило, располагают в проходах между стеллажами.

Аварийное и эвакуационное освещение для складов, как правило, не требуется. Тем не менее для взрывоопасных складов рекомендуется устройство АО с учетом того, что погасание освещения способствует большей вероятности возникновения взрыва.

В крупных механизированных складах по линии основных проходов рекомендуется устройство ЭО, используемого так же, как дежурное освещение.

Для общего освещения складов могут быть применены как ЛН, так и РЛ, однако применение последних следует считать предпочтительным. Это положение в первую очередь относится к складам, имеющим большую высоту, а также к складам, доступ к ОП в которых затруднен (например, при обслуживании ОП со стеллажных кранов-штабелеров, с подвесных кран-балок и т.п.).

До недавнего времени на складах тарно-штучных грузов основными средствами механизации были напольные механические устройства или мостовые краны и кран-балки. В последние годы они заменяются более прогрессивными механизмами — кранами-штабелерами (КШ), обслуживающими стеллажи с помощью грузозахватных устройств.

В складах с КШ, как правило, следует применять РЛ по следующим причинам:

- в межстеллажном проходе обычно отсутствует естественный свет;
- применение РЛ, создающих относительно высокие уровни освещенности, уменьшает разницу в яркостях зоны кабины и зоны межстеллажного объема;
- в условиях затрудненного доступа к ОП большой срок службы РЛ имеет важное значение при эксплуатации установки.

В тех случаях, когда стеллажи хранилища используются как опоры для покрытия здания, пространство между покрытием и габаритом приближения КШ может оказаться недостаточным для установки ОП с РЛВД и ЛН. В этих случаях целесообразно использовать ОП с ЛЛ.

В рекомендациях для хранилищ и складов с КШ плоскость нормирования освещенности указана горизонтальная на уровне пола, тем не менее освещение стеллажей при неавтоматизированных КШ необходима как для уравнивания яркостей зоны КШ и зон межстеллажного объема, так и для более четкого различия маркировки ячеек стеллажей, деталей при ручном отборе непосредственно из тары, находящейся в ячейке, и т.п. Практически такое освещение обеспечивается во всех высотных хранилищах с КШ, при любых типах ОП общего освещения. Осветительные приборы, входящие в комплект КШ, также обеспечивают достаточ-

ное освещение вертикальных поверхностей стеллажей и тары с грузом в зоне КШ.

Выбор типа ОП для складских помещений с напольным хранением материалов особенностей не имеет. При этом виде хранения размещение ОП должно быть согласовано с местами штабельной укладки материалов и высотой транспортируемого груза. При стеллажном хранении материалов тип ОП в основном определяется высотой стеллажей. При большой высоте стеллажей, что имеет место при КШ, ОП должны иметь максимальную концентрацию светового потока в плоскости, поперечной проходу между рядами стеллажей (с КСС типа К1 или ДРИЗ с КСС типа Г и др.). Следует отметить, что прожекторы и светильники прожекторного типа не могут быть рекомендованы в этих случаях по следующим причинам:

- установка прожекторов под большим углом наклона (более 45°) приводит к недопустимому ухудшению их теплового режима;
- установка прожекторов под малым углом наклона повышает прямую блескость, что может затруднять работу персонала, обслуживающего склад.

Тем не менее в отдельных случаях прожекторы могут использоваться. Так, например, в целях ограничения применения светотехнических мостиков, если таковые разрешены, целесообразно использование прожекторов взамен ОП. Для стеллажей небольшой высоты могут быть рекомендованы ОП с глубокой и даже косинусной КСС с расположением их как на перекрытии здания, так и на конструкции стеллажей. При мостовых КШ последние могут быть использованы для обслуживания ОП. При стеллажных КШ рекомендуется применение светотехнических мостиков. В тех случаях, когда устройство их невозможно (например, если стеллажи используются как опоры для покрытия здания), для обслуживания ОП могут быть допущены стеллажные КШ при условии размещения на них съемных площадок с ограждениями.

Оперативное управление освещения складов должно осуществляться местными выключателями, а при больших нагрузках — со щитков, отдельно для отдельных зон. При наличии экспедиции приема или выдачи аппараты оперативного управления целесообразно располагать в них. В хранилищах с автоматизированными КШ аппараты управления рекомендуется располагать в помещении оператора.

Для пожароопасных зон помимо аппаратов оперативного управления должны устанавливаться аппараты общего отключения вне этих зон в соответствии с требованиями ПУЭ.

Котельные. Решения по освещению котельных приведены в табл. 12.40.

В качестве ИС должны применяться, как правило, РЛ; ЛН допускаются в помещениях с работами разряда VIII, в том числе и на площадках котлов и экономайзеров.

При переключении местного освещения на постоянный ток (щиты управления, водоуказательные колонки) оно должно выполняться только ЛН. Аварийное освещение устраивается в основных помещениях

Освещение котельных

Наименование помещения, рабочего места, оборудования	Характеристика помещения по условиям среды	Плоскость нормирования освещенности (Г — горизонтальная, В — вертикальная), высота от пола, м	Разряд и подразряд зрительной работы	Освещенность, лк		Коэффициент запаса	Аварийное (А) освещение*	Напряжени-е питания переносного освещения, В	
				Общее освещение	Комбинированное освещение				
					Всего				От общего
Помещения котлов: фронт котлов и бункерное отделение помещение дымососов и дутьевых вентиляторов площадки и лестницы котлов и экономайзеров	Жаркое*	В (на топках, затворах)	VI	100**	—	—	1,5***	А	12
	Жаркое*		VI	100**	—	—	1,5***	А	
	Жаркое*		—	50	—	—	1,5***	Э	
Зольное помещение Мазутонасосная	Пыльное, влажное Класса П-I* ⁴	Пол	VIIIб	75	—	—	1,8	Э	12
		Г, 0,8	VI	100**	—	—	1,5	А	12
Угле- и торфоподача: помещение дробильного отделения узлы пересыпки вагонопрокидыватели конвейеры в галереях конвейеры в цехе (надбункерное отделение)	Класса П-I* ⁵ Класса П-I* ⁵ Класса П-III См. галереи и туннели Класса П-I* ⁵	Г, 0,8	VI	100**	—	—	2,0	—	12
		Г, 0,8	VIIIa	200	—	—	2,0	—	12
		Г, 0,8	VIIIa	200	—	—	2,0	—	12
		Г (на ленте)	VIIIa	200	—	—	2,0	—	12
		Г, 0,8	VIIIa	200	—	—	1,5	—	12
Химводоочистка: помещение предочистки помещение фильтров помещение электродиализной установки помещение под баками-нейтрализаторами	Сырое Нормальное Сырое Сырое	Г, 0,8	VIIIa	200	—	—	1,5	—	12
		В, 1,5	VIIIa	200	—	—	1,5	—	12
		Г, 0,8	VIIIa	200	—	—	1,5	—	12
		Пол	VIIIг	20	—	—	1,5	—	12
Отдельно стоящие приборы, водомерные и маслоуказательные стекла, требующие постоянного наблюдения	—	В (на приборах)	IVв	—	750	—	—	А	—
Отдельно стоящие приборы, наблюдение за которыми осуществляется эпизодически	—	В (на приборах)	IVг	—	200	—	—	—	—

* Среда указана при использовании в качестве топлива мазута или газа. При угле — помещение пыльное, жаркое.

** Освещенность понижена из-за кратковременного пребывания людей в помещении.

*** При использовании в качестве топлива угля коэффициент запаса равен 1,8.

*⁴ При применении мазута, нагретого до температуры вспышки и выше, среда взрывоопасная класса В-Ia.

*⁵ Класс П-II указан при угле. При торфе среда взрывоопасная класса В-IIa.

(фронт котлов, надбункерные помещения, насосные, дымососные, электропомещение) и на отдельных рабочих местах (щиты, колонки). Это же освещение в основных помещениях выполняет роль ЭО по линии основных проходов. В прочих помещениях котельной устраивается только ЭО.

Как правило, котельные промпредприятий не допускают перерыва в электроснабжении и требуют питания как минимум от двух независимых внешних источников. В ряде случаев, определяемых технологами, предусматривается дополнительное автономное питание электроннагрузок (от аккумуляторной батареи, дизель-генератора и т.п.).

Аварийное освещение важнейших рабочих мест может быть выполнено специальными ОП с автономным резервным питанием постоянным током, включаемым автоматически при исчезновении напряжения в сети переменного тока.

Учитывая недостатки эксплуатации освещения, устанавливаемого на площадках котлов и экономайзеров (высокая температура, неравномерность освещения, возможность механических воздействий на ОП и электропроводку), следует стремиться по возможности к размещению ОП не на площадках котлов, а на строительных конструкциях здания (перекрытиях, стенах, колоннах и т.д.).

Местное освещение щитов управления должно осуществляться в соответствии с рекомендациями по освещению щитов в электропомещениях. Местное освещение водоуказательных колонок котельных агрегатов должно работать постоянно, так как колонки являются основными приборами по определению уровня воды в котле. Питание ламп осветительного устройства водоуказательных колонок котла должно осуществляться с максимальной степенью автоматического резервирования, например с переключением питания на постоянный ток. Осветительное устройство колонок находится на доступной высоте в условиях, особо опасных в отношении поражения электротоком, и поэтому оно должно либо включаться в сеть пониженного напряжения (не выше 40 В), либо при питании от сети 220 В иметь специальную конструкцию.

Основным видом электропроводок в котельных следует считать кабельные проводки, выполняемые на тросе, лотке, профиле или с креплением накладными скобами непосредственно на строительном основании. Прокладки кабелей вблизи горячих поверхностей и в зонах с высокими температурами необходимо избегать. При расчете сети, прокладываемой в зонах высоких температур, необходимо учитывать поправочные коэффициенты на токовые нагрузки проводов в зависимости от температуры окружающей среды. При прокладке электропроводки по площадкам ее следует располагать с внешней стороны ограждения этих площадок. Стойки осветительной сети и ОП при ремонтных работах не должны препятствовать подаче труб и футеровочных материалов в топку и газоходы, хвостовую часть котельного агрегата.

В помещениях отопительных котельных, встроены в здания и предназначенных для работы на газооб-

разном топливе с температурой вспышки 61°C и ниже, помимо основного электрического освещения должны предусматриваться взрывозащищенные ОП по линии основных проходов, используемые при подготовке котельных к пуску.

Аппараты защиты и управления этими ОП должны устанавливаться вне помещения котлов.

Узлы связи промышленных предприятий. Решения по освещению узлов связи промпредприятий приведены в табл. 12.41. Рекомендуемые ИС — ЛЛ, система освещения для основных помещений — общее локализованное освещение.

В основных помещениях предусматривается АО, обеспечивающее освещенность на коммутаторах, в главных проходах автоматного зала на кроссе, в аппаратных, генераторных, радиоузле. Освещение стивов («рядовое» освещение) УПАТС предусматривается в проходах электроосвещения в отличие от городских АТС, для которых стивы поставляются в комплекте с освещением. Для освещения стивов рекомендуются ОП с глубокой КСС, освещающие главные проходы. Управление освещением автоматного зала осуществляется отдельно для главных проходов и проходов между рядами стивов.

Источниками питания электроосвещения узлов связи на предприятии являются источники переменного тока (подстанции предприятия) и источники постоянного тока (аккумуляторные батареи напряжением 60 В, питающие аппаратуру связи и предусматриваемые в технологической части проекта узла связи). Источники постоянного тока в ряде случаев в узлах связи отсутствуют.

Питание переменным током, как правило, должно предусматриваться от вводного шкафа узла связи, устанавливаемого в технологической части проекта и обеспечивающего питание всех электроннагрузок узла.

Вводный шкаф питается в зависимости от схемы электроснабжения предприятия и требований связей от одного или двух (обязательно независимых при нагрузке I категории) источников переменного тока самостоятельными линиями, начиная от распределительных устройств, постоянно находящихся под напряжением (распределительных щитов подстанций, вводных электроустройств зданий, где располагаются узлы связи, и т.п.). Переключение (ручное или автоматическое) питания вводного шкафа с основного на резервное предусматривается, как правило, в технологической части проекта.

При наличии в узле связи аккумуляторной батареи рабочее освещение питается от вводного шкафа (задание на питание нагрузок освещения выдается связистам); АО напряжением 60 В проектируется нормально не горящим и включаемым при исчезновении напряжения в линиях, питающих вводный шкаф. Учитывая, что емкость аккумуляторной батареи ограничена, при проектировании конкретного объекта необходимо получать от связистов данные о выделяемой на АО мощности.

Аппараты защиты и общего управления АО от щита постоянного тока предусматриваются в технологической части проекта.

Освещение узлов связи предприятий

Наименование помещения, рабочего места, оборудования	Характеристика помещения по условиям среды	Плоскость нормирования освещенности (Г — горизонтальная, В — вертикальная), высота от пола, м	Разряд и под-разряд зрительной работы	Освещенность, лк			Кэф-фициент запаса	Аварий-ное (А) освеще-ние	Напряжение питания пере-носного освеще-ния, В
				Общее освеще-ние	Комбинирова-ное освещение				
					Всего	От общего			
Коммутаторная ручная телефонной станции	Нормальное	Г, 0,8 В, 0,8—1,5 (на коммутаторе)	IVб	200	—	—	1,5 1,5	А А	40 ^{*,**} 40 ^{*,**}
Автоматный зал учрежденческо-производственной автоматической телефонной станции (УПАТС): «рядовое» освещение статов ^{***}	Нормальное	В, 1,5 (на стative)	IVб	200	—	—			
Столы для выяснения и устранения повреждений в приборах и аппаратах связи	Нормальное	Г, 0,8	IIIв		750	200			
Регулировочная мастерская, мастерские ремонта и чистки аппаратуры	Нормальное	Г, 0,8	IIIб	300	1000	200	1,5		40 ^{*,**}
Кроссовая	Нормальное	В, 1,5 (на кроссе)	IVб	150 ^{*4}	—	—	1,5	А	40 ^{*,**}
Генераторная (выпрямительная), аппаратная	Нормальное	Г, 0,8	IVб	200	—	—	1,5	А	40
Шахта ^{*5}	—	На кабелях во всех плоскостях	VI	100 ^{*4}	—	—	1,5	—	40 [*]
Радиоузел (студия)	Нормальное	Г, 0,8	IIIг	200	—	—	1,5	А	40

* Розетки на напряжение 40 В используются для подключения переносных ламп, паяльников мощностью до 60 Вт, дрейей мощностью до 250 Вт.

** Предусматриваются также штепсельные розетки на напряжение 220 В (с заземляющим контактом — в помещениях с повышенной опасностью) для подключения пылесосов, измерительных приборов, а в помещениях мастерских — также ОП местного освещения.

*** Осветительные приборы для освещения статов располагаются между рядами статов (на перекрытии с максимально возможным свесом или на конструкциях статов).

*4 Освещенность снижена ввиду отсутствия постоянного персонала.

*5 На предприятиях, где имеются подземные трубопроводы взрывоопасного газа, среда в шахте взрывоопасная (класса В-16).

Согласно типовым проектам узлов связи, включение АО при исчезновении напряжения на линиях переменного тока производится вручную.

При отсутствии источника постоянного тока рабочее и аварийное освещение помещений питается самостоятельными линиями, начиная от вводного шкафа узла связи. Допускается питание рабочего и аварийного освещения на переменном токе не от вводного шкафа, а от групповых щитков освещения здания, где размещается узел связи.

При питании АО от сети постоянного тока (60 В) в качестве ИС могут быть использованы железнодорожные лампы типов Ж или лампы типа ЖГ для освещения подвижного состава.

Лаборатории. Нормируемые освещенности для характерных помещений лабораторных зданий приведены в табл. 12.42. Коэффициент запаса при РЛ 1,4. Большинство лабораторий, в том числе химических, биологических, физических и т.п., относятся к помещениям с нормальными условиями среды. Если в таких лабораториях и ведутся исследовательские работы с применением взрывоопасных и химически активных веществ, то их одновременное количество в помещении, как правило, ограничено.

Лаборатории модельных и полупроизводственных установок, где производится отработка в укрупненных масштабах технологических процессов, могут в зависимости от применяемых веществ иметь условия среды, отличные от нормальных. В частности, при применении горючих газов или ЛВЖ эти лаборатории могут быть отнесены к взрыво- или пожароопасным помещениям.

Лаборатории специального профиля исследовательских работ, в которых количество одновременно применяемых взрывоопасных веществ, например ЛВЖ, превышает установленные нормы, относятся к взрывоопасным класса В-1б.

Отдельные лаборатории для работы с точными приборами (некоторые радиотехнические лаборатории, лаборатории с определенными типами электронных микроскопов, масс-спектрометрами и др.) экранируются от

внешних высокочастотных полей. В этих случаях на электрических сетях, вводимых в экранированные помещения, устанавливаются фильтры, являющиеся неотъемлемой частью защиты от помех. В целях уменьшения количества фильтров рекомендуется силовые и осветительные приемники лаборатории питать от одного ввода. Применение в таких лабораториях РЛ, являющихся источником помех, как правило, недопустимо.

Электрические сети должны выполняться проводами в стальных трубах или экранированными кабелями.

В лабораториях, где может производиться обыв стен и потолков (при работах с радиоактивными веществами, ртутью и т.п.), ОП должны быть стойки к воздействию химических веществ, конструкция ОП должна обеспечивать легкий смыв пыли с них (конструктивно-светотехническая схема IV). Электропроводки в таких лабораториях рекомендуется выполнять скрытыми.

Особенности проектирования электроосвещения тех или иных лабораторий, условия среды в них не могут быть классифицированы только по назначению (наименованию) помещения и поэтому должны указываться в технологических заданиях электрикам.

По степени обеспечения надежности электроснабжения лаборатории преимущественно относятся к нагрузкам II или III категории. Специальные лаборатории могут относиться к I категории.

В лабораторных корпусах промышленных предприятий, как правило, АО не предусматривается, а ЭО устанавливается только в коридорах и на лестницах.

Помещения лабораторий в отношении поражения электрическим током относятся к помещениям с повышенной опасностью, что определяет необходимость зануления элементов ОУ, применения штепсельных соединений с заземляющими контактами и т.д.

Вычислительные центры. Решения по освещению вычислительных центров приведены в табл. 12.43.

В помещениях ЭВМ применяют в основном общее равномерное освещение, выполненное ОП с ЛЛ. Выбор ОП и их размещение в помещениях с видосцислями должны проводиться с учетом рекомендаций § 10.9.

Таблица 12.42

Освещение лабораторий

Наименование помещения	Плоскость нормирования освещенности (Г — горизонтальная, В — вертикальная), высота от пола, м	Освещенность, лк		
		Общее освещение	Комбинированное освещение	
			Всего	От общего
Лаборатории химические, препаративные	Г, 0,8	500	600	400
Лаборатории аналитические	Г, 0,8	500	600	400
Весовые	Г, 0,8	500	750	400
Лаборатории термические, физические, спектрографические, фотометрические, стилметрические, микроскопные, рентгеновские, рентгеноструктурного анализа, механические, радиоизмерительных и электронных устройств, термостатные	Г, 0,8	400	500	300
Фотокомнаты, дистилляторные, стеклодувные	Г, 0,8	200	400	150
Архивы проб, хранения реактивов	В, 1,0	100	—	—
Моечные	Г, 0,8	300	—	—

Освещение вычислительных центров

Наименование помещения, рабочего места, оборудования	Характеристика помещения по условиям среды	Плоскость нормирования освещенности (Г — горизонтальная, В — вертикальная), высота от пола, м	Освещенность, лк			Коэффициент запаса	Аварийное (А) освещение	Напряжение питания переносного освещения, В
			Общее освещение	Комбинированное освещение				
				Всего	От общего			
Помещения для работы с дисплеями, видеотерминалами, подготовки и контроля информации на технических носителях, сервисной аппаратуры, графопостроителей	Нормальное	Г, 0,8	400	500	300	1,5	А	40*
Помещения ремонта типовых элементов устройств	Нормальное	Г, 0,8	400	750	200	1,5	—	40*
Помещения системных и проблемных программистов и информационного и программного обеспечения*	Нормальное	Г, 0,8	400	750	200	1,5	—	—
Аппаратная	Нормальное	Г, 0,8	300	—	—	1,5	А	40*
Узлы связи	Нормальное	В, 1,0	200	—	—	1,5	А	40*
Стеновая	Нормальное	Г, 0,8	400	750	200	1,5	А	40*
Операторская	Нормальное	Г, 0,8	400	750	200	1,5	А	40*
Диспетчерская	Нормальное	Г, 0,8, В (на панелях щитов)	400	750	200	1,5	А	40*
Помещения носителей информации*	Нормальное	Г, 0,8	300	—	—	1,5	А	—
Архивы магнитных и бумажных носителей: на рабочих столах	Класса П-Иа	Г, 0,8	400	750	200	1,5	—	—
на стеллажах		В, 1,0	200	—	—			

* Для подключения приемников мощностью до 1 кВт (малая вычислительная техника, сервисная, измерительная поверочная аппаратура, пылесосы и др.) устанавливают штепсельные розетки на напряжение 220 В.

Таблица 12.44

Освещение пожарных депо

Наименование помещения, рабочего места, оборудования	Характеристика помещения по условиям среды	Плоскость нормирования освещенности (Г — горизонтальная, В — вертикальная), высота от пола, м	Разряд и подразряд зрительной работы	Освещенность при системе общего освещения	Коэффициент запаса	Напряжение питания переносного освещения, В
Гараж:	Класса П-Иа	Пол	—	—	—	—
зона стоянки	Класса П-Иа	Пол	—	75	1,5	40
зона поста технического обслуживания	Класса П-Иа	Пол	—	300	1,5	40
Аппаратная	Нормальное	Г, 0,8	IIIв	300	1,5	40
Пункт связи	Нормальное	Г, 0,8	IIIб	300	1,5	40
Кабинет безопасности движения	Нормальное	Г, 0,8	—	300	1,5	—
Помещение дежурной смены	Нормальное	Г, 0,8	—	100	1,5	—
Кабинет начальника дежурной смены	Нормальное	Г, 0,8	—	300	1,5	—
Помещение хранения регенеративных патронов	Нормальное	Пол	—	75	1,5	—
Помещения зарядки регенеративных патронов и хранения химвоглотителя	Нормальное	Пол	VI	200	1,5	—
Помещение для занятий физзарядкой	Нормальное	Пол	—	200	1,5	—
Класс для занятий	Нормальное	Г, 0,8	—	300	1,5	—
Сушка рукавов	Влажное	В (на рукаве)	—	50	1,5	—
Мойка рукавов	Сырое	Г, 0,8	VI	200	1,5	—

Пожарные депо. Решения по освещению пожарных депо приведены в табл. 12.44.

Электроосвещение пожарных депо должно выполняться в соответствии с решениями, предусмотренными в типовых проектах, разработанных специализированными организациями.

В пожарных депо устраиваются следующие виды освещения:

- 1) рабочее — во всех помещениях;
- 2) эвакуационное — на лестницах, в коридорах, в вестибюлях, в гараже;
- 3) аварийное — в пункте связи и аппаратной;
- 4) дежурное — создающее вместе с рабочим освещением удвоенную освещенность в гараже и на пути следования бойцов по тревоге. Дежурное освещение одновременно выполняет и функции АО, так как питается от щитков АО;
- 5) тревожное — включаемое автоматически по сигналу тревоги и обеспечивающее бесперебойный выезд и выход из помещений гаража дежурной смены, кабинета начальника дежурной смены; тревожное освещение выполняется в виде световказателей над выходами и выездами из помещений;

6) местное и переносное освещение в соответствии с общими требованиями СНиП;

7) ночное освещение — в помещении дежурной смены; выполняется с помощью ОП, встраиваемых в стену на высоте около 30 см от пола.

Эвакуационное и дежурное освещение питается разными группами от щитка АО, причем дежурное освещение включается только по сигналу «Тревога» из помещения пункта управления. Аварийное освещение в пункте управления и аппаратной, а также тревожное освещение включаются автоматически от установки тревожной сигнализации напряжением 24 В постоянного тока при сигнале «Тревога».

Выбор ИС, ОП и электропроводок пожарных депо выполняется в соответствии с общими рекомендациями по электроосвещению.

12.3.7. Освещение территорий промышленных предприятий, карьеров и строительных площадок

Источники света и СП. Для освещения используют все существующие в настоящее время ИС. В ОП наибольшее распространение получили лампы типа ДРЛ, а также более эффективные лампы типа ДНаТ; в прожекторах — лампы типов КГ, ДРИ, ДРЛ. Лампы типа ДКСТ большой единичной мощности, применявшиеся для освещения открытых пространств, являются неэффективными и не рекомендуются.

Освещение открытых площадей в виде узких полос, например, дорог, рационально осуществлять светильниками, широких — прожекторами; светильники применяются тех же типов, что и для освещения улиц.

Технические параметры прожекторов и светильников прожекторного типа приведены в разделе 13, исполнение приборов, как правило, IP54 и IP65.

Ориентировочная предварительная оценка прожекторной установки (определение количества прожекторов, подлежащих установке) может производиться по

удельной мощности (табл. 12.45), подробный расчет — на ПК (раздел 8).

Таблица 12.45

Ориентировочные значения удельной мощности общего прожекторного освещения

Тип ИС	Ширина освещаемой площадки, м	Удельная мощность общего освещения, Вт/м ² , при нормируемой минимальной освещенности, лк				
		0,5	1	2	5	10
ДРЛ	75–250	0,20	0,5	0,45	1,20	1,80
	251–300	0,18	0,30	0,50	1,00	2,00
МГЛ	75–150	0,18	0,25	0,30	0,70	1,30
	151–150	0,13	0,15	0,20	0,45	0,80
ЛН	75–150	0,65	0,75	0,85	2,10	4,00
	151–300	0,40	0,55	0,70	1,70	3,20
КГ	75–125	0,18	0,45	0,55	1,40	2,70
	126–300	0,15	0,25	0,40	1,00	2,00

Прожекторные мачты. По способу установки прожекторные мачты разделяются на стационарно устанавливаемые и передвижные.

Стационарно устанавливаемые мачты применяются при освещении территорий фабрик и заводов, для общего освещения строительных площадок и карьеров; передвижные находят широкое применение при локализованном освещении отдельных участков строительных площадок и карьеров. Мачты выполняются из металла, дерева и железобетона. Высота мачт — от 10 до 50 м. При осуществлении временного освещения рационально использовать сборно-разборные мачты многократного применения. Составные части по своим габаритам должны быть транспортабельны. Разработано много проектов металлических мачт, данные некоторых из них приведены в табл. 12.46. Стволы мачт представляют собой решетчатые пространственные фермы длиной 5–8 м. Верхняя площадка мачт высотой 21 и 28 м разработана двух типов: для установки 16 и 27 прожекторов; мачт высотой 35 и 45 м — четырех типов: П-1 (3,2 × 3 м), П-2 (3 × 2 м), П-3 (1,4 × 16 м) для установки 28 прожекторов в один ряд (на мачтах высотой 35 м) и П-4 (на мачтах высотой 45 м). Фундаменты мачт — сборные железобетонные, из четырех отдельных блоков, массой от 4 до 8 т и объемом бетона от 1,6 до 3 м³ каждый в зависимости от грунта и высоты мачты.

Таблица 12.46

Металлические прожекторные мачты

Высота, м	Число прожекторов, устанавливаемых на мачте	Масса металлоконструкции, т	Объем железобетонного фундамента, м ³
21	27	2,7–3,7	6,4–8,5
28	27	3,5–6,2	6,4–8,5
35	28	3,6–9,9	7,9–8,5
45	38	7–15	7,2–13

Железобетонные мачты разработаны на основе применения типовых центрифугированных опор контактной сети железнодорожного транспорта (высотой до 15 м) и опор линий электропередачи (высотой до 26 м).

Деревянные мачты имеют высоту до 15 м.

Передвижные мачты монтируются обычно на саянах, реже на колесах.

Схема питания стационарно устанавливаемых прожекторных мачт должна обеспечивать возможность включения и выключения всего прожекторного освещения из единого пункта управления. Централизованное дистанционное управление осуществляется с диспетчерского пункта с помощью магнитных пускателей, устанавливаемых на питающих линиях на подстанциях. Местное управление прожекторами каждой мачты осуществляется с помощью однофидерного ящика с автоматическим выключателем, установленного на мачте, у ее основания. Для возможности безопасного обслуживания прожекторов на площадках мачт монтируется распределительный щиток или коробка контактных зажимов.

Освещение территорий предприятий. Территория промышленного предприятия, не занятая под сооружения, состоит из дорог и пешеходных дорожек, железнодорожных путей, участков складирования различных материалов и готовой продукции, участков для производства технологических операций, прирельсовых погрузочно-разгрузочных площадок, зон отдыха. По периметру территории в отдельных случаях предусматривается охранная зона.

Дороги и пешеходные дорожки следует освещать ОП, предназначенными для освещения улиц, которые устанавливаются на опорах высотой 7–8 м, а также на стенах зданий или конструкциях эстакад, галерей и других строительных сооружениях. В тех случаях, когда установка опор невозможна ввиду занятости территории вдоль дорог подземными коммуникациями, а также когда автодороги проходят параллельно зданиям на расстоянии 20–40 м от них, целесообразна установка на крышах зданий одиночных параболо-цилиндрических прожекторов, имеющих большую ширину светового пучка в горизонтальной плоскости.

Для пешеходных дорожек, в частности в зонах зеленых насаждений, могут применяться венчающие ОП типа РТУ с установкой их на опорах высотой 2,5–3 м. Освещение участков складирования предопределяется характером складироваемых материалов и погрузочно-разгрузочных операций. При оборудовании склада крановой эстакадой с мостовым краном освещение может быть осуществлено ОП консольного типа. Крепление ОП производится к опорам крановой эстакады или к удлиненным стойкам ограждения прохода по верхнему настилу крановой эстакады. Хорошие результаты дает также применение прожекторов, устанавливаемых на тормозных площадках крановых эстакад. Во избежание теплообразования и для увеличения освещенности в местах производства работ на краях должны устанавливаться ОП, питаемые от крановой сети. Освещение открытых рабочих площадок в зависимости от их размеров может выполняться светильниками (при ширине площадок до 20–30 м) или прожекторами (при ширине площадок более 30 м). Уровень освещенности автомобильных дорог должен быть не менее 2 лк; для второстепенных дорог (пожарные проезды и подъезды к отдельным зданиям) освещенность может быть снижена до 0,5 лк, уровень освещенности железнодорожных путей принимается равным 0,5 лк с его увеличением в зоне стрелочных переводов до 1 лк, а в зоне горловины путей до 2 лк.

Освещенность рабочих поверхностей мест производства работ принимается по табл. 12.47.

Освещение карьеров. В зависимости от залегания ископаемых карьеры имеют различную конфигурацию и размеры (в плане и по глубине). В процессе разработки карьеры приобретают ступенчатую форму. На различных высотах (ярусах) создаются предохранительные и транспортные бермы шириной от 3 до 15 м. Выемка, а также перемещение ископаемых и породы производятся экскаваторами и различными специальными машинами. Широко применяются буровые и взрывные работы. Осветительная установка карьера носит временный характер: с изменением верхнего и нижнего контуров карьера она претерпевает полное или частичное изменение. Наименее изменяемы ОУ угольных разрезов и карьеров по добыче рудных ископаемых.

Таблица 12.47

Нормы освещенности рабочих поверхностей мест производства работ, расположенных вне зданий

Разряд зрительной работы	Характеристика работы	Минимальная освещенность, лк
IX	Точные работы при отношении наименьшего размера объекта различения к расстоянию до глаз менее 0,005 (сборочные работы, столярные работы, сварка)	50
X	Работы средней точности при отношении наименьшего размера объекта различения к расстоянию до глаз от 0,005 до 0,01 (монтаж строительных конструкций, полигоны для бетонирования конструктивных элементов, сборка громоздкого оборудования)	30
XI	Работы малой точности при отношении наименьшего размера объекта различения к расстоянию до глаз от 0,01 до 0,02, а также работы, требующие только общего наблюдения за ходом производственного процесса (бетонирование простых блоков, такелажные работы)	20
XII	Грубые работы, требующие различения объектов при отношении наименьшего их размера к расстоянию до глаз 0,05 и более (земляные работы, открытые механизированные склады)	10
XIII	Работы, требующие различения крупных предметов, находящихся в непосредственной близости к работающему, или связанные только с общим обзором рабочих поверхностей (немеханизированные склады, погрузочно-разгрузочные работы)	5

Для обеспечения условий выполнения работ ОУ в карьерах должна обеспечивать освещенности, указанные в табл. 12.48 [12.45]. Осветительная установка выполняется с помощью стационарных и передвижных инвентарных прожекторных мачт. Стационарные мачты должны размещаться, как правило, на бортах карьеров, за пределами возможного обрушения породы или на участках с законченной выработкой. Передвижные мачты устанавливаются внутри карьеров, в местах производства работ (буровых, вскрышных, добычных и отвальных). Кроме того, машины и механизмы, в том числе и буровые установки, применяемые для добычи и обработки строительных материалов, должны быть снабжены светильниками или прожекторами.

Для освещения карьеров устраивается общее равномерное прожекторное освещение: в зоне производства работ ОУ рассчитывается на освещенность 2 лк и в зоне временного пребывания людей — на 0,5 лк. На участках, где по условиям работы требуется более высокая освещенность, дополнительно к общему равномерному освещению устраивается общее локализованное освещение с помощью передвижных прожекторных мачт или опор.

В больших карьерах, как ни на каком другом объекте, для освещения требуется применение ИС большой единичной мощности и создание необходимых осветительных условий при минимально возможном числе прожекторов.

Мощные МГЛ и НЛВД позволяют получить наибольший светотехнический и экономический эффект и значительно упростить условия эксплуатации ОУ.

В небольших карьерах (шириной до 150 м) для общего равномерного освещения рационально использовать прожекторы с лампами типа ДРЛ или ГЛН; в широких карьерах (более 150 м) — прожекторы с МГЛ.

Для освещения дорог и транспортных пересечений в некоторых случаях следует применять ОП, установленные на передвижных мачтах высотой 10 м, особенно на участках, где производятся взрывные работы.

Освещение строительных работ. Осветительные установки строительных площадок имеют ряд особенностей и во многом отличаются от ОУ фабрик и заводов. Прежде всего, они осуществляются как временные сооружения и после окончания строительства демонтируются. Это предопределяет применение в них различных инвентарных конструкций и ОП многократного использования, что удешевляет стоимость ОУ и сокращает срок монтажа.

Согласно нормам, в рабочих зонах строительных и монтажных площадок уровни освещенности должны быть не ниже значений, приведенных в табл. 12.48 [12.14]. Для строительных площадок принимается система общего равномерного прожекторного освещения. В рабочих зонах уровень освещенности должен составлять не менее 2 лк, что обеспечивает возможность выполнения грубых работ, а также свободную ориентацию при передвижении по территории работающих и транспорта. На участках, где, согласно табл. 12.48, требуется более высокая освещенность, она достигается путем дополнительной установки прожекторов общего локализованно-

го освещения. Для остальной части территории строительных площадок, где требуется только ориентация, устраивается общее равномерное освещение (0,5 лк).

Общее равномерное освещение осуществляется прожекторами, устанавливаемыми по периметру площадок на мачтах высотой 10–50 м в зависимости от ширины освещаемой площадки. Применение для этой цели светильников нерационально, за исключением узких площадок (20–30 м). При освещении строительных площадок шириной до 150 м следует применять прожекторы с ДРЛ или ГЛН, для площадок шириной 150–300 м и более — прожекторы с мощными лампами типа МГЛ.

Размещение прожекторных мачт для площадок шириной 75–150 м должно быть двухрядным шахматным, для более широких — также двухрядным по периметру, шахматным или прямоугольным.

Особенностью освещения строительных площадок является то, что уровень рабочих поверхностей по мере производства работ непрерывно изменяется. Вначале, при подготовке котлована под фундаменты, этот уровень понижается, а затем начинает повышаться, достигая наивысшей отметки строящегося сооружения. Если на нижних уровнях необходимые осветительные условия создаются общим прожекторным освещением, то на высоких уровнях приходится дополнительно устанавливать ОП общего локализованного освещения (прежде всего, на башенных кранах). На стреле крана и металлоконструкциях ствола монтируются светильники прямого света с глубокой или концентраторной КСС или прожекторы. Это обеспечивает повышение освещенности в зонах производства подъемных и разгрузочных работ. Широко используются передвижные и переносные легкие опоры с прожекторами.

Освещение работ, производимых внутри строящихся зданий, несмотря на то, что здесь требуется создавать большие уровни освещенности (30 и 50 лк), не представляет больших трудностей. Для этой цели монтажными организациями разработаны и широко применяются различные инвентарные устройства, позволяющие быстро смонтировать ОУ. Инвентарные стойки устанавливаются на лестничной клетке и парализуются вместе с ростом этажности здания. К стойке подключаются легкие переносные опоры с ОП.

Управление сетями НО. Наружное освещение должно иметь централизованное дистанционное управление [12.41–12.43], которое включает в себя центральный пункт управления, где размещаются пост или шкаф управления; исполнительные пункты управления, где устанавливаются шкафы питания (с магнитными пускателями), находящиеся, как правило, на подстанциях; каналы связи между центральным и исполнительными пунктами в виде проводов и кабелей управления или линий телефонной сети предприятия. Линии связи выкладывают в каждом случае с учетом местных условий и возможностей.

Устройство централизованного дистанционного управления должно обеспечивать включение и выключение как всего НО объекта, так и его отдельных частей (освещение дорог, участков для складирования и

Нормы освещенности карьеров и строительных площадок

Наименование участка и рабочей операции	Минимальная освещенность, лк	Плоскость, в которой нормируется освещенность
Территории карьеров		
Карьер в районе производства работ	2	На уровне земли
Карьер в районах временного пребывания людей и районы транспортных коммуникаций	0,5	На уровне земли
Пути постоянного движения людей	2	На уровне земли
Лестницы, спуски с уступа на уступ	5	На уровне земли
Участки снятия вскрышных пород экскаватором	10	Вертикальная
Места производства ручных работ	5	На уровне земли
Конвейерная лента для транспортировки горной массы	5	На поверхности ленты
Отвалы	10	На уровне верха гусениц трактора
Хвостохранилище	0,5	На уровне земли
Измельчение глины на глинорыхлительной машине	10	Горизонтальная, на уровне ножей машины
Мостик земснаряда	5	На уровне мостика
Карта намыва	2	На уровне карты намыва
Сливной колодец	10	Вертикальная
Добыча камня	10	Горизонтальная, на уровне разрабатываемой породы
Строительные площадки		
Сборка и монтаж строительных и грузоподъемных механизмов, санитарно-технического, технологического, энергетического, открытого высоковольтного оборудования	50	Горизонтальная
Монтаж стальных и железобетонных конструкций	50	Горизонтальная и вертикальная
Кладка блоков, кирпича	20	Горизонтальная
Бетонирование балок, плит покрытий, устройство дорожных покрытий	50	Горизонтальная
Работы по устройству полов:		
устройство песчаных, гравийных, бетонных слоев;	50	Горизонтальная
устройство земляных, щебеночных, булыжных покрытий		
устройство асфальтобетонных, кирпичных, дощатых покрытий	75	Горизонтальная
Штукатурные работы:		
в помещении	75	Горизонтальная и вертикальная
под открытым небом	50	Горизонтальная и вертикальная
Отделка стен помещений, масляные работы	100	Вертикальная
Монтаж трубопроводов, установка сантехнического оборудования	30	Вертикальная
Земляные работы, укладка оснований под дорожные покрытия	10	Вертикальная
Устройство траншей для фундаментов, коммуникаций	10	Вертикальная и горизонтальная
Погрузочно-разгрузочные работы	10	Вертикальная и горизонтальная
Открытые склады:		
нерудных материалов	2	Горизонтальная
металлоконструкций и оборудования	5	Горизонтальная
Автомобильные дороги	2	Горизонтальная
Железнодорожные пути	0,5	Горизонтальная

погрузочно-разгрузочных работ, охранного освещения и т.д.). Пункт управления должен располагаться в помещении, где в темное время суток имеется дежурный персонал, который может включать или выключать НО. В помещении пункта должны иметься телефон и ввод радиотрансляционной сети.

На некоторых предприятиях устраивается фотоавтоматическое и телемеханическое управление установками НО. Телемеханическое управление НО целесообразно в случаях, когда на предприятии предусмотрены телемеханические установки для управления электро- и

энергоснабжением или различными технологическими процессами и система управления освещением является составной частью общей системы управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

12.1. *Отраслевые нормы, инструкция по эксплуатации осветительных установок и рекомендации по устройству освещения основных цехов предприятий станкостроительной и инструментальной промышленности. ВНИИ информации и технико-экономических исследований по машиностроению и робототехнике. М.: 1985.*

- 12.2. *Отраслевые* документы по искусственному освещению предприятий электротехнической промышленности. М.: Информэлектро, 1985.
- 12.3. *Отраслевые* нормы проектирования искусственного освещения основных цехов промышленных предприятий. Минтрансстрой. ВСН 496-83, ВПТИ Трансстрой, 1983.
- 12.4. *ВСН 122-85*. Нормы строительного проектирования предприятий, зданий и сооружений легкой промышленности. 1985.
- 12.5. *Методические* рекомендации по установлению уровней освещенности (яркости) для точных зрительных работ с учетом их напряженности. М.: ВПНИИОТ ВПСРС. 1985.
- 12.6. *Дмитриевская Н.П., Затева Т.Г.* Нормирование освещения в текстильной промышленности. Научные работы институтов охраны труда ВЦСПС. М.: Профиздат, 1969. Вып. 56.
- 12.7. *Отраслевые* нормы искусственного освещения предприятий текстильной отрасли промышленности. М.: ЦНИИТЭИлегпром, 1985.
- 12.8. *Отраслевые* нормы искусственного освещения предприятий швейной промышленности. М.: ЦНИИТЭИлегпром, 1987.
- 12.9. *Отраслевые* нормы искусственного освещения предприятий трикотажной промышленности. М.: ЦНИИТЭИлегпром, 1986.
- 12.10. *Отраслевые* нормы искусственного освещения производственных объединений, предприятий текстильно-галантерейной промышленности. М.: ЦНИИТЭИлегпром, 1983.
- 12.11. *Технические* рекомендации по проектированию и эксплуатации осветительных установок предприятий текстильной промышленности. Иваново: ВНИИОТ ВЦСПС, 1985.
- 12.12. *Технические* рекомендации по проектированию и эксплуатации швейных фабрик. М.: ЦНИИТЭИлегпром, 1988.
- 12.13. *СН 466-74*. Инструкция по проектированию электрического освещения предприятий нерудных строительных площадок. 1985.
- 12.14. *ГОСТ 12.1.046-85*. Нормы освещения строительных площадок. 1985.
- 12.15. *Методические* указания к расчету освещения предприятий текстильной промышленности. Иваново: ВНИИОТ ВЦСПС, 1974.
- 12.16. *Brainard G.C.* Effects of light on physiology and behavior Proceedings CIE session, New Delhi, 1996.
- 12.17. *Lange H.* Handbuecher für Beleuchtung, SLG, LiTG, LTG, NSVV 5 Aufgabe, 1999.
- 12.18. *Van den Beld G.* Свет и здоровье. Светотехника. 2000. № 1.
- 12.19. *Van Боммель В., Ван ден Бельд Г., Ван Оойжен М.* Промышленное освещение и производительность труда. Светотехника. 2003. № 1.
- 12.20. *Van Боммель Г.* Зрительные, биологические и эмоциональные аспекты исследований и их значения для светотехнической практики. Светотехника. 2005. № 4.
- 12.21. *ГОСТ 15150-69*. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортировки в части воздействия климатических факторов внешней среды. 1969.
- 12.22. *Gutes Light für Gewerbe, Hadwerk und Industrie Fordergemeinschaft Gutes Light № 5*. 1999.
- 12.23. *Фаермарк М.С., Каинсон И.Я., Богомолов М.И.* Рациональное освещение в сборочных цехах часовых заводов. Приборы и системы управления. 1970. № 11.
- 12.24. *Фаермарк М.А., Взовская Т.М.* Освещение основных цехов заводов гидрометеорологических приборов. Приборы и системы управления. 1971. № 7.
- 12.25. *Варсанюфьева Г.Д., Фаермарк М.А.* Освещение сборочных цехов. Промышленная энергетика. 1974. № 2.
- 12.26. *Взовская Т.М., Фаермарк М.А.* Светотехнические решения общего освещения сборочных цехов приборостроительных заводов. Светотехника. 1973. № 2.
- 12.27. *Взовская Т.М., Фаермарк М.А.* О типовых решениях осветительных установок светотехнических заводов. Светотехника. 1978. № 10.
- 12.28. *Взовская Т.М., Фаермарк М.А.* Типовые решения осветительных установок основных производственных цехов предприятий низковольтной аппаратуры. Светотехника. 1978. № 11.
- 12.29. *Фаермарк М.А., Взовская Т.М.* Общее освещение цехов металлопокрытий приборостроительных заводов. Светотехника. 1971. № 10.
- 12.30. *Правила и нормы* техники безопасности, пожарной безопасности и производственной санитарии для окрасочных цехов. М.: Машиностроение, 1977.
- 12.31. *Шайкевич А.С.* Нормы освещенности металлорежущих станков. Светотехника. 1972. № 5.
- 12.32. *Нестерова И.Л.* Распределение освещенности на поверхности нитей прядильных машин. Научные работы институтов охраны труда ВЦСПС. М.: Профиздат, 1976. Вып. 100.
- 12.33. *Нестерова И.Л., Частухина Т.Н.* Нормирование искусственного освещения рельефных объектов в текстильной промышленности. Совершенствование условий и охраны труда. Научные работы институтов охраны труда ВЦСПС. М.: Профиздат, 1980.
- 12.34. *Ильина Е.И.* Исследование влияния параметров световой среды на цветоразличение. Светотехника. 1989. № 10.
- 12.35. *Дмитриевская Н.П., Зайчикова В.А., Затева Т.Г.* Освещение предприятий текстильной и швейной промышленности. М.: Профиздат. 1962.
- 12.36. *Дмитриевская Н.П.* К вопросу расчета освещения швейных фабрик. Научные работы институтов охраны труда ВЦСПС. М.: Профиздат, 1974. Вып. 87.
- 12.37. *Полякова А.Н.* Опыт применения УФ облучения в безоконном текстильном предприятии. Состояние здоровья и пути снижения заболеваемости рабочих текстильных предприятий. Иваново: ВНИИОТ ВЦСПС 1977.
- 12.38. *Сосипатров Н.И.* Пожаро- и взрывобезопасность электрооборудования деревообрабатывающих станков и автоматических линий. М.: Лесная промышленность, 1976.
- 12.39. *Волоцкой Н.В., Дудилов М.С., Николаева Л.Д. и др.* Освещение открытых пространств. Л.: Энергоиздат, 1981.
- 12.40. *Токохинский А.Б.* Электроустановки строительных площадок и вопросы электробезопасности. Л.: Стройиздат, 1971.
- 12.41. *Дудилов М.С.* Управление осветительными системами. М.: Энергия, 1973.
- 12.42. *Агаханов Л.Г., Бабин Р.А., Кунгс Я.А. и др.* Пресобразователи полупроводниковые переменного тока серии ППТТ для осветительных установок. Инструктивные указания ВНИПИ «Тяжпромэлектропроект». 1987. № 2.
- 12.43. *Кунгс Я.А., Фаермарк М.А.* Экономия электрической энергии в осветительных установках. М.: Энергоатомиздат, 1984.
- 12.44. *Каталог* фирмы Schuch, Германия.
- 12.45. *Каталог* фирмы Zumtobel.
- 12.46. *Каталог* фирмы Waldmann Leuchten.
- 12.47. *Каталог* фирмы Norka.

РАЗДЕЛ ТРИНАДЦАТЫЙ

АРХИТЕКТУРНОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

13.1. ВВЕДЕНИЕ

С наступлением вечерних сумерек в городе зажигаются уличные светильники, окна домов и витрин, разноцветием сверкает реклама, активнее читаются информационные световые табло и сигналы светофоров.

Освещенные автомагистрали, зелень скверов и парков (а в зимний период — снежный покров), фасады зданий и сооружений и пр., образуют городскую световую среду (рис. 13.1). Искусственное освещение формирует облик города в темное время суток, который в значительной степени отличается от дневного.



Рис. 13.1. Панорама вечерней Москвы.
Вид с Воробьевых гор

Задача архитекторов, инженеров-проектировщиков, светодизайнеров заключается в создании гармоничной, сбалансированной световой среды города.

Под архитектурным освещением (АО) понимается искусственное освещение фасадов зданий, сооружений, произведений монументального искусства, элементов городского ландшафта, отвечающее эстетическим требованиям зрительного восприятия.

Это обширная, перспективная область творческой деятельности в градостроительстве, требующая специальных знаний и опыта. [13.1]

Можно сказать, что АО является особым видом искусства, которое способно обеспечить выразительность объемно-пространственной, пластической и цветовой композиции ансамблей и отдельных объектов, подчеркнуть их градостроительное и социально-историче-

ское значение, художественные, стилевые и функциональные особенности.

Проектирование АО предполагает выбор:

- приемов и средств освещения, которые определяют характер распределения света на поверхностях объекта и в пространстве;
- уровней яркости на вертикально расположенных фасадах, различно ориентированных поверхностях и деталях;
- цветности освещения различных зон и элементов фасадов зданий и сооружений;
- режимов освещения в вечернее и ночное время, в будние, воскресные и праздничные дни, в разные сезоны года.

13.2. ПРИЕМЫ И СРЕДСТВА АРХИТЕКТУРНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

При создании вечернего образа объекта возможны два принципиально разных подхода: обеспечение ассоциативного подобия объекта его «дневному» образу или создание почного, декоративно-театрального «контробраза», отличающегося от дневного и обладающего собственными выразительными качествами.

В реальных условиях освещенные объекты в большинстве случаев сочетают в той или иной мере признаки обоих подходов, но для памятников истории и архитектуры, зрительно-образные стереотипы которых уже сложились в нашем сознании, более естественен первый путь, для современных построек творчески более продуктивен второй подход.

Архитектор и инженер-светотехник имеют набор следующих технических приемов для создания художественного образа объекта или целого ансамбля в вечернее время суток:

- общее заливающее освещение;
- локальное освещение;
- светящиеся фасады;
- силуэтное освещение;
- световая графика;
- иллюминационное освещение;
- контурное освещение;
- ландшафтное освещение;
- динамичное цветное освещение.

Выбор приема АО зависит от градостроительной ситуации, характера объекта, его назначения, возможности расположения ОП, условий адаптации наблюдателей, творческого замысла автора, технико-экономических возможностей [13.2].

Прожекторы заливающего света с параболоцилиндрическим отражателем для целей общего равномерного АО

Позиция рис. 13.2	Применяемый источник света	Осевая сила света, ккл	Габаритные размеры, мм	Степень защиты
1	НЛВД-400 МГЛ-400	36	410 × 310 × 440	IP 54
2	ПЛВД-400	18	670 × 490 × 320	IP 65
3	МГЛ-400 НЛВД-400	20	450 × 300 × 320	IP 55
4	МГЛ-400	30	545 × 500 × 230	IP 55
5	МГЛ-Сф-200	350	665 × 611 × 310	IP 65
6	НЛВД-400	65	600 × 435 × 175	IP 66
7	МГЛ-Сф-400	20,5	600 × 230 × 300	IP 55
8	МГЛ-400	18	400 × 480 × 330	IP 65
9	МГЛ-250 НЛВД-250	14	432 × 256 × 241	IP 55
10	МГЛ-1000	125	702 × 470 × 235	IP 65



Рис. 13.2. Прожекторы к табл. 13.1

Общее заливающее освещение фасадов или трехмерных объемов с заданной равномерностью обеспечивается ОП прожекторного типа, расположенными на значительных и средних расстояниях от объекта. Такой прием АО, как правило, сохраняет подобие вечернего образа объекта дневному (рис. 13.3, 13.4).

Наиболее эффективными средствами при таком приеме освещения являются прожекторы с зеркальными параболоцилиндрическими отражателями и неконцентрированной кривой силы света (КСС) в вертикальной плоскости. В табл. 13.1, рис. 13.2 представлены

некоторые примеры таких прожекторов отечественного и зарубежного производства.

Выделение светом памятников, скульптурных композиций, архитектурных завершений зданий (рис. 13.5) и сооружений (рис. 13.6) требует приема локализованного заливающего освещения, использующего ОП с круглосимметричными зеркальными отражателями и концентрированной КСС (табл. 13.2, рис. 13.7).

Прожекторы общего заливающего освещения устанавливаются чаще всего на опорах, соседних зданиях, в подземных и наземных специально оборудованных ни-

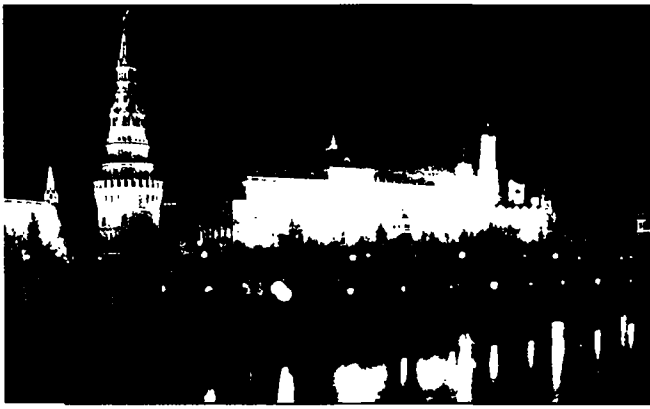


Рис. 13.3. Ансамбль Московского Кремля. АО выполнено с применением прожекторов заливающего света, равномерного и локализованного освещения с мощными МГЛ (1–2 кВт)

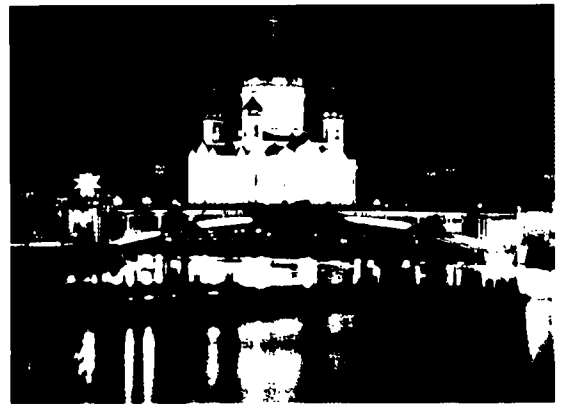


Рис. 13.4. Храм Христа Спасителя, г. Москва. Использован прием общего заливающего освещения, воспроизводящий облик храма в дневное время



Рис. 13.5. Архитектурное освещение Воскресенских ворот с Иверской часовней на Красной площади в Москве. Поярусное локальное освещение, локализованное освещение на шатрах, увенчанных золотыми орлами

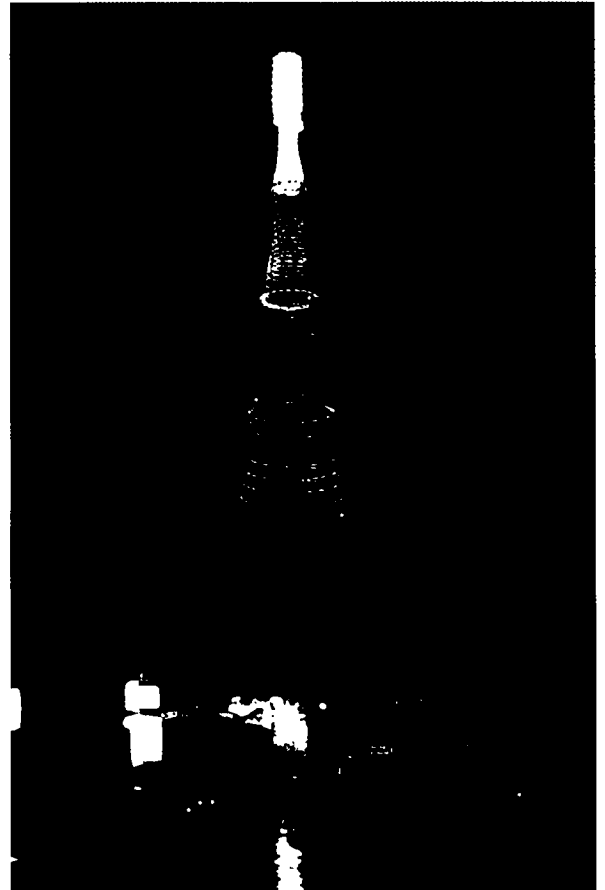


Рис. 13.6. Телебашня на Шаболовке, г. Москва. Прожекторы с концентрированной КСС и мощными МГЛ и НЛВД, установленные на земле, освещают переплетения тонких металлических конструкций, подчеркивая ажурность башни

Прожекторы заливающего света с концентрированной КСС для целей общего локализованного АО

Позиция рис. 13.7	Применяемый источник света	Осевая сила света, ккл	Габаритные размеры, мм	Степень защиты
1	МГЛ-400 НЛВД-400	450	630 × 440 × 640	IP 54
2	НЛВД-250	400	—	IP 55
3	МГЛ-Сф-2000	3700	∅491 × 363	IP 65
4	МГЛ-Сф-1800	4800	∅531 × 525 × 238	IP 55
5	МГЛ-250	100	∅455 × 450 × 510	IP 65
6	МГЛ-1000	400	∅565 × 600 × 435	IP 55
7	МГЛ-Сф-2000	2400	∅611 × 560 × 340	IP 55
8	МГЛ-150	480	431 × 250 × 146	IP 66
9	МГЛ-400	100	500 × 560 × 365	IP 65
10	МГЛ-2000	330	685 × 560 × 370	IP 65

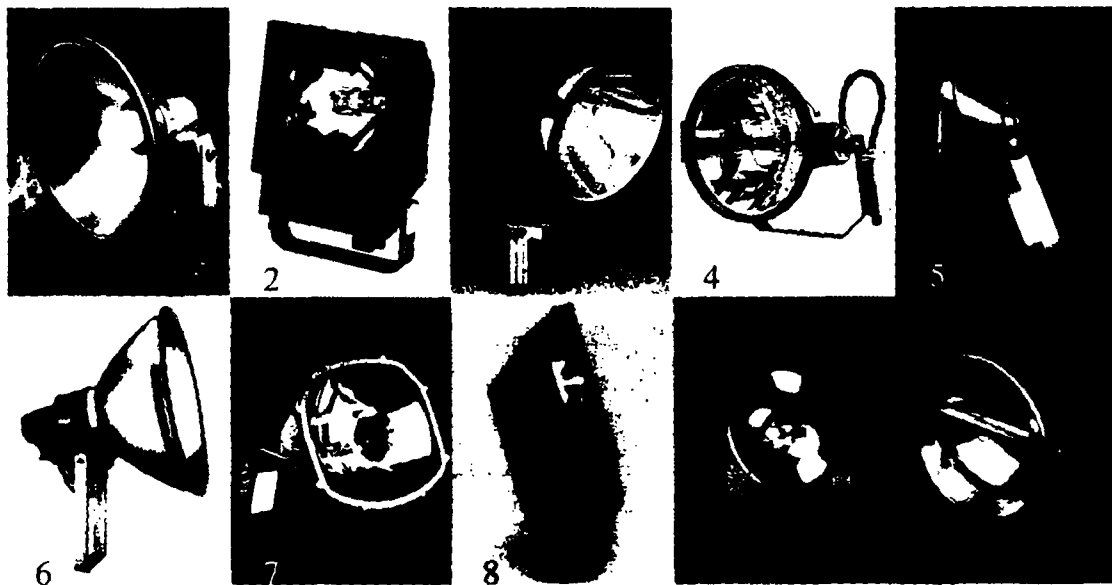


Рис. 13.7. Прожекторы к табл. 13.7

шах. В качестве источников света (ИС) используются МГЛ, НЛВД и в меньшей степени ГЛН. Диапазон мощностей применяемых ИС: от 150 до 2000 Вт.

Локальное (местное) освещение используется для фрагментарной подсветки объекта (рис. 13.5, 13.8–13.10), его тектонических и декоративно-пластических элементов с размещением ОП непосредственно на освещаемом объекте или на близком от него расстоянии. Локальное освещение осуществляется с помощью малогабаритных ОП, рассчитанных на работу с МГЛ мощностью 35–150 Вт, ГЛН или традиционными ЛН, линейными и компактными ЛЛ (табл. 13.3, рис. 13.11).

Свет от освещенных интерьеров, проходящий через незранированные или незашторенные остекленные светопроемы в зданиях и сооружениях, создает эффект *светящихся фасадов*. Частные случаи реализации такого приема: фасады (рис. 13.12, 13.13), купола, шпиль, перекрытые стеклом или светопрозрачным пластиком, внутри которых установлены ОП с белыми или цвет-

Рис. 13.8. Для АО белоснежного здания Третьяковского проезда в Москве использован прием локального освещения с холодными МГЛ ($T_{II} = 4200$ К)

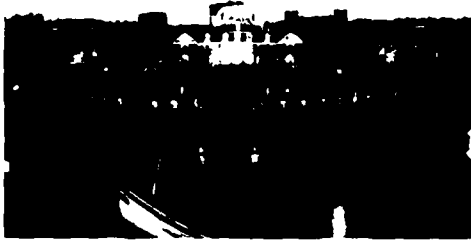


Рис. 13.9. Петровский подземной дворец, построенный из красного кирпича, локально высечен ОП с «теплыми» МГЛ ($T_{\text{ц}} = 3000 \text{ К}$)



Рис. 13.10. Пример локального освещения фасадов жилого дома

Таблица 13.3

Осветительные приборы локального освещения, применяемые при проектировании АО

Позиция рис. 13.11	Применяемый источник света	Осевая сила света, ккд	Габаритные размеры, мм	Степень защиты
1	МГЛ-Сф-150 НЛВД-150	7	420 × 245 × 110	IP 54
2	МГЛ-Сф-150 НЛВД-150	4,5	465 × 270 × 110	IP 54
3	ЛЛ-36	0,6	80 × 1257 × 124	IP 65
4	МГЛ-Сф-150	7,8	420 × 300 × 120	IP 65
5	МГЛ-Сф-70	3,5	225 × 145 × 190	IP 55
6	МГЛ-70	11,0	320 × 250 × 200	IP 55
7	НЛВД-150	27,0	440 × 335 × 161	IP 65
8	МГЛ-Сф-150	8,0	431 × 250 × 146	IP 66
9	МГЛ-Сф-150 НЛВД-150	60,0	376 × 280 × 130	IP 65
10	PAR 38	125	120 × 20 × 130	IP 55

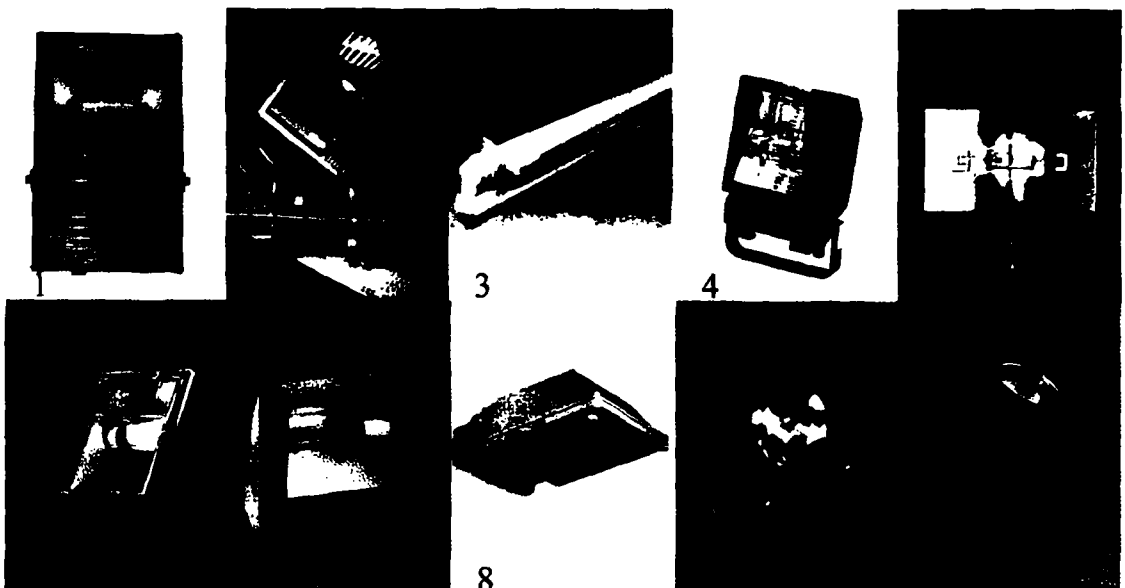


Рис. 13.11. Осветительные приборы к табл. 13.3



Рис. 13.12. Цирк на проспекте Вернадского в Москве. Пример использования различных приемов освещения: общего локализованного на куполе цирка; локального — на нижней поверхности козырька; светящего фасада — за счет освещения интерьеров здания



Рис. 13.13. Светящийся фасад административного здания в Канагаве (Япония) выполнен ОП с цветными светодиодами

ными ИС, работающие постоянно или по определенной программе, а также освещенные витрины, застекленные киоски, павильоны.

С помощью *силуэтного освещения* достигается необходимый контраст между затемненными скульптурными или архитектурными элементами и их композициями и освещенным, как правило светлым, фасадом здания (рис. 13.14).

Световая графика подразумевает группировку на фасадах зданий и сооружений ОП, образующих характерный световый рисунок в виде скопления светящихся, возможно разноцветных, точек, пятен, пунктирных или сплошных контурных линий (рис. 13.15). Установки световой графики отличаются

повышенной контрастностью и зрительной активностью, особенно при использовании динамичных режимов работы ИС.

Иллюминационное освещение — декоративное освещение с помощью гирлянд и световых шнуров с цветными ИС малой мощности или светодиодами (табл. 13.4, рис. 13.16). Иллюминационное освещение применяют для создания светящихся протяженных форм и украшений на мостах, эстакадах, улицах (рис. 13.17).

Контурное освещение используется для выделения основных архитектурных деталей зданий и сооружений



Рис. 13.14. Государственный академический Большой театр. На фоне освещенной верхней плоскости фасада здания силуэтно читается скульптурная композиция колесницы Аполлона



Рис. 13.15. Световая графика на административных зданиях на улице Новый Арбат в Москве выполнена световыми шнурами со светодиодами

Светильники, углубленные в землю, и ОП для световой графики и иллюминационного освещения

Позиция рис. 13.16	Применяемый источник света	Габаритные размеры, мм	Степень защиты
1	ДРЛ-80 НЛВД-70	∅ 270 × 510	IP 67
2	ДРЛ-80	240 × 175 × 186	IP 67
3	НЛВД-70	∅ 380 × 400 × 600	IP 67
4	НЛВД-70	280 × 165 × 150	IP 44
5	ГЛН Е 27	∅ 340 × 140	IP 43
6	ГЛН Е 27	220 × 2605 × 330	IP 44
7	Хеон* 24 V 8.5 W	452 × 65 × 39	IP 54
8	Хеон* 12 V 10 W	539 × 116 × 57	IP 65
9	ЛНР = 5 Вт**	L = 22 м	IP 54
10	ЛНР = 0,15 Вт**	L = 100 м	IP 54

* Хеон - ЛН с ксеноновым наполнением.

** Вакуумная ЛН специального назначения.

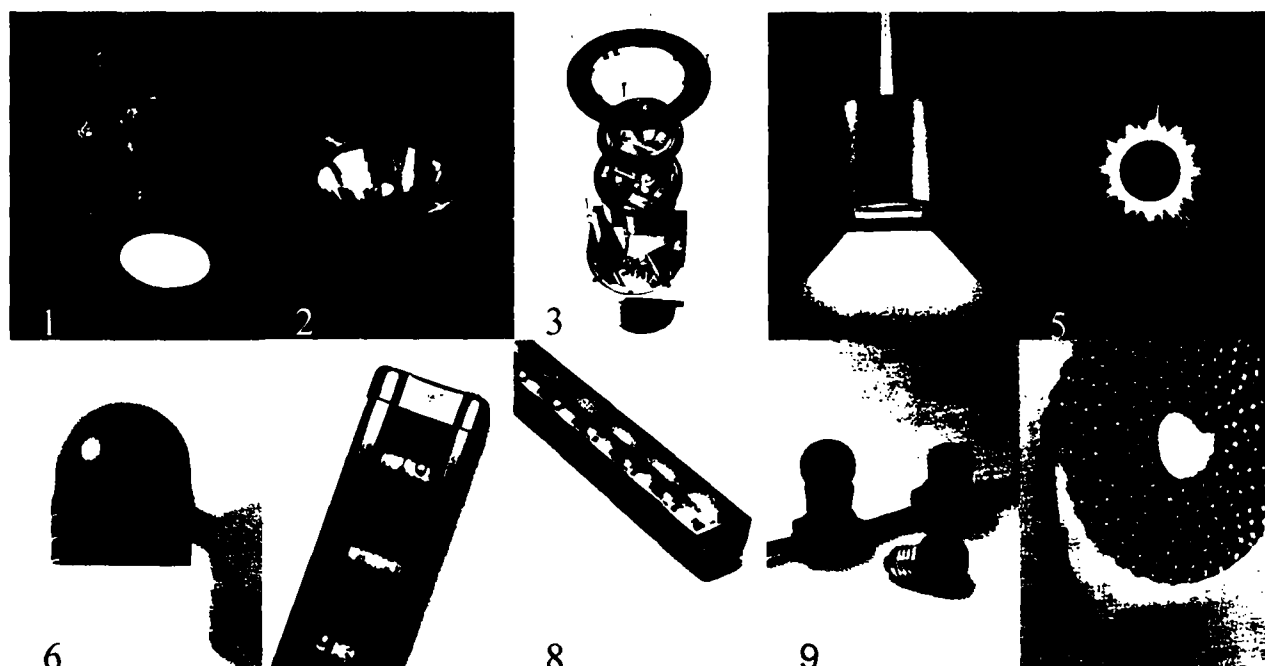


Рис. 13.16. Светильники к табл. 13.4

(рис. 13.18). Контуры проявляются в форме световых линий на фоне слабо освещенных или светящихся фасадов. Установки контурного освещения выполняются с использованием традиционных декоративных гирлянд и световых шнуров, стационарно смонтированных на фасаде объекта. В качестве ИС в гирляндах и шнурах используют маломощные ЛН или светодиоды. Расстояние между ИС выбирается в зависимости от размера обозначаемой конструкции и удаления объекта от на-

блюдателя. Контурное освещение не создаст визуального дискомфорта от ИС для пешеходов и водителей.

Ландшафтное освещение — это декоративное и функциональное освещение зеленых насаждений, элементов ландшафта и благоустройства. К техническим средствам ландшафтного освещения относятся декоративные опоры с кронштейнами (рис. 13.19), венчающие светильники (табл. 13.5, рис. 13.20), встраиваемые в грунт ОП (рис. 13.16), малые архитектурные формы.

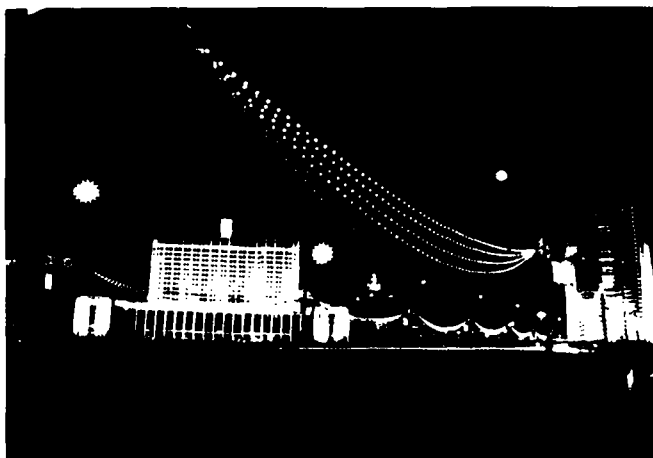


Рис. 13.17. Иллюминационное освещение на Новорбатском мосту через р. Москву

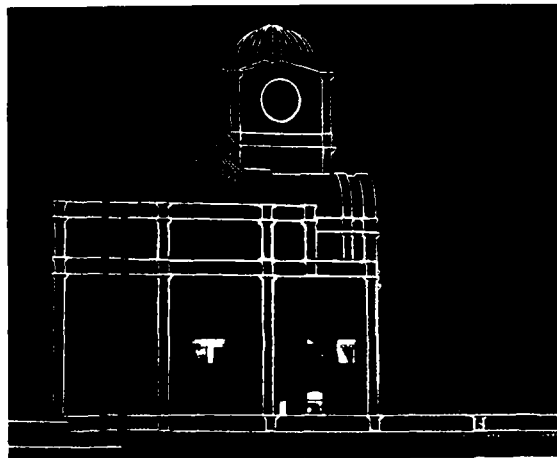


Рис. 13.18. Пример контурного освещения здания в Гонгконге, выявляющего геометрию и архитектурные формы сооружения



А



Б



В



Г



Д



Е



Ж



З

Рис. 13.19. Примеры декоративных опор, установленных в парковых и пешеходных зонах Москвы: А — возле храма Христа Спасителя; Б — на площади Европы у Киевского вокзала; В — в парковой зоне церкви Дмитрия Солунского; Г — в парке Центрального Дома Российской Армии; Д — возле церкви Богоявления в Елохове; Е — в сквере Петровского выездного дворца; Ж — вокруг мечети на Поклонной горе; З — в сквере у театра «Сатирикон»

Светильники для наружного освещения скверов, парков, бульваров

Позиция рис. 13.20	Применяемый источник света	Габаритные размеры, мм	Степень защиты
1	ДРЛ-125 НЛВД-150	470 × 470 × 810	IP 33
2	НЛВД-150 ДРЛ-125	∅ 400 × 620	IP 54
3	ДРЛ-250 НЛВД-250	∅ 400 × 830	IP 43
4	ДРЛ-125 МТ-100 НЛВД-150	—	IP 54
5	ДРЛ-80	∅ 685 × 690	IP 54
6	ДРЛ-80	∅ 7550 × 453	IP 54
7	МГЛ-250 НЛВД-250	1390 × 1200	IP 55
8	ДРЛ-125	∅ 345 × 620	IP 44
9	НЛВД-150	∅ 790 × 561	IP 65
10	ДРЛ-80	∅ 550 × 640	IP 54

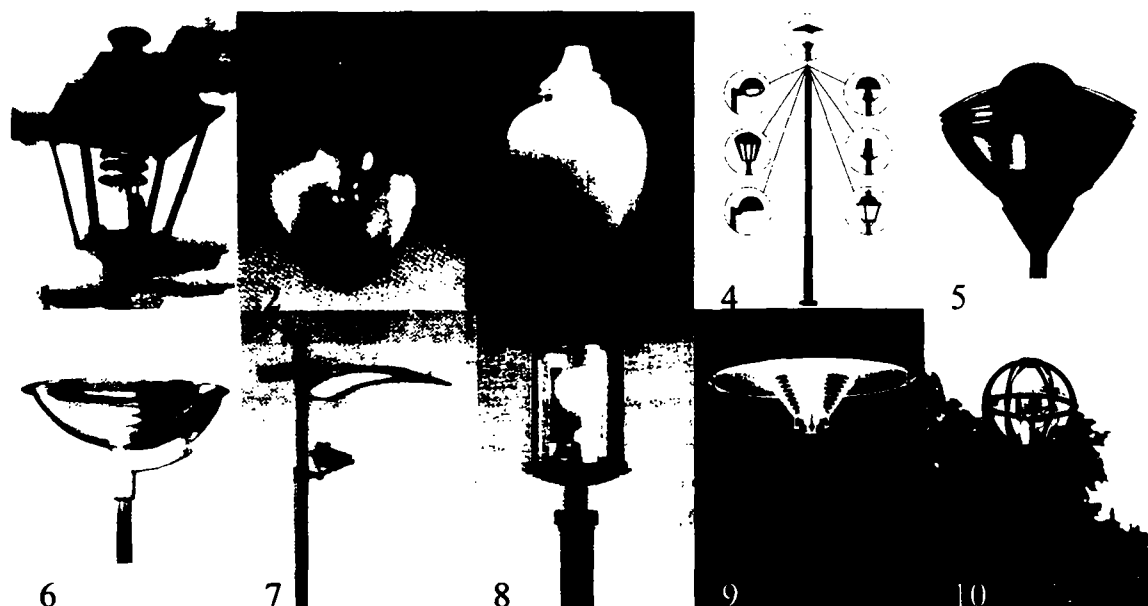


Рис. 13.20. Светильники к табл. 13.5

например, в виде световых «столбиков» (табл. 13.6, рис. 13.21); декоративные защитные кожухи для ОП, устанавливаемые на земле, беседки с внутренним освещением и другие элементы.

К осветительным приборам, используемым в АО, помимо общепринятых требований (см. раздел 6), предъявляются дополнительные:

— ОП должны иметь современный дизайн при малых габаритных размерах;

— приборы прожекторного типа должны работать в любом положении, в том числе выходным отверстием вверх;

— исполнение ОП по защите от воздействия окружающей среды должно быть на уровне — IP65*;

— конструкция прожектора должна позволять крепление защитных решеток;

— должно быть обеспечено, по возможности, антивандалное исполнение ОП.

* Допускается снижение степени защиты до IP54 с учетом необходимости более частой очистки оптической системы ОП.

Малые световые формы для ландшафтного освещения

Позиция рис. 13.21	Применяемый источник света	Диаметр, мм высота, мм	Степень защиты
1	КЛЛ 11	∅ 150, 900	IP 54
2	КЛЛ 20	∅ 219, 750	IP 54
3	НЛВД-50	1100	IP 53
4	ДРЛ-125 НЛВД-100	∅ 120, 1000	IP 54
5	МГЛ-70	∅ 250, 500–1000	IP 55
6	ДРЛ-50	∅ 220, 1000	IP 55
7	КЛЛ-7	1100	IP 55
8	КЛЛ-18	∅ 150, 800	IP 45
9	ДРЛ-80	∅ 191, 1048	IP 65
10	НЛВД-70	∅ 250, 1255	IP 65

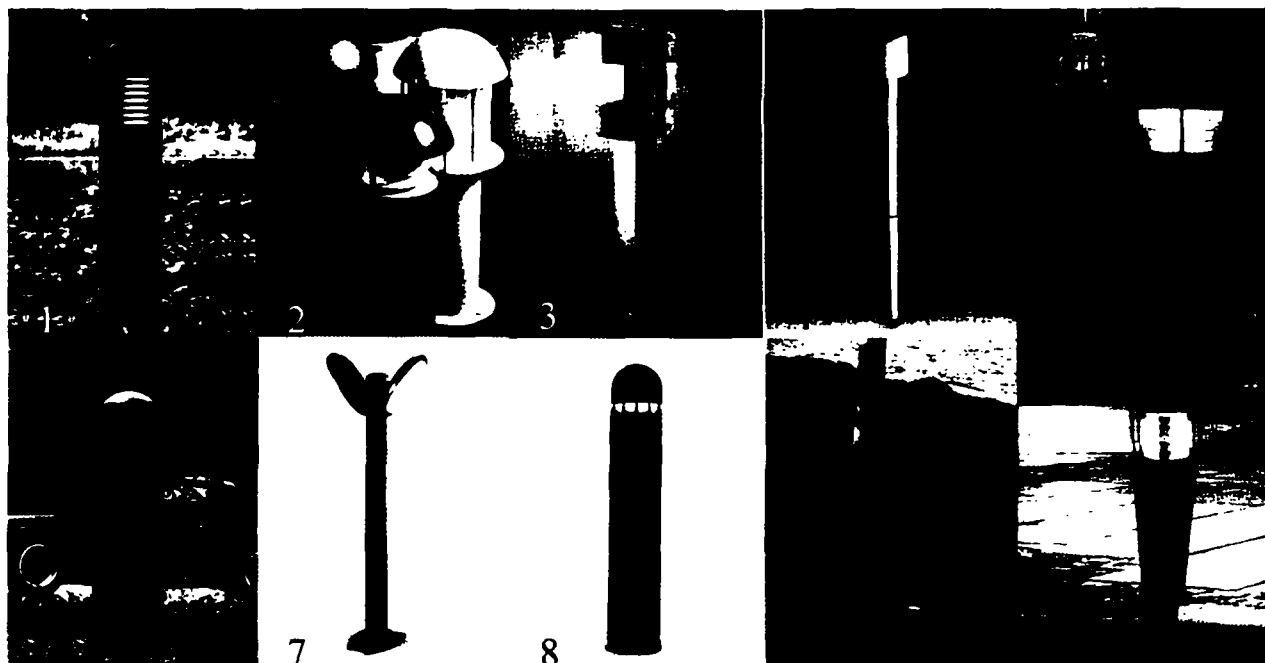


Рис. 13.21. Светильники к табл. 13.6

13.3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТАНОВОК АРХИТЕКТУРНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Разработка проекта АО (в зависимости от сложности объекта и его размеров) осуществляется в соответствии с техническим заданием в одну или две стадии. Одностадийный проект возможен на разработку АО отдельного здания, сооружения, монумента.

На предпроектной стадии работы собирается информационный материал по объекту, в т.ч. исторический для памятников архитектуры. Анализируются расположение объекта, чертежи и фотографии фасадов, планы этажей, кровли, генеральный план в масштабах городской застройки и геоподоснова. Оцениваются ха-

рактеристики окружающей среды в дневное и ночное время. Экспертиза существующего наружного функционального освещения, световой рекламы, ярких витрин поможет при определении уровней освещенности и яркости объекта.

Для сложных объектов рекомендуется проводить натурное моделирование, которое позволит выбрать светоконпозиционные приемы освещения, типы ОП, мощности и спектральный состав ИС, оценить распределение освещенности и яркости на поверхностях объекта.

Одна из технических задач при проектировании установок АО состоит в том, чтобы световой поток ОП, направленный на объект, струился «ниоткуда». Наблю-

датель должен видеть конечный результат — световую архитектуру объекта, а сами источники света должны быть выведены из поля зрения наблюдателя.

Выбор схемы освещения ансамбля осуществляется с учетом его визуального восприятия с различных точек наблюдения, при этом определяется световое иерархическое соподчинение объектов в ансамбле с учетом их архитектурной, исторической и градостроительной значимости.

Например, в монастырях доминантами являются центральный собор и колокольня, второстепенными — церкви, дом настоятеля, трапезная, монастырские стены; в масштабах городской площади в системе структурно-иерархической застройки основным объектом можно считать здание префектуры или управы, затем театр, универсам, административные и жилые здания; в спортивных комплексах — центральная спортивная арена и далее сопутствующие спортивные сооружения и т.д.

Именно на первом этапе проектирования исследуются пешеходные зоны и подъезды для возможного использования при монтаже и эксплуатации передвижных автовышек и другого сборного подъемного оборудования, определяется необходимость консультаций и согласований с различного рода городскими службами и управлениями, основные из которых: Управление охраны памятников истории и архитектуры, ГИБДД, Геотрест, Гортранс, Горсвет. Оформляются технические условия на присоединение электрических мощностей установок АО.

На основании полученного информационного материала архитектором совместно со светодизайнером и светотехником разрабатывается концепция АО. В ней определяются основные задачи и особенности АО объекта, выбираются эффективные приемы и средства АО с местами расположения ОП, программируются композиционные, световые и цветовые параметры АО, уточняются режимы функционирования установок АО.

Эти данные отражаются в изобразительной части проекта на цветной иллюстрации общего вида объекта при искусственном освещении, выполненной на компьютере с применением специализированных программ, и пояснительной записке.

Таким образом, в состав концептуальной части проекта светового ансамбля включаются:

- основная светопанорама застройки;
- перспективное изображение фрагмента светового ансамбля или освещаемого объекта при праздничном и повседневном режимах освещения с указанием уровней яркости и цветности в основных точках и зонах светопанорамы, ансамбля или объекта;
- планы и фасады объектов с местами расположения ОП и точками нацеливания их осевых лучей;
- световой генплан с отображением светоцветового зонирования территории и объектов ансамбля с указанием типа ОП и ИС;
- эскизы и фотографии разрабатываемых или существующих малых архитектурных форм;
- пояснительная записка, в которую, помимо исторического и архитектурного разделов, включаются све-

товые и электротехнические характеристики установки АО с кратким экономическим обоснованием по укрупненным показателям.

Концептуальную стадию проекта необходимо согласовать с Управлением охраны памятников истории и архитектуры и Художественным советом города.

На второй стадии разрабатываются детальные рабочие чертежи для каждого освещаемого объекта.

Цветное живописное изображение освещаемого объекта необходимо рассматривать как яркостную композицию — основу светотехнического расчета ОУ.

13.3.1. Нормирование светотехнических параметров

При проектировании АО архитектор, дизайнер и светотехник должны руководствоваться регламентируемыми уровнями яркости и освещенности фасадов объектов в городской застройке, представленными в табл. 13.7.

Характеристики отделочных материалов фасадов зданий, сооружений, скульптур и монументов приведены в табл. 13.8. Для определения светотехнических характеристик облицовочных материалов с направленным и зеркальным отражением света требуется в каждом отдельном случае проводить экспериментальные исследования с образцами материалов.

Проектируя АО фасадов, необходимо учитывать требования «Санитарных правил и норм искусственного освещения» [13.3], регламентирующих предельные уровни средней вертикальной освещенности на окнах жилых зданий, палат лечебных учреждений, спальных комнат объектов социального обеспечения в зависимости от их расположения в городской среде:

- 7 лк при норме яркости проезжей части $L_{ср} = 0,4$ кд/м²;
- 10 лк при норме $L_{ср} = 0,6-1,0$ кд/м²;
- 20 лк при норме $L_{ср} = 1,2-1,6$ кд/м².

При этом уровни суммарной засветки окон от архитектурного освещения не должны составлять более чем 10% от указанных величин.

13.3.2. Выбор источника света

Для достижения задуманных эстетических результатов и экономических показателей ОУ необходимо хорошо знать характеристики ИС. Не всегда лампы с высокой световой отдачей и сроком службы обеспечивают необходимые цветовые параметры и качество ОУ. В табл. 13.9 показаны преимущества и недостатки основных видов ИС и области их применения в АО.

При выборе ИС следует принимать во внимание возможное изменение цвета материала по сравнению с цветом при естественном освещении.

В табл. 13.10 показаны возможные изменения восприятия цвета отделочных материалов фасадов при освещении ИС различного спектрального состава.

При выборе газоразрядных ИС следует принимать во внимание возможное изменение цвета облицовочного материала по сравнению с цветом при естественном освещении (см. табл. 13.10). Наибольшее изменение цвета материалов наблюдается при освещении

Таблица 13.7

Регламентируемые уровни яркости фасадов объектов в городской застройке

Категория городских пространств	Место расположения объектов освещения	Средняя яркость фасада [*] , L , кл/м ²	Яркость акцентируемого элемента ^{**} , L_3 , кл/м ²	Средняя освещенность фасада здания (монумента) E_B , лк, при коэффициенте отражения поверхности ρ ^{***}		
				0,15	0,3	0,6
А	Площади и улицы столичного центра	10	30	$\frac{300}{400}$	$\frac{150}{200}$	$\frac{75}{100}$
	Транспортные магистрали и площади городского значения	8	25	$\frac{200}{300}$	$\frac{100}{150}$	$\frac{50}{75}$
	Ландшафтно-рекреационные зоны городского значения	5	15	$\frac{150}{200}$	$\frac{75}{100}$	$\frac{30}{50}$
Б	Площади и улицы системы окружных общественных центров	7	20	$\frac{200}{300}$	$\frac{100}{150}$	$\frac{50}{75}$
	Транспортные магистрали и площади окружного значения	5	15	$\frac{150}{200}$	$\frac{75}{100}$	$\frac{30}{50}$
	Ландшафтно-рекреационные зоны окружного значения	3	10	$\frac{100}{150}$	$\frac{50}{75}$	$\frac{20}{30}$
В	Площади и улицы системы местных общественных центров	5	12	$\frac{100}{150}$	$\frac{50}{75}$	$\frac{20}{30}$
	Транспортные магистрали и площади местного значения	4	10	$\frac{100}{150}$	$\frac{50}{75}$	$\frac{20}{30}$
	Ландшафтно-рекреационные зоны местного значения	3	8	$\frac{100}{150}$	$\frac{50}{75}$	$\frac{20}{30}$

* – при общем заливающим освещении;

** – при общем локализованном освещении;

*** – при просктировании ОУ коэффициенты отражения поверхности фасада следует измерять или принимать по табл. 13.8.

Примечание:

1. Уровни освещения объектов, не являющихся градостроительными доминантами, могут быть снижены в 1,5 раза.

2. Уровни освещения зданий и сооружений-доминант, обзриваемых с расстояния более 3 км, и памятников, рассматриваемых с расстояния более 300 м, допускается увеличить на 50%.

Таблица 13.8

Характеристики отделочных материалов фасадов зданий, сооружений, монументов с преимущественно диффузным отражением света

Материалы поверхности или цвет [*] фасада	Средневзвешенный коэффициент отражения материала поверхности		
	плоской	с мелким ^{**} рельефом	с глубоким ^{**} рельефом
Белый: атмосферостойкие фасадные краски, мрамор, гипс, керамическая плитка, матовые алюминий, нержавеющая сталь, пластмассы	более 0,6	0,6	0,5
Светлый: краски, мрамор, белый камень (известняк, доломит, песчаник), бетон и декоративные штукатурки на белом цементе и светлых заполнителях, керамические плитки, силикатный кирпич, латунь матовая, пластик, травертин, ракушечник	0,6–0,45	0,5–0,4	0,4–0,3
Средне-светлый: краски, мрамор, камень (туф, песчаник, известняк), бетон, цветные штукатурки, керамический кирпич, блоки, плитка, дерево (доски), пластик	0,45–0,3	0,4–0,25	0,3–0,2
Темный: краски, мрамор, гранит, глиняный кирпич, декоративные штукатурки и керамические плитки, потемневшее дерево, медь, листва деревьев	0,3–0,15	0,25–0,15	0,2–0,1
Черный: краски, камень (габбро, лабрадорит, диорит, базальт, гранит), чугун, латинированная бронза, декоративные штукатурки, хвоя деревьев	менее 0,15	0,1	менее 0,1

* – коэффициенты отражения цветных поверхностей следует проверять по цветному атласу Указаний по проектированию световой отделки СН 181-70;

** – мелким считается рельеф поверхности, имеющий соотношение среднего размера пластических членений по фасаду к средней глубине их рельефа (по отношению к стеновой поверхности) равное или более 10:1, а глубоким, соответственно, меньшее или равное 3:1.

Лампы накаливания (ЛН), в том числе галогенные (ГЛН)

Преимущества	Недостатки	Области ограниченного применения
<ul style="list-style-type: none"> - малые габаритные размеры; - высокий общий индекс цветопередачи $R = 95 + 100$; - устойчивая работа при низких температурах; - большой ассортимент типов и мощностей (от 5 до 5000 Вт); - наличие электробезопасных низковольтных ЛН и ГЛН; - возможность регулировки светового потока 	<ul style="list-style-type: none"> - крайне низкая световая отдача: <ul style="list-style-type: none"> - 5–15 лм/Вт для ЛН; - 18–22 лм/Вт для ГЛН - малый срок службы: <ul style="list-style-type: none"> - 500–1000 ч для ЛН; - 2000–3000 ч для ГЛН 	<ul style="list-style-type: none"> - локальное освещение; - освещение фронтонов зданий; - освещение цветников и кустарников; - экспозиционное освещение; - иллюминационное и контурное освещение

Люминесцентные лампы (ЛЛ), в том числе компактные (КЛЛ)

Преимущества	Недостатки	Области применения
<ul style="list-style-type: none"> - высокая световая отдача (до 100 лм/Вт); - высокий срок службы (10000–15000 ч); - высокий $R_a = 65 + 95$; - наличие КЛЛ со стандартным резьбовым цоколем Е 27 (14); - наличие цветных ЛЛ 	<ul style="list-style-type: none"> - большие габариты ОП с ЛЛ при относительно малых мощностях; - малая осевая сила света зеркальных ОП с ЛЛ и КЛЛ; - неустойчивое зажигание при температурах ниже -20°C; - наличие балласта 	<ul style="list-style-type: none"> - интерьерное освещение при наличии остекленных фасадов; - освещение фронтонов; - освещение пешеходных зон; - контурное освещение зданий и сооружений; - освещение цветников

Ртутные лампы высокого давления (ДРЛ)

Преимущества	Недостатки	Области применения
<ul style="list-style-type: none"> - высокий срок службы (до 15000 ч); - устойчивое зажигание и горение при отрицательных температурах (до -40°C) 	<ul style="list-style-type: none"> - относительно низкий индекс цветопередачи ($R_a = 40$); - низкая световая отдача (до 55 лм/Вт); - отсутствие ОП с концентрированной КСС из-за больших габаритов светящей колбы ДРЛ; - непригодность для динамических эффектов; - наличие балласта 	<ul style="list-style-type: none"> - освещение зеленых насаждений; - освещение пешеходных дорожек; - заливающее освещение фасадов и сооружений

Металлогалогенные лампы (МГЛ)

Преимущества	Недостатки	Области применения
<ul style="list-style-type: none"> - высокая световая отдача (до 100 лм/Вт) и срок службы (8000–15000 ч); - высокий индекс цветопередачи ($R_a = 65 + 95$); - малые размеры горелки; - наличие «холодного», тепло-белого и цветного света 	<ul style="list-style-type: none"> - неустойчивое зажигание при температурах ниже -30°C; - ограничения по положению горения; - наличие балласта и зажигающего устройства; - необходимость высокого напряжения (до 25 кВ) для мгновенного перезажигания 	<ul style="list-style-type: none"> - общее заливающее равномерное и локализованное освещение фасадов зданий и сооружений, скульптур и монументов; - локальное освещение; - ландшафтное освещение; - использование для цветодинамичных эффектов; - освещение пешеходных и прогулочных зон

Натриевые лампы высокого давления (НЛВД)

Преимущества	Недостатки	Области применения
<ul style="list-style-type: none"> - высокая световая отдача (до 120 лм/Вт) и срок службы (8000–15000 ч); - надежное зажигание при низких температурах (до -50°C); - универсальное положение горения 	<ul style="list-style-type: none"> - низкий индекс цветопередачи ($R_a = 25$); - низкая цветовая температура ($T_{\text{цв}} = 2000 \text{ K}$); - наличие балласта и зажигающего устройства; - высокая пульсация светового потока 	<ul style="list-style-type: none"> - общее, заливающее и локальное освещение зданий и сооружений, выполненных, прежде всего, из красных и желтых материалов; - заливающее локализованное освещение памятников и скульптурных композиций, выполненных из потемневшей бронзы; - освещение улиц и магистралей

Светодиоды

Преимущества	Недостатки	Области применения
<ul style="list-style-type: none"> - малые габаритные размеры СД и ОП с ними; - световая отдача выше, чем у ЛН (15–25 лм/Вт); - малое энергопотребление; - электробезопасное напряжение питания (5–36 В); - высокий срок службы (50000–100000 ч); - наличие белых и цветных СД; - ударо- и вибропрочность 	<ul style="list-style-type: none"> - чувствительность к температурным перегревам; - малая единичная мощность (0,2–5 Вт); - высокая стоимость ОП со светодиодами; - наличие «белых» СД только с высокой цветовой температурой ($T_{\text{цв}} = 5500–8000 \text{ K}$) 	<ul style="list-style-type: none"> - световая графика на фасадах и сооружениях; - гирлянды и световые шнуры в иллюминационном освещении; - использование в малых архитектурных формах; - получение динамичных эффектов

Таблица 13.10

Изменение восприятия цвета при различном спектральном составе освещения

Цвет материала при дневном свете	Источники света	Цветовая тональность	Насыщенность цвета	Светлота
Светло-голубой	ЛН ДРЛ МГЛ НЛВД	Позеленение Без изменений Позеленение Значительное пожелтение	Незначительное уменьшение Незначительное уменьшение Без изменений Уменьшение	Незначительное уменьшение Незначительное уменьшение Уменьшение Значительное уменьшение
Темно-синий	НДРЛ МГЛ НЛВД	Посинение Незначительное позеленение Значительное позеленение	Значительное уменьшение Уменьшение Значительное уменьшение	Уменьшение Уменьшение Уменьшение
Серо-бежевый	ЛН ДРЛ МГЛ НЛВД	Значительное покраснение Незначительное пожелтение Без изменений Покраснение	Увеличение Незначительное уменьшение Незначительное уменьшение Незначительное уменьшение	Незначительное увеличение Незначительное увеличение Незначительное увеличение Незначительное увеличение
Темно-коричневый	ЛН ДРЛ МГЛ НЛВД	Значительное покраснение Покраснение Покраснение Значительное покраснение	Значительное увеличение Уменьшение Уменьшение Значительное уменьшение	Незначительное увеличение Без изменений Без изменений Незначительное увеличение
Светло-зеленый	ЛН ДРЛ МГЛ НЛВД	Позеленение Незначительное пожелтение Позеленение Значительное пожелтение	Уменьшение Незначительное уменьшение Уменьшение Значительное уменьшение	Незначительное уменьшение Без изменений Без изменений Уменьшение
Темно-голубой	ЛН ДРЛ МГЛ НЛВД	Позеленение Незначительное посинение Незначительное позеленение Значительное пожелтение	Увеличение Уменьшение Без изменений Значительное уменьшение	Незначительное уменьшение Незначительное уменьшение Незначительное уменьшение Уменьшение
Темно-зеленый	ЛН ДРЛ МГЛ НЛВД	Значительное покраснение Незначительное пожелтение Незначительное покраснение Значительное покраснение	Незначительное уменьшение Значительное уменьшение Значительное уменьшение Значительное уменьшение	Увеличение Незначительное увеличение Незначительное увеличение Значительное увеличение
Красный кирпич	ЛН ДРЛ МГЛ НЛВД	Значительное покраснение Незначительное покраснение Покраснение Покраснение	Увеличение Значительное уменьшение Значительное уменьшение Значительное уменьшение	Увеличение Незначительное увеличение Незначительное увеличение Значительное увеличение
Коричневый	ЛН ДРЛ МГЛ НЛВД	Значительное покраснение Без изменений Незначительное покраснение Покраснение	Увеличение Значительное уменьшение Значительное уменьшение Значительное уменьшение	Незначительное увеличение Незначительное увеличение Незначительное увеличение Увеличение
Темно-зеленый	ЛН ДРЛ МГЛ НЛВД	Посинение Незначительное посинение Посинение Значительное пожелтение	Незначительное увеличение Незначительное увеличение Увеличение Значительное уменьшение	Без изменений Без изменений Без изменений Незначительное уменьшение

НЛВД и ртутными лампами высокого давления в прозрачной колбе без люминофора; наименьшее изменение цвета — при освещении ДРЛ, МГЛ, ЛЛ и ГЛН. Наибольшим изменениям подвержены насыщенные цвета.

Не рекомендуется освещать:

- темно-синие материалы лампами ДРЛ, ДР;
- темно-синие и светло-зеленые лампами ЛН;
- голубые, синие и зеленые лампами НЛВД.

С целью рационального использования светового потока ИС при небольших цветовых искажениях рекомендуется освещать:

- серо-бежевые материалы лампами ЛН, ГЛН, ЛЛ;
- темно-голубые, светло-голубые, темно-зеленые лампами ЛН, ГЛН, МГЛ, ДРЛ, ЛЛ;
- красно-коричневые, серо-бежевые лампами НЛВД;
- темно-синие лампами МГЛ, ЛЛ.

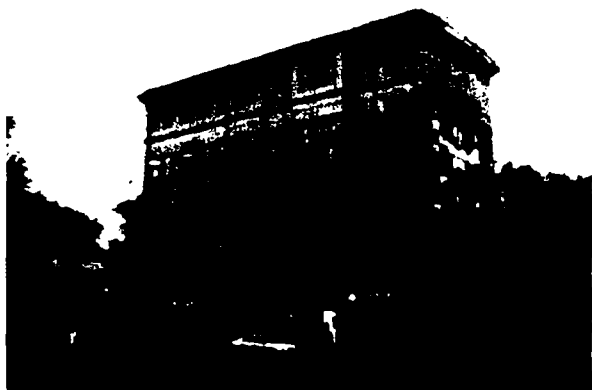
13.3.3. Компьютерное моделирование

Помимо натурального моделирования, которое помогает решать практические задачи, например по расстановке ОП, выбору мощности и цветности ИС, распространено компьютерное моделирование [13.4].

Существуют два основных подхода к компьютерному моделированию АО.

Первый возможен при проектировании АО реально существующего объекта. В этом случае делается дневная фотография объекта, которая затем сканируется и далее с помощью какого-либо графического пакета, например Adobe Photoshop, осуществляется ретуширование и раскраска этого снимка, затемняется небо и общий фон, убираются ненужные затемняющие объект детали (деревья, провода и т.п.) и добавляется свет (рис. 13.22). Это наиболее быстрый способ решения задачи. Однако он имеет существенный недостаток: объект представлен только для выбранного при фотографировании ракурса. Поэтому здесь можно говорить о статической модели объекта.

Второй путь связан с созданием объемной модели объекта, для чего используются пакеты трехмерной графики, например Auto CAD, 3D Studio MAX. Далее с помощью имеющихся в этих пакетах средств осуществ-



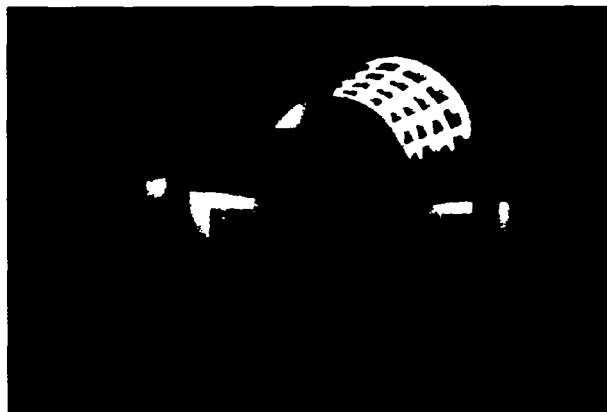
А



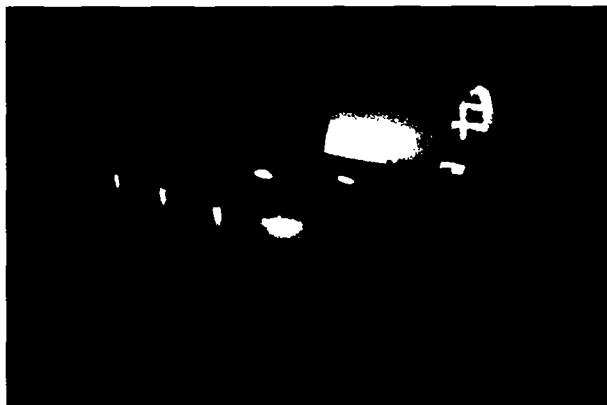
Б

Рис. 13.22. Здание на ул. Волхонка в Москве: А — фотография здания в дневное время; Б — освещение здания, выполненное в программе PhotoShop

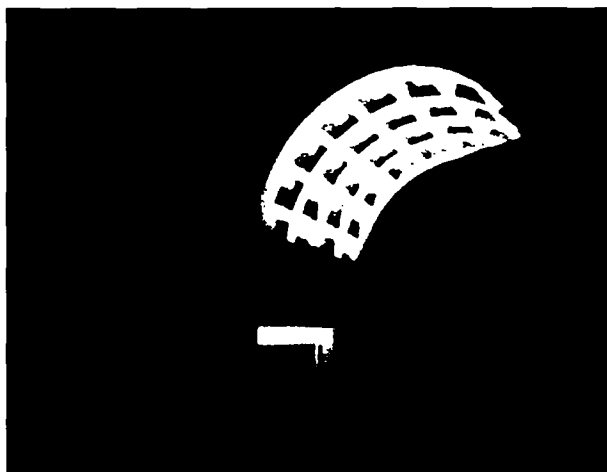
ляется имитация освещения тех или иных элементов объекта. Этот путь более долгов и трудоемок, но он позволяет получить динамическую модель, которую можно рассматривать с разных расстояний и под разными углами (рис. 13.23).



А



Б

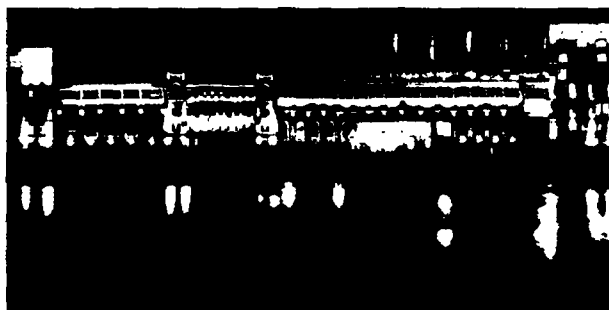


В

Рис. 13.23. Трехмерная компьютерная модель освещения здания станции Московского метрополитена «Кропоткинская»: А — вид сверху слева; Б — главный вид; В — вид арки снизу



А



Б

Рис. 13.24. Энергетический комплекс на Раушской набережной р. Москвы: А — проект, выполненный в программе PhotoShop; Б — реализация проекта

При использовании специальных светотехнических программ (Lightscape, США; Radiance, США; Light-in-Night, Россия) можно не только построить трехмерную модель объекта, но и смоделировать его АО с учетом реального светораспределения выбранных ОП. Отличительной чертой таких программ является то, что они помимо реалистического изображения, дают возможность получить полную картину распределения яркости (освещенности) на поверхностях объекта.

При этом надо отдавать себе отчет в том, что при воплощении компьютерной модели осветительной установки в реальности произойдут определенные искажения, обусловленные многочисленными отличиями по существу идеализированных параметров и характеристик моделей от реальных параметров объекта и применяемых ИС (рис. 13.24).

13.3.4. Освещение фасадов зданий и архитектурных элементов

При заливающим освещении объекта необходимо обеспечить видимость структуры его декоративно-пластических элементов и объема. Это достигается посредством сочетания освещенных зон и теней. Присутствие теней подчеркивает рельеф фасада. Размер теней зависит от угла падения света и глубины рельефа поверхности. Чтобы освещаемая поверхность смотрелась сбалансированно, все тени должны отключаться в одном направлении (рис. 13.25).

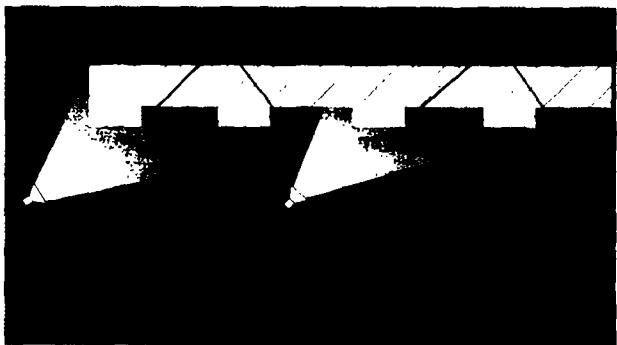


Рис. 13.25. Освещение под углом выявляет декоративно-пластические элементы поверхности фасада здания

Для создания теней угол между направлением осевого луча прожектора и нормалью к фасаду здания в зависимости от глубины рельефа может находиться в пределах от 30° до 60° при боковом освещении фасада и в пределах от 50 до 80° при заливающим освещении с земли снизу вверх.

При общем относительно равномерном освещении фасадов отношение максимальной освещенности к минимальной должно быть не более 3:1, а на рельефных и многоцветных фасадах до 5:1. При этом максимальная освещенность должна создаваться на основных композиционно-пластических элементах.

Для создания выразительной световой композиции объекта рекомендуется выполнять с направленным изменением освещенности по вертикали или горизонтали, к центру или периферии фасада. Соотношение минимальной и максимальной освещенности в пределах освещаемого фасада, в зависимости от его размеров и создаваемой светом в художественных целях зрительной экспрессии, должно быть не менее 1:10 и не более 1:30. Примеры неравномерного распределения при АО культовых сооружений, где яркости верхних объемов храма (куполов и подкупольных барабанов) в значительной степени превышают яркости нижних объемов, представлены на рис. 13.26 и 13.27.



Рис. 13.26. Освещение церкви Андриана и Натальи. Основной заливающий свет прожекторов, установленных на опорах вокруг церкви, направлен на купола и кресты. Локальное освещение усиливает яркость барабана центрального объема церкви

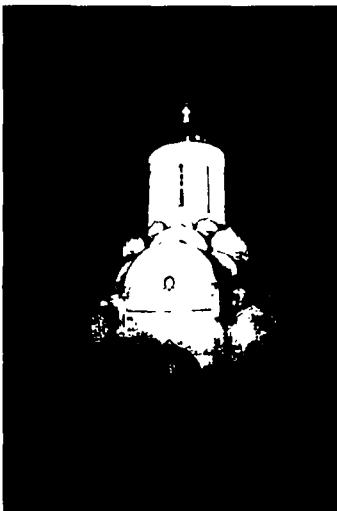


Рис. 13.27. Собор Спаса Нерукотворного Образа в Спасо-Андрониковом монастыре в Москве. Вечерний образ старинного собора при искусственном освещении подчеркивает его канонические формы

Для выявления объемности архитектурной формы средние уровни освещенности смежных фасадов должны отличаться друг от друга в 5–8 раз.

При выборе мест установки прожекторов заливающего света необходимо учитывать возможность возникновения слепящего действия ОП, которое будет беспокоить жителей зданий, пешеходов и водителей. Для устранения этого явления рекомендуется:

- использовать на ОП защитные решетки (рис. 13.28), экраны (рис. 13.29), козырьки;
- располагать опоры с прожекторами и наземные световые установки среди деревьев и кустарников;
- располагать прожекторы в подземных нишах;
- увеличить число ОП с ИС пониженной мощности.



Рис. 13.28. Снижение воздействия прямого излучения ярких ИС на пешеходов и водителей автотранспорта с помощью защитных решеток

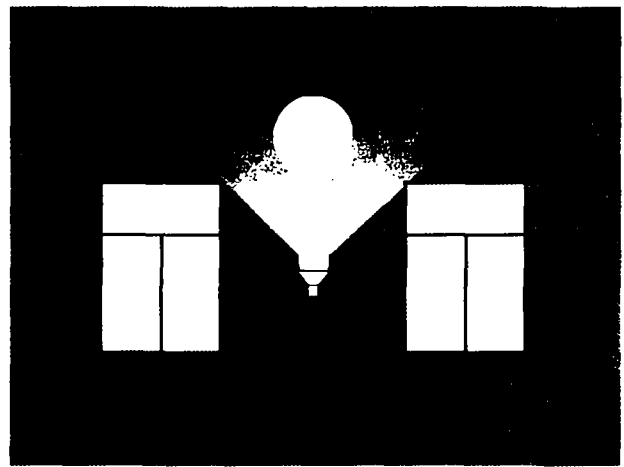


Рис. 13.29. Использование экрана на ОП способствует снижению засветок окон жилого дома

Особенно в жилой застройке следует с особой тщательностью относиться к определению мест установки прожекторов заливающего и местного освещения.

Места расположения ОП локального освещения выбирают с учетом тенеобразования от стен и карнизов, ограждающих оконные проемы, как это показано на рис. 13.30.



Рис. 13.30. Использование существующего карниза для тенеобразования на оконном проеме

Защитные экраны на ОП локального освещения также способствуют снижению засветки окон.

Коэффициент запаса при проектировании установок АО должен приниматься в зависимости от ориентации ОП и используемого ИС:

- при разрядных лампах $K_3 = 1,5$, если стекло ОП расположено вертикально или ОП работает в нижнюю полусферу (в пределах углов 90–270), и $K_3 = 1,7$ при ориентации стекла в верхнюю полусферу;
- при ЛН соответственно $K_3 = 1,3$ и 1,5.

Освещение цилиндрических и многогранных объектов. Для обеспечения видимости цилиндрического объекта его яркость должна плавно меняться вдоль периметра объекта. При АО здания, видимого со всех сторон, размещение прожекторов общего заливающего света должно быть выполнено по схемам, представленным на рис. 13.31.

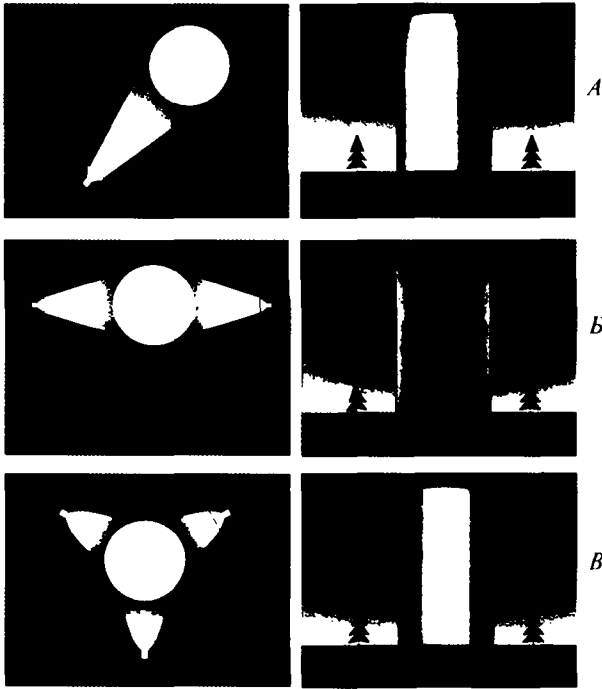
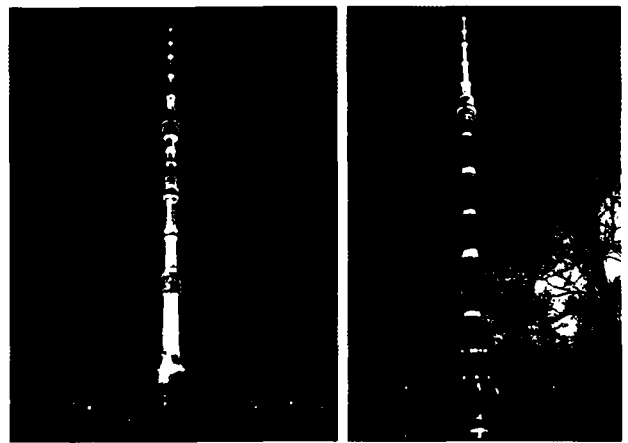


Рис. 13.31. Освещение цилиндрического объекта с одной (А), двух (Б) и трех (В) сторон для получения эффекта его объемного изображения

Объемы малого диаметра рекомендуется освещать двумя прожекторами с большого расстояния. Приземистые объемы относительно большого диаметра можно освещать тремя прожекторами заливающего света с небольших расстояний. Для высоких цилиндрических сооружений относительно малого диаметра освещенность верхней части должна быть более интенсивной [13.5] (рис. 13.32).

Когда цилиндрический объект большого диаметра виден только с одного направления, возможно создание двух эффектов. Хорошо освещенная центральная зона может находиться между двумя темными зонами (рис. 13.31) или наоборот.

Чтобы выявить характер многогранных объектов, две смежные грани не должны иметь одинаковую яркость. При этом ОП устанавливаются асимметрично относительно смежных граней. Для четырех- или шестигранных объектов, обозреваемых со всех сторон, как правило, достаточно иметь два направления освещения (рис. 13.33). Иногда освещение двух смежных граней выполняются разноспектральными ИС (рис. 13.34, 13.39).



А

Б

Рис. 13.32. Освещение Останкинской телебашни в Москве: А — праздничный режим. Освещение заливающим локализованным светом ОП с мощными МГЛ, установленными на земле с трех сторон башни; Б — повседневный режим. Шпиль освещен с земли. На пяти ярусах ствола башни установлены прожекторы с параболическим отражателем

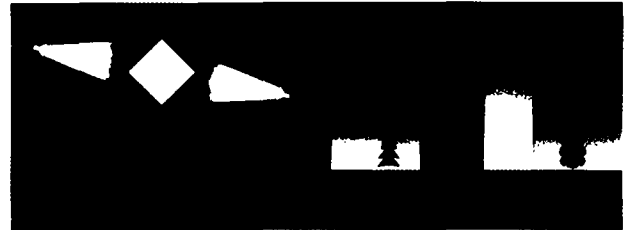
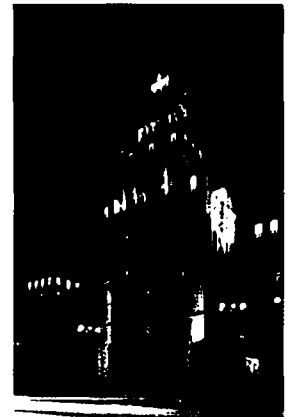


Рис. 13.33. Размещение прожекторов для освещения четырехгранных (А) и шестигранных (Б) объемов

Рис. 13.34. Освещение высотного здания в Москве прожекторами с разноспектральными ИС



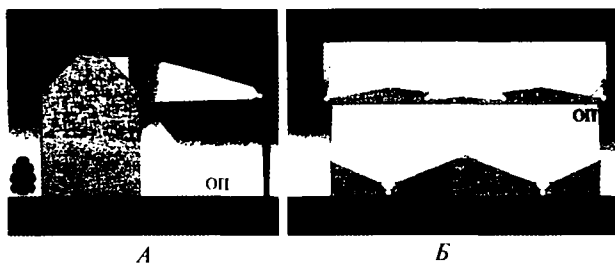


Рис. 13.35. Возможное размещение прожекторов для освещения фасадов здания и кровли

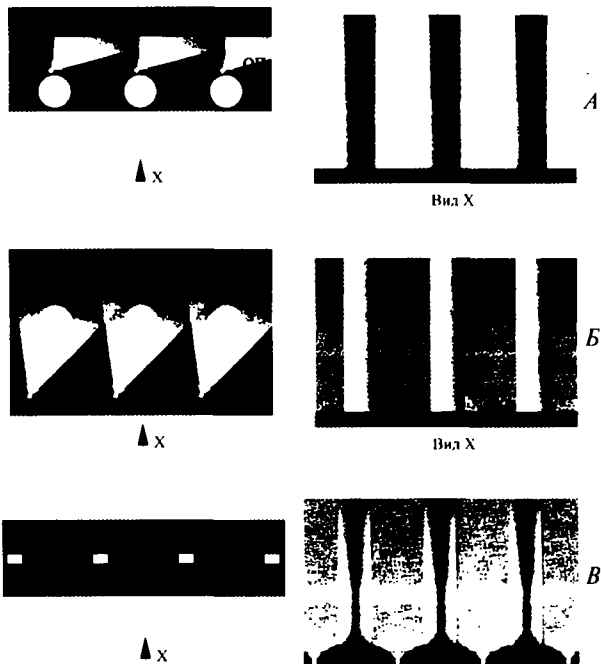


Рис. 13.36. Схемы размещения прожекторов для освещения портиков и колонн: *A* — освещение поверхности за колонного пространства портика (негативное изображение колонн); *B* — наружное боковое освещение колонн с тенсообразованием для проявления объема колонн; *B* — размещение ОП с широкоизлучающей КСС для освещения полуколонн

Освещение крыши. Крыша является венчающим элементом здания. Особое внимание уделяется контурам крыши и ее элементам (слуховые окна, вытяжные с декоративной отделкой трубы, шпили и т.д.). ОП локального освещения, установленные на фасадах здания (рис. 13.35), и заливающего света, расположенные близко от здания, достаточно эффективно высвечивают горизонтальный орнамент под всей кровлей. ОП общего заливающего освещения монтируют на опоры или соседние здания.

При локальном освещении кровли ОП располагаются, как правило, на ограждении кровли или вблизи ее конструктивных элементов с учетом требований противопожарной и электрической безопасности.

Колонны. Колонны могут быть выделены силуэтом с положительным или отрицательным контрастом от-



Рис. 13.37. Памятник архитектуры — Покровские казармы в Москве. АО портика



Рис. 13.38. Освещение главного павильона Всероссийского Выставочного Центра (ВВЦ) в Москве. Использованы приемы параболного и внутреннего освещения колоннад



Рис. 13.39. Освещение главного входа ВВЦ. Золотистый цвет ИС подчеркивает сноп спелых колосьев пшеницы

посителю фона. На освещенном фоне (рис. 13.36–13.38) колонна выделяется темным силуэтом. Может быть также полезна небольшая подсветка колонны, чтобы ограничить контраст или показать ее структуру. При непосредственном освещении колонн, они выделяются на темном или тускло освещенном заднем плане (рис. 13.36).

Выбор между этими двумя решениями зависит от окружения, состояния объекта и замысла архитектора.

Овальную форму полуколонн, расположенных на фасаде здания, можно подчеркнуть, освещая их снизу ОП с достаточно широкой КСС, как это показано на рис. 13.36.

13.3.5. Освещение мостов

При проектировании АО таких сооружений, какими являются пешеходные, авто- и железнодорожные мосты через водные преграды, автомобильные эстакады и акведуки, необходимо учитывать дополнительные требования: исключение слепящего действия ОП на пешеходов, водителей автотранспорта и речных судов, машинистов железнодорожного транспорта; учет ударных и вибрационных нагрузок на ОП; возможность получения дополнительных эффектов за счет отражающих свойств водной поверхности.

Нужно также принимать во внимание, что в центральной части большого города освещенные мосты дополняют вечерний облик городских ансамблей, в то время как на периферии и в малых населенных пунктах мосты, как правило, сами являются доминирующими объектами в вечерней панораме города.

Основным приемом АО мостов является сочетание заливающего и локального освещения прожекторами с газоразрядными лампами высокого давления широкого диапазона мощностей (от 35 до 2000 Вт) и сплит-лампами с люминесцентными лампами.

Фасадный прием освещения вполне приемлем для пешеходных мостов с перекрытыми стеклянными галереями.

Для снижения слепящего действия ОП используют экранирующие конструкции и ниши моста, ограничивающие световой поток ОП в нежелательных направлениях. При этом прожекторы устанавливаются преимущественно выходным отверстием вверх, освещая арочные своды, пролетные строения, береговые и промежуточные устои, вантовые элементы.

Приборы локального освещения монтируются в непосредственной близости от несущих конструкций и архитектурных элементов мостов, акцентируя на них внимание наблюдателя.

На мостах нельзя применять световые приборы с ИС красного и зеленого цветов, затрудняющих наблюдения за навигационными огнями на реке при судовождении. На рис. 13.40–13.45 представлены примеры освещения мостов и эстакад.

13.3.6. Освещение культовых сооружений

Основной задачей АО культовых сооружений является создание светоносного образа храма, к которому обращены взоры прихожан.

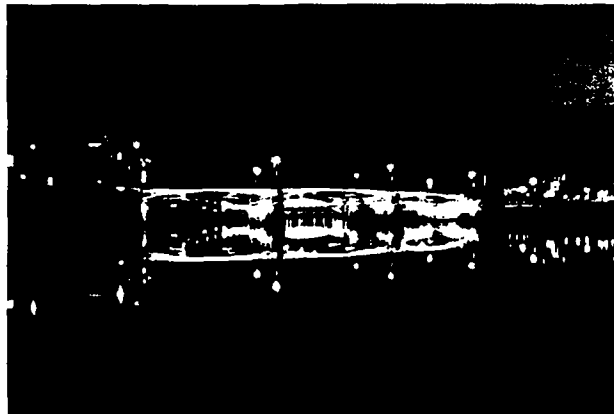


Рис. 13.40. Бородинский мост через р. Москву. Зеркальное отражение в воде художественно освещенного моста создает дополнительный зрительный эффект

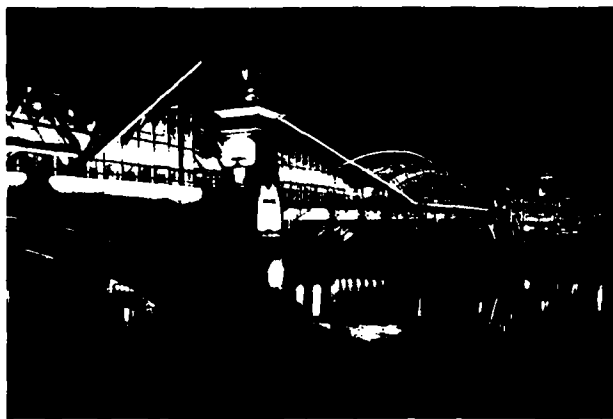


Рис. 13.41. Пешеходный Кисевский мост через р. Москву. Многообразие приемов АО (светящиеся фасады стеклянной галереи, контурное освещение, локальная подсветка устоев моста, арки и несущих конструкций), применение раз-носпектральных ИС обогащает вечернюю палитру моста



Рис. 13.42. Смоленский метрополитанский мост через р. Москву. Несущие горизонтальные конструкции и устои моста, освещенные голубым светом, подчеркивают функциональное назначение моста, по которому устремляются голубые экспрессы метро

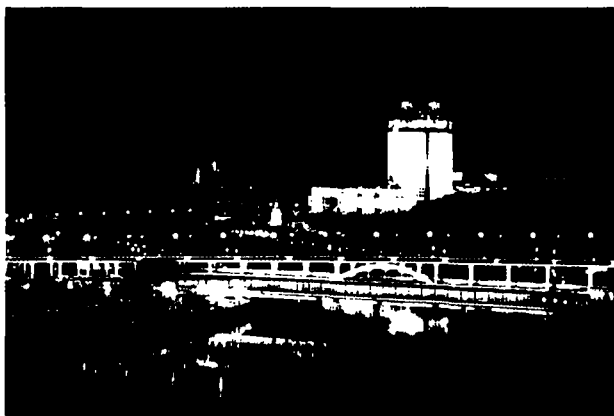


Рис. 13.43. Лужнецкий авто- и метроост в Москве. При АО подобных сооружений необходимо полностью исключить слепящее действие выходных отверстий ОП локального и заливающего света на пешеходов, водителей автотранспорта и речных судов, машинистов метро

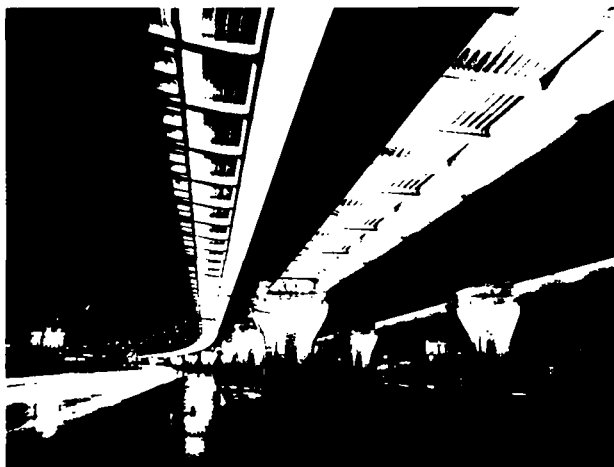


Рис. 13.45. Эстакада на проспекте Мира в Москве. Мощное железобетонное сооружение благодаря АО становится в вечернее время легким и невесомым



Рис. 13.44. Мост Тауэр через р. Темзу в Лондоне. Основной прием: заливающий свет снизу вверх от ОП, установленных на набережной и в основании моста

Несмотря на отличия в архитектуре христианских храмов различных конфессий, все они являются духовными очагами, и чем выше храм, будь то православная церковь с венчающими главами и крестами или католический собор с остроконечными шатрами и крестами, — тем больше его символичность и доминирующее значение. Усиление света по вертикали с максимальным освещением на завершениях храма делают его своеобразным маяком в городской световой среде (рис. 13.26, 13.27, 13.46–13.50).

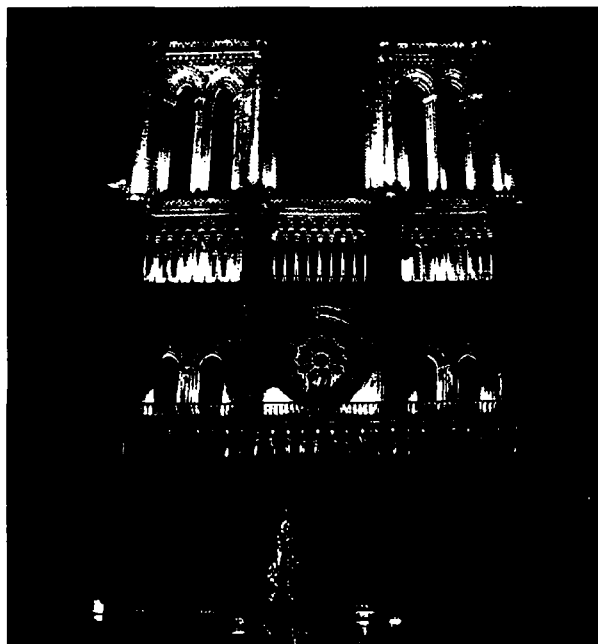


Рис. 13.46. Собор Парижской Богоматери. Система заливающего освещения подчеркивает величие Собора. Локальный свет выделяет стрельчатые арки оконных проемов, каменные перила, статуи и башни Собора

АО должно возрождать и делать его зримым в хаосе окружающих современных разновысоких свстящихся жилых, производственных и общественных зданий.

Наиболее характерным является прием заливающего равномерного и локализованного освещения, направленного снизу вверх. Более ярко освещают западные и восточные фасады, что соответствует расположению крестов, несколько снижают (в 3–5 раз) освещенность южных и северных фасадов, одновременно проявляя тем самым структуру объемов сооружений. Осве-

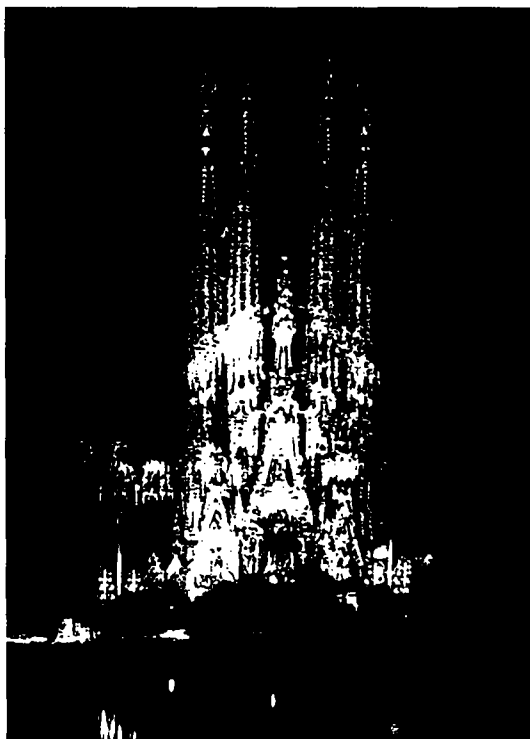


Рис. 13.47. Неповторимое кружево собора Саграда Фамилия (арх. Гауди) в Барселоне соткано из света и камня



Рис. 13.49. Холодный заливающий свет проявляет голубизну Военно-морского собора в Санкт-Петербурге

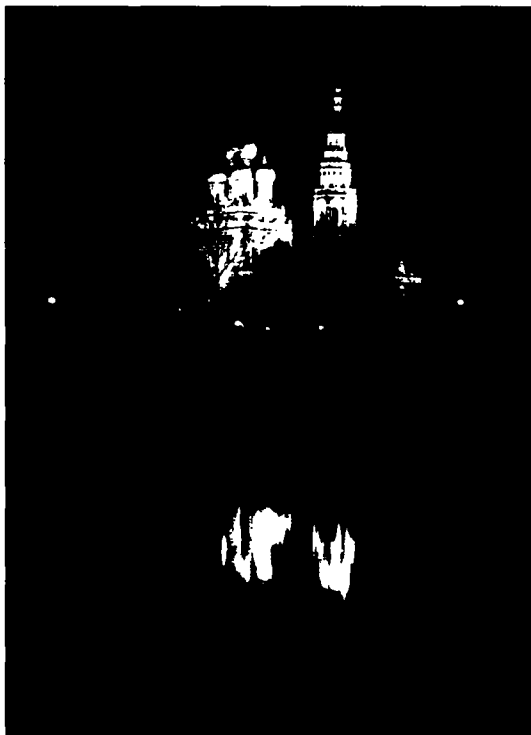


Рис. 13.48. Яркой свечой смотрится церковь Вознесения в затемненной городской среде Замоскворечья



Рис. 13.50. Свято-Даниловский монастырь. Классическая схема АО центрального собора: легкое равномерное освещение фронтона; усиление света системой локального освещения на барабане и заливающего локализованного света, направленного на купол и крест собора. Монастырские стены легко читаются за счет освещения маломощными ОП боковых стенок верхних зубцов стены

нение верхних элементов православных церквей и соборов можно усилить за счет установки в основаниях барабанов главного и малых куполов ОП локального освещения (рис. 13.50).



А



Б

Рис. 13.51. Стены Донского монастыря в Москве: А — освещение стены прожекторами с несимметричным светораспределением, установленными в декоративных кожухах на земле между стеной и пешеходной дорожкой; Б — дневной вид ОУ. На переднем плане декоративные кожухи для ОП

Не исключена поярусная подсветка высоких колоколен церквей.

Внутренние объемы звонниц рекомендуется высвечивать теплым или золотистым светом (рис. 13.48), имитирующим мерцающий свет лучины, свечи, лампады.

По обсем сторонам входа в церковь или собор можно рекомендовать (по предварительному согласованию с реставраторами и городской службой охраны исторических и архитектурных памятников) установку настенных ретросветильников, освещающих не только вход, но и паперть, арки, узорчатый козырек и росписи над входом.

Иконописное изображение на фасадах храма освещается снизу ОП с маломощными ЛН и ГЛН, установленными, по возможности, в декоративные кожухи, стилизованные под лампады.

Нижние объемы церкви или собора не рекомендуются освещать заливающим светом прожекторов. Умеренное освещение с интенсивностью 3–6 лк на нижних объемах фасадов, включая апсиды, вполне могут обеспечить ретросветильники, установленные на декоративных опорах, расположенных на территории вокруг храма (рис. 13.50).

Полобным образом освещается территория церкви или монастыря. В качестве ИС в ретросветильниках можно использовать маломощные МГЛ с цветовой температурой не более 3200 К или КЛЛ.

Световая среда на территории церкви или монастыря должна соответствовать эмоциональной атмосфере

внутри храма. Отсюда понятна необходимость полного исключения из поля зрения ярких ИС.

Освещение высоких монастырских стен часто является сложной задачей вследствие их большой протяженности. Стена должна быть освещена неравномерно по вертикали, с максимальной яркостью наверху. Прожекторы заливающего света с несимметричным светораспределением могут создавать достаточное освещение верхней части стены без особой засветки нижней (рис. 13.51). Прожекторы должны располагаться между стеной и тротуаром, чтобы не создавать дискомфортной блескости и теней от пешеходов. Если это невозможно, то прожекторы устанавливаются на декоративные опоры или опоры функционального освещения.

Наружное освещение монастырской стены не всегда представляется возможным. При наличии крытой проходной галереи, проложенной по периметру стены, освещают ее внутренний объем (рис. 13.52).

Возможен вариант использования КЛЛ или ЛН малой мощности (5 Вт) с повышенным сроком службы, установленных в линию за протяженным экраном. Однако такой прием сопряжен с некоторым нарушением архитектурного облика древней стены в дневное время и требует дополнительного согласования.

В случае, если стена имеет зубчатое завершение, бывает достаточно установить в основании между зубцами ОП с КЛЛ (выходным отверстием вверх), которые будут освещать боковые поверхности оконных проемов или верхних зубцов на всем протяжении стены (рис. 13.50).



А



Б



В

Рис. 13.52. Стены Спасо-Андроникова монастыря: *А* — свет от проходной верхней галереи активно обозначает стену с наружной стороны; *Б* — вид освещенной проходной галереи по монастырской стене в вечернее время; *В* — пример наружного освещения стены с помощью ИС малой мощности, установленных в линию за протяженным экраном

Световые акценты формируют на отличительных строительных сооружениях крепостной стены: надвратных строениях, наблюдательных башнях, угловых башнях и т.д.

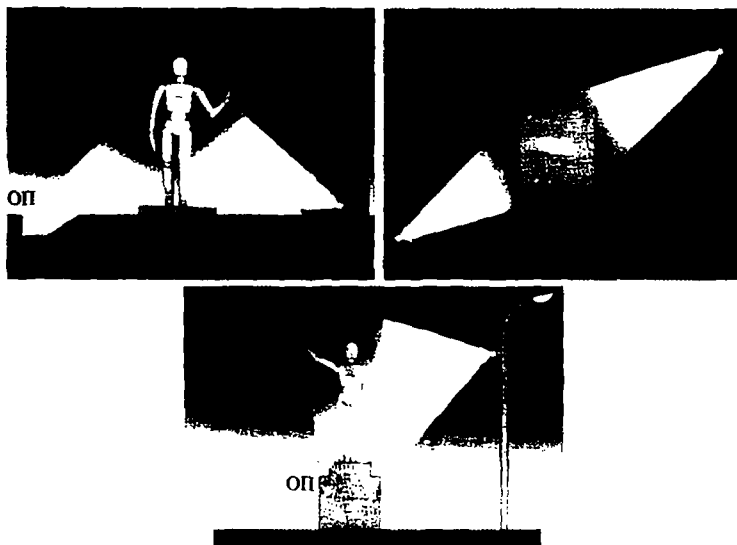
13.3.7. Освещение скульптур, монументов, флагов

Расположение ОП и число точек освещения скульптур зависит от их формы и размеров. Так, невысокие скульптуры и статуи людей (до 6 метров) должны освещаться по возможности полностью, но неоднород-

но, выявляя посредством светотеней их пластику и черты лица. Скульптура, установленная на уровне земли, освещается прожекторами, расположенными в подземных нишах или на земле и задекорированными низкими зелеными насаждениями (рис. 13.53).

Прожектор, создающий основной «рисующий» свет, обеспечивает необходимую яркость лица и фронтальной стороны скульптуры или статуи, при этом тыльная сторона объекта освещается в меньшей степени (рис. 13.54).

Рис. 13.53. Возможные схемы размещения ОП для освещения скульптур: *А* — приборы, расположенные на земле, не должны попадать в поле зрения наблюдателя; *Б* — основной «рисующий» свет обеспечивает необходимую яркость лица и фронтальной стороны скульптуры; *В* — при расположении скульптуры на постаменте прожекторы с защитными решетками могут размещаться на опоре



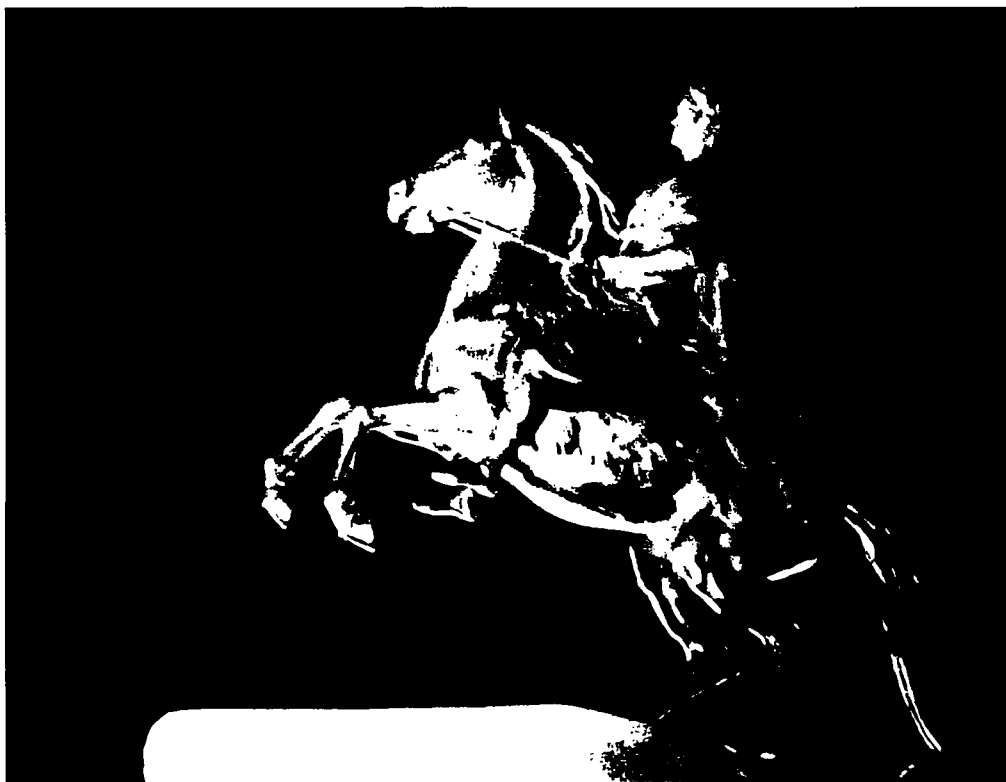


Рис. 13.54. Памятник Петру I в Санкт-Петербурге. Проекторы, установленные на земле, создают объемный светотеневой рисунок скульптурной композиции

Для определения мест установки, типов ОП и направления светового потока на объект целесообразно проводить натурное моделирование.

При освещении скульптуры на постаменте прожекторы размещаются на земле достаточно далеко во избежание теней от края постамента на нижних частях скульптуры или на световых опорах (рис. 13.55).

Не исключена установка ОП в основании объекта, если речь идет об АО современных скульптур с элементами абстракционизма.

Можно применять разноспектральные ИС (рис. 13.56). Например, желтый (солнечный) свет от НЛВД — использовать в качестве основного — рисую-

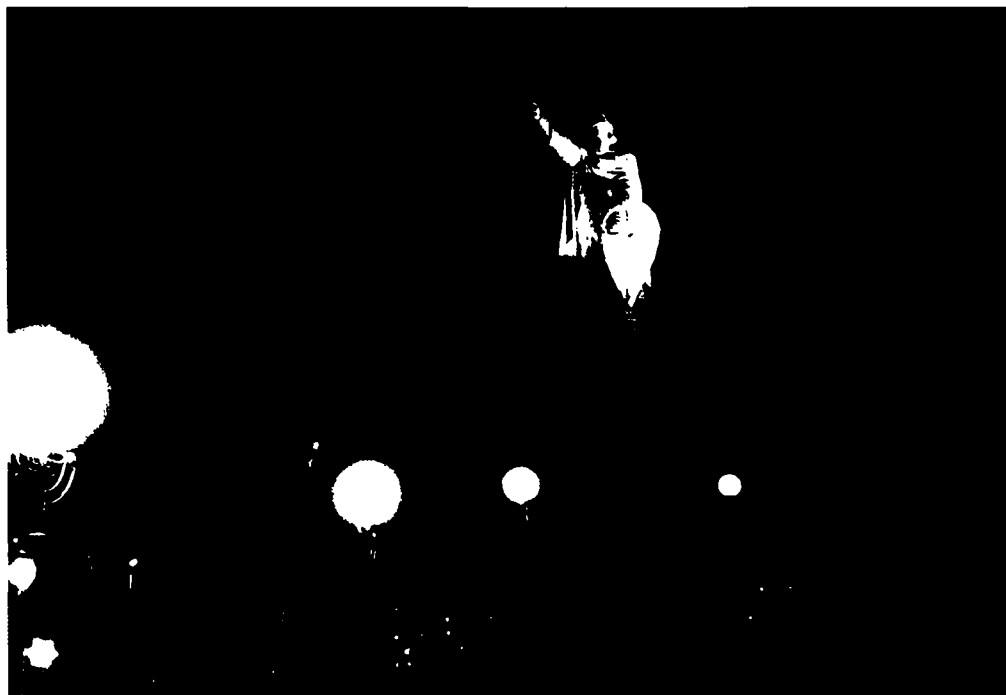


Рис. 13.55. Памятник святому равноапостольному великому князю Владимиру в Белгороде. При освещении затемненных бронзовых скульптур и памятников рекомендуется применять НЛВД



Рис. 13.56. Мемориал «Мамаев курган» в Волгограде. Эффект «сплохов пожара» от натриевых ламп высокого давления на монументе «Родина-мать зовёт» усиливает впечатление

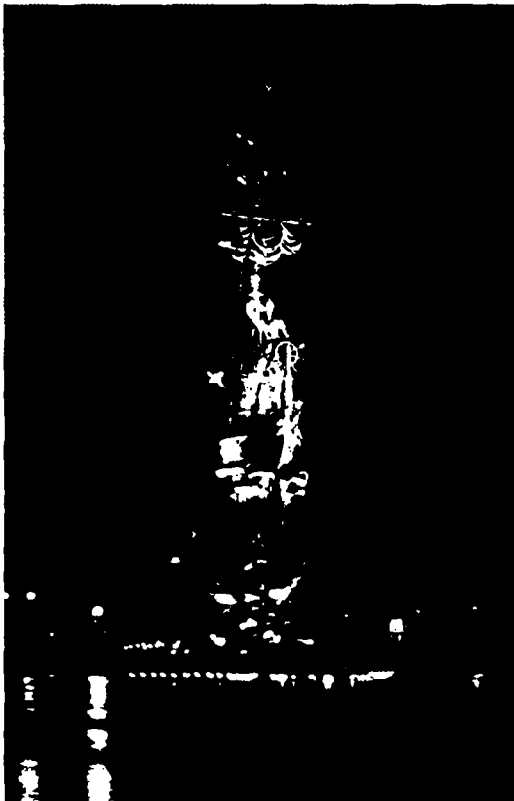
шего — света, а холодно-белый от МГЛ — в качестве дополнительного.

Монументы высотой 100 и более метров (рис. 13.56, 13.57) освещают прожекторными батареями с мощными ИС (1 ÷ 2 кВт), расположенными на специальных конструкциях или на опорах. При необходимости часть прожекторов средней мощности (0,25–0,4 кВт) устанавливают в непосредственной близости или в основании монумента.

Более сложным, но безусловно более эффективным с точки зрения исключения слепящего действия ИС, является освещение монументов и сооружений осветительными приборами, расположенными в подземных световых нишах (рис. 13.58, 13.60, 13.61). При этом надо помнить, что при установке прожекторов и светильников в нишах необходимо предусмотреть отвод талой и дождевой воды (рис. 13.59).

При освещении флага необходимо принимать во внимание потенциальный объем, внутри которого флаг будет играть на ветру. Освещение должно быть всегда направлено снизу вверх во избежание слепящего действия ИС. Для обособленного флага, установленного на венчающих элементах здания, прожекторы с широкой КСС размещаются на кровле вокруг флага (рис. 13.62).

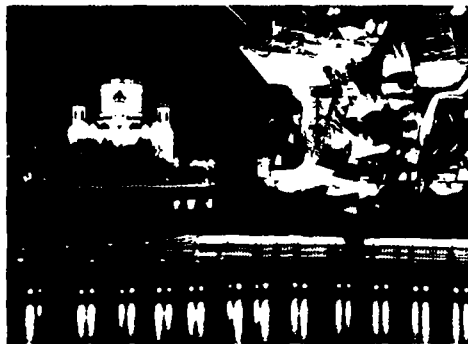
Когда флаг наклонен относительно фасада, то два прожектора устанавливаются по бокам флага на уровне конца стяга.



А



Б

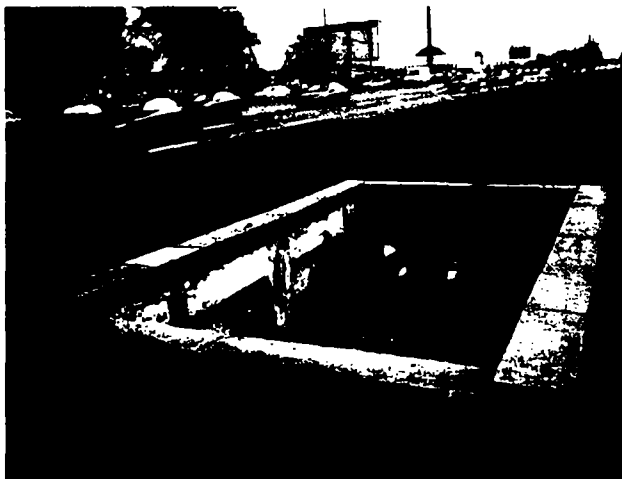


В

Рис. 13.57. Монумент, посвященный 300-летию морского флота России: А — вид монумента в ночное время; Б — наземная прожекторная батарея с мощными ИС (МГЛ 1 кВт); В — в основании монумента установлены прожекторы с МГЛ мощностью 0,25–0,4 кВт

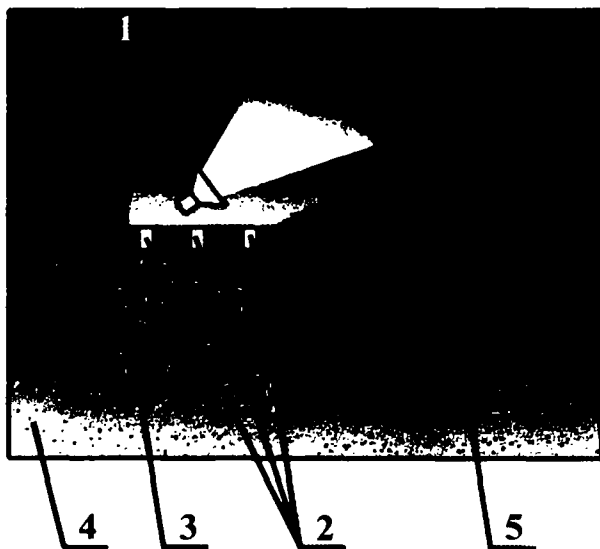


А



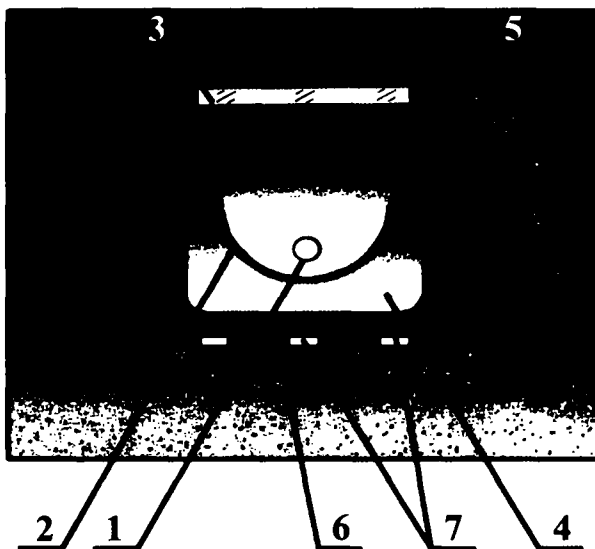
Б

Рис. 13.58. Прожекторы заливающего локализованного света, установленные в подземных нишах: *А* — для освещения главного фасада Музея боевой славы и монумента на Поклонной горе в Москве; *Б* — для освещения Триумфальной арки на Кутузовском проспекте



А

- 1 - бетонная стенка световой ниши.
- 2 - дренажные отверстия.
- 3 - гравий.
- 4 - песок.
- 5 - грунт.



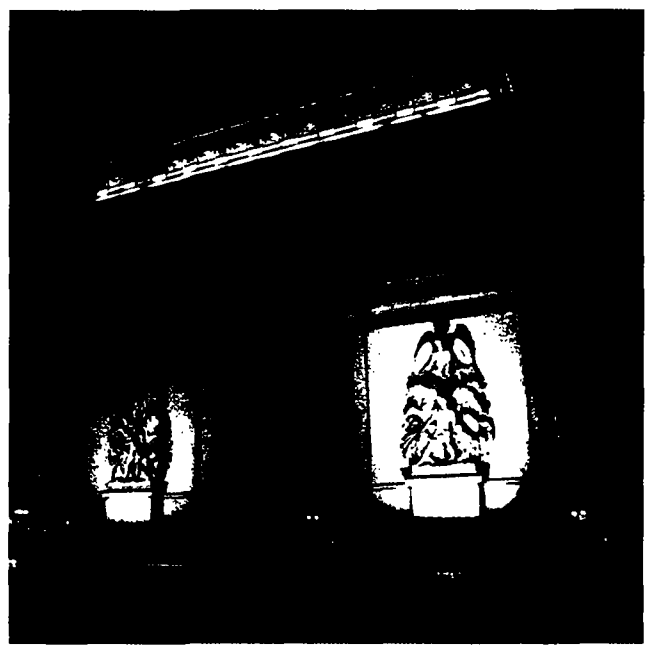
Б

- 1 - источник света.
- 2 - отражатель.
- 3 - рассеиватель из ударопрочного стекла.
- 4 - корпус светильника.
- 5 - электрический кабель.
- 6 - защитный металлический кожух.
- 7 - дренажные отверстия.

Рис. 13.59. Обустройство подземных световых ниш: *А* — для прожекторов заливающего света; *Б* — для специальных пол-



А



Б

Рис. 13.60. При освещении Триумфальных арок на Кутузовском проспекте в Москве (А) и площади Шарля де Голля в Париже (Б) использован один и тот же прием. Прожекторы установлены в подземных нишах. Кроме того, в арке на Кутузовском проспекте на светлом фоне стены силуэтно просматриваются статуи римских легионеров



Рис. 13.61. Королевский дворец в Версале (Франция). Светодизайнеры применили скользящий по фасадам заливающийся свет подземных ОП, установленных в непосредственной близости от стены дворца, и систему локального освещения с разноспектральными МГЛ

Флаг на флагштоке может быть освещен прожекторами малой мощности (до 150 Вт) с концентрированной КСС, смонтированными кольцом на мачте на

высоте не менее 2,5 м от ее основания, но не ближе 0,4 м от конца стяга (во избежание обгорания ткани флага).

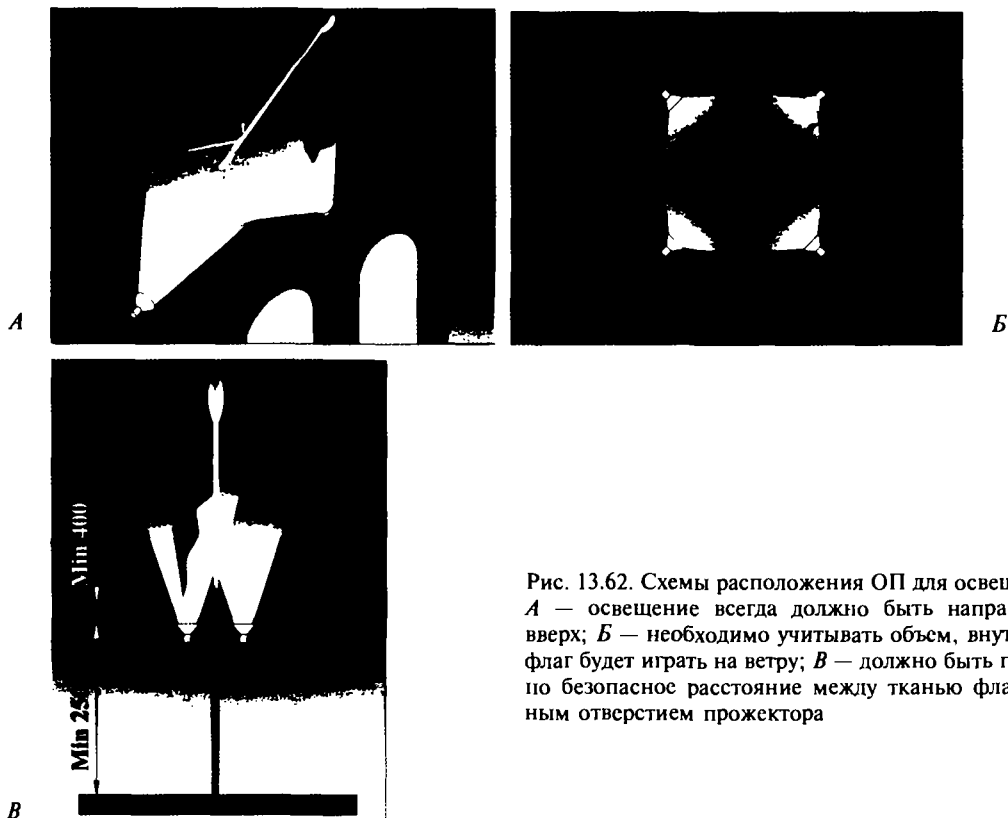


Рис. 13.62. Схемы расположения ОП для освещения флага: *A* — освещение всегда должно быть направлено снизу вверх; *B* — необходимо учитывать объем, внутри которого флаг будет играть на ветру; *B'* — должно быть предусмотрено безопасное расстояние между тканью флага и выходным отверстием прожектора

13.3.8. Ландшафтное освещение

Основной целью ландшафтного освещения является создание комфортной эстетически полноценной световой среды в зонах отдыха в вечернее время.

Основные принципы проектирования ландшафтного освещения:

- на пешеходных дорожках уровни освещенности должны составлять не более 5 лк;

- передний план должен быть слабо освещен или не освещен вообще для того, чтобы не отвлекать внимание от освещенных элементов ландшафта;

- каждый вид зеленых насаждений и малых архитектурных форм требует соответствующего приема освещения (заливающего, локального, силуэтного);

- удаленная группа деревьев или высоких кустарников служит, как правило, слабым фоном для основных элементов ландшафта (фонтаны, скульптуры, беседки, малые архитектурные формы). Рекомендуемое соотношение яркостей фона и объектов ландшафта: 1:10;

- освещенный объект (или группа объектов) может быть виден из одной или нескольких точек наблюдения, при этом в поле зрения наблюдателя не должны попадать яркие ИС;

- в рекреационных зонах не рекомендуется применение НЛВД в связи с низким индексом цветопередачи, за исключением подсветки деревьев с пожелтевшей листвой в осенний период. В праздничном режиме возможно применение ОП с разноспектральными ИС.

Выбор средств освещения зависит от ландшафта и композиционного замысла архитектора.

На рис. 13.63, 13.65 показаны примеры расположения ОП прожекторного типа и подземных светильников для освещения деревьев и кустарников.

Для освещения цветников, альпийских горок можно применять ОП с концентрированным или широким пучком света, установленные на земле в непосредственной близости от растений, но на безопасных для них расстояниях (по тепловым соображениям). Для освещения цветников можно использовать малые световые формы в виде световых «столбиков» (рис. 13.21) или «грибов» (рис. 13.64) высотой 0,5 ÷ 1,0 м, направляющих свет только в нижнюю полусферу.

Для освещения цветов необходимо использовать ИС с хорошей цветопередачей ($R_a \geq 80$).

Для освещения пешеходных зон в парках и скверах имеется большой выбор декоративных опор (рис. 13.19) и вепчающих светильников (рис. 13.20).

Интересен вариант использования установленного на декоративной опоре светильника двойного действия (рис. 13.66): функционального освещения пешеходной зоны в парке и общего заливающего освещения расположенных в непосредственной близости от опоры кроны дерева или фасада здания.

Хорошо смотрятся световые «столбики», расставленные вдоль извилистых живописных дорожек в парках и скверах (рис. 13.67), а также освещенные ими альпийские горки (рис. 13.68).

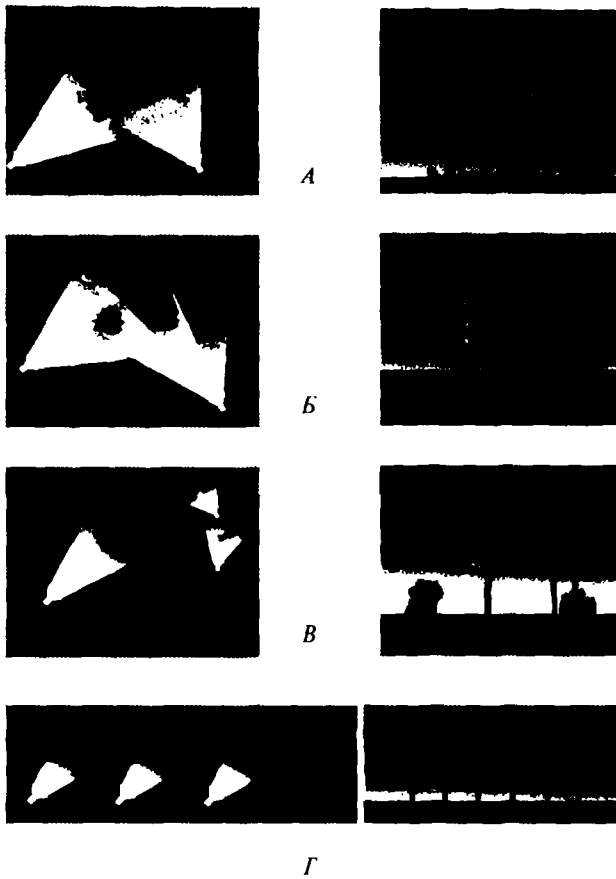


Рис. 13.63. Примеры расположения осветительных приборов для освещения зеленых насаждений: *А* — одиночное дерево с развитой густой кроной (дуб, липа, ива); *Б* — группа хвойных деревьев (ель, лиственница); *В* — группа деревьев и кустарников; *Г* — деревья, посаженные вдоль аллеи (пирамидальный тополь, туя, кипарис)

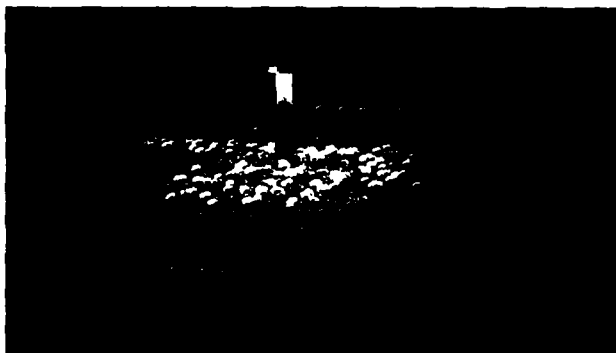
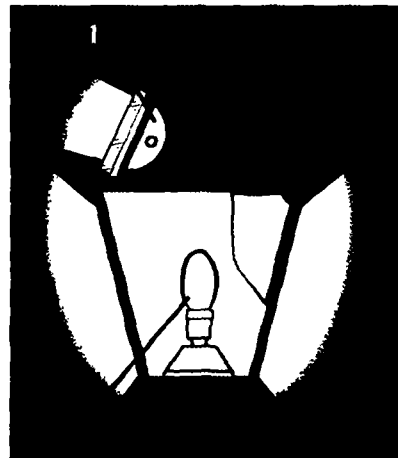


Рис. 13.64. Для освещения цветника использован ОП в виде светового «гриба»



Рис. 13.65. Освещение дерева подземными ОП



- 1 - ИС светильника общего освещения.
- 2 - прожектор заливающего локализованного освещения.

Рис. 13.66. Декоративный ОП двойного действия

Весьма перспективно применение для ландшафтного освещения светодиодов различного цвета.

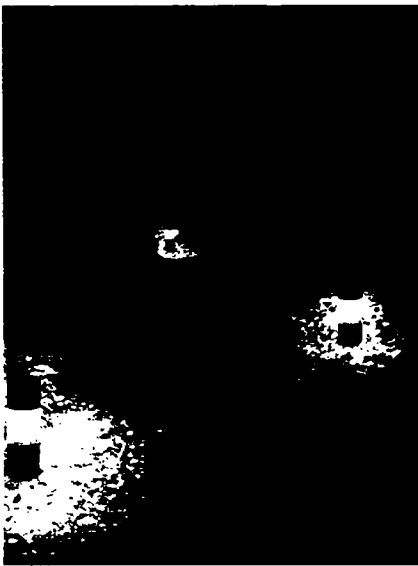


Рис. 13.67. Освещение пешеходной дорожки в парке световыми «столбиками» с ЛН

Рис. 13.68. Пример освещения «альпийской горки» малогабаритными ОП с ЛН

13.3.9. Освещение фонтанов и водоемов

Фонтаны — важные элементы городских площадей, скверов и парков. Они создают особую атмосферу. Декоративное освещение водяных струй усиливает восприятие фонтанов в вечернее время (рис. 13.70—13.73). Наилучший световой эффект достигается при размещении ОП с концентрированным пучком света за форсункой фонтана, из которой компактно выходит водяная струя, или в точке, где струя входит в водоем, или в обеих точках (рис. 13.69).

Верхняя водяная струя освещается ОП с широким пучком. Как правило, ОП погружены в воду на глубину 8—10 см.

В качестве источников света в ОП водонепроницаемого исполнения чаще всего используются ЛН мощностью от 50 до 250 Вт, рассчитанные на безопасное рабочее напряжение 12 В.

Имеются примеры успешного применения приборов со светодиодами (рис. 13.72).

Эффектно смотрятся фонтаны, где композиция водяных струй освещена динамичным светом с изменяющимся цветом.

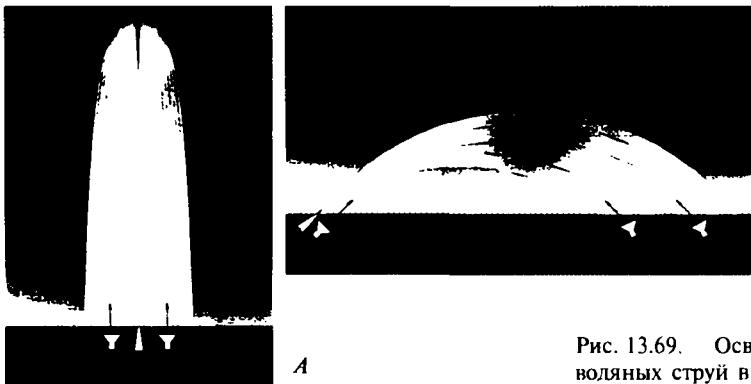
При освещении переливов воды световые приборы устанавливаются в местах ее падения (рис. 13.74). Мощность ИС зависит от высоты водопада и толщины водного потока.

Для освещения водяных «ступенек» ОП монтируют в основании каждой «ступеньки».

Существуют различные способы размещения подводных прожекторов:

- в специальных нишах, перекрытых прозрачным ударопрочным стеклом;
- с погружением в воду.

Поверхность неподвижной или медленно текущей воды в бассейнах, водоемах, озерах, реках интересна создаваемым эффектом зеркального отражения. Освещенные мосты, набереж-



A



B



B

Рис. 13.69. Освещение водяных струй в фонтанах: А — освещение струи, направленной вверх, ОП с концентрированным светораспределением; Б — освещение наклонной струи с расположением ОП возле форсунки и в месте падения струи в водоем; В — освещение верхней струи ОП с широким светораспределением



Рис. 13.70. Освещение фонтана и элементов ландшафта на Чистых прудах в Москве

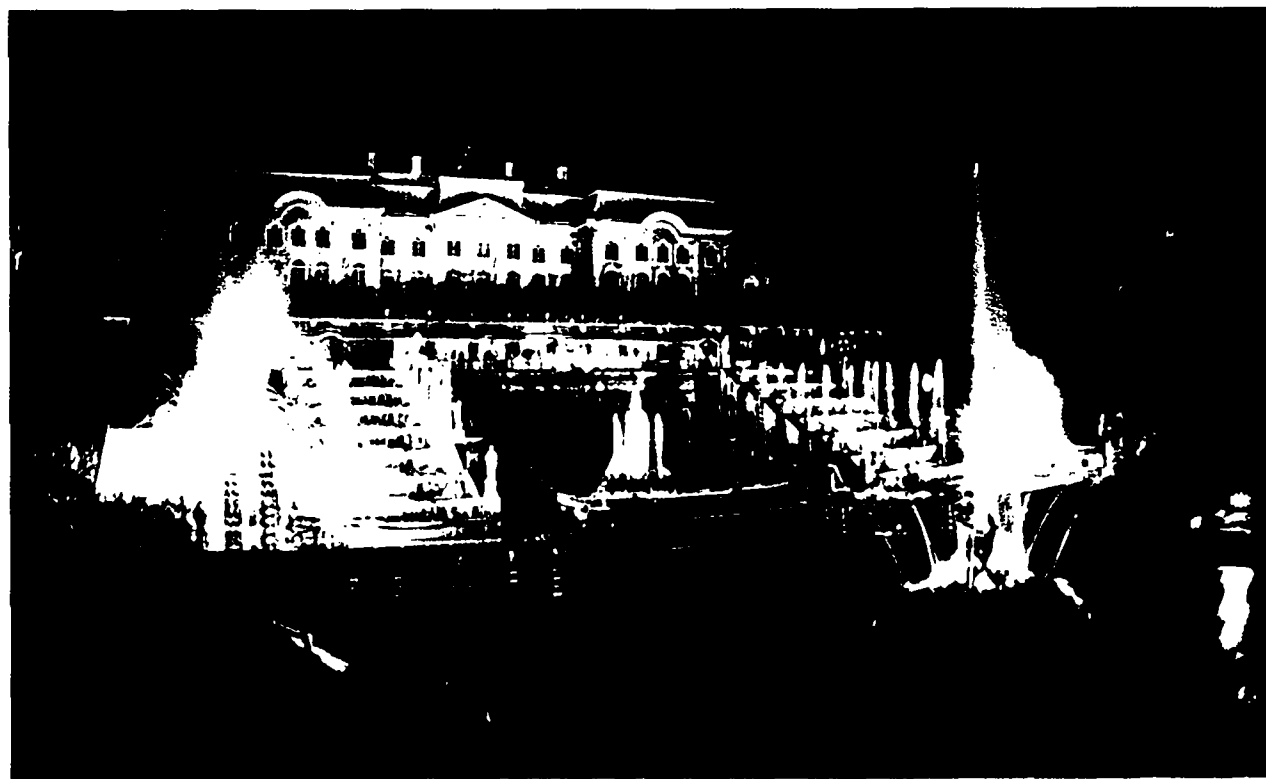


Рис. 13.71. Золотые россыпи фонтанов в вечернем Петергофе создают атмосферу праздника

ные и здания на берегу отражаются в воде и создают дополнительное притяжение в вечернее время (рис. 13.9, 13.38, 13.40, 13.71, 13.72).

Во избежание темного разрыва между освещенными объектами и их отражениями в воде следует предусматривать освещение берегового ландшафта.

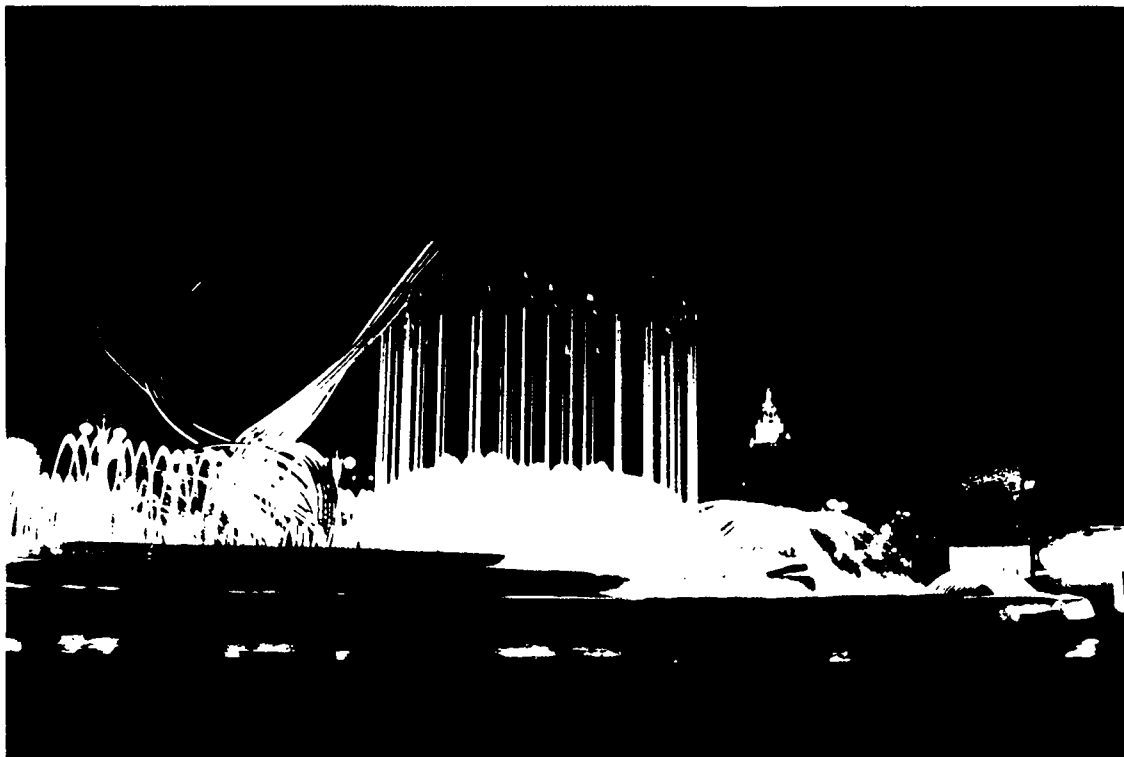
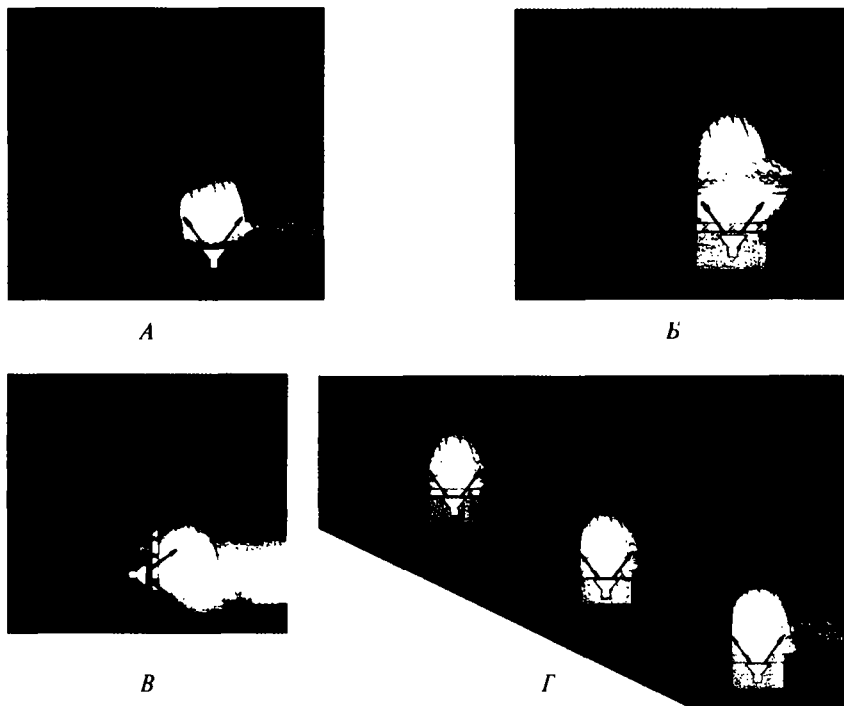


Рис. 13.72. Фонтан на площади Европы в Москве подсвечен ОП со светодиодами, которые изменяют цвет струй по определенной программе



Рис. 13.73. Красный цвет фонтанов на Поклонной горе в Москве напоминает о трудном времени Великой Отечественной войны

Рис. 13.74. Размещение ОП для освещения водяных переливов: *A* — освещение падающей воды ОП, погруженным в водоем; *B* — расположение ОП в световой нише, перекрытой прозрачным ударопрочным стеклом; *B* — освещение водяного перелива па «просвет»; *Г* — схема освещения водяных «ступенек»



13.3.10. Особенности электрической части проекта

Помимо требований к электрическим сетям, изложенных в Правилах устройства электроустановок [13.6], в проектах АО необходимо выполнять следующие рекомендации:

- на фасадах зданий и сооружений по возможности осуществлять скрытую проводку электрических сетей;
- в случае открытой проводки максимально использовать рельеф фасада, маскирующий прокладку электрического кабеля (арки, карнизы, складки, русты);
- использовать металлические или пластмассовые короба для прокладки электрического кабеля и проводов;
- тонировать металлические короба и распасные коробки под цвет фасада;
- применять кабели с тонированным материалом изолирующей оболочки, а также пластмассовые короба под цвет фасада;
- прокладывать магистральные кабели от щита управления к ОП, установленным на кровле, по внутренним объемам здания и чердака, используя стойки лестничных клеток;
- возможен вариант прокладки кабеля на кровлю по внутреннему, не освещенному фасаду здания, в зоне расположения пожарной лестницы.

Нужно также учитывать следующее:

- для установок АО требуется специальный щит управления (с элементами защиты сети, учета электроэнергии, автоматами управления работой АО), не зависящий от центрального электрического щита объекта;
- щит может устанавливаться открыто (на фасаде здания, опоре и пр.) или в щитовом помещении объекта, при этом он должен быть круглосуточно доступен для городских служб эксплуатации и Энергонадзора;

– электрические кабели, протянутые от распаечных коробок до ОП, должны быть проложены в металлической заземленной трубе или в гибком металлорукаве;

– подземные ниши и наземные батареи ОП должны иметь ограждения из защитных металлических сеток, обеспечивая доступ к ОП и электрическим щитам управления только для технического персонала.

13.3.11. Защита окружающей среды

В проектах установок необходимо учитывать взаимосвязь наружного архитектурного освещения и окружающей среды.

В первую очередь необходимо устранять дискомфортное действие ИС повышенной яркости, находящихся в поле зрения пешеходов и водителей автотранспорта [13.7].

Следует избегать чрезмерных контрастов (более чем 30:1) между освещенными и неосвещенными участками, особенно при локальном освещении фасадов зданий.

Необходимо учитывать нормативные требования по допустимым уровням засветок окон жилых зданий и лечебных учреждений.

В ночном режиме (с 24 часов) рекомендуется выключать декоративное освещение деревьев и кустарников, чтобы не парушать нормальный цикл жизнедеятельности растений.

Прожекторы, установленные выходным отверстием вверх, должны быть снабжены дополнительными козырьками и экранами, ограничивающими световое загрязнение атмосферы.

В перспективе необходимо шире использовать ИС, не содержащие ртути, прежде всего светодиоды.

13.4. ДИНАМИЧНОЕ АРХИТЕКТУРНОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

Динамичное архитектурное освещение — это прежде всего использование цвета, световцетовой динамики и светопроекции (слайдпроекции), а также создание световых эффектов с помощью лазерных и прожекторных пучков света. При всей привлекательности этих приемов освещения, к ним следует подходить достаточно осторожно. Например, динамика света и цвета, с одной стороны, может существенно улучшить облик малопривлекательных по архитектуре зданий, а с другой стороны, есть риск придать строгому и серьезному архитектурному сооружению легкомысленный характер. Следует четко различать собственно установки архитектурного освещения, как долговременные системы с соответствующими требованиями к их эстетике, эксплуатации, безопасности, экологии, экономичности и др., и установки для световых спектаклей, представлений, часто сопровождающихся музыкой и другими спе-

цэффектами. Последние установки относительно кратковременны и отражают в значительной степени индивидуальные вкусовые особенности автора. Естественно, что подход и уровень требований, в том числе и художественных, к этим двум типам установок должны быть совершенно разными.

Динамичное освещение является развитием традиционного архитектурного освещения. Желательно только не злоупотреблять цветом и особенно его динамикой, и чрезвычайно серьезно и осторожно относиться к выбору объектов такого освещения. Для исторических зданий и зданий классической архитектуры с обильным декором применение динамичного освещения должно быть весьма ограничено. Для современных зданий с плоскими или криволинейными фасадами, для производственных зданий использование светодинамики более предпочтительно. Примеры динамичного освещения приведены на рис. 13.75–13.77, а динамичного освещения на светодиодах на рис. 13.13, 13.84–13.86.



Рис. 13.75. Здание администрации, г. Салехард

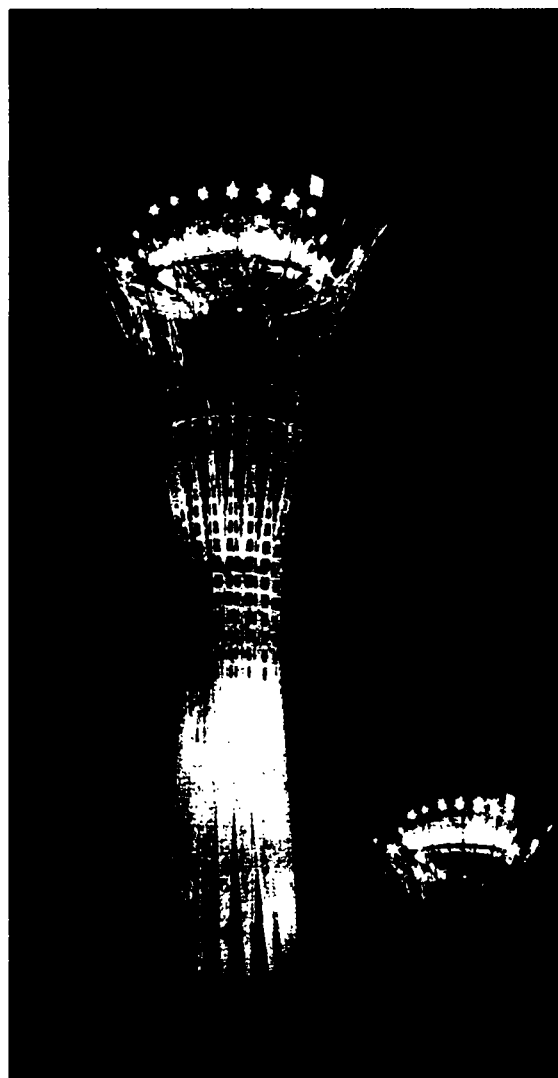


Рис. 13.76. Башня, г. Астана

Рис. 13.77. Пирамиды, г. Гиза



Проекционные системы и лазерные устройства, способные создавать самые разнообразные композиции, как статические, так и изменяющиеся дискретно и плавно, применяются не часто. Исключением являются случаи создания изображений рекламного или информационного характера на глухих простенках зданий. В основном же, эти методы светового оформления применимы для праздников, светомузыкальных спектаклей, концертов. Создание стационарных, долговременных систем требует проекционной и лазерной аппаратуры, способной работать на открытом воздухе.

Примеры осветительных установок с проекцией изображения и лазерными эффектами приведены на рис. 13.93–13.95.

Свет зенитных прожекторов, имеющих высокую степень защиты от климатических воздействий, является завершающим звеном в световом оформлении зданий во время проведения фестивалей, крупных спортивных соревнований, праздников. Примеры осветительных установок с зенитными прожекторами приведены на рис. 13.100–13.102. В световых приборах динамичного и проекционного освещения использованы достижения из области сценического и шоу-освещения. Приборы для динамичного освещения можно классифицировать следующим образом:

- многофункциональные цветодинамичные прожекторы с МГЛ;
- цветодинамичные электронные устройства на основе светодиодов;
- проекционные и лазерные системы;
- зенитные прожекторы с ксеноновыми лампами большой мощности.

Классификация приборов произведена главным образом по типам источников света, принципиально отличающихся способом генерирования света (газоразрядные, полупроводниковые, лазерные), и по способам

и видам создаваемых цветоцветовых полей или изображений.

В приборах для динамичного освещения используются короткодуговые МГЛ мощностью от 150 до 2500 Вт со сроком службы от 1000 до 2000 ч для мощных ламп и до 5000–6000 ч для маломощных в сочетании с зеркальной или зеркально-линзовой оптикой. Субтрактивное синтезирование цвета осуществляется в системе СМУ — Cyan, Magenta, Yellow (смешение бирюзового, пурпурного и желтого цветов). Во многих приборах имеется система изменения формы пучка и его интенсивности, ручной или автоматизированный «зум» (zoom — изменение фокусного расстояния, размера изображения).

Приборы работают либо в автономном режиме, в том числе по внутренней программе, либо управляются дистанционно унифицированной цифровой системой по протоколу (коду) DMX 512. Технические характеристики и внешний вид наиболее распространенных приборов приведены в табл. 13.11 и на рис. 13.78–13.83.

Электронные устройства для динамичного освещения на основе светодиодов (табл. 13.12, рис. 13.87–13.92) выпускаются либо в виде линейных приборов (как правило, длиной до 1 м), либо в виде приборов с формой, традиционной для малогабаритных прожекторов. Как известно, основными преимуществами светодиодов перед традиционными источниками света являются высокий срок службы до 100000 тыс. ч, высокая механическая прочность и надежность, гибкость светораспределения, возможность встраивания в различные конструкции, благодаря сверхминиатюрности, а также то, что они не требуют обслуживания. Светодиоды позволяют легко осуществлять цифровое управление светом и цветом от многоканального программируемого пульта или переносного компьютера.

Ожидаемое в ближайшем будущем резкое повышение световой отдачи светодиодов, уже сейчас достиг-

Многофункциональные прожекторы для архитектурного освещения

№ рис.	Применяемый источник света	Функциональная характеристика	Система управления
13.78	МГЛ 150 W	Синтез света СМУ	Управление DMX512, автономный режим
13.79	МГЛ 800/2500 W	Синтез света СМУ, угол излучения 50×52 град	Управление DMX512, автономный режим
13.80	МГЛ 150 W	Синтез света СМУ, угол излучения 60 град	Управление DMX512, автономный режим, датчик и таймер освещенности
13.81	МГЛ 575 W	Синтез света СМУ, угол излучения 22–41 град	Управление DMX512, автономный режим, диммер, изменение формы луча, датчик и таймер освещенности
13.82	МГЛ 700/1200 W	Синтез света СМУ, четыре типа светораспределения (за счет применения 4-х линз)	Управление DMX512, автономный режим
13.83	МГЛ 250 W	Синтез света СМУ, угол излучения 8–22 град	Управление DMX512, автономный режим, изменение формы луча, датчик и таймер освещенности



Рис. 13.78



Рис. 13.79



Рис. 13.80

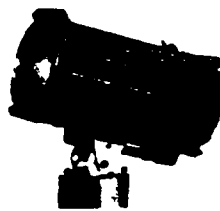


Рис. 13.81



Рис. 13.82



Рис. 13.83

Рис. 13.78–13.83. Многофункциональные прожекторы к табл. 13.11

шей для лучших образцов 50 лм/Вт, и повышение их мощности сделают светодиодную технику самой перспективной и экономически оправданной для архитектурного освещения. В табл. 13.12 приведены некоторые типы приборов на основе светодиодов.

Основным показателем *проекторных приборов* (табл. 13.13, рис. 13.96–13.99) является величина полезного светового потока, участвующего в создании изображения. Как правило, он составляет от нескольких десятков до сотен тысяч люмен. В проекционных приборах, оптическая схема которых состоит из зеркального конденсора, кадрового окна с носителем проекции и объектива, используются шаровые ксеноновые лампы. С учетом световой отдачи ксеноновых ламп и КПД проектора, для создания указанных выше световых потоков мощность источника света должна быть от единиц до десятка кВт.

Лазерные системы создают изображение на наблюдаемой поверхности сканирующим лучом лазера. Несмотря на малый КПД, но благодаря высокой интенсивности лазерного луча с малой расходимостью, лазеры применяются для создания изображений на открытых площадках с больших расстояний. С помощью лазерных сканирующих систем можно создавать разно-

цветные изображения не только на отражающей поверхности, но и в светорассеивающей среде (дым, облако, брызги воды и др.).

Зенитные прожекторы (табл. 13.14, рис. 13.103–13.108), создающие интенсивные пучки света с малой расходимостью, хорошо видимые за счет рассеяния в атмосфере на фоне ночного неба, используются для привлечения внимания к объекту с больших расстояний (несколько км), в праздничных мероприятиях и для освещения высоких зданий и башен «скользящим светом». В таких прожекторах используются шаровые ксеноновые лампы мощностью от 2–4 кВт до 10–12 кВт и высококачественная, точная параболическая зеркальная оптика. В ряде случаев используются мощные МГЛ. Современные зенитные прожекторы многофункциональны и автоматизированы и, как правило, имеют возможности фокусировки и регулировки угла расходимости пучка, проблесковый режим, вращение с регулируемой скоростью, ручное регулирование угла наклона, а некоторые из них — синтез цвета по системе СМУ. Управление прожекторами — автономное или цифровое дистанционное по стандартному протоколу DMX 512.

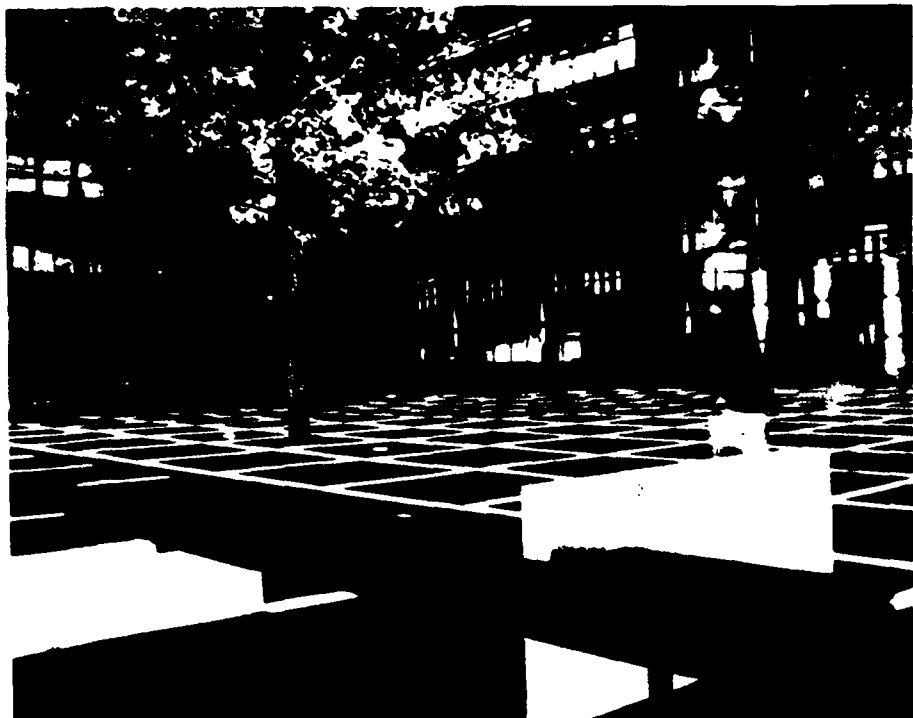


Рис. 13.84. Площадь Finsbury avenue в Лондоне



Рис. 13.85. Учебный центр Rye Brook. Нью-Йорк



Рис. 13.86. Мост Ben Franklin. Филадельфия

Цветодинамические электронные устройства на основе светодиодов

№ рис.	Применяемый источник света	Функциональная характеристика	Система управления
13.87	18 светодиодов (6 красных, 6 зеленых, 6 голубых) мощностью 25 Вт	Цветодинамика света, система смещения цветов RGB, угол излучения 22 град	Управление: система COLOR-Kinetics или аналоговая система DMX512
13.88	75 светодиодов (25 красных, 25 зеленых, 25 голубых) мощностью 10 Вт	Цветодинамика света, система смещения цветов RGB, угол излучения 33 град	Управление: система COLOR-Kinetics или аналоговая система DMX512
13.89	54 светодиода (18 красных, 18 зеленых, 18 голубых) мощность 1-й секции 7,2 Вт	Цветодинамика света, система смещения цветов RGB, угол излучения 253×180 град	Управление: система COLOR-Kinetics или аналоговая система DMX512
13.90	Светодиодные сборки разной длины	Система смещения цветов RGB, угол излучения 30 град, 45 град, 10×20 град	Электронный диммер, регулируемый строб, управление DMX512
13.91	Светодиодные сборки различной геометрии и размеров	Красный цвет Зеленый цвет Голубой цвет Белый цвет Желтый цвет	Автономное изменение цветов и оттенков, изменение темпа
13.92	5 синих, 20 зеленых, 24 красных светодиода мощностью 5 Вт каждый	Система смещения цветов RGB, угол излучения 8, 25, 40 град	6 DMX-каналов, встроены микрокомпьютер для управления эффектами, цветовым балансом

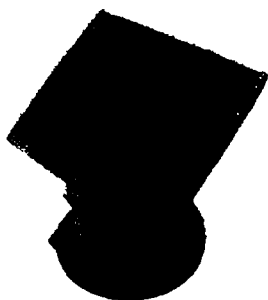


Рис. 13.87



Рис. 13.88



Рис. 13.89

Рис. 13.87–13.92. Цветодинамические электронные устройства к табл. 13.12



Рис. 13.90

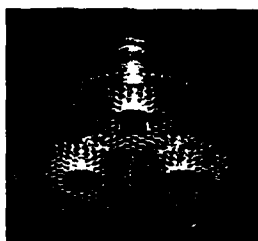


Рис. 13.91

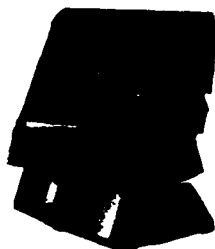


Рис. 13.92

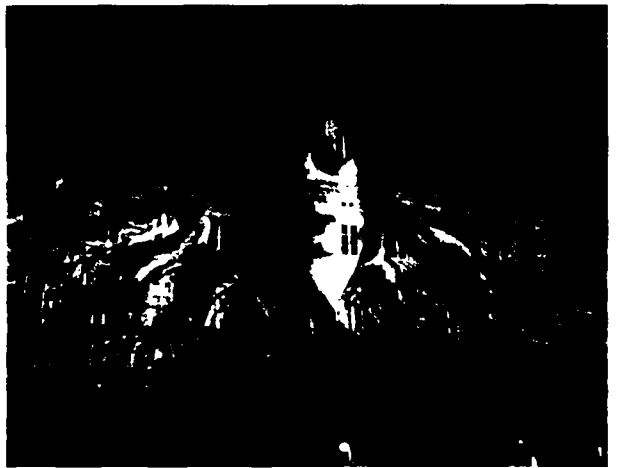


Рис. 13.93. Площадь Тегеаих. Лион 2002



Рис. 13.94. Игры содружества. Манчестер 2002

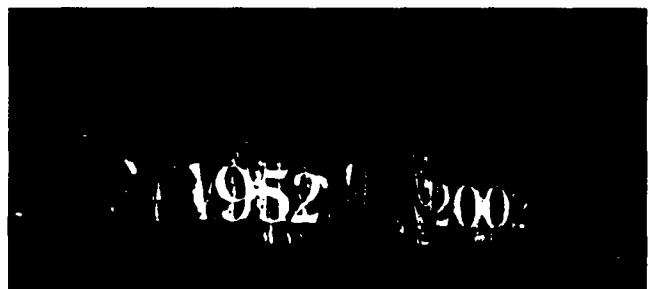


Рис. 13.95. Букингемский дворец

Световые приборы для создания световых картин. Проекторы и лазеры

№ рис.	Применяемый источник света	Функциональная характеристика	Система управления
13.96	2X 1200	Создание световых картин	Система управления DMX 512
13.97	2X 5000 и 7000	Создание световых картин	Система управления DMX 512
13.98	2X 1200	Создание световых картин	Система управления DMX 512 Набор эффектов: смена 5 или 8 слайдов – 2 колеса цвета 1 или 5 меняющихся трафаретов модуль стробзаслонок
13.99	2X 1200	Создание световых картин	Система управления DMX 512: панель управления с графическим дисплеем, быстрый выбор кадров, 4 полностью редактируемых программы с максимальным количеством сцен — 682



Рис. 13.96



Рис. 13.97



Рис. 13.98



Рис. 13.99

Рис. 13.96–13.99. Проекторы и лазеры к табл. 13.13

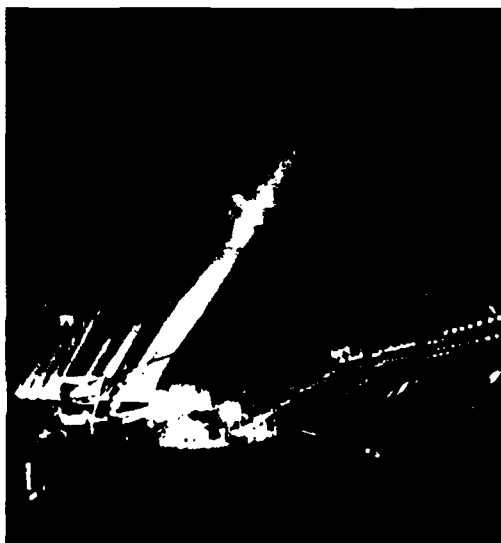


Рис. 13.100. Фестиваль в Рио-де-Жанейро



Рис. 13.101. Мемориал 11 сентября, Нью-Йорк

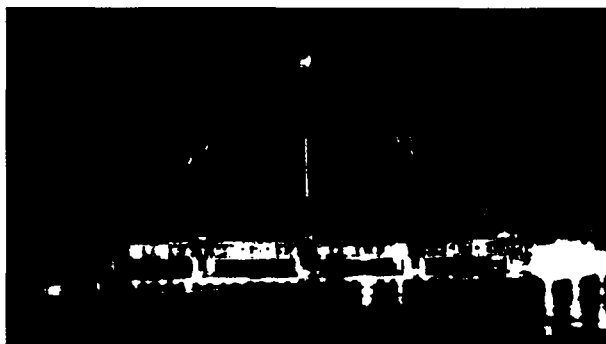


Рис. 13.102. Праздник открытия моста New Dam, Австрия

Таблица 13.14

Многофункциональные зенитные прожекторы

№ рис.	Применяемый источник света	Функциональная характеристика	Система управления
13.103	2X 2500, 3000, 4000	Световые пучки высокой интенсивности	Мягкая регулировка ширины пучка, динамичный контроль развертки светового луча
13.104	2X 4000, 7000	Световые пучки высокой интенсивности голубого, желтого и маджента цветов за счет применения цветных фильтров	Управление DMX512, управление лучами для их схождения и расхождения
13.105	2X 4000, 7000, 8000	Световые пучки высокой интенсивности голубого, желтого и маджента цветов за счет применения цветных фильтров	Управление DMX512, изменение ширины луча 0,2–60 град, стробоскопирование
13.106	2X 2500, 3000, 4000	Световые пучки высокой интенсивности	Мягкая регулировка ширины пучка, динамичный контроль развертки светового луча
13.107	2X 4000 W	Световые пучки высокой интенсивности	Управление DMX512, фокусировка и регулировка угла луча, стробоскопирование, вращение на 360 град с регулируемой скоростью
13.108	2X 4000 и 7000 W	Световые пучки высокой интенсивности	Управление DMX512, фокусировка и регулировка угла луча (0,2–30 град), стробоскопирование, вращение на 360 град с регулируемой скоростью



Рис. 13.103



Рис. 13.104



Рис. 13.105



Рис. 13.106



Рис. 13.107



Рис. 13.108

Рис. 13.103–13.108. Многофункциональные зенитные прожекторы к табл. 13.14

13.5. РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТОВ АРХИТЕКТУРНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Реализацию проектов АО осуществляют монтажные организации, имеющие опыт производства соответствующих работ.

Специализированное монтажное предприятие должно заключить договор с проектной организацией на авторский надзор и техническое сопровождение на период монтажа и пусконаладочных работ. Любые возможные отклонения при монтаже ОУ от проектных решений должны фиксироваться в журнале авторского надзора, и продолжение работ на этих участках возможно только после оформления изменений в проекте АО. Особый контроль за качеством работ осуществляется при прокладке электрических сетей и монтаже ОП на фасадах памятников истории и архитектуры.

Установку АО после ее монтажа и пусконаладочных работ принимает городская комиссия, в состав которой входят: представитель заказчика, архитектор — член городского художественного совета, представители монтажной и эксплуатирующей организаций, главный архитектор и главный инженер проекта.

В комплект документации для передачи службе эксплуатации должны входить:

- экземпляр проектной документации;
- технические условия и разрешение на дополнительную электрическую мощность;
- протоколы измерения светотехнических и электрических параметров ОУ;
- паспорт установки АО с фотографией ОУ. В паспорт должны входить: основные технические характеристики ОУ, типы ОП и ИС, чертеж расположения ОП на объекте с направлением осевых лучей.

13.6. ЭКСПЛУАТАЦИЯ УСТАНОВОК

Поддержание светотехнических, электротехнических, эстетических и конструктивных параметров установок АО осуществляет специализированная служба, которая работает в соответствии с утвержденным Регламентом по эксплуатации и контролю за состоянием ОУ.

Регламент базируется на основополагающих нормативно-технических документах по эксплуатации установок наружного освещения и учитывает специфические условия функционирования установок:

- размещение ОП в непосредственной близости от проезжих частей улиц и магистралей с интенсивным транспортным движением, т.е. в среде с повышенным

загрязнением воздуха; на мостах над водой со 100% влажностью воздуха;

- дополнительные механические нагрузки на ОП и электрические сети ОУ при близком расположении от контактных сетей троллейбусных и трамвайных линий;
- необходимость частой и регулярной чистки ОП;
- размещение ОП на кровле, фасадах, нишах и портиках зданий, на опорах, мостовых конструкциях и др. инженерных сооружениях, доступ к которым затруднен;
- повышенные требования к культуре обслуживания и эксплуатации установок АО памятников истории и архитектуры.

В Регламенте должны быть отражены: комплекс работ по технической эксплуатации установок АО; критерии оценки нормального функционирования ОУ; время включения АО в будничном, воскресном, ночном и праздничном режимах работ.

Техническая эксплуатация установок АО состоит из работ по техническому обслуживанию (ТО), текущему и капитальному ремонту с определенной периодичностью и объемами.

Комплекс работ по ТО представляет собой плановый технический осмотр, проводимый службой эксплуатации посредством обзедов и визуальных осмотров объектов АО в вечернее и ночное время.

При этом не реже 1 раза в неделю осуществляется: корректировка реле времени в щитах управления; выявление не горящих и расфокусированных ОП; оперативный ремонт с наладкой ОУ с целью восстановления цветоцветовой композиции объекта.

Не реже 1 раза в месяц: сухая или мокрая чистка оптических элементов ОП; удаление грязи и влаги из световых ниш.

Не реже 1 раза в 6 месяцев: осмотр состояния электрического оборудования, установленного в шкафах управления и питания; проверка работоспособности устройств защитного отключения; осмотр и чистка опорных конструкций, кронштейнов, защитных декоративных кожухов и решеток.

Текущий ремонт включает в себя следующий комплекс работ:

- ревизию ОП с заменой отдельных элементов или всего прибора;
- покраску опор, кронштейнов, защитных кожухов и решеток;
- ревизию шкафов питания и управления с ремонтом и частичной заменой в них электрического оборудования;
- ревизию электрических силовых и магистральных кабельных линий с частичной заменой кабеля, находящегося в аварийном состоянии;
- измерение токовых нагрузок и электрических параметров распределительной сети;

– измерение светотехнических параметров ОУ.

В полном объеме текущий ремонт проводится не реже 1 раза в 3 года, по отдельным видам работ не реже 1 раза в 1,5 года.

При проведении капитального ремонта должны быть выполнены следующие дополнительные работы:

- ОП с истекшим сроком службы или снизившие свои нормативные параметры должны быть заменены на новые или прошедшие капитальный ремонт;
- ИС должны быть полностью заменены на новые;
- оборудование, установленное в шкафах управления и питания, снизившее свои нормативные рабочие параметры, должно быть заменено на новое или прошедшее капитальный ремонт.

Ремонт элементов установок АО должен проводиться на специализированных участках службы эксплуатации.

Представленные выше материалы носят рекомендательный характер. Они основаны на многолетнем опыте работы архитекторов, дизайнеров и светотехников по созданию установок АО.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

13.1. *Руководство по проектированию архитектурного освещения в центральной части и исторических зонах Москвы и зданий, имеющих важное градостроительное значение.* Москва. 1997.

13.2. *Оболенский Н.В., Шенетков Н.И.* Архитектурное освещение. Архитектурная физика. Под редакцией проф. Н.В. Оболенского. М.: Стройиздат. 2001.

13.3. *Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.* СанПиН 2.2.1\2.1.1.1278-03 Минздрав России. Москва. 2003.

13.4. *Коробко А.А.* Компьютерное моделирование установок наружного архитектурного освещения. Искусство освещения города. Сборник статей по наружному архитектурному освещению. Под редакцией проф. Ю.Б. Айзенберга. М.: Знак. 2002.

13.5. *Боос Г.В., Букатов А.С., Жибуртович О.Л., Пятигорский В.М.* Реконструкция архитектурно-художественного освещения Останкинской телебашни. Светотехника. 1997. № 4.

13.6. *Правила устройства электроустановок.* М.: Энергоатомиздат. 1986.

13.7. *Publication: CIE 94/ Guide for Floodlighting.* Vienna, 1993.

13.8. *Материалы* журнала «Светотехника». № 4. 1999. № 6. 2002. № 5. 2003. № 4. 2004.

13.9. *Материалы* журнала «Иллюминатор». №№ 4–6. 2003. № 2. 2004.

ОСВЕЩЕНИЕ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

14.1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ

К общественным зданиям (ОЗ) относятся здания и сооружения, предназначенные для размещения организаций, учреждений и предприятий (управления, финансирования и кредитования, информационно-технического назначения, проектных и изыскательских, научно-исследовательских), административные здания (АЗ), образования, здравоохранения и отдыха, торговли, гостиницы, многофункциональные здания и комплексы [80].

В зависимости от назначения и характера ОЗ мощность ОУ составляет не менее 25% общей электрической нагрузки, а в ряде случаев она значительно выше. Последние годы (1999–2006) характеризуются значительным увеличением объема строительства ОЗ, соответственно, потребление ЭЭ в ОУ выросло в 2004 г. не менее чем в 1,5 раза по сравнению с 1990 г., когда установленная мощность ОУ составляла 25 млн. кВт, а годовое потребление ЭЭ — 26 млрд. кВтч.

Осветительные установки ОЗ отличаются от ОУ промышленных предприятий следующими:

1) большой номенклатурой помещений, предназначенных для кратковременного пребывания людей, зрительная задача которых, наряду с различием объекта, состоит в обзоре окружающего пространства (магазины, столовые, выставки). В ряде случаев обзор является основным (зрительные залы, фойе, вестибюли), что вызывает необходимость использовать специфические критерии качества ОУ (показатель дискомфорта, цилиндрическая освещенность), приемы и способы освещения;

2) повышенными архитектурно-художественными и эстетическими требованиями, предъявляемыми к паружному виду здания и интерьерам. Это предопределяет использование широкой номенклатуры ОП с улучшенными эстетическими характеристиками, исключает применение ИС, значительно искажающих цветопередачу лица людей. В парадных помещениях ОЗ широко используются приемы и средства освещения, подчеркивающие архитектурный стиль сооружения, выявляющие его отдельные детали (архитектурное освещение). При проектировании ОУ приобретает большое значение творческое взаимодействие архитекторов, дизайнеров и светотехников;

3) использованием разнообразных отделочных материалов с богатой цветовой гаммой, что следует учитывать при проектировании ОУ. Широкое применение находят подвесные (подшивные), натяжные потолки,

выполненные из декоративных и звукопоглощающих материалов. Образумые за подвесными потолками полости используются для прокладки инженерных коммуникаций; применяют также сборные перегородки, имеющие внутренние полости. Небольшая, как правило, высота помещений ОЗ вызывает стремление ввести в запотолочное пространство значительную часть объема светильника или полностью разместить в нем осветительные устройства;

4) при определении качества освещения ОЗ особую роль играют субъективные оценки ОУ наблюдателей.

Число этажей в ОЗ зависит от их назначения и колеблется в широких пределах — от одного-двух (летские сады, магазины, кинотеатры) до 30 и более (АЗ, гостиницы, здания управления компаний, информационные центры, банки и т.д.). При определении этажности здания в число этажей включаются все подземные этажи, в том числе мапсардный и технический, а также цокольный, если верх его перекрытия находится выше планировочной отметки земли не менее чем на 2 м.

Проектирование освещения ОЗ должно выполняться на основании норм СНиП [44], СанПиН [79], ПУЭ [45], МГСН [56], документов [14.1–14.8, 14.13, 14.21, 14.28, 14.34, 14.36, 14.40] и с учетом современных требований европейских (ЕН) [82] и международных (МКО) [83] норм.

14.1.1. Характерные группы помещений

По зрительным задачам помещения ОЗ подразделяются на 4 характерные группы (см. раздел 7). *К помещению I группы* относятся рабочие помещения с напряженной зрительной работой и фиксированным на рабочую поверхность направлением линии зрения. Это рабочие комнаты, кабинеты, классы, читальные залы, лаборатории и т.п. Рабочие помещения большинства мастерских бытового обслуживания по существу являются помещениями I группы, по их ОУ регламентируются нормами промышленного освещения. *К группе II относятся помещения*, в которых зрительная задача состоит в различении объекта и обзоре окружающего пространства, это торговые залы магазинов, обеденные залы столовых, музеи, конференц-залы и залы заседаний, спортзалы, групповые, игровые и спальные помещения детских садов и т.п.

Обзор окружающего пространства — основная зрительная задача *помещений III группы* (зрительные залы, фойе, кулуары, зимние сады, холлы, вестибюли, рекреации и т.п.).

Значительные площади в современных ОЗ занимают помещения коридоров и лестничных клеток, санузлов, в которых должны обеспечиваться условия для ориентации человека (*помещения IV группы*).

Отметим определенную условность отнесения помещений ОЗ к той или иной группе. Так, в помещениях II группы часто располагаются рабочие места, на которых выполняется напряженная зрительная работа, свойственная помещениям I группы (например, места кассиров в торговых залах магазинов); помещения фойе (III группа) частично используются как выставочные (II группа); коридоры (IV группа) служат местом отдыха для посетителей (III группа).

14.1.2. Источники света

Установление области применения ИС разных типов в различных помещениях ОЗ является непрерывным, постоянно меняющимся процессом. Появление новых ИС, постоянное совершенствование традиционных ИС влечет за собой необходимость перераспределения областей их наиболее целесообразного и эффективного использования. Так, в настоящее время ЛЛ остаются основным ИС в большинстве помещений ОЗ, генерируемый ими световой поток составляет около 90% общего потока ОУ. В помещениях ОЗ, как правило, используются ЛЛ группы цветности 830–840 по EN [82]. Широкое применение нашли ЛЛ мощностью 18, 36 и 58 Вт. Наиболее перспективно внедрение энергоэффективных ЛЛ Т5 с трубками диаметром 16 мм, успешно используются КЛЛ мощностью до 120 Вт (см. раздел 3).

Помещения, где производится сопоставление цветов с высокими требованиями к цветоразличию (выставочные, демонстрационные залы, залы заседаний республиканского значения — помещения II группы) следует освещать с помощью ЛЛ групп 930 (ЛБЦТ), 940 (ЛЕЦ), 965 (ЛХЕ) (см. раздел 7) (рис. 14.1).

В ОУ используются ИС, в том числе ЛЛ, производства отечественных и зарубежных фирм, маркировка цветности которых выполняется по национальным или международному (CIE S008/E-2001) стандартам. Сопоставительная таблица ЛЛ по цветности представлена в разделе 3.

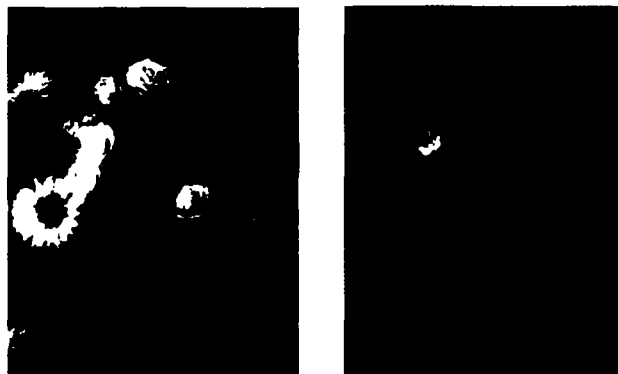


Рис. 14.1. Роль цветопередачи при выборе букета цветов: а — хорошая цветопередача; б — искаженная (плохая) цветопередача

В помещениях с недостаточным естественным освещением [14.1] при постоянном пребывании людей (банки, офисы и т.д.) используют ЛЛ 965-Biolux (по DIN 5035), по своим спектральным характеристикам близкие к солнечному свету.

Высокоэффективные РЛВД — МГЛ, ДНаТ, а также их сочетание, ДРЛ с улучшенной цветопередачей могут использоваться для освещения многофункциональных залов, универсамов, рынков, спортзалов и других т.п. помещений; в установках отраженного света для рабочих помещений офисов.

Основные цветовые и энергетические характеристики РЛ представлены в разделах 3, 7 и 10.

В зданиях, где проводятся мероприятия, передаваемые по цветному телевидению, предъявляются особые требования к ОУ и прежде всего — к спектральному составу излучения ИС. Это касается в основном зрелищных и спортивных сооружений (см. § 14.7).

Последние два десятилетия XX века характеризовались расширением применения в ОЗ галогенных ламп накаливания (ГЛН), в том числе зеркальных ламп «холодного света» с многослойными интерференционными покрытиями (см. раздел 3). Эти лампы, по сравнению с обычными ЛН, отличаются повышенными световой отдачей и сроком службы (22–25 лм/Вт и 2000–4000 часов).

Обычные ЛН применяют в некоторых вспомогательных помещениях технического назначения без постоянного пребывания людей, в установках с повышенными художественными требованиями к интерьерам, в помещениях, где по технологическим требованиям применение РЛ недопустимо (отдельные аппараты и др.), в лечебных учреждениях.

Рекомендации по выбору цветности ИС — R_a , T_{12} , с учетом нормируемой освещенности даны в [44].

Значительное повышение комфортности световой среды, обеспечение более естественного восприятия цвета отделки интерьера и человеческого лица может быть достигнуто за счет использования ЛЛ улучшенной цветности группы 930 по EN (отечественный аналог ЛЛ типа ЛБЦТ), КЛЛ той же группы (КЛБЦТ), группы 840 (ЛХБ), группы 840 (ЛЕЦ) для освещения концертных залов, зрительных залов театров, фойе — помещений III группы.

Для повышения комфортности освещения в ОЗ важно исключить слепящее действие ИС. Кроме паральных помещений (театров, концертных залов, музеев и выставок) с многоламповыми художественными люстрами или специальными декоративными светильниками, открытые лампы не должны быть видны. Сложнее обстоит дело со снижением отраженной блескости. На рабочих столах, имеющих полированную поверхность или покрытых листами органического или силикатного стекла, возникают яркие отражения подвесных или потолочных светильников (рис. 14.2), ухудшающие условия зрительной работы. При этом, в случае отраженной блескости от крупногабаритных ОП с ЛЛ или линий ОП с ЛЛ, избежать вредного воздействия путем изменения положения работающего и направления зрения



Рис. 14.2. Осветительная установка с высоким уровнем отраженной блескости

крайне сложно. Необходимо иметь в виду этот фактор при поиске решений в процессе проектирования ОУ.

В помещениях АЗ широко используются ПК различных видов. Большая доля парка ПК имеет экраны, создающие при неграмотном освещении помещений высокий уровень отраженной блескости. Основные требования к светильникам и ОУ в помещениях с видеотерминалами и рекомендации по их применению приведены в § 10.9. Новое поколение ПК с антибликовыми экранами в значительной степени облегчает эту проблему.

Важно подчеркнуть все возрастающую роль использования в помещениях ОЗ светильников с широкой гаммой насыщенных цветов, исключающих однообразный, скучный вид интерьеров.

Тенденцией в развитии освещения ОЗ является все более широкое применение динамичного освещения, что соответствует естественному изменению условий освещения в течение дня. Развитие электронных систем управления позволяет в «интеллектуальных ОУ» менять по желанию работающих как интенсивность, так и направление освещения во времени.

14.1.3. Осветительные приборы

Номенклатура ОП для ОЗ является исключительно широкой и многообразной. Некоторые из современных ОП этого назначения показаны на рис. 14.3, а–е.

Выбор ОП проводится с учетом их светотехнических параметров, эстетических характеристик, конструктивного исполнения, внешнего вида, экономической эффективности.

Для обеспечения наиболее благоприятного распределения яркости в помещениях со светлыми потолками часть светового потока ОП (не менее 15–20%) должна быть направлена в верхнюю полусферу. В рабочих помещениях целесообразно использовать ОП преимущественно прямого и рассеянного света с КСС в нижней полусфере типа Л (см. раздел 6). В установках архитектурного освещения часто применяют ОП отраженного света. При системе общего равномерного освещения большой уровень освещенности в вертикальной плос-

кости обеспечивают ОП с небольшой концентрацией светового потока (КСС типов Д и М).

Вертикальная освещенность повышается при использовании ОП преимущественно отраженного и отраженного света. При этом тип КСС в верхней полусфере особого значения не имеет. Для акцентирующего освещения желательна значительная концентрация светового потока (КСС типов К и Г).

Большое, иногда решающее значение имеет внешний вид ОП, его эстетические параметры. Однако при выборе ОП для освещения основных помещений вопросы экономичности должны играть решающую роль. Выбор ОП по внешнему виду в ущерб экономической целесообразности оправдан лишь для отдельных парадных помещений или помещений, к которым предъявляются специальные требования.

Основные помещения ОЗ по условиям среды относятся к нормальным, что определяет возможность использования ОП с малыми степенями защиты.

В существующей практике освещения многих помещений ОЗ применяются светильники с открытыми ЛЛ. Они используются в основном в установках архитектурного освещения (в карнизах, панелях святищах потолков), а также в помещениях с кессонированными потолками, где требуемые защитные углы создаются за счет строительных элементов. Возможно использование таких светильников в группе помещений, где не нормируется показатель дискомфорта (вестибюли, гардеробные, лестницы, лифтовые холлы, коридоры, проходы, туалеты и т.п.).

Осветительные приборы с ЛЛ для ОЗ используются как с электрошными ПРА, так и с электромагнитными стартерными ПРА с особо низким уровнем шума. Доля электронных ПРА в светильниках с ЛЛ непрерывно растет ввиду их неоспоримых преимуществ перед электромагнитными ПРА. Применение электронных ПРА позволяет повысить световую отдачу ЛЛ, увеличить срок службы, снизить потери мощности в ПРА, исключить пульсацию светового потока, повысить коэффициент мощности, позволяет регулировать световой поток ЛЛ и т.д. (см. раздел 4).

В ОП с ЛЛ должна осуществляться индивидуальная компенсация реактивной мощности. Коэффициент мощности для люминесцентных светильников согласно п. 6.2.1 ПУЭ [45] должен быть не менее 0,85, а для люминесцентных — 0,9.

В двух- и четырехламповых ОП с электромагнитными ПРА за счет включения половины ИС по схеме опережающего, а другой половины — по схеме отстающего тока гарантируется соблюдение нормируемых значений коэффициентов пульсации в помещениях любого назначения. В случае использования в ОП только индуктивных балластов должна быть обеспечена возможность подключения ЛЛ к разным фазам питающей сети.

В ОЗ находят применение потолочные и встраиваемые ОП с РЛВД, модульные системы с трубчатыми ЛЛ и ОП для установки на однофазных и трехфазных шипопроводах (музеи, выставки, фойе, магазины) (рис. 14.3).

Заслуживает внимания расширяющееся использование полых протяженных световодов (см. раздел 6)

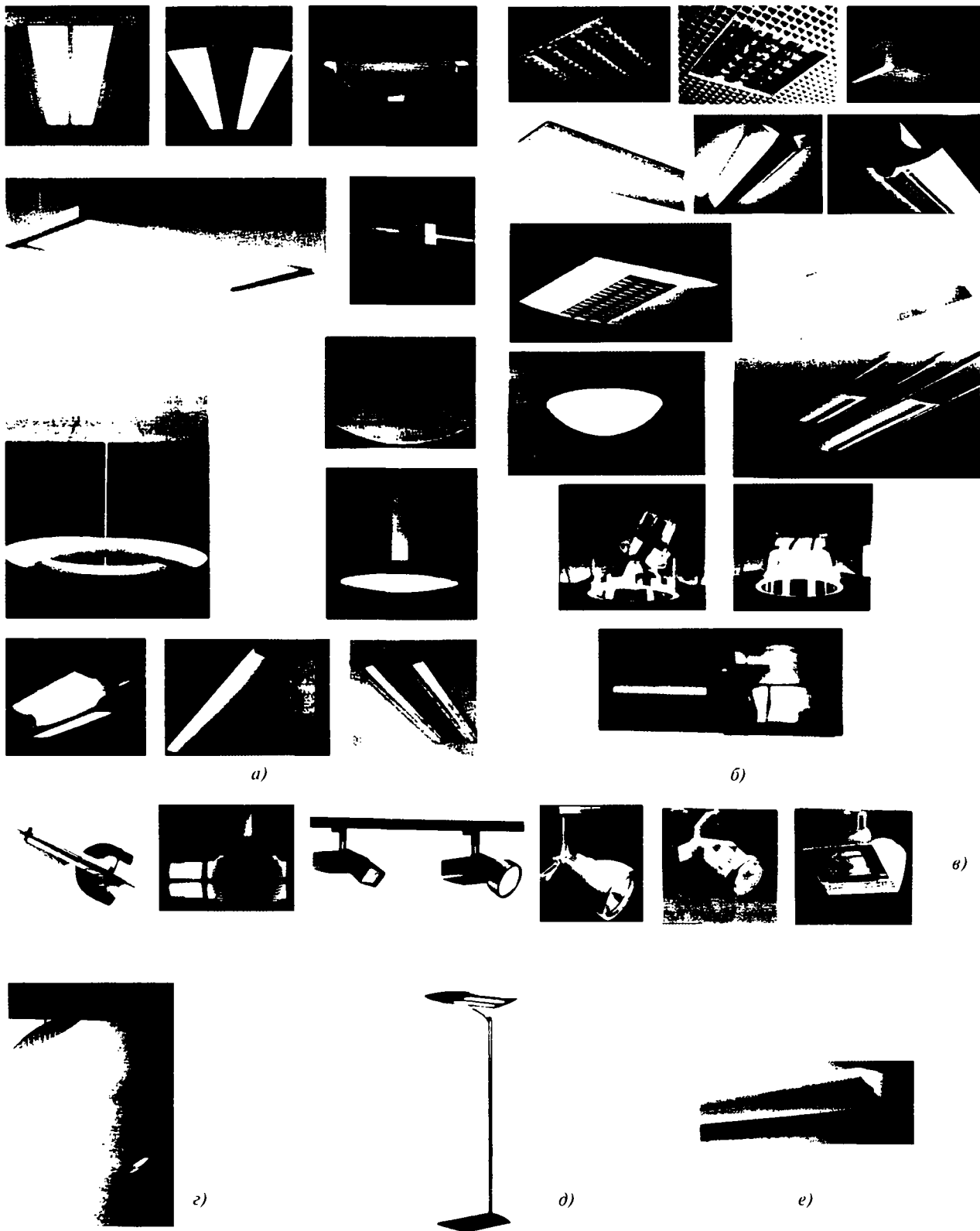


Рис. 14.3. Современные светильники для ОЗ — коллаж: а — подвесные ОП; б — потолочные и встраиваемые ОП; в — экспозиционные ОП на шинопроводе; г — ОП со вторичным отражателем; д — напольный ОП; е — настенный ОП

для освещения помещений ОЗ. Накоплен важный опыт применения таких устройств для освещения станций метрополитена, выставочных павильонов, торговых залов универмагов, плавательных бассейнов (рис. 14.4) и др.; а также в установках совмещенного освещения (см. раздел 18). Использование этих новых современных средств освещения, обладающих комплексом важных достоинств, позволяет архитекторам и светотехникам получать принципиально новые решения в области светового дизайна [14.9].

Для декоративного освещения широко используют осветительные устройства с гибкими волоконными световодами (см. раздел 6). В качестве ИС в таких устройствах применяются ГЛН на низкое напряжение, короткодуговые МГЛ. Благодаря разнообразным декоративным и оптическим пасадкам можно создать различные световые картины и эффекты.

Все более широкое применение в ОЗ находят встраиваемые светильники с КЛЛ различной мощности. Эти приборы с одной-двумя вертикально или горизонтально расположенными КЛЛ и глубокими зеркальными отражателями имеют круглые или квадратные выходные отверстия, часто перекрываемые различными экранирующими решетками или кольцами, а также декоративными элементами.

Рис. 14.3 иллюстрирует многообразие форм и характеристик основных групп ОП для ОЗ, в развитии которых достигнут разительный прогресс, особенно в области дизайна. С чисто светотехнической точки зрения обращает на себя внимание значительное расширение использования призматической оптики, светильников со «вторичными» отражателями, светильников полностью отраженного света, волоконной оптики и светодиодов.

Находят все более широкое применение в ОУ общественных зданий ОП на основе светодиодных (СД) осветительных модулей. Светодиоды (см. раздел 3) имеют большой, до 100000 часов, срок службы. Их отличает низкое энергопотребление, высокая механическая прочность, низкое тепловыделение, электробезопасность (т.к. СД работают с блоком питания постоянного тока на напряжении 10, 12, 24 В). Световая отдача белых СД находится в пределах от 30 до 60 лм/Вт.

В настоящее время ОП на основе СД используют для декоративного, архитектурного и коммерческого освещения (рис. 14.4, г). Эти приборы имеют большое будущее и в перспективе могут заменить для освещения ОЗ многие традиционные ИС.

Важным элементом эвакуационного освещения (ЭО) являются световые указатели направления выхода из помещения или здания или самих выходов. Надлежит устанавливать световые указатели в следующих случаях: на выходах из помещений, где одновременно могут находиться более 100 чел.; на путях эвакуации из конференц-залов, зрительных, демонстрационных, выставочных и музейных залов; с эстрад конференц-залов и актовых залов, из коридоров на лестничные клетки, ведущие к выходу из здания в гостиницах, административных зданиях, в лечебных учреждениях и предприятиях бытового обслуживания, если в помещениях,

примыкающих к коридору, могут одновременно находиться более 50 чел.; из магазинов с торговыми залами площадью 180 м² и более, а при самообслуживании — с торговыми залами общей площадью 110 м² и более.

Световые указатели устанавливают над дверями или рядом с ними на стене или потолке, так чтобы их было видно из любой точки помещения или коридора. Если выполнение этого требования затруднено, то в необходимых местах (например, на поворотах коридора) устанавливают дополнительные ОП с надписью или стрелкой, указывающей направление к выходу. Расстояние от наблюдателя до светового указателя не должно превышать 20–25 м. Более подробно требования к приборам для АО и ЭО приведены в § 10.8.

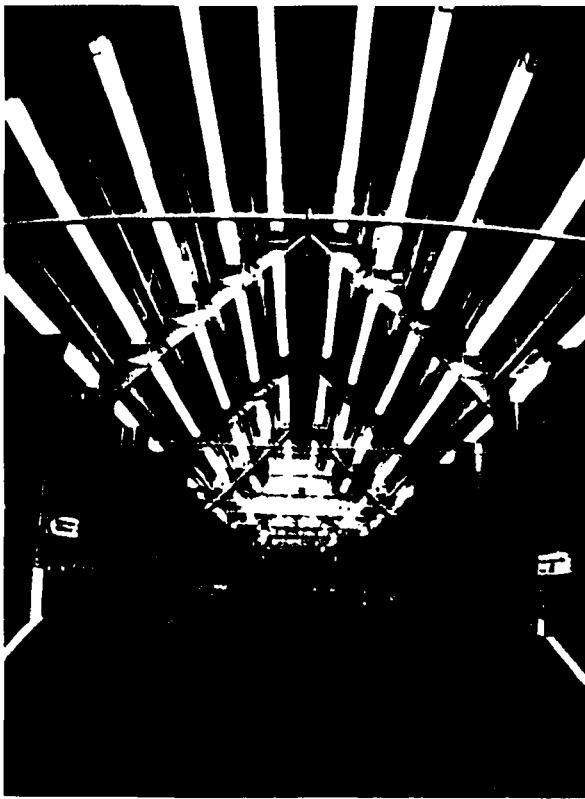
Кроме указателей путей эвакуации, в ОЗ используют указатели мест установки пожарных гидрантов, домовые знаки, информационные и рекламные указатели, а также огни светового ограждения высоких зданий.

Для световых указателей и огней светового ограждения наиболее целесообразно использование в качестве ИС светодиодов.

Величины освещенности, качественные показатели ОУ принимаются в соответствии с [44]. Светотехнические расчеты выполняются с помощью программ на ПК (см. раздел 8). Оценочные расчеты могут выполняться по удельной мощности. При проектировании некоторых зданий федерального значения, зарубежных объектов следует руководствоваться Европейскими нормами EN 5035-2 [82], что должно быть отражено в задании на проектирование.

14.1.4. Освещение вспомогательных помещений. Характеристики для ОЗ. Нормирование параметров ОУ ОЗ рассмотрено в разделе 7. Нормируемые показатели освещения вспомогательных помещений ОЗ даны в табл. 14.1.

Гардеробные верхней одежды. Как правило, такие помещения отделяются от помещений для публики невысоким барьером. Глубина гардеробной не превышает 6 м, вешалки (напольные или подвесные) располагаются рядами перпендикулярно барьеру, ширина прохода между рядами — около 1 м. В помещениях гардеробной нормируется уровень освещенности на горизонтальной плоскости (на полу), однако ОУ должна обеспечивать достаточную освещенность в вертикальной плоскости на уровне крючков вешалок для различения номерков (1,7–1,8 м от пола). Осветительные приборы размещают вдоль проходов между рядами. Если расстояние между вешалками и перекрытием превышает 1 м, потолочные ОП могут размещаться линиями поперек рядов вешалок. При расчете освещения необходимо учитывать сильное экранирующее действие вешалок с одеждой. Проходы вдоль барьера могут освещаться ОП, устанавливаемыми над проходами между вешалками, линии которых продлеваются до барьера. Барьер и проход за ним могут освещаться локализованно. По архитектурным соображениям потолок над гардеробной иногда трактуется как продолжение потолка вестибюля. Если освещение вестибюля выполняется ОП с КЛЛ или ЛН, то для освещения гардеробной возможно использование ОП с этими же ИС. Управление их освещением



a)



б)



в)



г)

Рис. 14.4. Освещение общественных зданий полыми протяженными световодами и светодиодами: *a* — зал павильона ВДНХ; *б* — центральный зал станции метро «Серпуховская»; *в* — арочные световоды на станции метро «Чкаловская»; *г* — зал церковных соборов храма Христа Спасителя со «звездным небом» из СД

Таблица 14.1

Нормируемые показатели освещения вспомогательных помещений ОЗ

Помещения	Плоскость (Г — горизонт., В — вертикаль.) нормирования освещенности, высота плоскости над полом, м	Разряд и подразряд зрительной работы	Освещенность рабочих поверхностей при общем освещении, лк
Санитарно-бытовые помещения: а) умывальные, уборные, курительные б) душевые, гардеробные, помещения для сушки, обеспыливания и обезвреживания одежды и обуви, помещения для обогрева работающих	Пол Пол	Ж-1 Ж-2	75 50
Вестибюли и гардеробные уличной одежды: а) в вузах, школах, театрах, клубах, общежитиях, гостиницах и главных входах в крупные промышленные предприятия и общественные здания б) в прочих промышленных, вспомогательных и общественных зданиях	Пол Пол	Е Ж-1	150 75
Лестницы: а) главные лестничные клетки общественных, производственных и вспомогательных зданий б) остальные лестничные клетки	Пол (площадки, ступени) Пол, Г, 0,0	В-2 Ж-2	100 50
Лифтовые холлы в общественных, производственных и вспомогательных зданиях	Пол, Г, 0,0	Ж-1	75
Коридоры и проходы: а) главные коридоры и проходы б) поэтажные коридоры жилых зданий в) остальные коридоры	Пол, Г, 0,0 Пол, Г, 0,0 Пол, Г, 0,0	Ж-1 3-2 Ж-2	75 20 50
Машинные отделения лифтов	Г, 0,8	3-1	30 ²
Чердаки	Пол, Г, 0,0	—	10 ^{1,2}

¹ Нормируемые значения установлены при отраслевом нормировании на основании экспертных оценок.

² Норма освещенности дана для ламп накаливания

Значения цилиндрической освещенности, показателя дискомфорта и коэффициента пульсации для вспомогательных помещений не нормируются.

выполняется либо централизованно, либо местными выключателями, установленными в недоступных для публики местах.

Умывальные и туалеты размещаются в смежных помещениях. В умывальных выполняется общее равномерное освещение потолочными ОП. Дополнительно к нему могут предусматриваться светильники над зеркалом. Если над умывальниками устраивается сплошной ряд зеркал, то установленная над ними линия ОП очень часто является достаточной для освещения всего помещения. В туалетах ОП общего освещения размещают с учетом экранирования перегородками кабин. Если перегородки доведены до потолка, то ОП устанавливают в каждой кабине и над проходом. Выключатели устанавливают в помещении умывальной у входа в него. Осветительные приборы для освещения умывальной и туалета должны управляться отдельно. Выключатели для туалетов могут размещаться и перед входами в них.

Лестницы. Пол площадок и ступени лестниц обычно освещаются потолочными ОП с ЛЛ, установленными над каждой лестничной площадкой. Для двухмаршевой лестницы размером 3 × 6 м без шахты лифта освещенность 100 лк достигается установкой в центре

площадки ОП с ЛЛ 2 × 36 Вт, а 50 лк — 1 × 36 Вт. Над площадками лестниц шириной около 6 м размещают по два ОП. Если высота между площадками превышает 3 м, например, перед последним маршем лестницы, ОП могут устанавливаться на стене. Для освещения парадных лестниц могут использоваться приемы архитектурного освещения (люстры, карнизы, светящиеся панели, ОП, встроенные в перила, и др.). На лестницах ЭО устраивается независимо от высоты здания, ОП устанавливаются над лестничными площадками, удаленными от окон.

За последнее время разработаны и начали использоваться для освещения лестниц, лифтовых холлов, входов в здания специальные светильники со СД.

Освещение коридоров. Оно обычно выполняется равномерно размещенными на потолке ОП с ЛЛ. При ширине коридора 1,5–2,4 м и высоте 2,5–3 м освещенность 75 лк обеспечивается при установке ОП с ЛЛ 1 × 36 Вт через 4–5 м. Иногда по архитектурным соображениям для освещения коридоров применяют ОП квадратной формы — 4 × 18 Вт. Осветительные приборы 1 × 36 и 2 × 18 Вт могут размещаться длиной стороны как вдоль, так и поперек коридора. Установка ОП поперек коридора вызывает зрительную иллюзию

уменьшения его длины. Кроме того, в этом случае при значительных интервалах между ОП достигается несколько большая равномерность освещенности, чем при продольном размещении ОП с теми же интервалами. Для освещения коридоров используются также ОП с КЛЛ как встроенные в потолок, так и потолочные. ОП с КЛЛ рекомендуются устанавливать с шагом 1,8–2 м; светильники без рассеивателей — 1×18 Вт, с рассеивателями — 1×26 Вт.

На питание от сети ЭО выделяются ОП, установленные с шагом 15–18 м.

14.1.5. Электрическая часть ОУ (см. также раздел 9). Крупные ОЗ являются сложными и энергоемкими инженерными сооружениями. Кроме освещения, в ОЗ действуют многие инженерные системы, обеспечивающие нормальное функционирование, жизнеобеспечение, комфорт и пожарную безопасность. Выбор источника и построение схем питания осуществляется с учетом требований к электробезопасности и надежности ОУ (см. раздел 9).

По степени обеспечения надежности электроснабжения комплексы электроприемников ОЗ в соответствии с разделом 1 ПУЭ обычно относят ко второй или третьей категории. К первой категории относят лишь некоторые комплексы электроприемников лечебных учреждений, АТС, главных телеграфов, почтамтов и некоторые другие, а также группы электроприемников противопожарных устройств ряда ОЗ.

Источники питания. Для питания электроприемников ОЗ используется система напряжения 380/220 В с глухим заземлением нейтралей*. Источниками питания обычно являются городские одно- и двухтрансформаторные подстанции (ТП), в том числе комплектные трансформаторные подстанции (КТП). ТП или КТП могут быть как отдельно стоящими, так и встроенными или пристроенными к ОЗ. Не допускается установка встроенных и пристроенных ТП и КТП в силовых корпусах различных учреждений, в зданиях школ и других учебных заведений. При размещении ТП и КТП следует руководствоваться требованиями ПУЭ, соответствующих санитарных и противопожарных норм [1–6]. Городские ТП обычно имеют устройства АВР на стороне низкого или высокого напряжения.

Питание ОУ и силовых токоприемников производится, как правило, от общих трансформаторов, что позволяет более равномерно распределять нагрузки и увеличивает степень загрузки трансформаторов с учетом несовпадения во времени максимумов силовой и осветительной нагрузок (коэффициент несовпадения находится в пределах 0,75–0,95). При значительной мощности ОУ целесообразно выделять для питания рабочего освещения отдельные трансформаторы.

При выборе трансформаторов для питания освещения необходимо учитывать и регламентируемое качество напряжения — частоту резких изменений напряжения у ламп рабочего освещения. Силовые токоприемники ОЗ обычно работают длительно, число их пусков в течение дня невелико. Поэтому создаваемые ими коле-

бания напряжения у ламп находятся обычно в пределах, допускаемых стандартом. Исключения составляют электродвигатели лифтов, работающие в повторно-кратковременном режиме. Но и в этом случае при правильно выбранной схеме питания лифтов размахи изменений напряжения не выходят за допустимые пределы.

При необходимости иметь независимый автономный источник питания АО могут быть использованы нес обслуживаемые аккумуляторные установки с напряжением 220 В или дизель-генераторные установки.

Представляется нецелесообразным относить к той или иной категории по степени обеспечения надежности электроснабжения только один из видов освещения (например, ЭО). Необходимая надежность ОУ обеспечивается совместным действием всех видов освещения. При аварийном отключении рабочего освещения продолжает действовать ЭО или АО. При выходе из строя АО, рабочее освещение позволит продолжать нормальную работу. Поэтому правильнее устанавливать такие требования к питанию каждого из отдельных видов освещения, которые обеспечивали бы необходимую надежность функционирования ОУ в целом.

Питание рабочего освещения и АО следует выполнять от независимых источников питания. Питание ЭО должно быть независимым от питания рабочего освещения и осуществляться от разных трансформаторов или вводов. При наличии одного ввода эти виды освещения должны питаться независимо, начиная от ввода.

Особые требования к питанию ОУ предъявляются в зрелищных сооружениях. В залах с количеством мест в зрительном зале 800 и более, в детских театрах, дворцах и домах детского творчества со зрительными залами любой вместимости питание АО и рабочего освещения должно, как правило, осуществляться от независимых источников питания. При одновременном или последовательном отключении обоих независимых источников нормального питания должно осуществляться автоматическое переключение питания АО на аккумуляторную установку (глава 7.2 ПУЭ).

Имеется зарубежный опыт использования индивидуальных блоков с аккумуляторами для светильников АО, которые переключаются на питание от аккумуляторов при исчезновении напряжения в сети. Использование таких блоков — более надежный способ, чем питание от централизованной аккумуляторной установки.

Питание рабочего освещения помещений, в которых длительно могут находиться 600 и более человек (конференц-залы, актовые залы и т.п.), рекомендуется осуществлять от разных вводов, при этом к каждому вводу должно быть подключено около 50% светильников.

Питание ОП местного стационарного освещения и ручных переносных ОП в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных выполняется так же, как и на промышленных предприятиях.

Вопросы построения схем питания ОЗ и учета электроэнергии изложены в разделе 9.

Нагрузки. В зависимости от назначения ОЗ и степени его оснащения инженерными системами общая

* Необходимо иметь в виду осуществляемый в Европе переход на питающее напряжение 230 В.

удельная установленная мощность разнообразных токоприемников здания колеблется в пределах 20–150 Вт/м² и более. Нагрузки электрического освещения в ряде случаев являются преобладающими, например, для небольших конторских зданий, промтоварных магазинов, школ и детских учреждений (без электрифицированных пищеблоков), а в других случаях составляют значительную часть (25–50% общей мощности здания). В зависимости от назначения ОЗ удельная установленная мощность освещения в целом по зданию составляет 15–30 Вт/м², а для отдельных помещений достигает 100 Вт/м² и более. Расчетные нагрузки на вводах в ОЗ в среднем составляют 40–60% установленной мощности, а коэффициенты спроса для нагрузок электрического освещения изменяются в пределах 0,3–1 (в зависимости от назначения ОЗ и мощности ОУ).

Коэффициенты спроса для расчета групповых линий рабочего освещения, а также распределительных и групповых сетей АО принимаются равными 1.

Распределительные линии в ОЗ в основном выполняются трехфазными пятипроводными. При сечении проводников менее 16 мм² применяются медные проводники, а при сечении 16 мм² и выше следует использовать алюминиевые проводники. Сечение нулевых проводников (N) должно приниматься равным сечению фазных проводников, если фазные проводники имеют сечение до 16 мм² по меди и 25 мм² по алюминию, а при больших сечениях — не менее 50% сечения фазных проводников. Сечение РЕ-проводников должно равняться сечению фазных при сечении последних до 16 мм²; 16 мм² при сечении фазных проводников от 16 до 35 мм² и 50% сечения фазных проводников при больших сечениях (ПУЭ, глава 7.1).

Групповые линии в ОЗ должны выполняться медными проводниками; проводники N и РЕ должны иметь сечения, равные сечению фазных проводников. Групповые линии могут выполняться однофазными или трехфазными. Однофазные групповые линии выполняются трехпроводными (фазный, N и РЕ — проводники). Трехфазные линии выполняются пятипроводными (3 фазных, N и РЕ — проводники); их использование допускается только при схемах, обеспечивающих одновременное включение и отключение всех фазных проводников. Использование трехфазных групповых линий рекомендуется при питании помещений большой площади при отсутствии необходимости включения светильников отдельными участками и обязательно, если иными способами не удастся обеспечить необходимое снижение коэффициента пульсации в ОУ с РЛ (например, при выполнении освещения одноламповыми ОП с ЛЛ с однотипными ПРА).

В групповых сетях освещения для однофазных линий используются как однополюсные, так и двухполюсные (или однополюсные с разрывом нуля) аппараты защиты; для защиты трехфазных групповых линий следует применять трехполюсные или четырехполюсные аппараты защиты.

Длина групповых линий ограничивается 40–50 м, т.е. в основном сечением проводов, которое для меди рекомендуется выбирать равным 1,5 и 2,5 мм².

Распределение нагрузок по фазам щитка должно быть равномерным; разница не должна превышать 30% в пределах щитка и 15% — в начале питающих и распределительных линий.

Для питания световых указателей ЭО необходимо выделять отдельные групповые линии на щитках АО.

Управление освещением. В ОЗ широко используется местное управление освещением небольших помещений с помощью выключателей, устанавливаемых как в освещаемом помещении, так и вне его у входных дверей (например, нормально запертые венткамеры и насосные, кладовые, туалеты и др.). В помещениях, предназначенных для публики, выключатели должны размещаться в местах, недоступных для посторонних (в служебных помещениях, в запираемых нишах). Число выключателей, устанавливаемых для одного помещения, должно обеспечивать возможность независимого управления освещением зон помещения (например, отключение ОП рядами вдоль окон).

Управление рабочим освещением крупных помещений для публики (торговых залов площадью 800 м² и более, обеденных залов ресторанов с числом мест более 300) и наружным освещением должно быть, как правило, централизованным дистанционным. Централизованно должны управляться АО и световые указатели. Для дежурного освещения должно предусматриваться самостоятельное управление.

Значительные эксплуатационные удобства достигаются при дистанционном управлении освещением лестниц, коридоров, холлов, вестибюлей и фойе. Освещение коридоров, лестниц, а также действие различных световых указателей, рекламных установок целесообразно автоматизировать в зависимости от уровня естественной освещенности (с помощью фотоэлектрических устройств) или по заданной программе. Помещения или их части, имеющие естественное освещение и не имеющие его, должны управляться раздельно. При автоматическом управлении должна обязательно предусматриваться возможность перехода на ручное или дистанционное управление. В зрелищных залах, залах многоцелевого назначения и других используется также плавное регулирование яркости ИС.

В офисах, гостиницах используются системы управления с применением датчиков движения или присутствия, что дает значительную экономию ЭЭ (см. раздел 4).

Пульты управления размещаются у мест постоянных дежурных (вахтеров, администраторов) или в специальных помещениях (диспетчерских, помещениях осветителей, кинопроекторных и др.).

Системы автоматического управления освещением позволяют поддерживать заданные уровни величин освещенностей, учитывая наличие естественной освещенности. Благодаря автоматическому управлению освещением возможна существенная экономия электроэнергии (до 50%). В зарубежной практике приняты централизованные системы управления, охватывающие освещение, вентиляцию, кондиционирование воздуха, охранные и другие системы здания, обеспечивающие комфортные условия для пребывания человека.

Прокладка сетей. Распределительные и групповые сети электрического освещения ОЗ должны быть, как правило, сменяемыми. Их следует выполнять проводами и кабелями с медными жилами, не распространяющими горение. Исключения составляют распределительные сети сечением 16 мм² и выше, которые могут выполняться проводами и кабелями с алюминиевыми жилами.

Распределительные сети на горизонтальных участках выполняются одним из следующих способов: скрыто в специальных каналах и пустотах строительных конструкций, в бороздах, штробах в слое подготовки пола кабелем или изолированными проводами в защитной оболочке; в трубах, проложенных в подготовке полов или за подвесными потолками; открыто проводами в пластмассовых или стальных трубах и коробах. При технико-экономической целесообразности возможно использование магистральных шинопроводов.

При выборе способов прокладки сети следует руководствоваться требованиями норм [14.3, 14.5].

Конструктивно наиболее сложны прокладки в больших электротехнических помещениях и на выходах к стоякам. Наибольшие эксплуатационные удобства обеспечиваются при прокладке кабелей (проводов) в стальных сплошных коробах с открываемыми сплошными крышками, в подпольях щитовых помещений, занимающих всю площадь под щитовой, которые перекрываются съемными металлическими листами. Для больших зданий рекомендуется устройство под щитовыми помещениями и встроенными подстанциями кабельных полукэтажей высотой 1,5–1,7 м. Открытая прокладка кабелей и проводов в этих помещениях возможна (так же, как и за подвесными потолками) при выполнении защиты их автоматическими установками пожаротушения или сигнализации [10].

Вертикальная прокладка распределительных сетей выполняется в металлических и неметаллических трубах, проложенных скрыто в бороздах стен, в вертикальных каналах строительных конструкций; открыто по стенам шахт в трубах, шинопроводами; кабелями — при негорючих строительных конструкциях и материалах.

При открытой прокладке сетей в местах прохода через перекрытия должны выполняться несгораемые уплотнения. Провода в защитной оболочке и кабели должны пересекать перекрытия в стальных патрубках с последующим уплотнением. Строительные конструкции вертикальных шахт следует выполнять из несгораемых материалов.

Прокладка питающих и распределительных сетей (линий) в каналах со съемными плитами, выполненных в полах подвала, возможна, но не рекомендуется, поскольку в каналах скапливаются трудно удаляемые влага и грязь.

Групповые сети в основных помещениях ОЗ должны быть скрытыми и сменяемыми. Допускается несменяемая прокладка сетей в бороздах стен, перегородок, перекрытий, под штукатуркой, в подготовке пола проводами в защитной оболочке или кабелями при условии выполнения строительных конструкций из негорючих или слабогорючих материалов.

Могут использоваться следующие способы прокладки групповых сетей:

- скрыто в каналах строительных конструкций, в замоноличенных трубах, в открыто проложенных электротехнических коробах, плинтусах, шинопроводами.

- за подвесными потолками. Проводки за подвесными непроходными потолками рассматриваются как скрытые. При подвесных потолках, выполненных из негорюемых (НГ) и трудносгораемых материалов (Г1) групповые сети выполняются проводами или кабелями в неметаллических трубах и коробах, отвечающих требованиям пожарной безопасности; кабелями, не распространяющими горение, с низким дымо- и газовыделением (с индексом «нгLS»).

В том случае, если подвесные потолки выполнены из горючих материалов, сети в них выполняются проводами или кабелями в металлических трубах и коробах. При степени горючести материала Г2 (умеренно горючие материалы) электропроводки выполняются проводами и кабелями в металлических трубах и металлических коробах со степенью защиты не ниже IP4X; при материалах группы Г3 (нормально горючие материалы) — кабелями в металлических трубах и металлических коробах со степенью защиты не ниже IP4X; при материалах с группой горючести Г4 (сильногорючие материалы) — проводами и кабелями в металлических трубах и глухих коробах, обладающих локализационной способностью, т.е. способностью труб и коробов выдерживать короткое замыкание в электропроводке без прогорания стенок [14.3].

В случаях, когда пространство за подвесным потолком используется в качестве воздухопроводов системы вентиляции, прокладка сети за потолком не рассматривается как прокладка в вентиляционном коробе.

Групповые сети, прокладываемые внутри пустот перегородок из негорюемых материалов, например, сборных гипсовых плит, могут выполняться так же, как сети за несгораемыми подвесными потолками.

Сменяемость проводок за подвесными потолками и внутри сборных перегородок обеспечивается через отверстия, образуемые после демонтажа встраиваемых ОП (для потолков), или с помощью закладных коробок для ОП и ЭУ.

При трубных прокладках не всегда удается обеспечить сменяемость всех участков сети. Значительные затруднения возникают при скрытой прокладке труб в тонких гипсокартонных, шлакобетонных, кирпичных перегородках из-за сложности выполнения в них борозд. В этих случаях спуски к выключателям могут выполняться несменяемыми, для чего в верхней части стены обычно устанавливают расщепленную коробку, проводку из которой до закладной коробки выключателя выполняют кабелем или проводом в защитной оболочке в слое штукатурки.

В качестве электропроводки возможно использование шинопроводов, которые одновременно используются в качестве конструкций для крепления светильников.

Целесообразно применение шинопроводов для освещения экспозиций в выставочных и демонстрацион-

ных залах и для устройства акцентирующего освещения в торговых залах.

В одном ОЗ можно применять несколько указанных способов проводки. Следует лишь избегать многократных переходов с одной марки кабельной продукции на другую.

Прокладка групповых линий рабочего и аварийного освещения в одной трубе, на одном лотке, монтажном профиле, в одном канале многоканального короба, в штангах многоламповых светильников не рекомендуется. При необходимости их совместной прокладки должны быть приняты специальные меры — устройство перегородок, покрытие огнезащитным составом и др.

Эксплуатация ОУ. Большинство помещений ОЗ являются помещениями с нормальной средой и имеют небольшую высоту (2,5–4 м). Для них преимущественно используются ИС малой мощности. При относительно высоких уровнях освещенности удельное число ОП достаточно велико (0,1–0,5 шт./м²).

Как правило, ОЗ располагают немногочисленным эксплуатационным персоналом и имеют небольшие ремонтные возможности. Чистка ОП проводится сухим или влажным способом непосредственно на месте их установки. В крупных городах имеются фирмы, заключающие договора на уборку помещений и в том числе на чистку ОП. Число чисток обычно не превышает одной в год.

В большинстве случаев используется способ индивидуальной замены перегоревших ламп. Групповой способ следует рекомендовать для крупных ОУ.

При проектировании ОЗ с числом ОП свыше 1000 следует предусматривать мастерские для их мелкого ремонта из расчета 10 м² площади на 1000 ОП, но не менее 20 м², и помещения для складирования необходимого запаса ОП и ИС (см. разд. 11).

Для ОП, доступ к которым с обычных стремянок невозможен, следует предусматривать в проекте приобретение или индивидуальное изготовление устройств для доступа к ОП (телескопические вышки, разборные лестницы и т.п.). При необходимости индивидуального изготовления устройств задание на их разработку светотехники должны передавать генеральной проектной организации. В крупных помещениях ОЗ (зрительные залы и т.п.) желательно предусматривать возможность обслуживания ОП с верхнего технического помещения.

Рациональное использование электроэнергии в ОУ ОЗ. Ниже перечислены основные мероприятия, способствующие рациональному использованию электроэнергии в ОУ:

1) выбор наиболее экономичных систем и способов освещения, с учетом требований и рекомендаций МГСН [58];

2) использование эффективных с точки зрения создания необходимых зрительных условий ИС и ОП, в частности ОП с РЛВД, ЛЛ, КЛЛ;

3) использование энергоэффективных ЛЛ, в том числе ламп Т5 с трубкой диаметром 16 мм; МГЛ;

4) использование в ОП с ЛЛ электронных ПРА;

5) правильный выбор коэффициентов отражения ограждающих строительных поверхностей и оборудова-

ния (мебели). Рекомендуемые коэффициенты отражения потолка 0,8–0,6; стен 0,6–0,4; пола 0,3; мебели 0,4–0,3. Для иллюстрации важности этого условия укажем, что для освещения помещения с коэффициентами отражения потолка, стен и пола 0,7; 0,5 и 0,3 требуется электроэнергия на 25–30% меньше, чем для помещения с коэффициентами 0,5; 0,3 и 0,1;

6) выделение на независимое управление групп ОП для помещений и частей помещения, находящихся в разных условиях естественного освещения;

7) использование систем автоматизированного управления освещением;

8) постоянное внимание служб эксплуатации к вопросам экономии электроэнергии, в частности к своевременной чистке ОП, светопросмов, к окраске и очистке отражающих поверхностей в помещении;

9) максимальная удельная мощность ОУ не должна превышать значений, допустимых нормами [58] (см. разделы 7 и 20).

Более подробно проблемы энергосбережения изложены в разделе 20.

14.2. АДМИНИСТРАТИВНЫЕ ЗДАНИЯ

В административных зданиях (АЗ) размещаются организации и учреждения управления, проектно-конструкторские и общественные организации, а также финансовые, страховые, почтовые и др. подобные учреждения. Приведенные ниже рекомендации можно использовать также при освещении конторских помещений, имеющих на каждом предприятии и в каждой фирме. Проектно-конструкторские организации (ПКО) включают проектные и проектно-исследовательские организации строительства, а также конструкторские и проектно-конструкторские организации науки и научного обслуживания. Рекомендации по их освещению могут быть использованы и при проектировании помещений конструкторских бюро заводов и научных институтов.

Строительно-планировочная характеристика основных помещений. Административные здания и ПКО имеют различную этажность (от 1–2 до 20–30) и в основном каркасно-панельную конструкцию. Наиболее распространенный шаг колонн 6 × 6 м, высота рабочих помещений, как правило, 3 м [14.5–14.7]. Необходимость обеспечения в рабочих помещениях высоких уровней естественной освещенности и принятая конструктивная сетка колонн диктуют основные планировочные решения: размещение основных помещений вдоль фасадов со светопроемами и небольшая глубина помещений (4,4–6 м). Глубина может увеличиваться до 12–15 м при двустороннем естественном освещении. Нормами [44] в ряде помещений ОЗ, в том числе и в рабочих помещениях АЗ и ПКО, разрешено устройство совмещенного освещения, при котором допускается снижение расчетных значений КЕО до уровня 60% нормируемых. При совмещенном освещении глубина заложения помещений может быть повышена. В зависимости от назначения АЗ и ПКО площадь рабочих помещений, приходящаяся на одного сотрудника, составляет 4–7 м². Ширина коридоров 1,2–2,4 м. В АЗ наиболее распространены небольшие рабочие помещения, рассчитанные на 3–10

сотрудников, в ПКО чаще устраиваются рабочие зоны площадью 70–150 м² и более. В зданиях с улучшенной строительной отделкой часто выполняются подвесные акустические потолки различных конструкций. Технические помещения обычно располагаются в подвальном этаже, высота которого обычно 3,6–6 м. При количестве сотрудников до 250 чел. предусматривают буфеты, свыше 250 чел. — столовые и буфеты.

В основном перегородки в помещениях АЗ и ПКО блочные, выполняемые из разных строительных материалов, применяются также кирпичные оппукатуренные перегородки. В АЗ часто возникает потребность в частичной перепланировке помещений. Такие работы существенно упрощаются при использовании специальных трансформируемых перегородок, внутри которых при изготовлении целесообразно размещать закладные элементы трубных электропроводок, облегчающие в дальнейшем установку в перегородках выключателей и розеток. Перспективно использование сборных гипсовых перегородок с металлическим каркасом. Вертикальные стойки, к которым прикрепляются плиты, устанавливаются через 0,4–0,6 м и имеют отверстия размером 40 × 40 мм через каждые 0,3 м, в которых могут прокладываться сети освещения.

Помещения АЗ условно разделяются на три группы: основные, вспомогательные и обслуживающие. К основным относят рабочие комнаты и залы, кабинеты руководителей; к вспомогательным — залы совещаний, конференц-залы, выставочные и демонстрационные залы, помещения для посетителей, комнаты общественных организаций, технические архивы и библиотеки, копировально-множительные службы, помещения САПР, экспедиции и др.; к обслуживающим относят вестибюли, гардеробы, коридоры, санитарные узлы, лестницы, помещения общественного питания, мастерские, кладовые, помещения обслуживающего персонала и технические (ТП, электрощитовые, холодильные станции, венткамеры и др.). Непосредственно к зданиям могут прилежать небольшие участки городских территорий, эксплуатируемых персоналом АЗ, оборудованные установками НО.

Относящиеся к основным помещениям офисы подразделяются на секционные, групповые, комбинированные, представительские и офисы с одним большим помещением (рис. 14.5–14.7 из [14.10]).

Секционные офисы (рис. 14.5) стандартные, с жесткой структурой помещения и комфортные, с подвижными переносными стенами — наиболее распространенные помещения для работы малых групп сотрудников до 6 человек. Секционный офис наиболее распространен для выполнения работ, требующих концентрации внимания, а также для ведения конфиденциальных разговоров с коллегами и клиентами. Эти помещения целесообразны для двух-трех сотрудников, работающих в команде и постоянно обменивающихся информацией.

Групповые офисы для постоянных рабочих групп численностью обычно от 8 до 20 человек (рис. 14.6) бывают обычно с открытой структурой и умеренным делением перегородками или стеллажами и с закрытой структурой (системы «помещения в помещении»). Та-



а)



б)



в)

Рис. 14.5. Секционный офис



а)



Рис. 14.7. Представительский офис

Примеры распределения яркости на поверхностях в ОУ конференц-залов показаны на рис. 14.8.

Условия среды для характерных помещений АЗ и ПКО указаны в табл. 14.2.



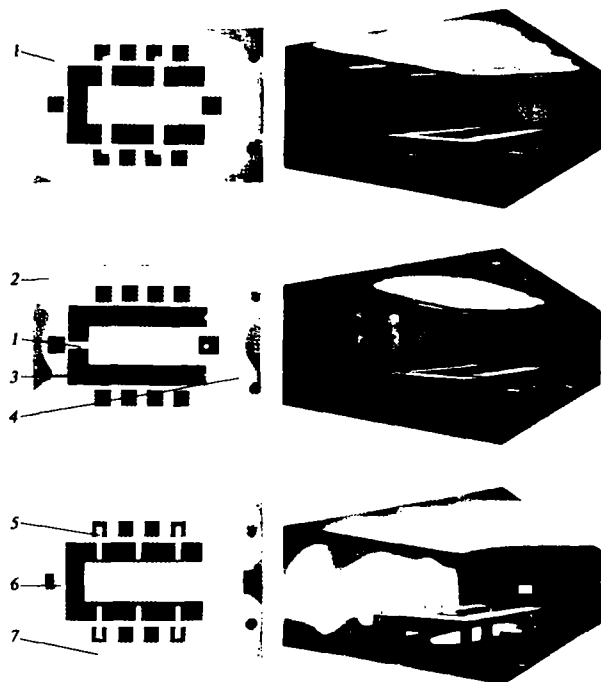
б)

Рис. 14.6. Групповой офис

кие помещения, как правило, освещаются линиями светильников с ЛЛ, расположенными параллельно окнам, что исключает возникновения отраженной блескости на экранах ПК и на документах.

Комбинированный офис — сочетание секционных и групповых помещений — обеспечивает возможность открытого общения сотрудников одной команды с индивидуальной работой каждого ее члена.

Отдельные представительские офисы — помещения, отражающее сущность помещения и личность руководителя. Как правило состоит из трех зон: рабочего места, переговорной и презентационной зон (рис. 14.7).



Цветная шкала яркости



лк

Рис. 14.8. Варианты освещения конференц-залов (цветовая гамма иллюстрирует распределение яркости в поле зрения, каждому цвету соответствует определенный уровень освещенности поверхностей [14.44])

Нормы освещенности и качественные показатели, рекомендуемые для характерных помещений АЗ

Помещение	Разряд и подразряд зрительной работы	Плоскость нормирования освещенности (Г — горизонтальная, В — вертикальная), ее высота над полом, м	Освещенность рабочей поверхности, лк (от общего освещения)	Цилиндрическая освещенность, лк	Показатель дискомфорта, не более	Коэффициент пульсации, %, не более	Рекомендуемая группа ОП*	Условия среды
Кабинеты** и рабочие комнаты, проектные кабинеты	Б-1	Г, 0,8	300***	—	40	15	1, 2, 5	Нормальная
Проектные залы и комнаты, конструкторские, чертежные бюро	А-1	Г, 0,8	500***, *5	—	40	10	1, 2, 5	Нормальная
Машинописные бюро	А-2	Г, 0,8	400***	—	40	10	1, 2, 5	Нормальная
Канцелярии	А-1	Г, 0,8	300***	—	40	15	1, 2, 5	Нормальная
Помещения для посетителей экспедиции	Б-1	Г, 0,8	300	—	40	10	1, 2, 5	Нормальная
Помещения для светокопирования	Б-1	Г, 0,8	300*4	—	40	15	6	Класса II—IIIa
Помещения для микрофотографирования	Б-1	Г, 0,8	200	—	60	20	1, 2, 5	Нормальная
Помещения для электрографирования	Б-1	Г, 0,8	200*4, *6	—	60	20	6	Пыльная
Фотокомнаты	Б-1	Г, 0,8	200	—	60	20	1, 2, 5	Влажная
Помещения офсетной печати: редакционно-оформительское отделение отделение подготовки и изготовления печатных форм печатное отделение	Б-1	Г, 0,8	300***	—	40	10	1, 2, 5	Нормальная
	Б-1	Г, 0,8	200	—	60	20	1, 2, 5	Нормальная
	Б-1	Г, 0,8	300*4	—	40	15	1, 2, 5	Класса II—IIIa
Банковские и страховые учреждения (операционный зал, кредитная группа, кассовый зал, помещения для пересчета денег)	А-2	—	400	—	15	10	—	—
Архивы магнитных и бумажных носителей: на рабочих столах на стеллажах	В-1	Г, 0,8	400	—	40	10	1, 2, 5	Класса II—IIIa
		В, 1,0	200	—	—	10	1, 2, 5	
Бюро алгоритмизации, программирования, справочной информации	Г	Г, 0,8	300*8	—	40	15	1, 2, 5	Нормальная
Конференц-залы, залы заседания**	Г	Г, 0,8	300	75	60	20	2, 3, 5	Нормальная

Помещение	Разряд и подразряд зрительной работы	Плоскость нормирования освещенности (Г — горизонтальная, В — вертикальная), ее высота над полом, м	Освещенность рабочей поверхности, лк (от общего освещения)	Цилиндрическая освещенность, лк	Показатель дискомфорта, не более	Коэффициент пульсации, %, не более	Рекомендуемая группа ОП*	Условия среды
Выставочные залы**	Е	Г, 0,8	200	75	60	—	1, 2, 3, 5	Нормальная
Фойе, кулуары**	Е	Г, 0	150	50	90	—	2, 4, 5	Нормальная
Градостроительные, архитектурные советы	II	Г, 0	200	75	60	15	2, 3, 5	Нормальная
Лаборатории	A-2	Г, 0,8	400***	—	40	10	1, 2, 5	Нормальная
Макетные мастерские	IIIв	Г, 0,8	300*6	—	40	15	1, 2, 5	Класса II—IIIа
Кладовые канцпринадлежностей, бумаги, химикатов для копировально-множительных служб, пункты сбора и упаковки макулатуры	—	Г, 0	30*7	—	—	—	7	Класса II—IIIа

* По табл. 6.14.

** Возможно использование приемов архитектурного освещения.

*** Для местного освещения необходимо предусматривать розетки на напряжение 220 В.

*4 Для переносных ОП необходимо предусматривать розетки на напряжение 42 В.

*5 При оборудовании помещения кульманами следует вводить коэффициент 1,25, учитывая наклонное положение рабочей поверхности и ее затенение работающим.

*6 Следует вводить коэффициент запаса 1,8.

*7 Нормируемая освещенность приведена для ЛЛ, за исключением кладовых и пункта сбора макулатуры, где рекомендуются ЛН.

*8 В зоне установки чертежных и разметочных столов — 500 лк.

При комбинированном освещении уровень освещенности повышается на один разряд, а освещенность от общего освещения — снижается также на один разряд.

Характеристика зрительной работы. Основные и некоторые вспомогательные помещения (копировальные и машинописные бюро) относятся к помещениям I группы, где напряженная зрительная работа с фиксированной линией зрения выполняется в течение большей части рабочего дня. В рабочих помещениях АЗ основное рабочее место — рабочий стол размером $1,5 \times 0,75$ или $1,2 \times 0,6$ м, иногда с тумбой-приставкой. Рабочая поверхность горизонтальная, а при использовании ПК — наклонная ($10\text{--}30^\circ$ к горизонту). Объект различения обычно плоский, фон светлый или средний, контраст большой или средний. Зрительная работа характеризуется необходимостью длительной концентрации внимания на рабочей поверхности. Часть рабочего времени используется для переговоров с посетителями, что определяет целесообразность создания благоприятных условий восприятия лица, общей оценки интереса, т.е. работ, характерных для помещений II и III групп. Во время зрительной работы возможен перевод взгляда с рабочей поверхности на поверхность непосредственного окружения (стол) и иногда на периферические поверхности (стены, мебель). Кроме конструкторских и проектно-конструкторских рабочих помещений аналогичная зрительная работа выполняется в основных помещениях банков, почтовых отделений, сберкасс и др. Наиболее напряженной в АЗ является деятельность, связанная с работой на персональных компьютерах (ПК) (подробно см. § 10.9) [14.8, 14.9].

При работе за рабочим или чертежным столом возможно изменение линии зрения в пределах $0\text{--}55^\circ$ (к вертикали). Наиболее вероятная зона углов — $10\text{--}33^\circ$ с выраженным максимумом при угле 23° . При работе за кульманом линия зрения близка к горизонтальной.

Все более широко используются работы по конструированию и проектированию с помощью ПК с графопостроителями (с системой «автокад»). Освещение помещений для автоматизированного проектирования показано на рис. 14.9.

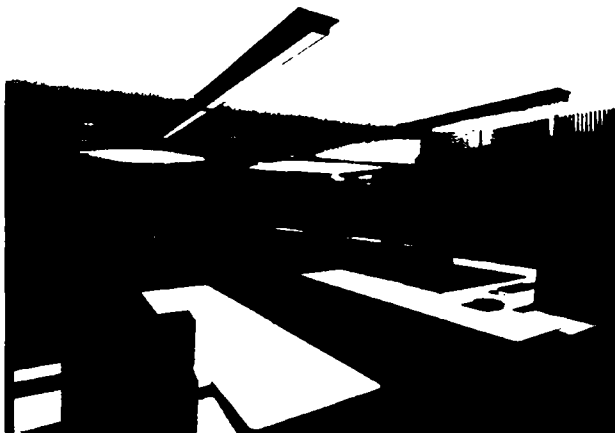


Рис. 14.9. Помещение для автоматизированного проектирования (конструирования) [14.10]

При работе с ПК отображение информации часто производится на экран монитора, занимающем в пространстве положение, близкое к вертикальному. При этом объект различения плоский, фон светлый, контраст большой, а наиболее вероятная зона углов направления линии зрения $70\text{--}50^\circ$.

Источники света. Для освещения помещений следует, как правило, предусматривать ЛЛ преимущественно типа Т5 — высокоэффективные, в комплекте с ЭПРА (см. раздел 3).

При использовании ЛЛ предпочтение отдается лампам с тепло-белым и нейтрально-белым цветом излучения. Нормами [44] рекомендуется применять ЛЛ другой цветности для следующих видов работ: для работ, связанных с контролем цвета, с очень высокими требованиями к цветоразличению (подбор красок для цветной печати группы 8xx и 9xx по EN).

Для акцентирующего и экспозиционного освещения находят применение зеркальные лампы с концентрированной и глубокой КСС, а также декоративные. Галогенные лампы накаливания используются для освещения конференц-залов и выставочных залов.

Лампы накаливания используются в киноаппаратной, перемоточной, радиоузле, в технических помещениях без постоянного пребывания людей, в кладовых, на технических этажах и чердаках, в охлаждаемых камерах нищблоков и т.п. Допускается применение ЛН для обеспечения архитектурно-художественных требований в кабинетах руководителей, залах заседаний и совещаний, в фойе, выставочных залах, конференц-залах, вестибюлях.

Для освещения прилегающих к зданиям территорий рекомендуется использовать лампы КЛЛ. Металлогалогенные лампы мощностью $70\text{--}250$ Вт с высоким индексом цветопередачи найдут применение во вспомогательных (обслуживающих), а по мере совершенствования ламп — и в основных помещениях. Для освещения фойе, вестибюлей, конференц-залов и т.д. возможно совместное использование МГЛ и НЛВД.

Осветительные приборы. Для освещения основных помещений могут использоваться подвесные, потолочные встраиваемые ОП с ЛЛ прямого, преимущественно прямого и рассеянного света с КСС в нижней полусфере типов Д или Г (см. коллаж рис. 14.3). Для рабочих помещений наиболее целесообразно применять ОП с двухлучевой КСС в поперечной плоскости (по типу полуширокой Л) с максимальным значением силы света под углами $35\text{--}45^\circ$ и ограничением светового потока в зонах углов $0\text{--}30^\circ$ (для снижения отраженной блескости) и $60\text{--}90^\circ$ (для снижения прямой блескости). В табл. 14.2 приведены рекомендуемые группы ОП с ЛЛ для освещения основных помещений АЗ и ПКО. При выборе ОП для рабочих помещений рекомендуется использовать также ОП, часть светового потока которых направлена в верхнюю полусферу. Если позволяет высота помещения (3 м и более), целесообразно использовать подвесные ОП преимущественно прямого или рассеянного света. При выборе потолочных ОП следует отдавать предпочтение ОП, имеющим небольшую долю светового потока в верхнюю полусферу

(10–15%) со светорассеивающими боковинами (с выступающими из потолка рассеивателями).

Способы освещения основных помещений АЗ и ПКО (рис. 14.10). Общепринятой для освещения рабочих помещений является система общего равномерного освещения. Нормы предусматривают возможность применения системы комбинированного освещения, для чего регламентировано устройство в рабочих помещениях сети розеток для ОП местного освещения. Однако, как показывает практика, нормируемая освещенность оказывается вполне достаточной для работы, и розетки не используются по прямому назначению.

Серьезные помехи выполнению зрительной работы оказывает прямая и отраженная блескость. Отраженная блескость опасна не только при высоких значениях яр-

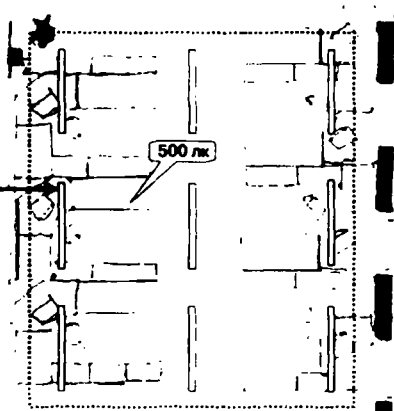
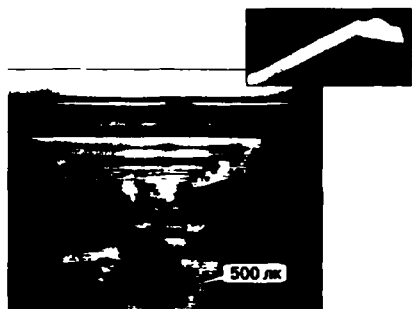
кости рабочей поверхности, вызывающей ослепленность, но и при небольших ее значениях. В этом случае отраженная блескость не приводит к дискомфорту и иногда непосредственно не ощущается работающим, а вызывает появление вуалирующей пелены, снижающей контраст между объектом и фоном, вследствие чего уменьшается видимость, снижается производительность труда, повышается зрительное утомление.

Важнейшим условием, обеспечивающим зрительный комфорт, является ограничение прямой и отраженной блескости. Ограничение прямой блескости достигается соблюдением регламентируемых значений показателя дискомфорта. Особенно внимательно следует относиться к проверке соответствия ОУ требованиям норм по ограничению слепящего действия ОП в помещениях

с низкими коэффициентами отражения стен (ниже 0,35) и расчетной плоскости (0,1). Даже при освещении ОП с косинусным светораспределением в подобных условиях не всегда обеспечиваются нормативные значения показателя дискомфорта.

Для ограничения отраженной блескости в ОУ должно обеспечиваться наиболее благоприятное направление светового потока ОП на рабочие места. Это достигается соответствующим взаимным расположением ОП и рабочих мест. Зеркальная составляющая отраженного от рабочей поверхности прямого светового потока ОП не должна совпадать с линией зрения работающих. Осветительные приборы следует размещать рядами, сплошными или с разрывами, не превышающими половины расчетной высоты. Если рабочие места установлены рядами так, что линия зрения работающих направлена вдоль длинной стороны помещения, то ряды ОП с КСС типов Л, Д или Г желательно размещать вдоль линии зрения над проходами (рис. 14.11, а). Если линия зрения всех работающих направлена в одну сторону, то полного исключения прямой и отраженной блескости можно добиться, размещая ОП одностороннего светораспределения рядами, перпендикулярными линии зрения, так, чтобы световой поток падал на рабочие места из-за головы работающего (рис. 14.11, б). При отсутствии специальных ОП для этой цели можно использовать ОП прямого света с экранирующими решетками и КСС типа Г,

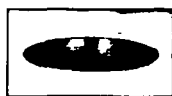
Уровень общего освещения – 500 лк;
коэффициент неравномерности > 0,7



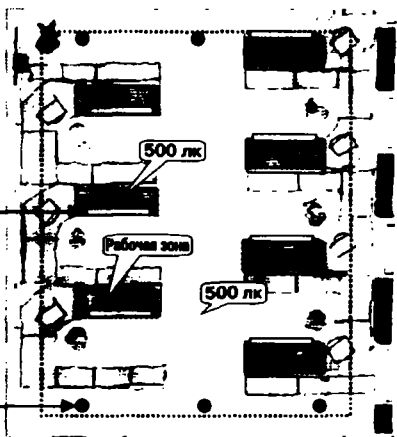
Удельная мощность 10–15 Вт/м²

а)

Рабочая зона – 500 лк;
коэффициент неравномерности ≥ 0,7.
Общее освещение окружающего пространства – 300 лк;
коэффициент неравномерности 0,5



Экономия 50%



Удельная мощность 6–10 Вт/м²

б)

Рис. 14.10. Характерные способы освещения офисов [14.11]

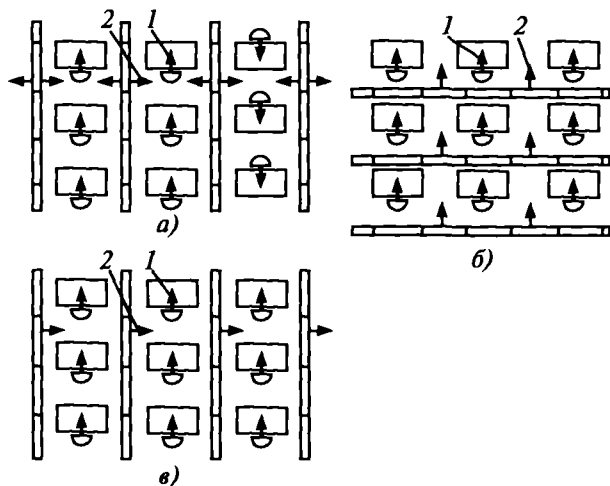


Рис. 14.11. Взаимное расположение рабочих мест

устанавливая их в наклонном положении под углами 30° . Ряд ОП над последними рабочими местами следует размещать вплотную к стене помещения. Решетка, перекрывающая выходное отверстие ОП, снизит его слепящее действие для тех, кто кратковременно изменяет направление линии зрения (например, проходит между рядами). Может быть рекомендован и другой способ размещения ОП одностороннего светораспределения — вдоль линии зрения, параллельно окнам (рис. 14.11, в). В этом случае ОП ориентируются так, чтобы их осевая сила света была направлена под углами $35\text{--}40^\circ$ к вертикали с левой стороны от работающего. Защитой от отраженной блескости экранов мониторов является как их покрытие разного рода неблужущими пленками, так и ограничение значений силы света ОП под углами, близкими к горизонтали (подробнее см. § 10.9). На рис. 14.12 показано мешающее влияние отраженной блескости при работе с компьютером и при чтении документов [14.10].

В рабочих помещениях придется большое значение повышению тенесоборазующего действия света (моделирующего эффекта), при котором улучшается восприятие объемных предметов, и в частности человеческого лица. Моделирующий эффект значительно усиливается, если обеспечено преимущественное направление света под углами $15\text{--}60^\circ$ к вертикали.

Сложным для освещения является такое размещение рабочих мест, когда линии зрения направлены в разные стороны помещения. В этом случае добиться ограничения прямой и отраженной блескости можно, используя отраженное освещение и свестиные потолки. Однако подобные приемы освещения, выполненные с помощью ЛЛ, могут допускаться лишь в редких случаях.

Как следует из приведенных рекомендаций, все они, как правило, касаются ОУ в помещениях с конкретной расстановкой рабочих мест. Однако в процессе эксплуатации здания вероятно возможность перепланировки рабочих мест. При отсутствии данных о расстановке мебели следует учитывать, что ее наиболее возможное и целесообразное размещение выполняется исходя из ориентации линии зрения вдоль стены с ок-



а)



б)

Рис. 14.12. Дискомфортное влияние отраженной блескости на дисплеях ПК (а) и при чтении документов (б)

нами, так чтобы естественный свет падал с левой стороны; можно также использовать рекомендации [14.11]. В качестве основного способа освещения рабочих залов используется размещение ОП вдоль стен с окнами. Лучшее качество ОУ обеспечивается ОП рассеянного света. Для освещения небольших рабочих комнат АЗ применяется также система общего равномерного освещения с направлением рядов или длинных сторон ОП вдоль линии зрения.

На рис. 14.6 и 14.10 проиллюстрированы характерные способы освещения групповых офисов.

Отношения расстояния между рядами ОП к высоте их установки над освещаемой поверхностью, обеспечивающие необходимую равномерность освещения, рекомендуется принимать следующими: $0,8\text{--}1,2$ — для ОП с экранирующими решетками; $1,2\text{--}1,4$ — для прочих исполнений ОП. Расстояние от крайних рядов до стен не должно превышать $0,25\text{--}0,3$ расстояния между соседними рядами.

Для компенсации снижения освещенности у концов рядов ОП (особенно если длина ряда более чем втрое превышает расчетную высоту) могут быть использованы следующие приемы: удвоение числа ОП на концах рядов на расстоянии не менее $0,5h$; установка дополнительных ОП у торцевых стен между рядами; если ОП размещены не сплошными рядами, то по мере приближения к концу ряда разрывы между ОП постепенно уменьшаются, а на концах рядов ОП устанавливаются без разрывов.

Для освещения кабинетов могут использоваться системы общего равномерного и локализованного освещения. Локализованное освещение выполняется над

рабочим столом руководителя и столом для совещаний, при этом ОП группируются в светящиеся панели разнообразной формы. В кабинетах руководителей можно использовать приемы архитектурного освещения — световые карнизы, светящиеся потолки и панели, люстры, ОП акцентированного освещения настенной экспозиции, встраиваемые ОП с КЛЛ и т.п. Возможны различные сочетания указанных устройств.

В залах при наличии подвесных потолков выполняется общее равномерное освещение встраиваемыми ОП.

Нормируемые качественные и количественные показатели освещения приведены в табл. 14.2 и относятся к рабочей зоне, в которой выполняется зрительная задача. Типичные рабочие зоны в офисе: письменный стол, переговорные столы и места, вертикальные поверхности стен с рисунками, картами, диаграммами и др., вертикальные поверхности шкафов и полок, поверхности оргтехники. По нормам EN [82] рабочая зона «письменный стол» состоит из рабочей поверхности — «области зрительной задачи» O_{33} (поверхности самого стола) и из поверхности пользователя (ПП), имеющей условные размеры 1600×1800 мм. В пределах O_{33} коэффициент неравномерности освещенности (по EN E_{\min} / E_{cp}) должен быть не менее 0,7. На практике это означает, что в любой точке O_{33} освещенность должна быть не ниже 350 лк, если требуется $E_{\text{cp}} = 500$ лк. В окружающей O_{33} области — полюсе шириной не менее 0,5 м вокруг O_{33} — не решаются основные зрительные задачи и освещенность $E_{\text{пп}}$ может быть меньшей (см. табл. 14.3). В рассматриваемом случае $E_{\text{пп}} \geq 150$ лк.

Таблица 14.3

Взаимосвязь $E_{\text{н}}$ и $E_{\text{пп}}$

$E_{\text{н}}$, лк	$E_{\text{пп}}$, лк
≥ 750	500
500	300
300	200
≤ 200	$E_{\text{норм}}$
Равномерность $\geq 0,7$	Равномерность $\geq 0,5$

В зонах с дисплеями ПК хорошего или среднего качества (с антибликовыми покрытиями) средняя яркость светильников в пределах углов $\gamma \geq 65^\circ$ с вертикалью не должна превышать 1000 кд/м^2 , а при дисплеях низкого качества старых ПК — не более 200 кд/м^2 . Дискомфортное влияние отраженной блескости показано на рис. 14.12.

Освещение помещений, предназначенных для пребывания большого количества людей, таких как залы совещаний, конференц-залы, фойе, вестибюли может выполняться теми же ОП, что и рабочие помещения или коридоры. Оно может также решаться средствами архитектурного освещения.

Распределение яркости в поле зрения. Экспериментально установлено, что благоприятные зрительные ус-

ловия обеспечиваются при соотношении яркостей поверхностей, попадающих в поле зрения, равном 3:1, вполне допустимой является неравномерность 10:1. Распределение яркости в поле зрения считается удовлетворительным, если соотношение яркостей рабочей поверхности, непосредственного окружения (поверхности стола, на фоне которой рассматривается объект различения) и периферии (стоящая рядом мебель, стены, а для невысоких помещений большой площади — и участков потолка) составляет 10:3:1. Если рабочей поверхностью является лист бумаги с $\rho = 0,8$, то при освещенности 300–500 лк его яркость будет $75\text{--}130 \text{ кд/м}^2$ и, следовательно, яркость стен и потолка должна быть не менее $7,5\text{--}13 \text{ кд/м}^2$. Однако для создания комфортных условий необходимо также учитывать психологические факторы. Субъективно предпочтительными яркостями стен и потолка, обеспечивающими зрительный комфорт, являются уровни яркости стен $30\text{--}90 \text{ кд/м}^2$ (при освещенности рабочей поверхности 300–500 лк), меньшему значению яркости соответствует $\rho = 0,2 \div 0,3$, а большему $\rho = 0,5$ и потолка $270\text{--}300 \text{ кд/м}^2$ (при обычных сочетаниях ρ ограждающих поверхностей помещения).

Оптимальной для рабочих помещений является окраска потолка в белый цвет (побелка, окраска водоэмульсионной краской) с $\rho = 0,7\text{--}0,8$. Подвесные потолки из минераловатных и гипсовых плит, плитки «акмигран» также имеют высокий коэффициент отражения (0,55–0,65). Рекомендуется светлая окраска стен слабонасыщенного цветового тона («теплого» для помещений, ориентированных на север и восток, и «холодного» — на юг и запад) с $\rho = 0,4 \div 0,5$ и светлые мебель и полы с $\rho = 0,25 \div 0,4$. Не следует использовать полированную рабочую мебель, зеркальная поверхность которой отражает световой поток ОП (смотри пример на рис. 14.2). Если отделка помещения заранее не известна, при расчетах можно пользоваться соотношением ρ потолка, стен и пола, равным 0,7:0,5:0,3.

В табл. 14.4 и табл. 14.5 приведены минимальные защитные углы светильников при различных значениях их яркости (по EN).

Таблица 14.4

Минимальные защитные углы светильников

Яркость светильника, кд/м^2	γ_{\min} , град
200 ... 50	15
50–500	20
>500	30

Значения UGR для основных рабочих помещений (по EN) должны быть не более 19, для вспомогательных и представительских — 22 или 25 (см. раздел 7).

Из архитектурных аспектов освещения АЗ [14.9–14.13] следует указать на предпочтение, отдаваемое архитекторами встраиваемым и потолочным ОП. Подвесные ОП, по их мнению, вносят излишнее беспокойство в рабочее помещение, дробя его на отдельные световые

Таблица 14.5

Расчетные значения яркости стен и потолка рабочих помещений ($\rho_{\text{пот}} = 0,7$, $\rho_{\text{ст}} = 0,3$)

Размеры помещений, м	Класс светораспределения ОП с ЛЛ	Освещенность рабочей поверхности, лк	Яркость, кд/м ²	
			потолка	стен
6 × 6	П	300	58	70
6 × 6		500	87	90
6 × 12		300	51	65
6 × 12		500	85	108
6 × 6	Р	300	137	63
6 × 6		500	228	97
6 × 12		300	120	58
6 × 12		500	189	91

объемы. Вместе с тем, за последние годы непрерывно расширяется область применения подвесных светильников преимущественно отраженного и полностью отраженного света. Такие приборы создают мягкое, бесцветное освещение и обеспечивают практически полное исключение блескости. Рекомендуется использовать в АЗ ограниченное число типов ОП (один-два) для рабочих помещений и части вспомогательных (залы совещаний, вестибюли, коридоры), различное сочетание которых позволяет в зависимости от назначения помещений создавать разнообразные приемы освещения и подчеркивать лаконичность и выдержанность стиля учреждения. Световое решение кабинетов руководителей, конференц-залов, залов совещаний допускает ограниченное использование декоративных приемов и средств архитектурного освещения. Приемы архитектурного освещения рекомендуются для вестибюлей и фойе. Необходимо также обращать внимание на создание вечернего вида здания, для чего в основных помещениях, просматриваемых через окна, рекомендуется использовать одинаковые приемы освещения.

В связи с массовостью административных и проектно-конструкторских зданий проблема обеспечения высокой энергоэффективности их осветительных установок имеет большое экономическое значение. Решение этой проблемы обеспечивается соблюдением норм энергоэффективности, применением наиболее современных светотехнических изделий и систем автоматического управления осветительными установками. Московскими нормами [58] устанавливаются не только уровни освещенности, но и максимально допустимые удельные установленные мощности p_{max} (Вт/м²) — табл. 14.6.

Системы освещения на основе ЛЛ типа Т5 с ЭПРА не только создают более комфортные условия, но и обеспечивают не менее 40% экономии электроэнергии при замене ламп Т8 и особенно Т12 с ЭмПРА в светильниках старой конструкции. Потенциальная экономия может возрасти до 70% при условии одновременного применения автоматического регулирования (см. раздел 4). Цифровые управляющие системы, базирующиеся на стандарте DALI (Digital Addressable Lighting Interface), позволяют индивидуально регулировать

Таблица 14.6

Нормирование максимальных удельных мощностей для зданий управления АЗ, ПКО, НИИ, банков, библиотек

Наименование помещений	$E_{\text{норм}}$	p_{max} , Вт/м ²
Кабинеты, рабочие комнаты, офисы и т.п.	400	25
Конструкторские бюро, проектные залы	500	35
Помещения для работы с дисплеями, видеотерминалами	400	25
Читальные залы, помещения для ксерокопирования	400	25
Лаборатории	500	35
Операционные кассовые залы банков	500	35

ЭПРА в ОП и управлять ОУ в зависимости от уровня естественной освещенности.

14.3. ЛЕЧЕБНО-ПРОФИЛАКТИЧЕСКИЕ УЧРЕЖДЕНИЯ

Лечебно-профилактические учреждения (ЛПУ) включают амбулаторно-поликлинические, больничные, диагностические, санитарно-гигиенические и другие учреждения, обеспечивающие всестороннюю квалифицированную помощь населению.

Создание высококачественных ОУ в ЛПУ является весьма ответственной задачей, причем эти установки имеют свои специфические особенности, обусловленные функциональным назначением помещений, длительностью искусственного освещения, психологическим влиянием яркостей различных поверхностей на больных, врачей, сложностью зрительной работы медицинского персонала и т.д. [14.13–14.16].

По характеру зрительной работы основные помещения ЛПУ относятся к I и II группам [14.13]. К I группе относятся лечебно-диагностические и функциональные помещения: операционные, родовые, кабинеты ангиографии, лапароскопии, бронхоскопии, реанимационные залы и т.д., ко II — лаборатории, кабинеты врачей-специалистов, налатные отделения и т.д.

Искусственное освещение помещений ЛПУ должно обеспечивать хорошее качество освещения с соблюдением требуемых уровней освещенности, соблюдение санитарно-гигиенических требований, экономичность. Удовлетворение требований, предъявляемых к освещению помещений ЛПУ, осуществляется большой гаммой общепромышленных и специальных ОП.

В табл. 14.7 приведены группы основных характерных помещений ЛПУ, нормируемые освещенности и качественные параметры ОУ в соответствии с [56]. При этом необходимо иметь в виду, что общие нормы СНиП [44] не распространяются на лечебно-профиллак-

Таблица 14.7

Нормы освещенности, значения нормируемых качественных показателей для основных помещений ЛПУ

Помещения	Рабочая поверхность и плоскость нормирования освещенности (Г — горизонтальная, В — вертикальная) и высота плоскости над полом	Разряд и подразряд зрительной работы по СНиП 23-05-95*	Искусственное освещение				
			Освещенность, лк		Показатель дискомфорта М, не более	Коэффициент пульсации освещенности К _п , % не более	
			при комбинированном освещении	при общем освещении			всего
Операционные, помещения гипотермии	Г, 0,8	А-2	—	—	400	40	10
Родовая, диализационная, реанимационные залы, перевязочные	Г, 0,8	А-1	—	—	500	40	10
Кабинет ангиографии	Г, 0,8	А-1	—	—	500	40	10
Предоперационная	Г, 0,8	Б-1	—	—	300	40	15
Монтажные аппаратов искусственного кровообращения, искусственной почки и т.д.	Г, 0,8	IIa	—	—	400	20 ¹	10
Помещение хранения крови	Г, 0,8	VIIa	—	—	200	40 ¹	20
Помещение хранения и приготовления гипса	Г, 0,8	VIIб	—	—	75	—	—
Кабинеты хирургов, акушеров, гинекологов, травматологов, педиатров, инфекционистов, дерматологов, аллергологов, стоматологов; смотровые, приемно-смотровые боксы	Г, 0,8	А-1	—	—	500	40	10
Кабинеты врачей в амбулаторно-поликлинических учреждениях, не приведенные выше	Г, 0,8	Б-1	—	—	300	40	15
Темные комнаты офтальмологов	Г, 0,8	—	—	—	20 ³	—	10
Кабинеты функциональной диагностики, эндоскопические кабинеты	Г, 0,8	Б-1	—	—	300	40	15
Фотарии, кабинеты физиотерапии, массажа, лечебной физкультуры	Г, 0,8	Б-2	—	—	200	60	20
Кабинеты:							
рентгенобронхоскопии и лапароскопии	Г, 0,8	Б-2	—	—	200	60	20
гидротерапии, лечебные ванны, душевые залы	Г, 0,8	Б-2	—	—	200	60	20
трудотерапии	Г, 0,8	Б-1	—	—	300	40	15
для лечения сном	Г, 0,8	Ж-1	—	—	50	—	—
Рентгенодиагностический кабинет	Г, 0,8	—	—	—	50 ³	—	—
Кабинеты флюорографии, рентгеновских снимков	Г, 0,8	Б-2	—	—	200	60	20
Кабинеты для раздевания	Г, 0,8	Ж-1	—	—	75	—	—
Радиометрическая, дозиметрическая, кабинеты терапии излучениями высоких энергий, сканерная	Г, 0,8	Б-1	—	—	300	40	15
Кабина гамма-терапии	Г, 0,8	А-2	—	—	400	40	10
Конденсаторная	Г, 0,8	VIIIб	—	—	75	—	—
Хранилище радиоактивных веществ	Г, 0,8	VI ⁴	—	—	150	40 ¹	20
Помещение хранения радиоактивных выделений и выдержки радиоактивных отходов	Г, 0,8	VIIIб	—	—	75	—	—
Палаты: детских отделений, для новорожденных; интенсивной терапии, послеоперационные, палаты матери и ребенка	Пол	Б-2	—	—	200	25	15
Прочие палаты и спальни	Пол	В-2	—	—	100	25	15
Присмные фильтры и боксы	Пол	В-2	—	—	100	25	15
Помещения приема, выдачи и регистрации анализов	Г, 0,8	Б-2	—	—	200	60	20
Лаборатории проведения анализов, кабинеты серологических исследований, колориметрические	Г, 0,8	А-1	—	—	500	40	10
Препараторские, лаборантские общеклинических, гематологических, биохимических, бактериологических, гистологических и цитологических лабораторий, кабинеты взятия проб, цитологических исследований, коагулографии, фотометрии, весовая, термостатная, средоварная, помещение для окраски проб, центрифужная	Г, 0,8	Б-1	—	—	300	40	15

Помещения	Рабочая поверхность и плоскость нормирования освещенности (Г — горизонтальная, В — вертикальная) и высота плоскости над полом	Разряд и подразряд зрительной работы по СНиП 23-05-95*	Искусственное освещение				
			Освещенность, лк		Показатель дискомфорта М, не более	Коэффициент пульсации освещенности, К _п , % не более	
			при комбинированном освещении	при общем освещении			всего
Комната хранения реактивов и лаборантской посуды	Г, 0,8	VIIIб ²	—	—	100	—	—
Кабинеты с кабинетами зондирования и взятия желудочного сока	Г, 0,8	Б-2	—	—	200	60	20
Стеклодувная	Г, 0,8	VII	—	—	200	40 ^I	20
Помещение зубных техников, гипсовые полимеризационные	Г, 0,8	Ив	2000	200	500	20 ^I	10
Площадь для посетителей в зале обслуживания	Г, 0,8	Б-2	—	—	200	60	20
Рецептурный отдел, отделы ручной продажи, оптики, готовых лекарственных средств	Г, 0,8	Б-1	—	—	300	40	15
Ассистентская, асептическая, аналитическая, фасовочная, заготовочная концентратов и полуфабрикатов, контрольно-маркировочная	Г, 0,8	А-1	600	400	500	40	10
Стерилизационная, мочечная	Г, 0,8	VI	—	—	200	40	20
Помещения хранения лекарственных и перевязочных средств, посуды	Г, 0,8	VIIIб ²	—	—	100	—	—
Помещение хранения кислот, дезинфекционных средств, горючих и легковоспламеняющихся жидкостей	Г, 0,8	VIIIб	—	—	75	—	—
Кладовая тары	Г, 0,8	VIIIв	—	—	50	—	—
Стерилизационная-автоклавная, помещение приема и хранения материалов	Г, 0,8	VI	—	—	200	40 ^I	20
Помещение полготовки инструментов	Г, 0,8	VI	—	—	200	40 ^I	20
Помещение ремонта и заточки инструментов	Г, 0,8	IIIв	750	200	300	40 ^I	15
Помещение дезинфекционных камер	Г, 0,8	VIIIб	—	—	75	—	—
Помещение для хранения дезинфекционных средств	Г, 0,8	VIIIв	—	—	50	—	—
Секционная	Г, 0,8	А-2	—	—	400	40	10
Предсекционная, фиксационная	Г, 0,8	Б-2	—	—	200	60	20
Помещение для одевания трупов, траурный зал	Г, 0,8	Б-2	—	—	200	60	20
Помещения хранения трупов, похоронных принадлежностей	Г, 0,8	VIIIв	—	—	50	—	—
Диспетчерские, помещения хранения и выдачи дезинфекционных средств	Г, 0,8	Б-2	—	—	200	60	20
Помещение хранения биологических, лечебных, диагностических препаратов, реактивов, дезинфицирующих средств, кислот	Г, 0,8	В-2	—	—	100	60	20
Помещения хранения дезинфекционной аппаратуры, инвентаря, белья	Г, 0,8	VIIIб ²	—	—	100	—	—
Комнаты гельминтологов, энтомологов, вирусологов, бактериологов, лаборантские, химические, биохимические лаборатории, серологические, боксы, препаратские	Г, 0,8	А-2	—	—	400	40	10
Радиологические, радиохимические, помещения спектроскопии и полярографии, лаборатории акустики, вибрации, электромагнитных полей, физиологии труда, средоварочные с боксами, термитные	Г, 0,8	Б-1	—	—	300	40	15
Мочечные	Г, 0,8	VI ²	—	—	300	40 ^I	20
Помещения взятия проб	Г, 0,8	Б-1	—	—	300	40	15
Компаты эпидемиологов, бактериологов, боксы серологических исследований особо опасных инфекций	Г, 0,8	А-1	—	—	500	40	10

Окончание табл. 14.7

Помещения	Рабочая поверхность и плоскость нормирования освещенности (Г — горизонтальная, В — вертикальная) и высота плоскости над полом	Разряд и подразряд зрительной работы по СНиП 23-05-95*	Искусственное освещение				
			Освещенность, лк		Показатель дискомфорта М, не более	Коэффициент пульсации освещенности, К _п , % не более	
			при комбинированном освещении	при общем освещении			
				всего	от общего		
Комнаты зоопаразитологов	Г, 0,8	Б-1	—	—	300	40	15
Биопробная, помещения хранения питательных сред, предбоксы	Г, 0,8	Б-2	—	—	200	60	20
Помещения дезкамер, стерильные цехи	Г, 0,8	VI	—	—	200	40 ¹	20
Помещения сжигания трупов животных и отходов	Г, 0,8	VIIIб	—	—	75	—	—
Виварий	Г, 0,8	А-2	—	—	200	40 ¹	20
Помещения для содержания животных	Г, 0,8	А-2	—	—	200	40 ¹	20
Диспетчерская	Г, 0,8	Б-1	—	—	300	40	15
Помещение радионоста	Г, 0,8	Б-2	—	—	200	60	20
Помещение хранения ящиков выездных бригад	Стеллажи, В, 1,0	VIIIб	—	—	75	—	—
Помещения текущего запаса медикаментов	Г, 0,8	Б-2	—	—	200	60	20
Комната выездных бригад	Г, 0,8	Б-2	—	—	200	60	20
Помещения фильтрации и разлива воды	Г, 0,8	Б-1	—	—	300	40	15
Помещения приготовления и фасовки продуктов	Г, 0,8	Б-1	—	—	300	40	15
Прием и хранение посуды, раздаточная	Г, 0,8	Б-2	—	—	200	60	20
Кабинеты, посты медицинских сестер	Г, 0,8	А-1	—	—	500	40	10
Комнаты дневного пребывания, бесед с врачом, кормления детей	Г, 0,8	Б-1	—	—	300	40	15
Аппаратная (пульт управления) рентгеновских, радиологических и прочих отделений, помещения мытья, стерилизации, сортировки и хранения, бельевые	Г, 0,8	Б-2	—	—	200	60	20
Регистратура	Г, 0,8	Б-2	—	—	200	60	20
Коридоры медицинских учреждений	Пол	Б-2	—	—	200	60	20
Помещения и места хранения переносной аппаратуры, каталок	Г, 0,8	Е	—	—	150	90	—
Веранды	Г, 0,8	VIIIб	—	—	75	—	—
		Б-2	—	—	100	25	15

¹ Приведен показатель ослепленности.

² Норма освещенности повышена вследствие повышенных санитарных требований.

³ Нормируемые значения установлены на основе опыта отраслевого нормирования.

⁴ Освещенность дана для ламп накаливания.

Примечания:

1. При дробном обозначении коэффициента пульсации, указанного в графе 8, в числителе приведена норма для местного освещения или одного общего освещения, а в знаменателе — для общего освещения в системе комбинированного.

2. Наличие нормируемых значений освещенности в графах обеих систем освещения указывает на возможность применения любой из этих систем. Предпочтительным является применение совмещенного освещения и системы комбинированного освещения.

3. Прочерки в таблице означают отсутствие предъявляемых требований.

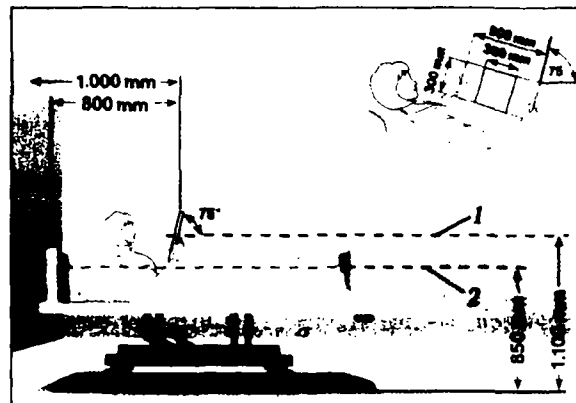


Рис. 14.13. Расположение больного в палате больницы: 1 — уровень глаз больного при чтении; 2 — при обследовании [14.16]

тические учреждения. Поэтому за основу табл. 14.7 приняты наиболее поздние нормы МГСН [56]. Значение показателя дискомфорта для помещений ЛПУ рекомендуется в зависимости от преимущественного направления линии зрения, которое составляет 45° и более к горизонту и относится к палатам (рис. 14.13) и смотровым врачевным кабинетам. Для остальных функциональных помещений преимущественная линия зрения направлена горизонтально или ниже горизонта. Типовые положения больного в кровати в палате больницы приведено на рис. 14.13.

Источники света. Для различных помещений ЛПУ применяются ОУ как с ЛЛ, так и с ЛН.

Наиболее прогрессивными являются ЛЛ. Общее освещение помещений следует, как правило, выполнять с помощью ЛЛ, преимущественно типа Т5. Осветительные приборы с ЛЛ должны быть укомплектованы ПРА с особо низким уровнем шума, в основном ЭПРА. К применению в ЛПУ рекомендуются следующие типы ЛЛ, обеспечивающие цветоразличение оттенков кожи, крови, слизистых оболочек людей в норме и патологии: ЛХЕ (865 нм EN), ЛЕ, ЛВЦ (954), ЛТБЦ (827). В редких случаях допускается применение ЛН.

При выборе ИС следует исходить из функционального назначения помещения ЛПУ. В помещениях, где не предъявляются требования к правильной цветопередаче (помещения для хранения, ремонта, архивные, бельевые, стерилизационные, автоклавные, санкомнаты, вестибюли, холлы, коридоры, административные и т.п.), рекомендуется использовать ЛЛ типа ЛБ. В помещениях, где требования к правильной цветопередаче повышены и работа медперсонала связана с оценкой тонких цветовых различий кожных покровов и слизистых оболочек больного (реанимационные залы, родовые, кабинеты хирургов, педиатров, инфекционистов, дерматовенерологов, стоматологов и т.п.), рекомендуются ЛЛ типов ЛЕ и ЛХЕ. Для освещения функциональных помещений больниц с диагностированием различных заболеваний, помещений восстановитель-

ного лечения следует применять ЛЛ типа ЛЕ. При выборе типа ЛЛ, а также при эксплуатации ОУ нельзя допускать установки ИС различных типов в одном помещении. При выборе ИС с учетом их цветности следует учитывать характер зрительной работы с цветными объектами. Тип ЛЛ для помещений ЛПУ следует выбирать по табл. 14.7 и 14.8 в зависимости от нормируемой освещенности и цветности излучения.

Специальная медицинская светотехническая аппаратура укомплектовывается изготовителями соответствующими ИС. В УФ-облучателях используются ИС типов ДРТ230, ДРТ1000, ВРМ-1, ЛЭЗО, ЛЭР40 (подробнее см. раздел 16).

Осветительные приборы. Освещение помещений ЛПУ осуществляется светотехническими изделиями, подразделяемыми на четыре группы:

- 1) ОП общего назначения (ОП для лечебно-диагностических помещений, палатных помещений, местного освещения);
- 2) медицинские ОП (стационарные ОП для освещения операционного поля, медицинские ОП местного освещения, медицинские осветители);
- 3) светолечебная аппаратура (УФ и тепловые облучатели);
- 4) бактерицидные облучатели.

Осветительные приборы общего освещения помещений ЛПУ преимущественно должны быть со сплошными закрытыми рассеивателями из молочного, опалового или матового стекла.

При выборе типа ОП необходимо учитывать его соответствие санитарно-гигиеническим требованиям (обтекаемость формы, гладкая поверхность, отсутствие выступающих поверхностей, способствующих скоплению пыли, наличие уплотнений, исключающих проникновение пыли внутрь ОП и ее оседание на внутренней поверхности рассеивателя). Кроме того, при выборе ОП следует обращать внимание на удобство обслуживания и эксплуатации.

Таблица 14.8

Требования к цветовым параметрам ЛЛ

Разряд зрительной работы	Освещенность, лк	Минимальный индекс цветопередачи, R_a	Цветовая температура $T_{ц}$, К	Рекомендуемый тип ИС
I	более 300	90	5000–6500	ЛХЕ, ЛДЦ, ЛДЦУФ
II	более 300	85	4000–6500	ЛЕ, ЛДЦ, ЛДЦУФ (ЛХЕ)*
III	более 300 150–300 менее 150	55	3500–6000	ЛБ (ЛХБ, ЛЕ)* ЛБ (ЛХБ, ЛЕ)* ЛБ (ЛН)
		55	3000–4500	
		55	2700–3500	
IV	более 500 300–500	55	3500–6500	ЛБ (ЛХБ, ЛЕ)* ЛБ (ЛХБ, ЛЕ)*
		55	3500 6000	
V	150–300 менее 500 150 и более	50	3000–4500	ЛБ (ЛХБ, ЛЕ)* ЛБ (ЛТБЦ, ЛН)* ЛБ (ЛЕ, ЛТБЦ, ЛН)*
		45	2700–3500	
		55	2700–4000	

* Менее эффективные типы ЛЛ.

Примечание: соответствие обозначений ЛЛ стандарту EN [82] ЛБ – 535; ЛЕ, ЛДЦ – 954; ЛБЦТ – 827; ЛЕЦ – 840.

Помещения, подлежащие оборудованию бактерицидными облучателями для обеззараживания воздуха, в зависимости от категории, необходимого уровня бактерицидной эффективности ($J_{\text{БК}}$) и объемной дозы (экспозиции) (H_v) для *Staphylococcus aureus*

Категория	Типы помещений	Нормы микробной обсемененности КОЕ в 1 м ³		$J_{\text{БК}}$, %	H_v , Дж/м ³
		Общая микрофлора	<i>S. aureus</i>	не менее	Значения справочные
I	Операционные, предоперационные, родильные, стерильные зоны ЦСО, детские палаты роддомов, палаты для недоношенных и травмированных детей	Не выше 500	Не должно быть	99,9	385
II	Перевязочные, комнаты стерилизации и пастеризации грудного молока, палаты и отделения иммуноослабленных больных, палаты реанимационных отделений, помещения нестерильных зон ЦСО, бактериологические и вирусологические лаборатории, станции переливания крови, фармацевтические цеха	Не выше 1000	Не более 4	99,0	256
III	Палаты, кабинеты и др. помещения ЛПУ (не включенные в I и II категории)	Не нормируется	Не нормируется	95,0	167

Осветительные приборы с ЛЛ для помещений ЛПУ должны быть укомплектованы ПРА с особо низким уровнем шума, преимущественно ЭПРА.

Осветительные приборы групп II и III предусматриваются в технологической части проекта, в электротехнической части проекта обеспечивается только возможность их подключения к электрической сети. В проектах освещения ряда помещений, кроме того, предусматривается установка стационарных приборов бактерицидного облучения, выполняемого настенными или потолочными облучателями с лампами типа БУВ.

Виды и системы освещения. В больницах предусматривается рабочее, ночное дежурное, аварийное и эвакуационное освещение.

Система общего равномерного освещения применяется в кабинетах врачей, процедурных, регистратуре и др. Общее локализованное освещение используется в помещениях, где требуются повышенные уровни освещенности отдельных участков, например в палатах, кабинетах и т.д. Комбинированное освещение выполняется в процедурных, смотровых, кабинетах врачей и т.п.

Настенные ОП монтируются на высоте 1,7 м от пола.

В кабинетах врачей предусматриваются розетки для включения настольных ламп, устанавливаемых на высоте 0,9 м от пола.

Аварийное освещение следует предусматривать в операционных блоках, реанимационных, родовых отделениях, перевязочных, манипуляционных, процедурных, приемных отделениях, пунктах неотложной помощи, лабораториях срочных анализов, на постах дежурных медицинских сестер, в тепловых пунктах, насосных, электропитовых. Эвакуационное освещение необходимо в палатных отделениях, в коридорах, вестибюлях, на лестничных клетках.

Общее и АЭО осуществляется стационарными ОП с ЛЛ и ЛН.

Световые указатели с надписью «Выход» следует устанавливать у входов на лестничные клетки и у выходов с первого этажа и из подвалов. Световые указатели направления выходов следует предусматривать в коридорах (подробно см. раздел 10).

Управление ОП ЭО и световыми указателями в ЛПУ осуществляется из помещения пожарного поста, в стационарах — с поста дежурной медсестры.

Требования к облучательным УФ-установкам для основных помещений ЛПУ изложены в [14.17] и приведены в табл. 14.9.

Палатные отделения. Основными требованиями к освещению палат являются создание благоприятных условий медицинскому персоналу для осуществления лечебного процесса и обеспечение достаточных удобств для больных.

В палатах предусматриваются общее освещение, местное освещение у кровати, ночное дежурное освещение (рис. 14.14).

Общее освещение должно создавать необходимый для ухода и наблюдения за больными уровень освещенности. Осветительные приборы общего освещения размещаются преимущественно вне поля зрения больных. Распределение яркости по потолку должно быть равномерным, без теней и светлых пятен, т.е. в палатах должна быть создана спокойная световая среда.

Местное освещение должно обеспечивать необходимый уровень освещенности зоны кровати больного для осмотра, выполнения различных процедур и занятий больного (рис. 14.15).

Ночное дежурное освещение обеспечивает возможность наблюдения за больными ночью и ориентации медперсонала и больных в палатах. Световые приборы ночного освещения не должны создавать высоких яркостей на полу, и их световой поток не должен попадать в глаза лежащих больных.



а)



б)



в)



г)

Рис. 14.14. Освещение палаты больницы [14.16]: а — общее отраженное освещение; б — полное комбинированное освещение; в — местное освещение; г — дежурное (ночное) освещение

Для подключения переносных ОП у коек больных предусматривается установка розеток на стене на высоте 0,9 м от пола или в корпусе настенного комбинированного ОП.

Возможны следующие варианты освещения палат:

1) высокое качество освещения обеспечивают специальные комбинированные настенные ОП (рис. 14.14 и 14.15). Верхний свет, направленный на потолок и отраженный от него, создает общее освещение палаты, нижний — освещает кровать и проходы в палате. Источниками света должны быть преимущественно ЛЛ. Настенные ОП устанавливаются над изголовьем каждой кровати на высоте 1,6–1,8 м от пола. Наиболее совершенные устройства этого назначения — «световая консоль» (рис. 14.16).

На рис. 14.14 показан вид одной и той же палаты на 2 места при различных режимах работы осветительной консоли: отраженное освещение, полное общее освещение, освещение для чтения и ночное дежурное. На

рис. 14.15 показан вид различных индивидуальных ОП, решающих те же задачи, а также распределение яркости в четырехместной палате с настенными комбинированными светильниками отраженного (ЛЛ2×36) и прямого (ЛЛ1×36) света.

2) общее освещение выполняется потолочными ОП, местное — настольными, установленными на тумбочках больных. Этот вариант до сих пор широко применяется, хотя является устаревшим.

При использовании в палатах потолочных ОП, они должны иметь ограничение яркости в пределах углов 45–110° для исключения дискомфортного воздействия на лежащего больного.

Для ночного дежурного освещения палат (кроме палат для психиатрических больных и детских отделений) применяются специальные встраиваемые ОП с КЛЛ или ГЛН, которые располагаются около двери в специальных нишах на высоте 0,3 м от пола.



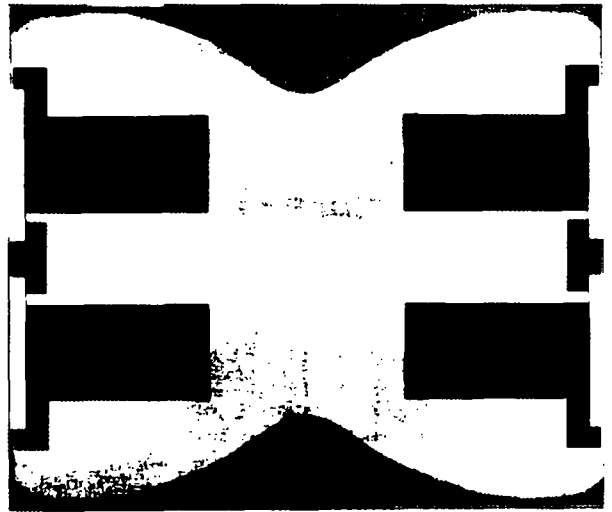
а)



б)

В детских, послеоперационных, реанимационных, интенсивной терапии и психиатрических палатах предусматривается только общее освещение потолочными ОП со сплошными рассеивателями.

В современных палатах больниц широко распространена комбинированная система инженерных коммуникаций (общее и местное освещение, радио, теле-



Цветная шкала яркости



низкая

высокая

Черно-белая шкала освещения



лк

в)

Рис. 14.15. Режимы освещения палаты больницы. Освещение палаты индивидуальными комбинированными ОП (а, б) и распределение яркости в четырехместной палате (в) [14.16, 14.44]

фон, вызов персонала, подача медицинских газов) в «световых консолях» (рис. 14.15, 14.16).

Управление общим освещением палат осуществляется выключателями, устанавливаемыми со стороны коридоров у входа в палату. Выключатели местного освещения размещаются у койки больного. В детских и послеоперационных палатах управление общим освещением

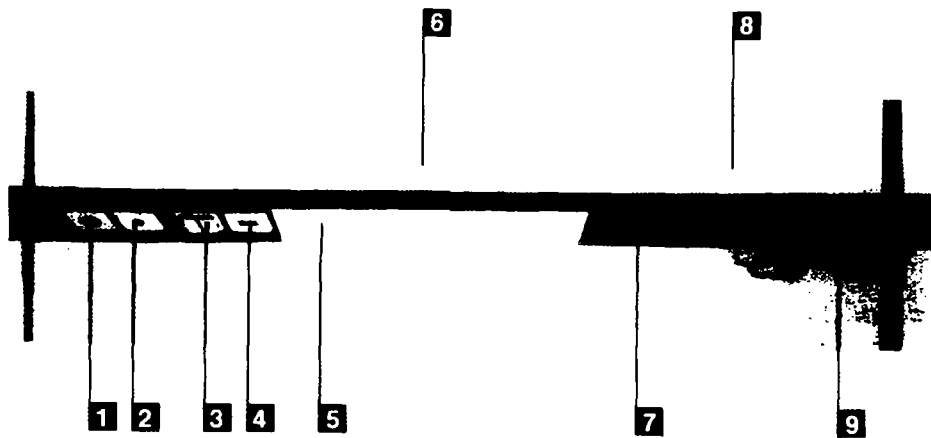


Рис. 14.16. Инженерные системы «световой консоли»: 1 — штепсельная розетка (ШР) с защитным контактом; 2 — слаботочная ШР; 3 — выключатель общего и местного освещения; 4 — телефонная ШР; 5 — неслепящий ОП для чтения; 6 — светильник общего отраженного освещения; 7 — блок безопасных ШР с защитным контактом на 230 В; 8 — ночной неслепящий ОП отраженного света; 9 — вентили для медицинских газов

щением производится с поста дежурной сестры или из коридора. Управление ОП ночного дежурного освещения для всех палат производится одним выключателем с поста дежурной медицинской сестры. Выключатели общего и ночного освещения палат психиатрических отделений, следует устанавливать в коридорах в специальных нишах с запирающимися дверями. Питание ОП ночного освещения должно производиться от сети АО напряжением 220 В (рис. 14.17).

Операционный блок. Помещения операционного блока (операционные, предоперационные, реанимационные залы, наркозные кабинеты и т.д.) относятся к помещениям с повышенными требованиями к качеству освещения. Общее освещение операционных осуществляется ОП брызгозащищенного исполнения со сплошными закрытыми рассеивателями из опалового, молочного или матового стекла. ОП, как правило, располагаются по периметру операционной или равномерно на потолке (рис. 14.18).

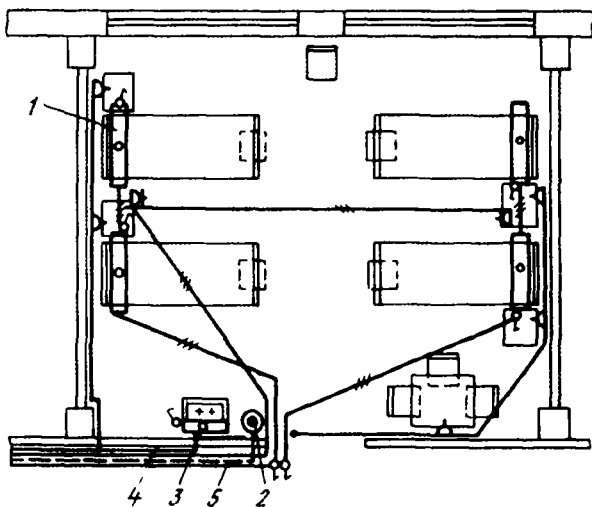
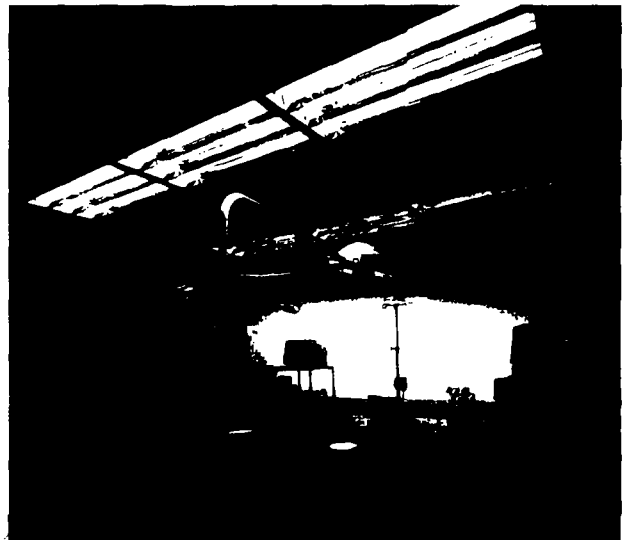


Рис. 14.17. Проект освещения четырехместной палаты: 1 — ОП типа ЛБЛ; 2 — ОП ночного освещения; 3 — ОП типа ЛПО или НБО; 4 — групповая линия от щитка рабочего освещения; 5 — то же от щитка ЭО



Рис. 14.18. Освещение операционной

Общее освещение помещений операционного блока (ОБ) рекомендуется выполнять потолочными ОП с ЛЛ, полностью закрытыми, плотно примыкающими к потолку. При выполнении работ, требующих большого зрительного и нервного напряжения, над операционным столом дополнительно устанавливается местный ОП. Уровень освещенности операционного поля должен быть в пределах 3000–5000 лк, в отдельных случаях — до 10000 лк. Освещение операционного поля осуществляется специальными бестеневыми многорефлекторными ОП, причем освещенность может регулироваться в зависимости от характера проводимых операций. Кроме того, в операционных предусматривается возможность подключения при необходимости дополнительных специальных местных передвижных ОП. Передвижные ОП подключаются к операционным щиткам, устанавливаемым в нишах стен по обе стороны операционного стола. Стационарные и передвижные специальные медицинские ОП, предназначенные для освещения операционного поля, создают уровни освещенности от 10000 до 50000 лк. Указанные ОП являются частью медицинской техники, и их выбор должен осуществляться специалистами медицинского оборудования.

Управление общим освещением операционных помещений, бестеневыми ОП осуществляется выключателями, устанавливаемыми в предоперационных помещениях. Пульты управления бестеневыми ОП устанавливаются в аппаратных.

Питание ОП общего освещения, бестеневых ОП, бактерицидных облучателей осуществляется от групповых распределительных щитов операционных блоков через устройства АВР.

Для обеззараживания воздуха в помещениях операционных блоков, родильных отделений, инфекционных помещений и т.д. устанавливаются бактерицидные облучатели. Требования к облучению ОБ приведены в табл. 14.8.

Особое внимание должно быть обращено на организацию аварийного освещения ОБ, являющегося группой помещений самой высокой надежности, которые должны иметь резервное автономное питание.

Кабинеты врачей-специалистов. Кабинеты хирургов, травматологов, педиатров, дерматовенерологов, акушеров-гинекологов, аллергологов, инфекционистов, стоматологов, предназначенные для клинического осмотра, лечения, обследования, требуют больших уровней общего освещения и высокого качества цветопередачи.

Для общего освещения кабинетов хирургов, травматологов, невропатологов, стоматологов, врачей-лаборантов рекомендуется устанавливать ОП, полностью закрытые, со сплошными рассеивателями как с ЛЛ, так и с ЛН. Все кабинеты оборудуются розетками для подключения настольных ОП или специальных ИС (например, в кабинетах врачей бактериологических лабораторий предусматривается дополнительное местное освещение для облегчения распознавания очертаний бактериологических культур). Общее освещение кабинетов рентгенодиагностики, рентгенобронхоскопии, лапароскопии выполняется закрытыми ОП только с

ЛН. Для создания благоприятных условий при диагностике, лечении, исследованиях в офтальмологии требуются полное или частичное затемнение помещений, а также правильная цветопередача, поэтому в офтальмологических кабинетах выполняется два вида освещения — общее и специальное. Общее реализуется ОП только с ЛН, специальное — медицинской светотехнической аппаратурой, являющейся одним из видов медицинской техники.

Стоматологические кабинеты кроме общего освещения оборудуются специальными настенными стоматологическими ОП в основном с ГЛН для освещения полости рта, которые также являются частью медицинской техники.

Рентгенодиагностические кабинеты снабжаются кроме общего, адаптационным и местным освещением. Адаптационное освещение выполняется установкой в центре кабинета ОП с ЛН мощностью 60 Вт, управляемого врачом (рис. 14.19). Входы в кабинеты снабжаются световыми указателями с надписью «Не входить», устанавливаемыми над входными дверями и управляемыми врачом.

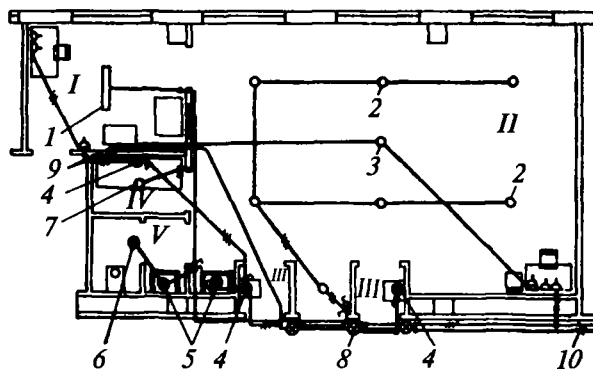


Рис. 14.19. Освещение рентгеновского кабинета ($26,3 \text{ Вт/м}^2$): I — комната управления; II — процедурная; III — кабина; IV — кабина с кушеткой; V — фотолаборатория; 1 — ОП типа ЛПО; 2 и 3 — ОП типа НПО; 4 — ОП с ЛН, установленный на высоте 1,8 м от пола; 5 — ОП типа НБО, установленный на высоте 1,8 м от пола; 6 — ОП типа НБО, установленный на высоте 2,2 м от пола; 7 — ОП типа НПО; 8 — световой указатель; 9 — линии от щита управления; 10 — групповые линии

Комнаты управления и раздевалки оборудуются общим люминесцентным освещением. В раздевалках дополнительно устанавливаются настенные ОП с КЛЛ или ЛН.

На рис. 14.20 приведен проект освещения кабинета физиотерапии.

В кабинетах, лечебно-диагностических и функциональных помещениях ЛПУ управление общим освещением должно предусматривать включение рядов ОП, расположенных параллельно окнам или световым проемам. Освещение помещений дневного пребывания больных, административных помещений, коридоров, вестибюлей, лестничных клеток и т.д. обеспечивается

Нормы освещенности территорий ЛПУ

Освещаемый участок	Средняя горизонтальная освещенность на уровне земли, лк		Отношение максимальной освещенности к средней при вечернем освещении, не более
	при вечернем освещении	при ночном и аварийном освещении	
Въезд на территорию, зона приемного отделения	6	2	5:1
Проезд и проход к лечебным корпусам, пожарный проезд	4	0,5	5:1
Службно-хозяйственный проезд	2	0,2	10:1
Прогулочная дорожка и площадка	4	—	5:1
Площадка зоны отдыха	6	0,2	5:1

14.4. ШКОЛЫ И ДОШКОЛЬНЫЕ УЧРЕЖДЕНИЯ

Проблемы воспитания, образования, культурного и физического развития и подготовки к трудовой деятельности подрастающего поколения заслуживают самого пристального внимания.

Вместе с чисто функциональными задачами искусственное освещение многих помещений школьных зданий должно способствовать повышению архитектурно-художественной выразительности интерьера и эстетическому воспитанию молодого поколения.

Специальными исследованиями установлено ослабление зрения школьников от класса к классу, прежде всего — появление и развитие близорукости. Установлено также, что понижение остроты зрения от первого к пятому уроку наблюдается у 13% учащихся с нормальным зрением и у 30% учащихся, страдающих близорукостью, которые утомляются значительно быстрее, чем школьники с нормальным зрением, причем этот процесс усугубляется при пониженной освещенности. Не останавливаясь здесь детально на многих причинах развития близорукости и других нарушениях зрения, которые излагаются в специальной литературе, в частности отметим лишь необходимость профилактики зрительных расстройств в школьном возрасте, в которой серьезную роль играет правильно спроектированное и эксплуатируемое искусственное освещение, наряду с другими санитарно-гигиеническими факторами [14.18—14.19]. Особенно большое значение для охраны зрения детей имеет световой режим, поэтому школьные здания и учреждения следует сооружать так, чтобы было обеспечено высококачественное естественное и искусственное освещение всех помещений. По данным некоторых исследователей, оптимальные для остроты зрения уровни освещенности при люминесцентном освещении лежат в пределах 1000—1200 лк, но начиная с освещенности 500—600 лк при дальнейшем повышении уровня освещенности вплоть до оптимального зрительные функции возрастают относительно незначительно. Отсюда вытекает насущная необходимость обеспечить правильную постановку проектирования и эксплуатации устройств освещения школ и детских учреждений.

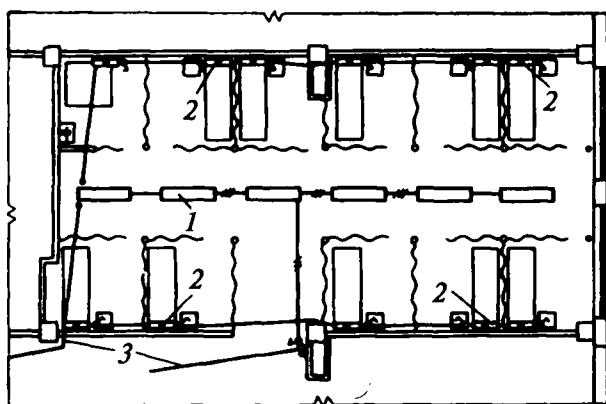


Рис. 14.20. Проект освещения кабинета физиотерапии (5,4 Вт/м²): 1 — ОП типа ЛПО; 2 — тот же, установленный на высоте 1,8 м от пола; 3 — групповая линия

исключительно потолочными или встраиваемыми ОП с ЛЛ, устанавливаемыми индивидуально или в светящиеся линии. В ночное время уровень освещенности коридоров следует уменьшать путем отключения части ОП.

Наружное освещение. Территория ЛПУ должна быть оборудована стационарными установками НО, обеспечивающими уровни освещенности, соответствующие требованиям, приведенным в табл. 14.10.

Прямой свет от ОП НО не должен попадать в окна палат и лечебных кабинетов.

Питание ОП предусматривается от щита НО, устанавливаемого в электрощитовой ТП или в здании. Питающие и распределительные сети выполняются, как правило, кабельными линиями. Управление НО осуществляется дистанционно из вестибюля главного корпуса, с проходных, с диспетчерского пульта или автоматически. Независимо от наличия дистанционного управления должно предусматриваться отключение НО непосредственно с территории ЛПУ. В ночное время следует предусматривать возможность отключения не более половины ОП, при этом не допускается отключение двух рядом расположенных ОП.

Могут быть отмечены некоторые общие тенденции в проектировании и осуществлении ОУ современных школьных зданий. Во-первых, они заключаются в стремлении увеличить уровень освещенности, особенно в таких помещениях, как классы, кабинеты, лаборатории, некоторые виды мастерских, о чем уже упоминалось выше. Во-вторых, повсеместно осуществляется внедрение люминесцентного освещения, которое позволяет получить высокие уровни освещенности и требуемое его качество без перерасхода электрической энергии. В-третьих, широко применяется общее освещение большинства школьных помещений. Однако в ряде помещений, таких как лаборатории, кабинеты домоводства, некоторые виды мастерских и т.д. целесообразно использовать общую равномерную (в некоторых случаях локализованную) и комбинированную системы освещения, которые позволяют повышать до необходимых пределов освещенность рабочих поверхностей. В-четвертых, серьезное внимание уделяется качественным характеристикам освещения, соблюдению требований к комфорту освещения, отсутствию пульсации светового потока, которые нормируются для ряда помещений. Важным новым обстоятельством является все расширяющаяся компьютеризация учебного процесса, повышающая зрительные нагрузки на учащихся.

Вопросы рационального освещения в детских учреждениях не менее важны, чем в учебных зданиях, поскольку в них длительное время находятся дети с еще не окрепшим организмом, выполняющие определенную зрительную работу при играх, рисовании, лепке, вышивании, во время учебных занятий и т.д.

Нормы освещенности и качественные показатели ОУ. Основные требования к ОУ школ и дошкольных учреждений указаны в СНиП и МГСН [44, 58], где нормируются количественные и качественные характеристики ОУ (табл. 14.11 из МГСН). Так, кроме наименьших значений горизонтальной освещенности для основных помещений нормируются значения показателя дискомфорта, коэффициента пульсации освещенности и для некоторых — цилиндрическая освещенность.

Приведенные в табл. 14.11 нормируемые значения количественных и качественных характеристик являются обязательными для любых ОУ, однако необходимо при проектировании учитывать некоторые другие важные характеристики для обеспечения нормальных условий выполнения учебного и воспитательного процессов в рассматриваемых зданиях.

Пожалуй, наиболее важным из них следует считать распределение яркостей между объектом различения и поверхностями, на которые может быть обращен взгляд учащегося, преподавателя и т.п.

Нормируемые в табл. 14.11 значения освещенности относятся к рабочей зоне, в которой выполняется зрительная задача. По нормам EN [82] рабочая зона (поверхность парты, учебной доски) состоит из «области зрительной задачи» (ОЗЗ), т.е. самой этой поверхности, и из «поверхности пользователя» (ПП), окружающей ОЗЗ полосы, шириной не менее 0,5 м. Соотношение нормируемой E_{II} в ОЗЗ и E_{III} на поверхности пользователя должно соответствовать табл. 14.3.

В зонах с дисплеями ПК хорошего и среднего качества (с антибликовыми покрытиями) средняя яркость светильников в пределах углов $\gamma \geq 65^\circ$ с вертикально (рис. 14.12) не должна превышать 1000 кл/м^2 , а при наличии старых ПК с дисплеями низкого качества — не более 200 кл/м^2 (подробнее см. § 10.9).

Минимальные защитные углы светильников с различными значениями яркости (по EN) должны соответствовать требованиям, приведенным в табл. 14.4.

Для основных помещений школ европейские нормы регламентируются $UGR = 19$ (см. раздел 7). Для помещений с временным пребыванием людей (коридоры, лестницы, гардеробные и т.п.) габаритные яркости ОП не нормируются. Многочисленными исследованиями установлено, что наиболее целесообразные соотношения яркостей между книгой, тетрадь и окружающими предметами достигаются при коэффициентах отражения потолка около 0,8, стен — 0,5, пола, парт, классной доски — 0,3.

В условиях помещений, где проходит учебный процесс, действие отраженной блескости приобретает доминирующее значение. Устранение отраженной блескости осуществляется при локализованном и местном освещении путем такого расположения ОП, при котором зеркально отраженные поверхностью лучи не попадают в глаза учащегося. При общем освещении отраженная блескость снижается при достаточной яркости стен и потолка либо при освещении светящими потолками. Показано, что ОП со специальным светораспределением позволяют резко снизить отраженную блескость и увеличить видимость. Эффективными признаны ОП, у которых в зоне от 0 до 30° доля светового потока к световому потоку в нижнюю полусферу составляет менее 35%.

Наконец, отметим важное значение правильного тенесоборазования. Действительно, во многих случаях для учащихся важно хорошо различать лицо преподавателя, даже движение его губ, особенно на уроках иностранного языка. Тенесоборазующие свойства ОУ зависят от многих факторов, прежде всего от соотношения прямой и диффузной составляющих светового потока, падающего на рельефный предмет и близлежащие участки фона, от светораспределения ОП и их размещения, а также от соотношения размеров и отражающих свойств потолка, стен и пола. Как показали выполненные исследования, для оценки тенесоборазующих свойств ОУ можно пользоваться показателем контрастности освещения, равным отношению горизонтальной освещенности к цилиндрической.

Различимость рельефных объектов улучшается с повышением контрастности и достигает необходимого уровня при показателе контрастности, равном 2,5. При этом отношение яркости потолка к яркости стен должно быть не менее 3,5, однако это соотношение не должно быть более 10 во избежание дискомфорта.

Системы и виды освещения. В основных помещениях зданий школ и дошкольных учреждений, как правило, применяется система общего освещения. К таким помещениям относятся классы, учебные кабинеты, аудитории, рекреации, актовые и спортивные залы, плава-

Таблица 14.11

Нормируемые светотехнические характеристики

Помещения	Рабочая поверхность и плоскость нормирования освещенности (Г — горизонтальная, В — вертикальная) и высота плоскости над полом	Разряд и подразряд зрительной работы	Искусственное освещение				
			Освещенность рабочих поверхностей, лк		Показатель дискомфорта, не более	Коэффициент пульсации освещенности, %, не более	
			при комбинированном освещении	при общем освещении			
всего	от общего						
Учреждения общего образования, начального и высшего специального образования							
Классные комнаты, аудитории, учебные кабинеты, лаборатории общеобразовательных школ, школ-интернатов, среднеспециальных и профессионально-технических учреждений	В, 1,5 на середине доски	А-1	—	500	—	—	10
	Г, 0,8 на рабочих столах и партах	А-2	—	400	—	40	10
Аудитории, учебные кабинеты, лаборатории в техникумах и высших учебных заведениях	Г, 0,8 на рабочих столах и партах	А-2	—	400	—	40	10
Кабинеты информатики и вычислительной техники	В, 1,0 (на экране дисплея)	Б-2	—	200	—	—	—
	Г, 0,8 на рабочих столах и партах	А-2	500/300	400	—	15	10
Кабинеты технического черчения и рисования	В на доске	А-1	—	500	—	40	10
	Г, 0,8 на рабочих столах и партах	А-1	—	500	—	40	10
Мастерские по обработке металлов и древесины	Г, 0,8 на верстаках и рабочих столах	IIIб	1000/200	300	—	40 ¹	15
Кабинеты обслуживающих видов труда для девочек	Г, 0,8	А-2	—	400	—	40	10
	Пол	Б-2	—	200	—	60	20
Спортивные залы	В на уровне 2,0 м от пола с обеих сторон по продольной оси помещения	—	—	75	—	—	—
Крытые бассейны	Г поверхность воды	В-1	—	150	—	60	20
Актовые залы, киноаудитории	Пол	Д	—	200	75	90	—
Эстрады актовых залов	В, 1,5	Г	—	300	—	—	—
Кабинеты и комнаты преподавателей	Г, 0,8	Б-1	—	300	—	40	15
Рекреации	Пол	Е	—	150	—	90	—
Детские дошкольные учреждения							
Присынные	Пол	Б-2	—	200	—	25	15
Раздевалочные	Пол	Б-2	—	200	—	60	15
Групповые, игровые, столовые, комнаты музыкальных и гимнастических занятий	Пол	А-2	—	400	—	15	10
Спальные	Пол	В-2	—	150	—	25	15
Изоляторы, комнаты для заболевших детей	Пол	Б-2	—	200	—	25	15

¹ Приведен показатель ослепленности

Примечания.

- Наличие нормируемых значений освещенности в графах обеих систем искусственного освещения указывает на возможность применения одной из этих систем.
- При дробном обозначении освещенности, приведенной в графе 4 таблицы, в числителе указана норма освещенности от общего и местного освещения на рабочем месте, а в знаменателе — освещенность от общего освещения по помещению.
- Более подробные таблицы нормируемых значений показателей освещения приводятся в СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 и в отраслевых нормах.

тельные бассейны, обеденные залы пищеблоков, буфеты, вестибюли, гардеробные, игральные-столовые, спальни, раздевалки. Исключением является классная доска, для освещения которой устанавливаются специальные ОП.

Комбинированная система освещения применяется в кабинетах, комнатах директора и преподавателей, в мастерских по обработке металла и древесины, в кабинетах домоводства и других подобных помещениях.

В помещениях с крупным оборудованием, например в книгохранилищах, или в таких помещениях, где рабочие места расположены группами, сосредоточенными на отдельных участках, например в некоторых мастерских, иногда предусматривается локализованное освещение, позволяющее повысить освещенность на рабочей поверхности до 600–700 лк.

Рабочее освещение предусматривается во всех помещениях. Аварийное освещение устраивается в здравпунктах, электрощитовых, тепловых пунктах, бойлерных, на пожарных постах, в насосных, киноаппаратных, гардеробных с числом мест хранения 300 и более (в насосных, тепловых пунктах и бойлерных АО предусматривается только при постоянном пребывании дежурного персонала). Наименьшая освещенность в этих помещениях должна приниматься равной 5% освещенности, нормируемой для рабочего общего освещения, но не менее 2 лк, однако создавать освещенность более 30 лк при РЛ и 10 лк при ЛН можно лишь при наличии соответствующих обоснований.

Эвакуационное освещение в школах следует устраивать по основным проходам, в рекреациях, на лестничных клетках, в мастерских, гардеробных, актовых залах, обеденных и спортивных залах, плавательных бассейнах, вестибюлях и т.п. (подробнее см. раздел 10).

В актовых и обеденных залах и других помещениях, где могут одновременно находиться более 100 учащихся, должны устанавливаться световые указатели на выходах, присоединенные к сети ЭО.

Эвакуационное освещение должно обеспечивать освещенность на полу основных проходов и на ступеньках лестниц не менее 0,5 лк, и на поверхности воды ванн бассейнов для плавания — не менее 5 лк (подробнее см. § 10.8).

В классах, кабинетах ЭО не требуется.

Для дежурного освещения или для уборки коридоров, залов, вестибюлей и других подобных помещений выделяется часть ОП рабочего освещения, присоединяемых к отдельной групповой линии. Для этой цели можно также использовать ЭО. Во всех случаях ОП этого вида освещения следует по возможности удалять от оконных проемов. В зданиях детских яслей и садов ЭО должно устраиваться в групповых, игровых-столовых, приемных, раздевалках, коридорах, на лестничных клетках, а также в кухнях и стирально-разборочных независимо от числа детей, пребывающих в этих зданиях. Уровни освещенности для ЭО должны приниматься аналогично указанным для школьных зданий.

Освещенность, которая должна создаваться дежурным освещением, нормами не установлена и определя-

ется в зависимости от условий эксплуатации. Можно считать достаточной освещенность 30 лк при освещении ЛЛ и 10 лк — при ЛН. Аварийное и эвакуационное освещение, как правило, включено одновременно с рабочим, но допускается режим, при котором лампы АЭО включаются автоматически при погасании рабочего освещения.

Для аварийного и эвакуационного освещения могут использоваться ЛН, а также ЛЛ, но при условии, что температура в помещении будет не менее 10°C и напряжение на этих лампах будет не ниже 90% номинального.

В ряде районов страны, в частности в северных, должно применяться система компенсации ультрафиолетовой недостаточности путем использования эритемных облучателей, а также бактерицидное обеззараживание помещений: в учебных помещениях и спортивных залах общеобразовательных школ, в групповых комнатах и комнатах для музыкальных и гимнастических занятий детских садов-яслей.

В школьных классах, детских игровых комнатах, а также других помещениях с большим скоплением людей при длительном их пребывании должно быть предусмотрено оборудование УФ бактерицидных установок с соответствием с требованиями [14.17].

Источники света. В ОУ основных помещений школ в целях экономии электроэнергии и повышения уровня освещенности следует применять ЛЛ, преимущественно типа Т5 с ЭПРА. Во вспомогательных помещениях, таких как насосные, тепловые пункты, бойлерные, электрощитовые, технические подполья, целесообразно использовать КЛЛ, в отдельных случаях ЛН. В соответствии с архитектурным решением могут применяться ЛН для освещения актовых залов и эстрад.

Если отсутствуют специальные требования к цветопередаче, следует применять преимущественно ЛЛ типа ЛБ (группы цветности 535 по EN). При технической необходимости или по эстетическим соображениям в пределах одного помещения, например актового зала, вестибюля, можно применять ИС разных типов.

Для освещения школьных дворов и подъездов — лампы КЛЛ или РЛВД.

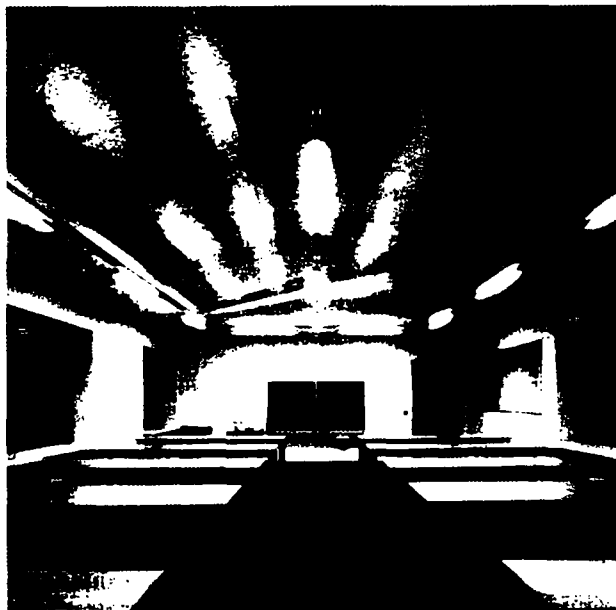
Выбор и размещение ОП. Для общего освещения учебных помещений школ рекомендуются ОП рассеянного и преимущественно прямого света с ЛЛ. Допускается использование ОП прямого света с экранирующими решетками, при условии, что потолок имеет коэффициент отражения не менее 0,8, стены — не менее 0,5 и пол — не менее 0,3 (рис. 14.21–14.23).

Осветительные приборы, устанавливаемые над рабочими местами в помещениях для приготовления и раздачи пищи (столы, плиты и т.п.), должны иметь снизу защитное стекло, а ОП с ЛЛ — защитное стекло, решетку или специальные патроны, конструкция которых исключает возможность выпадения ламп.

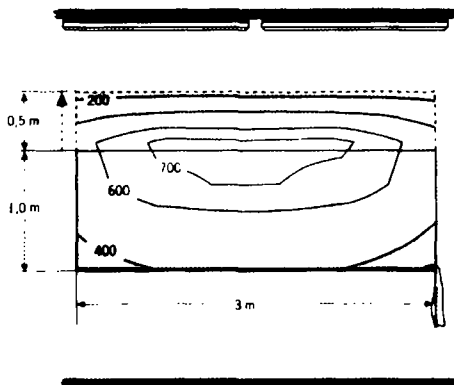
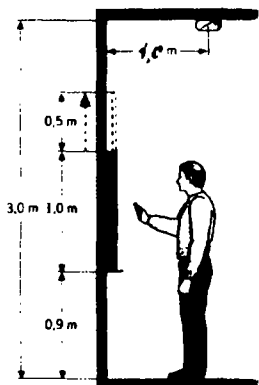
Для освещения классной доски при люминесцентном освещении рекомендуется применять ОП с ЛЛ с несимметричной (в поперечной плоскости) КСС, размещая их в линию параллельно плоскости доски (рис. 14.21, в). Можно освещать классную доску светильниками прямого света, устанавливаемыми наклон-



a)



б)

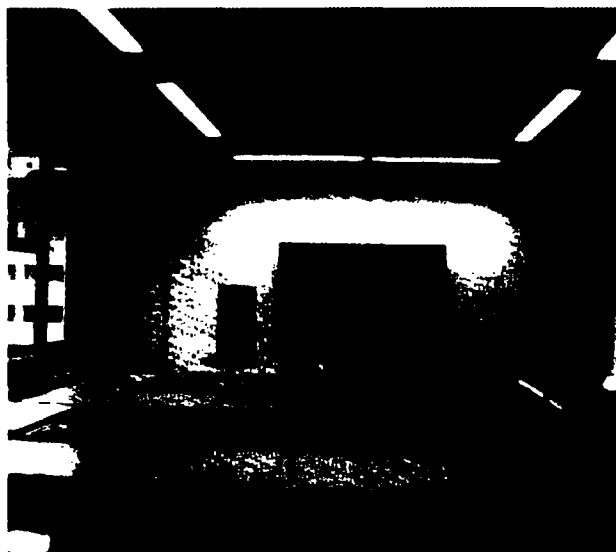


в)

Рис. 14.21. Освещение класса подвесными ОП с ЛЛ: а — стыкуемые в линию ЛЛ; б — на осветительном шинопроводе; в — освещение классной доски зеркальными несимметричными (в поперечной плоскости) ОП с ЛЛ [14.20]



a)



б)

Рис. 14.22. Освещение классов встраиваемыми ОП с ЛЛ: а — для больших групп учащихся; б — для малых групп



Рис. 14.23. Освещение компьютерного класса [14.23]

но. Высота расположения ОП выбирается с учетом установки киноэкрана. Для обеспечения равномерного освещения доски расстояния от плоскости доски до ОП определяются в зависимости от высоты его установки. Так, для высот 2,2–2,4; 2,6–2,8; 3–3,2; 3,4–3,6 м расстояния от доски составляют соответственно ориентировочно 0,55–0,7; 0,85–0,95; 1,0–1,25; 1,4–1,55 м.

В крытых бассейнах используются ОП прямого или преимущественного прямого света. Осветительные приборы, как правило, следует устанавливать на потолке или на стенах над боковыми проходами, что облегчает их обслуживание.

Спортивные залы освещаются ОП с ЛЛ, устанавливаемыми на потолок вдоль боковых стен или наклонно по боковым стенам. На торцевых стенах зала или на потолке около этих стен ОП устанавливать не следует. Осветительные приборы закрываются металлическими решетками для защиты от удара мячом. В бассейнах и спортзалах часто целесообразно устройство отраженного света (со стен на потолок).

Осветительные приборы общего освещения в учебных помещениях рекомендуется размещать рядами, параллельно длинной стороне помещения с окнами, с отдельным включением и отключением рядов. Ряды должны быть по возможности непрерывными или с разрывами, не превышающими примерно 0,5 расчетной высоты.

Освещение актов залов, как правило, выполняется рядами ОП с ЛЛ. Однако в зависимости от архитектурных решений возможно использование ОП с КЛЛ и ГЛН, встраиваемых в подвесные потолки, а также устройство отраженного света. Учитывая массовость строительства школьных зданий, в целях экономии электроэнергии следует избегать применения световых карнизов, ниш, полюс, куполов, люстр и других средств архитектурно-художественного освещения.

В обеденных залах применяется система общего освещения, однако допустимо устройство локализованного освещения, с тем чтобы освещенность на столах

была не менее 200 лк, а в проходах и других местах — не менее 50 лк при любых ИС.

Освещение эстрад или сцен, расположенных в актовом зале, следует, как правило, осуществлять софитами с зеркальными ЛН или ГЛН, размещаемыми над эстрадой или сценой, и ОП, устанавливаемыми за пределами эстрады или сцены на потолке (верхнее выносное освещение) и на боковых стенах (боковое выносное освещение). Если число мест в зале менее 400, можно применять только боковое выносное освещение. Вертикальная освещенность, создаваемая на эстраде ОП общего освещения и ОП выносного освещения при их совместной работе, должна быть не менее 300 лк на высоте 1,5 м в плоскости, удаленной от края эстрады на расстояние 1,5 м. Источники света ОП выносного освещения должны быть скрыты от глаз зрителей.

Освещение книгохранилищ школьных библиотек выполняется зеркальными ОП с ЛЛ, устанавливаемыми по оси каждого прохода между стеллажами; ОП не должны мешать доступу к книжным полкам.

В учебных мастерских, ряде лабораторий целесообразно использовать преимущественно отраженное или рассеянное общее освещение в сочетании с местным освещением на конкретном оборудовании.

В читальных залах применяется общее освещение рядами ОП с ЛЛ, кроме того, должны быть предусмотрены розетки для подключения переносных диапроекторов и компьютерных мультимедиа проекторов, на лабораторных столах (с подключением групповых линий к шитку преподавателя), и учительских и административно-конторских помещениях, в здравпунктах для подключения ОП местного освещения и медицинских приборов, в лингафонных кабинетах для подключения звукопроизводящей аппаратуры.

В учебных помещениях, спортивных залах общеобразовательных школ, расположенных в Заполярье, необходимо предусматривать устройство эритемных ОСУ.

В школьных зданиях, в первую очередь в учебных помещениях (классы, кабинеты, лаборатории), следует использовать ОП с ЛЛ, преимущественно типа Т5 с ЭПРА. То же относится к помещениям для учителей и педагогического совета (рис. 14.24). Использование ЭПРА в ОП с любыми типами ЛЛ в школах является совершенно необходимым как по экономическим, так и, прежде все-



Рис. 14.24. Освещение помещения для учителей и педагогического совета

го, по психо-физиологическим соображениям. Требование исключения или снижения до минимума вредного воздействия на детский организм пульсации светового потока ЛЛ при использовании их в схемах только с индуктивным ПРА полностью выполняется при ЭПРА в ОП. В противном случае необходимо вводить в каждое помещение с напряженной зрительной работой 3 фазы сети и осуществлять в обязательном порядке расфазировку приборов.

Важнейшим требованием является также обеспечение комфортного распределения яркости поверхностей в учебных помещениях. На рис. 14.25 показано распределение яркости в классах с различными системами освещения.

Для обслуживания ОП в актовом и спортивных залах, высота которых превышает 5 м, необходимо предусматривать в проектах передвижные телескопические вышки и выделять помещения для их хранения.

При выборе и размещении ОП в помещениях дошкольных учреждений (рис. 14.26) целесообразно учитывать также следующее.

1. Осветительные приборы, как правило, должны относиться к классу рассеянного света, в крайнем случае, преимущественного прямого света.

2. Предпочтительной следует считать КСС типа М, но допустимы Л и Д.

3. Желательна установка подвесных ОП (при небольшой высоте помещения устанавливают потолочные ОП).

4. В приемных желательна кроме общего освещения устанавливать дополнительный ОП местного освещения или применять общее локализованное освещение для лучшего осмотра детей.

5. Целесообразны следующие способы размещения ОП: в групповых — в линию вдоль рядов столов для занятий; в спальнях — в проходах вдоль преимущественного направления линии зрения (возможно отраженное освещение, если это допускают строительные конструкции); в приспальных — вдоль прохода, а также ОП местного или локализованного освещения (на стене или в месте приема детей); в раздевальной — вдоль прохода и шкафов; в игровых-столовых — любое; в залах для музыкально-гимнастических занятий — любое.

6. Для создания благоприятной световой среды рекомендуется окрашивать стены и потолки помещений матовыми красками светлых тонов с высокими коэффициентами отражения (потолки — порядка 0,8, стены — 0,5–0,6).

При встраивании ОП в актовом залах, вестибюлях и других помещениях в подвесные потолки из сгораемых материалов места их примыкания к конструкциям должны быть защищены асбестовыми прокладками толщиной не менее 3 мм.

В школьных классах, спортивных залах и детских комнатах должны быть установлены бактерицидные облучатели для обеззараживания воздуха, обеспечивающие объемную дозу (экспозицию) $H = 130 \text{ Дж/м}^3$ и уровень бактерицидной эффективности $J_{\text{бак}} = 85\%$ (для *Staphilococcus aureus*) (см. раздел 16).

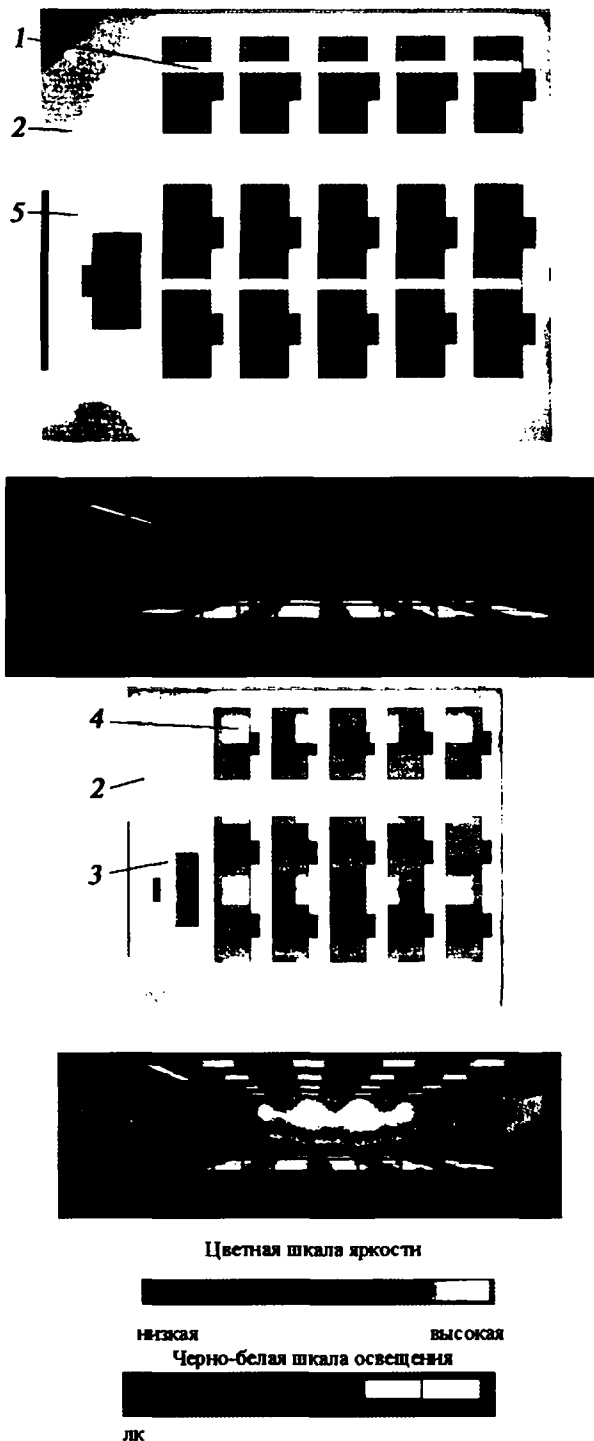


Рис. 14.25. Варианты освещения классов и распределения яркости в помещениях: 1 — стыкуемая линия одноламповых ОП с ЛЛ 58 Вт и экранирующей решеткой; 2 — встраиваемые ОП с КЛЛ 18 Вт; 3 — зеркальный несимметричный (в поперечной плоскости) ОП с КЛЛ 24 Вт; 4 — одноламповый светильник с рассеивателем и ЛЛ 40 Вт; 5 — встраиваемый ОП с КЛЛ 2×55 Вт и несимметричным (в поперечной плоскости) зеркальным отражателем [14.44]

Таблица 14.12

Требования к энергопотреблению

Наименование помещения	E_{max} , лк (МГСН [56])	Максимально допустимая установленная мощность, Вт/м ²
I. Общеобразовательные школы и школы-интернаты, профессионально-технические, средние специальные и высшие учебные заведения Классные комнаты, аудитории, учебные кабинеты, лаборатории, кабинеты информатики и вычислительной техники	400	25
II. Детские дошкольные учреждения Групповые, игральные, столовые, комнаты для музыкальных и гимнастических занятий	400	25



Рис. 14.26. Детская игровая комната

Во всех помещениях с линиями ОП с ЛЛ, идущими параллельно окнам, рекомендуется использовать системы автоматического включения (отключения) отдельных линий ОП в зависимости от уровня естественной освещенности с помощью датчиков (см. раздел 4).

Особое внимание при проектировании освещения учебных и детских учреждений должно быть обращено на энергоэффективность ОУ (подробно см. раздел 20). В соответствии с последними требованиями МГСН [56] для основных помещений максимально допустимые удельные установленные мощности должны быть не более приведенных в табл. 14.12.

Типовые решения искусственного освещения помещений школ и дошкольных учреждений. Ниже приведены примеры типовых размещений ОП и схемы групповой электрической сети некоторых характерных помещений общеобразовательных школ. Учитывая сложность зрительной работы в лаборатории электротехники (рис. 14.27), в ней целесообразно принять освещенность 400 лк. Во всех помещениях ОП располагаются рядами, параллельными окнам. Управление освещением — местное при помощи однополюсных выключателей. Каждый выключатель предназначен для включения и отключения ряда ОП, отдельный выключатель предусматривается для включения и отключения ОП классной доски.

В светотехнических расчетах для классов, лабораторий, кабинетов учтен коэффициент затенения, равный 0,8. Коэффициент 0,8 целесообразно вводить при потолочных и встраиваемых ОП прямого света. При подвесных ОП рассеянного или преимущественно прямого света коэффициент не вводится и число ОП уменьшается по одному на ряд. Приняты коэффициенты отражения потолка, стен и расчетной поверхности соответственно 0,7; 0,5; 0,3. Все расчеты выполнены для ЛЛ типа ЛБ. Для всех приведенных типовых решений коэффициент пульсации освещенности обеспечивается в пределах нормируемых значений. В случаях использо-

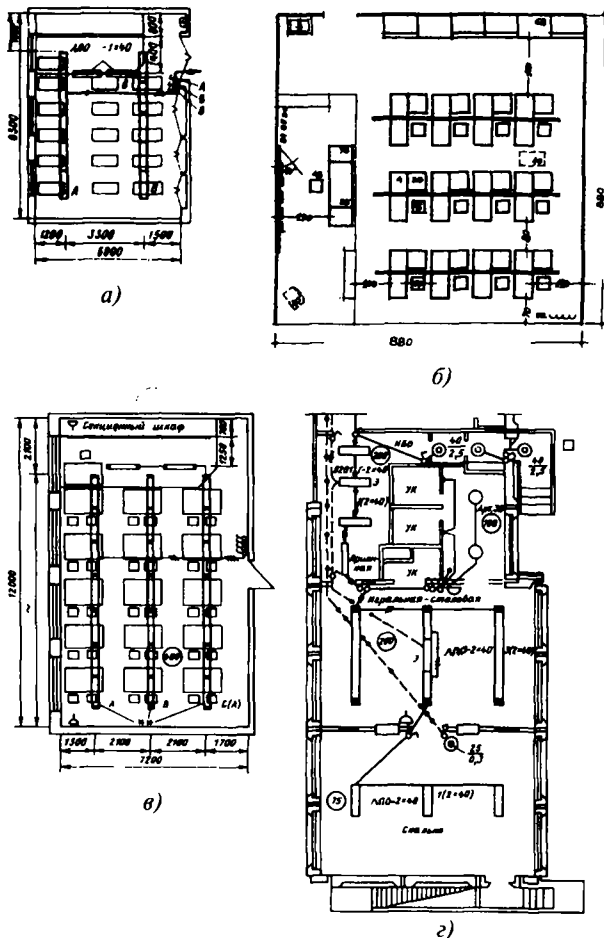


Рис. 14.27. Проекты освещения различных помещений школ и детских учреждений: а — класс в старых школах; б — компьютерный класс в новых школах; в — лаборатория электротехники; г — ячейка детского сада

вания ОП с ЛЛ и только индуктивными балластами обязательна расфазировка ОП по разным фазам сети.

При освещении школьного спортивного зала применяются ОП с рассивателем и с защитной сеткой. В помещениях спортивных залов и мастерских предусмотрено ЭО, выделенное на самостоятельные выключатели и присоединяемое к общей сети ЭО здания.

На рис. 14.27 даны размещение ОП и схема групповой сети освещения в ряде помещений школ и в ячейке детского сада-яслей, состоящей из раздевальной, групповой и спальни. Особенностью освещения в этих помещениях является наличие ОП ЭО (в составе общего освещения) в групповой и приемной и дежурного освещения на пониженном напряжении в спальнях помещений. Универсальные санитарные кабины заводского изготовления поставляются в комплекте с ОП (на рис. 14.27 не показаны).

Электрооборудование. По степени обеспечения надежности электроснабжения комплекс электроприемников школьных зданий и дошкольных учреждений любой этажности относится ко второй категории. С учетом специфики рекомендуется питание школьных зданий и дошкольных учреждений осуществлять от двухтрансформаторных подстанций не менее чем двумя взаиморезервируемыми кабельными линиями без присоединения к этим линиям других потребителей. При воздушных вводах в сельской местности можно ограничиться одним вводом, однако необходимо предусмотреть возможность устройства временных шланговых перемычек от близлежащих зданий.

14.5. БИБЛИОТЕКИ И АРХИВЫ

При проектировании освещения библиотек и архивов необходимо учитывать специфику их помещений, назначение, характер зрительной работы, а также вопросы защиты документов от разрушающего действия света. В табл. 14.13 приведен перечень основных помещений библиотек и архивов [14.21, 14.22] с рекомендуемыми значениями количественных и качественных показателей освещения [44, 14.1].

Зрительная работа в основных помещениях библиотек и архивов связана с чтением книг, журналов, газет, документов, длительной работой с дисплеями ПК, просмотром микрофильмов, диапозитивов, поиском необходимой литературы в компьютерных базах данных и в картотеках, а также с работой обслуживающего персонала в хранилищах.

Для освещения помещений, предназначенных для работы читателей, рекомендуется применять систему общего освещения. При этом в читальных залах предусматривается не менее 10% мест, оборудованных местным освещением. Кроме того, устанавливаются розетки для подключения светопроекционной и звуковоспроизводящей аппаратуры.

Для помещений хранилищ с крупным стационарным оборудованием помимо освещения проходов предусматривается локализованное освещение.

В помещениях для читателей должны использоваться ОП с ЛЛ и ЭПРА, преимущественно ЛЛ типа Т5.

При установке неподвижных стеллажей и шкафов могут быть рекомендованы следующие приемы освещения:

1) осветительными приборами с ЛЛ с зеркальными отражателями с несимметричным светораспределением, установленными на потолке в межстеллажном пространстве (рис. 14.28);

2) осветительными приборами с металлическими экранирующими решетками, установленными непосредственно на стеллажах на кронштейнах, либо ОП с ЛН.

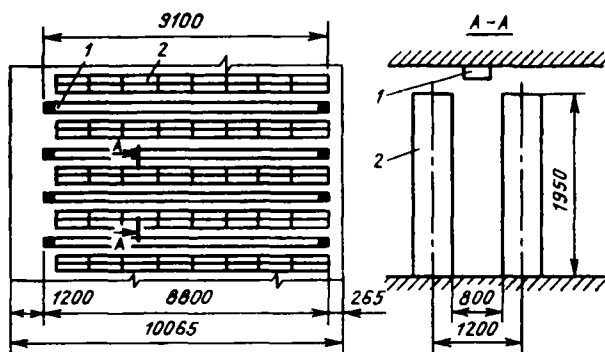


Рис. 14.28. Проект освещения книгохранилища в библиотеке: 1 — линия зеркальных ОП с ЛЛ, преимущественно типа Т5 с ЭПРА; 2 — многосекционный стеллаж

В помещениях с ПК при проектировании ОУ необходимо руководствоваться правилами, подробно рассмотренными в разделе 10 и § 14.2.

В некоторых архивах применяются передвижные стеллажи, перемещаемые при необходимости по направляющим, либо автоматизированные хранилища. В этом случае освещение выполняется ОП, установленными равномерно на потолке над стеллажами. Осветительные приборы для пожароопасных помещений класса П-Па, к которым относятся хранилища, могут быть в любом исполнении, но конструкция их должна исключать выпадение ИС, а ПРА должны располагаться в негорючей полости или в другом помещении.

В помещениях со свободным доступом читателей к книгам шкафы или стеллажи размещаются более свободно, чем в хранилищах. В этих помещениях необходимая освещенность может быть обеспечена системой общего равномерного освещения. На рис. 14.29 для примера показан проект освещения аванзала в библиотеке: ОП с ЛЛ установлены на потолке между читальскими каталожными шкафами и над кафедрой выдачи книг. Примеры проектов освещения читальных залов в библиотеках и в архивах, выполненные ОП с ЛЛ и с ЛН, приведены на рис. 14.30 и 14.31. Потолок, стены и полы рекомендуется окрашивать в светлые тона или отделывать светлыми материалами.

В помещениях архивов, где читатели и обслуживающий персонал работают с ценными документами, в целях исключения разрушающего действия УФ-излучения следует использовать ЛН.

Источники света по степени возрастания разрушающего действия на документы располагаются в сл-

Таблица 14.13

Нормы освещенности и нормируемые качественные показатели основных помещений библиотек и архивов

Помещение	Плоскость, для которой нормируется освещенность (Г — горизонтальная, В — вертикальная), ее высота над полом, м	Тип ИС	Освещенность рабочей поверхности, лк	Цилиндрическая освещенность, лк	Показатель дискомфорта не более	Коэффициент пульсации, % не более	Условия среды
Библиотеки							
Читальные залы (общий, научный, отраслевой)	Г, 0,8	ЛЛ, МГЛ ^{*9}	400*	150 ^{*4}	40	15	Нормальная
Специализированный отдел**	Г, 0,8	ЛЛ, МГЛ ^{*9}	400*	150 ^{*4}	40	15	То же
Лекционный зал-аудитория	Г, 0,8	ЛЛ, МГЛ ^{*9}	300 ^{*5}	—	40	10	То же
Книгохранилище	В, 1,0 (на стеллаже)	ЛЛ, КЛЛ	75	—	60	—	Класса
Место дежурного библиотекаря	Г, 0,8	ЛН	30	—	60	—	П-IIa
Фонд открытого доступа к книгам (на стеллажах)	В, 1,0 (на стеллаже)	КЛЛ, ЛЛ	300*	—	40	15	Нормальная
Отдел записей и регистрации читателей	Г, 0,8	ЛЛ	75	—	60	—	То же
Помещение читательских каталогов, фототеки	В (фронт карточек)	ЛЛ, МГЛ ^{*9}	300*	—	40	15	
Аванзал	Г, 0,8	ЛЛ	200	—	40	15	
Помещение тематической выставки и показа новых поступлений	Г, 0,8	ЛЛ	200*	—	40	15	
Комната группового прослушивания записей	Г, 0,8	ЛЛ	200	75 ^{*4}	60	—	
Отдел комплектации, технической и научной обработки библиографических работ и межбиблиотечный абонемент	Г, 0,8	ЛЛ ЛЛ, МГЛ ^{*9}	200 ^{*5} 300*	— —	60 40	15 15	
Служебный каталог	В (фронт карточек)	ЛЛ	200	—	40	15	
Помещение для приемки и распаковки литературы	Г, 0,8	ЛЛ	150	—	40	10	
Архивы							
Хранилище документов	В, 1,0 (на стеллаже)	ЛН ЛЛ ^{*7}	50	—	60	—	Класса
Помещение временного хранения документов	Г, 0,8	ЛН ЛЛ ^{*7}	75 50	— —	60 60	— —	П-IIa То же
Помещение хранения учетных документов	В (фронт карточек)	ЛН ЛЛ	75 50	— —	60 60	— —	Нормальная Пыльная
Помещение при читальном зале для временного хранения документов, выдаваемых в читальный зал	В, 1,0 (на стеллаже)	ЛН ЛЛ ^{*7}	75 50	— —	60 60	— —	То же Нормальная
Помещение хранения служебных каталогов и описей	В (фронт карточек)	ЛЛ	75	—	60	—	
Помещение хранения фотодокументов и микрофильмов	В, 1,0 (на стеллаже)	ЛН ЛЛ	75 300	— —	60 40	— —	
Читальный зал для работы с документами	Г, 0,8	ЛН, ЛЛ ^{*7}	300 300	75 100 ^{*4}	40 40	10 —	
Помещение обеспыливания документов	Г, 0,8	МГЛ ^{*7,*9}	100**	100	60	—	
Помещение дезинфекции и дезинсекции документов	В (на стеллаже)	ЛН	150** 100**	— —	60 60	— —	
Помещение реставрации	Г, 0,8	ЛЛ ^{*7} ЛН	150 ^{*8} 200	— —	60 60	— —	
Помещение электрорепродукционной	Г, 0,8	ЛЛ ^{*7} ЛЛ	300 200 ^{*10}	— —	60 60	20 10	

* Для дополнительного местного освещения следует предусматривать установку розеток (за исключением детских библиотек).

** Отделы иностранной литературы, искусств с секторами нотно-музыкальным и изографики, справочно-библиографический с сектором краеведения, технической литературы с сектором патентов, периодической печати, научно-исторический.

*4 В случаях, когда по условиям архитектурно-художественного оформления необходимо обеспечить впечатление насыщенного помещения светом.

*5 Для подключения прокторов или звуковоспроизводящей аппаратуры требуется установка розеток.

*6 Рекомендуется устройство местного освещения над барьером.

*7 Допускается в виде исключения для архивов автономных республик, областных, городских и районных.

*8 При светотехнических расчетах следует принимать коэффициент запаса равным 1,8 для ОП с ЛЛ и 1,5 для ОП с ЛН.

*9 Для помещений выше 4 м.

*10 Для переносных ОП необходимо предусматривать установку штепсельных розеток на напряжение 42 В.

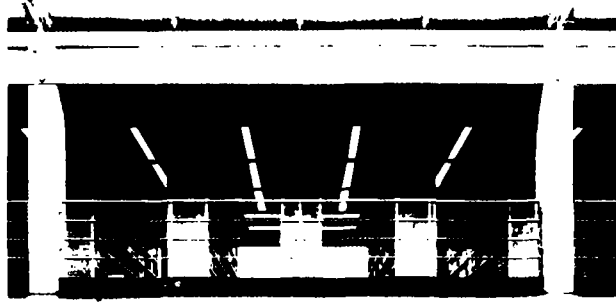


Рис. 14.29. Аванзал в библиотеке

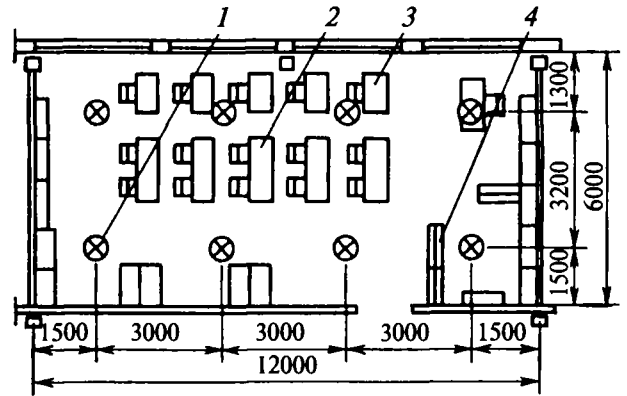


Рис. 14.31. Проект освещения читального зала в архиве: 1 — ОП с КЛЛ (или МГЛ для высоких помещений); 2, 3 — читательские столы; 4 — двусторонний стеллаж

с надписью «Выход» или знаком, указывающим на направление эвакуации.

По степени обеспечения надежности электроснабжения электроустановки зданий библиотек и архивов относятся к следующим категориям: библиотек более 100 тыс. единиц хранения и архивов государства, автономных республик, областных (краевых), городских, а также филиалов этих архивов — ко второй категории; библиотек менее 100 тыс. единиц хранения и районных архивов — к третьей категории. Устройства противопожарной защиты во всех случаях относятся к первой категории.

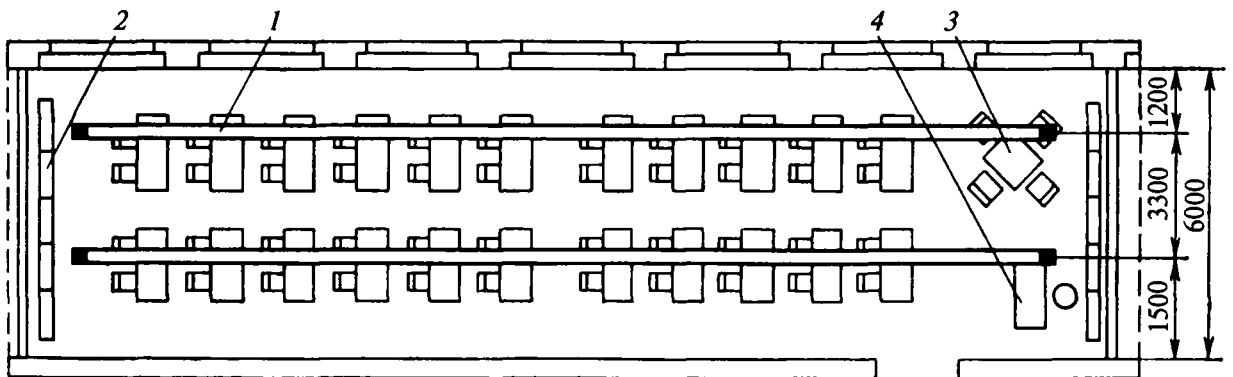


Рис. 14.30. Проект освещения читального зала в библиотеке: 1 — линия ОП типа ЛПО; 2 — односторонний стеллаж; 3 — журнальный стол; 4 — рабочий стол

дующей последовательности: ЛН, ЛЛ тепло-белого света де-люкс, ЛЛ с трехполосным спектром излучения, стандартные ЛЛ белого света, ЛЛ белого света де-люкс, дневной свет, проходящий через оконное стекло.

Для освещения помещений библиотек и архивов предусматривают два вида освещения: рабочее и ЭО, которое устраивается по основным проходам, коридорам, в местах пребывания читателей и хранилищах. Пути эвакуации обозначаются световыми указателями

Управление освещением читальных залов осуществляется централизованно с групповых щитков.

В хранилищах выключатели для управления освещением в проходах устанавливаются вне помещений, в межстеллажном пространстве — на стеллажах.

Рекомендуется обеспечивать возможность раздельного управления освещением помещений с естественным светом и без него. Кроме того, в помещениях с естественным светом, например в читальных залах,

управление освещением целесообразно осуществлять по участкам с различным удалением от окон, применяя систему автоматического включения (отключения) линий в зависимости от уровня естественной освещенности.

14.6. ПРЕДПРИЯТИЯ ТОРГОВЛИ

Магазины по продаже промышленных и продовольственных товаров являются одним из самых распространенных видов общественных зданий и помещений. Магазин, как правило, состоит из двух основных групп помещений — торговых залов и складов, при этом склады могут быть расположены в одном здании с торговыми залами или отдельно. Складские помещения, обслуживающие группу магазинов, называются торговыми базами.

При освещении магазинов необходимо учитывать их следующие технологические особенности: торговля производится продавцами или методом самообслуживания; типы товаров — продовольственные и промышленные или оба вида в одном помещении; магазин предназначен для одного типа товаров, их разновидности расположены в общем или в специализированных залах; имеются предприятия торговли малых форм — бутики, киоски, палатки.

За последние годы получили особое развитие крупные торговые центры, супермаркеты, гипермаркеты, как специализированные (продуктовые, мебельные, стройматериалов), так и универсальные (рис. 14.32).

Для складских помещений необходимо учитывать вид хранимой продукции или товара, температуру, при

которой она хранится, и технологический метод хранения (навалом, на поддонах, на полках, на стеллажах, на высоких стеллажах, обслуживаемых электропогрузчиками или электроштабелерами).

Основными помещениями предприятий торговли являются торговые залы, залы демонстрации новых товаров и фасонов одежды, примерочные кабины, отделы заказов, помещения для подготовки готового платья, ремонтно-декорационные мастерские, экспедиции, автомобильные дебаркадеры, главные кассы, пункты приема посуды, кладовые, складские помещения, зарядные станции электропогрузчиков.

К освещению торговых залов предъявляются архитектурные требования, необходимо также обеспечение наилучшего вида продаваемого товара, создание в помещениях светового комфорта [14.23–14.26].

Источники света. Для общего освещения магазинов и непосредственно товаров в основном используются ОП с ЛЛ. Однако в ряде случаев применяются и ГЛН, а также одновременно оба типа ИС. Выбор ИС зависит от вида продаваемого товара, их расположения в торговом зале или в специализированных помещениях, необходимости обеспечения правильной цветопередачи и др. Рекомендации по выбору типа ЛЛ в зависимости от вида товара приведены в табл. 14.14. При этом важно подчеркнуть наибольшую целесообразность применения в светильниках ЛЛ типа Т5 с ЭПРА.

В табл. 14.15 даны нормы количественных и качественных показателей характерных помещений, рекомендуемые типы ИС и ОП для их освещения.



Рис. 14.32. Освещение торгового зала супермаркета [14.26]

Таблица 14.14

Рекомендации по выбору ЛЛ для основных помещений магазинов

Помещение	Тип ЛЛ	R_a	$T_{ц}, K$
Магазины: супермаркеты, гипермаркеты, универмаги, готового платья, тканей, парфюмерии, галантереи, игрушек, цветов; обуви, спортивных товаров, ювелирные, головных уборов, книжные и канцтоваров; примерочные кабины, бракеражные столы	ЛЕ, ЛБЦТ, ЛДЦ (827 и 954 по EN)	90	3500–6000
	ЛБЦТ, ЛЕЦ (827, 840)	85	3500–5000
Торговые залы магазинов: мебельных, посудо-хозяйственных, электротоваров меховых изделий	ЛЕ, ЛДЦ (954)	90	3500–6000
	ЛБ (535)	50	3000–4000
	ЛБЦТ (954, 827)	90	3500–6000
Торговые залы продовольственных магазинов: универсамы, «мясо», «птица», «гастрономия», «молоко», «овощи», «рыба» «бакалея», «хлеб», «кондитерские изделия», «вино»	ЛЕ (927), ЛДЦ (954)	90	3500–6000
	ЛБ (535)	50	3000–4000

Таблица 14.15

Нормы освещенности, качественные показатели, рекомендуемые ИС для освещения помещений магазинов и складов

Помещение	Группа помещений или разряд зрительной работы [44]	Плоскость, для которой нормируется освещенность (Г — горизонтальная, В — вертикальная), ее высота над полом, м	Освещенность рабочей поверхности*, лк	Показатель дисконфорта, не более	Коэффициент пульсации, %, не более	Рекомендуемые ИС	Условия среды
Магазины							
Торговые залы супер- и гипермаркетов	А-1	Г, 0,8	500	40	10	ЛЛ, МГЛ	Нормал.
	Б-1	Г, 0,8	300 ^{*,***}	40	15	ГЛН	То же
Торговые залы магазинов книжных, готового платья, белья, обуви, тканей, меховых изделий, головных уборов, парфюмерных, галантерейных, ювелирных, электро- и радиотоваров и продовольственных без самообслуживания	А-2	Г, 0,8	400 ^{*,***}	60	10	ЛЛ, МГЛ	—«—
	Б-2	В, 1,5	200 ^{*,***}	—	15	ЛЛ, ГЛН	—«—
Торговые залы магазинов посудных, мебельных, спортивных товаров, стройматериалов, электробытовых машин, игрушек и канцелярских товаров	Б-1	Г, 0,8	300	60	20	ЛЛ, ГЛН	—«—
	Г	В, 1,5	300 ^{*,*4}	60	15	ЛЛ, ГЛН	—«—
Примерочные кабины	Б-2	Г, 0,8	200 ^{*4}	60	20	ЛЛ, КЛЛ	—«—
	Б-2	Г, 0,8	200	40	20	ЛЛ, КЛЛ, ГЛН	Класса П-Па
Залы демонстрации новых товаров	Б-1	Г, 0,8	300	40	15	—«—	Нормал.
	Б-1	Г, 0,8	300	40	15	—«—	То же
Отделы заказов, бюро обслуживания	Б-1	Г, 0,8	300 ^{*4}	40	15	—«—	—«—
	Б-1	Г, 0,8	300 ^{*4}	40	15	—«—	—«—
Помещения для подготовки товаров к продаже:	Б-1	Г, 0,8	300 ^{*4}	40	15	—«—	—«—
	Б-1	Г, 0,8	300 ^{*4}	40	15	—«—	—«—
разрубочные, расфасовочные, комплектующие, отделы заказов для нарезки тканей	Б-1	Г, 0,8	300 ^{*4}	40	15	—«—	—«—
гладильные мастерские	Б-1	Г, 0,8	300 ^{*4}	40	15	—«—	—«—
мастерские в магазинах радио- и электротоваров	Б-1	Г, 0,8	300 ^{*4}	40	15	—«—	—«—
Главные кассы	А-2	Г, 0,8	500	40	10	—«—	Класса П-Па
Мастерские подгонки готового платья	Б-1	Г, 0,8	300 ^{*4}	40	15	—«—	Нормал.
Рекламно-декорационные мастерские	Б-1	Г, 0,8	300 ^{*4}	—	15	ЛЛ	То же
Мастерские ремонта оборудования и инвентаря	В-2	Г, 0,8	100	—	—	ЛЛ	—«—
Пункты приема посуды	В-1	Пол	100	—	20	ЛЛ	—«—
Разгрузочные помещения	—	То же	50	—	—	ЛЛ, КЛЛ	Класса П-Па
Транспортные туннели	—	Г, 0,8	50	—	—	ЛЛ	—«—

Помещение	Группа помещений или разряд зрительной работы [44]	Плоскость, для которой нормируется освещенность (Г — горизонтальная, В — вертикальная), ее высота над полом, м	Освещенность рабочей поверхности*, лк	Показатель дискомфорта, не более	Коэффициент пульсации, % не более	Рекомендуемые ИС	Условия среды
Магазины							
Помещения для хранения упаковочных материалов, инвентаря и обменного фонда контейнров							
Кладовые:							
овошей	—	Г, 0	20	—	—	ЛЛ	Сырая
продуктов в сгораемой упаковке	—	Г, 0	50	—	—	ЛЛ	Класса П-Ша
в непродовольственных магазинах	—	Г, 0	75	—	—	ЛЛ	То же
в магазинах бытовой химии, торгующих взрывоопасными товарами	—	Г, 0	30	—	—	ЛЛ	Класса В-1а
Здания общетоварных складов							
Склады тканей, галантереи	VIIIa	Пол	100* ^{5,6} /50	—	—	ЛЛ	Класса П-Ша
Склады непродовольственных товаров	VIIIб	То же	75* ^{5,6} /50	—	—	ЛЛ	То же
Склады мебели с разбраковкой	Vг	—«—	150	—	—	ЛЛ	—«—
Склады продовольственных товаров	VIIIб	—«—	75* ^{5,6} /50	—	—	ЛЛ	—«—
Места бракерров	IVг	Г, 0,8	300* ⁷	40	15	ЛЛ	—«—
Экспедиции	VIIIa	Пол	100* ⁶	—	20	ЛЛ	—«—
Дебаркадер железной дороги	VIIIa	То же	100* ^{6,8}	—	20	ЛЛ	—«—
Автоплатформа	VIIIa	—«—	50* ⁶	—	20	ЛЛ	—«—
Флодоовощные базы*⁹							
Хранение картофеля, овощей и фруктов в обычных и охлаждаемых* ¹⁰ камерах	—	Пол	10* ¹¹	—	—	ЛН	Сырая
Отделения товарной обработки и фасовки	Vб	Г, 0,8	200	60	20	ЛЛ	То же
Склады сырья	—	Г, 0,8	20	—	—	ЛН	—«—
Склад готовой продукции	—	Г, 0,8	20	—	—	ЛН	—«—

* Цилиндрическая освещенность принимается равной 100 лк, для супер- и гипермаркетов — 150 лк.

** Цилиндрическая освещенность 75 лк.

*** Для дополнительного освещения товаров устанавливаются розетки на напряжение 220 В.

*4 Для дополнительного местного освещения устанавливаются розетки на напряжение 220 В.

*5 В числителе — освещенность для неавтоматизированных складов, в знаменателе — для автоматизированных.

*6 Освещенность указана для складов без естественного освещения. В складах с естественным освещением она должна снижаться на одну ступень.

*7 Над рабочими столами бракерров обязательно устройство дополнительного местного освещения.

*8 Для освещения разгружаемых вагонов вдоль платформы устанавливаются розетки на напряжение 36 В для подключения переносных ламп.

*9 Требования [44] не распространяются на помещения для хранения сельскохозяйственной продукции.

*10 Охлаждаемые камеры относятся к помещениям с нормальной средой.

*11 В случае производства погрузочно-разгрузочных работ с помощью электропогрузчиков освещенность принимается равной 20 лк, при использовании других механизмов этот уровень должен создаваться в зоне их работы ОП, установленными на механизмах.

В случае продажи в одном помещении промтоварного магазина различных товаров рекомендуется использовать ИС того типа, который будет наилучшим для товаров, требующих улучшенной цветопередачи.

При освещении различных ярмарок, отделов по продаже елочных игрушек, детских товаров применяются цветные ЛЛ: красные, желтые, зеленые и голубые.

Галогенные лампы накаливания выбираются как для общего освещения, так и для местного освещения.

ГЛН с интерференционными покрытиями и «холодным» пучком могут широко использоваться в торговых залах разной высоты и при необходимости обеспечения высоких уровней освещенности и цветопередачи.

Металлогалогенные лампы следует считать перспективными, в особенности для освещения таких высоких торговых помещений, как крытые рынки, супер- и гипермаркеты.

В складских помещениях используются ЛЛ и ЛН, причем в охлаждаемых помещениях, холодильниках и

холодильных камерах применяются только ЛН или специальные холодостойкие ЛЛ (см. раздел 3).

Осветительные приборы. Наиболее целесообразным является применение потолочных и встраиваемых в потолок ОП с ЛЛ и рассеивателями, освещающими потолок и стены торговых помещений. Чаще всего для этой цели используются одно- и многоламповые ОП, предназначенные для освещения общественных зданий, и в меньшей степени — ОП, предназначенные для жилых помещений. Имеется опыт успешного применения ОП с ГЛН. Осветительные приборы с МГЛ также находят широкое применение для освещения торговых залов. Как правило, для общего освещения используются нестандартные, разработанные по эскизам архитекторов ОП, в том числе люстры. Для освещения торговых помещений большой интерес представляют различные модификации ОП с фигурными ЛЛ и компактными ЛЛ. Освещение вертикальных поверхностей торговых стендов и витрин выполняется ОП с ЛЛ и зеркальными отражателями с глубокой симметричной и несимметричной (в поперечной плоскости) КСС, а также зеркальные ОП с ГЛН или ОП с зеркальными ГЛН с интерференционными отражателями (рис. 14.33). Для крупных универмагов или специализированных магазинов целесообразно применять ОП, предназначенные для общего освещения и включения в систему вентиляции и кондиционирования помещений.

Для торговых помещений со светлыми потолками ($\rho \geq 0,8$) и стенами ($\rho \geq 0,3$) успешно применяются многоламповые потолочные и встраиваемые светильники с ЛЛ и зеркальными экранирующими решетками. Все большее распространение получают подвесные ОП с призматическими отражателями и ГЛН, КЛЛ или МГЛ, обеспечивающие как необходимое слабое освещение

верхней зоны помещений, так и создающие благоприятный архитектурно-художественный эффект (рис. 14.43).

Выбор типов ОП для предприятий торговли необходимо осуществлять с обязательным учетом требований пожарной безопасности. Данные о характеристике среды в основных типах помещений приведены в табл. 14.15.

Виды и системы освещения. Во всех магазинах предусматривается рабочее освещение, а в магазинах с залами общей площадью 90 м^2 и более, в торговых залах и по путям выхода из них оборудуется ЭО. Кроме того, ЭО устраивается во всех торговых залах, где торговля ведется по системе самообслуживания. В складских и административных помещениях магазинов, а также в отдельных складских зданиях в случае пребывания в них одновременно более 50 человек, а также в местах, опасных для прохода людей, устраивается АО [44. 14.23]. При этом выходы для покупателей из магазинов с торговыми залами общей площадью 180 м^2 и более, а при самообслуживании — с торговыми залами 110 м^2 и более должны быть отмечены световыми указателями с надписью «Выход», присоединенными к сети АО или ЭО (см. подробно в разделе 10).

Аварийное освещение предусматривается в крупных магазинах в помещениях главной кассы, АТС, радиоузла, в здравпункте, детской комнате и дебаркадере.

В торговых залах, расположенных на первых этажах магазинов, и по путям эвакуации из них рекомендуется устраивать ночное охранное освещение. В качестве охранного освещения может быть использована сеть АЭО. В крупных торговых предприятиях, где располагаются также охранные подразделения милиции, может быть создана специальная сеть ночного охранного ос-



а)



б)

вещения, включаемого с пульта управления, установленного в помещении охраны.

В торговых залах должна быть обеспечена разветвленная сеть световой информации (рис. 14.34).

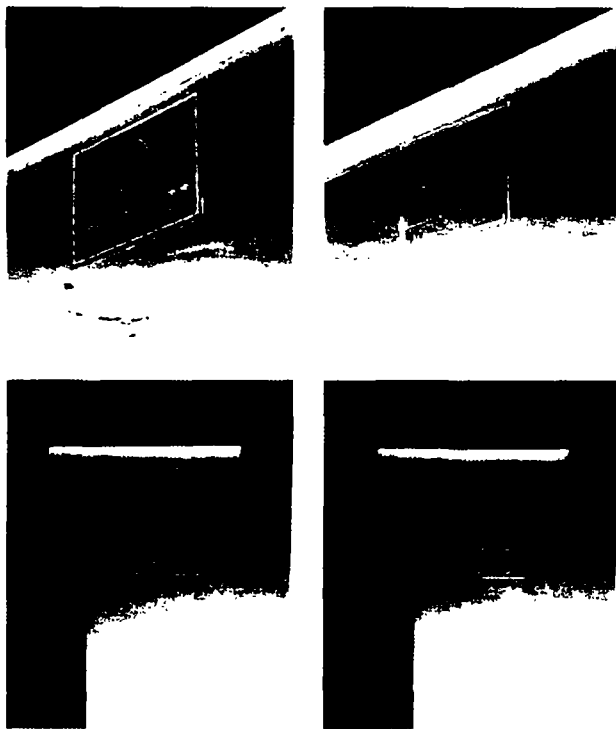


Рис. 14.34. Знаки информационные

Способы освещения. В магазинах выполняется общее равномерное или локализованное освещение. Широко применяется также система комбинированного освещения, а также акцентирующее освещение.

Независимо от принятой системы, наиболее освещаемыми всегда должны быть экспонируемый и продаваемый товар, а также различные информационные установки и кассы.

При торговле с продавцами, работающими у стационарно установленных прилавков, наиболее целесообразным является общее равномерное или локализованное освещение.

При применении комбинированной системы ОП местного освещения, как правило, встраиваются в торговое оборудование, при этом конструкция торгового оборудования или ОП должны экранировать ИС от покупателей. Если оборудование имеет несколько полок, располагающихся одна над другой, то ОП должны устанавливаться так, чтобы на нижние полки не падали тени от верхних.

При системе торговли по методу самообслуживания техническое оборудование размещается равномерно по всей площади торгового зала. В процессе работы оборудование переставляется, изменяется ассортимент продаваемых товаров. Наиболее целесообразной системой является комбинированная система освещения с трансформируемым местным освещением. При невоз-

можности создания гибкой системы освещения рекомендуется использовать общее равномерное освещение.

Одним из распространенных способов освещения является применение осветительных шинопроводов с установленными на них поворотными ОП акцентирующего освещения с ГЛН, МГЛ или КЛЛ (рис. 14.35).

Общее равномерное освещение торговых залов может быть выполнено ОП с ЛЛ, устанавливаемыми различными способами. Они могут стыковаться в сплошные линии, квадраты, прямоугольники или другие фигуры, а также устанавливаться индивидуально [14.24]. Расстановка ОП в основном зависит от архитектурных требований. Осветительные приборы могут встраиваться в подшивные потолки или крепиться к потолку снизу, могут быть установлены ниже потолков на монтажных коробках, подвесах или специальных нестандартных конструкциях; ОП с ЛН (потолочные, подвесные, настенные, люстры) также применяются в системе общего равномерного освещения. Широко используются световые потолки при создании общего равномерного и комбинированного освещения.

Локализованное освещение целесообразно выполнять ОП с ЛЛ типа Т5 с ЭПРА с экранирующими решетками и зеркальными отражателями с симметричным и несимметричным (боковым) светораспределением. В последнем случае ОП хорошо освещают не только прилавки, но и товары, находящиеся на полках на стенах за продавцами. Локализованное освещение может быть выполнено и с помощью ОП с ЛЛ, когда они устанавливаются над прилавками, а также с помощью ОП с ГЛН и КЛЛ.

В продовольственных и промтоварных магазинах в случае отсутствия громоздкого торгового оборудования, установленного на стенах, ОП с ЛЛ можно располагать по периметру прилавков или торгового зала в углах, образуемых стенами и потолком. Это решение может быть выполнено с помощью угловых ОП с ЛЛ. Целесообразен также прием, при котором прилавки и полки с товарами освещаются ОП направленного света, а остальная часть торгового зала — отраженным светом этих ОП.

Большое значение для магазинов самообслуживания, а также для крупных магазинов независимо от принятой формы торговли имеют всевозможные информационные указатели, табло (рис. 14.34). Кроме того, в крупных универмагах их необходимо устанавливать у входа на эскалаторы, которые часто трудно обозреть для покупателей. Для этой цели могут быть также использованы одноламповые или двухламповые ОП с ЛЛ, имеющие молочные рассеиватели. Двухламповые ОП в этом случае крепятся к стенам помещения.

В качестве легко трансформируемой системы освещения (местного и локализованного) может быть использована система, использующая осветительные шинопроводы (рис. 14.35). Переставляя шинопроводы и подключая к ним ОП акцентирующего направленного света с зеркальными ГЛН, КЛЛ или МГЛ, имеющие возможность свободно поворачиваться в горизонтальной и вертикальной плоскостях, можно легко приспособ-



а)



б)



б)

Рис. 14.35. Освещение светильниками акцентирующего света, установленными на шнупроводах [14.26]

сабливать освещение к изменениям в расстановке прилавков. При использовании такой системы освещения резко снижается роль ОП, встроенных в оборудование, но они не исключаются полностью. Почти тот же эффект может быть достигнут при встраивании в потолок поворотных ОП с КЛЛ или ГЛН — весьма современный способ освещения, особенно при использовании приборов дистанционного управления ориентацией ОП в пространстве.

Специфические требования предъявляются к освещению ювелирных магазинов или отделов, торгующих изделиями из драгоценных металлов, хрусталя, янтаря и т.п. Рекомендуемой системой освещения здесь явля-

ется комбинированное, при этом предпочтительно общее освещение, а местное обязательно должно быть выполнено с помощью ГЛН. Хороший результат удается получить, значительно снижая уровень освещенности от ОП общего освещения и создавая высокую освещенность местным светом. При этом ЛН местного освещения должны быть экранированы от покупателя. Для общего освещения целесообразно использовать ОП отраженного света и различные виды карнизного освещения (рис. 14.36).

Освещение примерочных кабин должно обеспечивать возможность обнаружения различных дефектов, правильно передавать цвет товаров. Целесообразно ус-

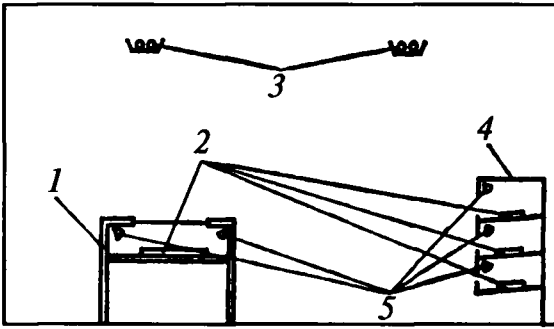


Рис. 14.36. Схема освещения магазина, торгующего изделиями из драгоценных металлов и камней: 1 — прилавок; 2 — образцы товаров; 3 — ОП отраженного света; 4 — горка-витрина; 5 — местное освещение

танавливать ОП выше зеркала, чтобы свет падал на грудь человека под углами $30-45^\circ$ к вертикали и не ослеплял его. Нельзя устанавливать ОП по бокам зеркала или на боковых стенках примерочных кабин (рис. 14.37).

Освещение залов для демонстрации мод должно

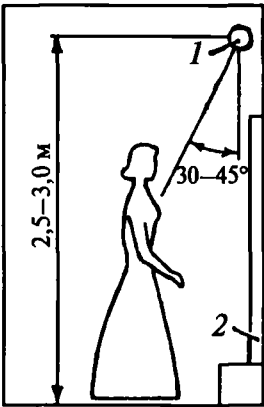


Рис. 14.37. Схема освещения примерочной кабин: 1 — ИС; 2 — зеркало

обеспечивать возможность для зрителей четко рассмотреть фасон и отделку туалета, цвет ткани. Для этой цели создается акцентирующее освещение эстрады и подиума, на котором демонстрируются модели. На рис. 14.38 показана схема освещения, выполненного в Доме моделей в Минске. Освещение помоста следует выполнять с помощью верхнего и верхнебокового света. Для этой цели рекомендуется использовать зеркальные светильники с ЛЛ (группы 954 по EN) и ОП с ЛН прямого света, которые обеспечивают необходимое теневозрождение на моделях и тем самым улучшают восприятие туалета и качества его покроя.

Освещение залов и магазинов, в которых продаются телевизоры, должно осуществляться с учетом организации зоны, в которой демонстрируются образцы, с освещенностью 75 лк при ЛЛ. Тип и размещение ОП должны выбираться так, чтобы ИС не попадали в поле зрения покупателей и на экранах телевизоров отсутствовали отраженные блики. Одновременно должна быть зона с освещенностью 300 лк , где покупатели могли бы оценить внешний вид покупки (рис. 14.39).

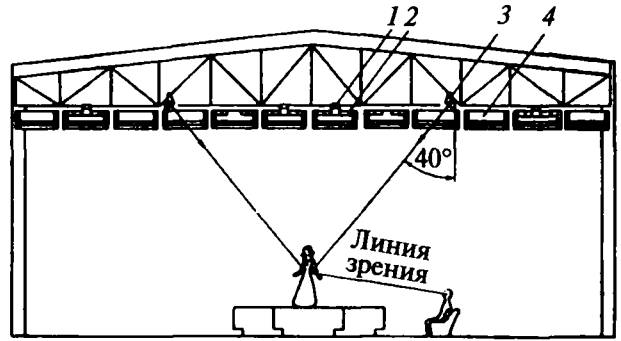


Рис. 14.38. Схема освещения демонстрационного зала: 1 — ОП с зеркальной ЛН 500 Вт; 2 — ОП типа ЛПО — 2×40 ; 3 — софит типа КС-4; 4 — элемент потолка — металлический короб

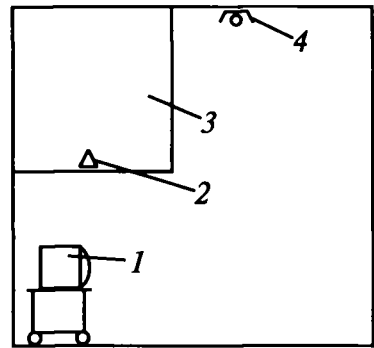


Рис. 14.39. Схема освещения зала по пролажу телевизоров: 1 — телевизор; 2 — ОП с ГЛН, встроенный в потолок; 3 — полость подвесного потолка; 4 — ОП общего освещения зала

Освещение кассовых кабин, когда они расположены в средней части торгового зала, чаще всего обеспечивается за счет общего освещения. Если же оно оказывается недостаточным, то дополнительное освещение создается напольным ОП или ОП, установленным на подвесе над кабиной. Если кабина кассира установлена у стены, то дополнительное освещение выполняется, как правило, по схеме, показанной на рис. 14.40.

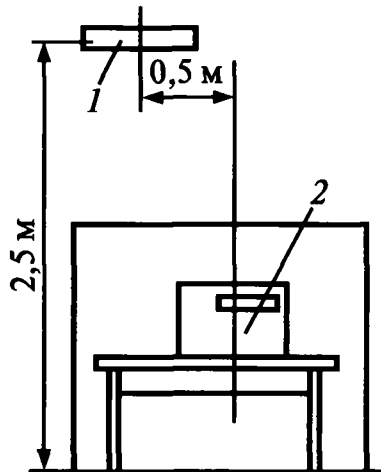


Рис. 14.40. Схема освещения кассовой кабин: 1 — ОП с ЛЛ; 2 — кассовый аппарат

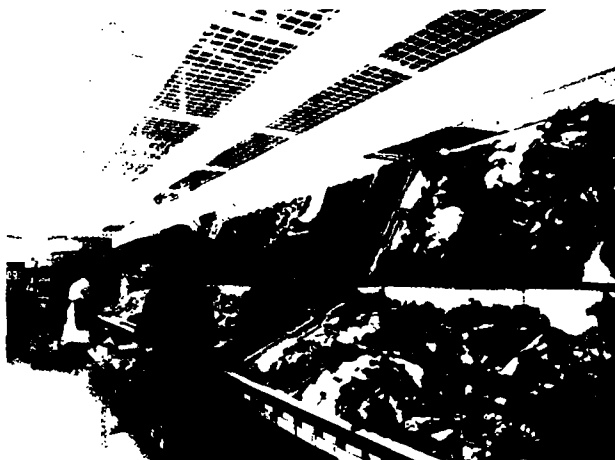


Рис. 14.41. Освещение витрины с овощами и фруктами

К освещению киосков и палаток предъявляются те же требования, что и к освещению обычных торговых помещений в магазинах. Однако малая высота этих сооружений требует применения для освещения потолочных ОП с ЛЛ с непрозрачными боковинами и светорассеивающей решеткой, экранирующей ИС от глаз покупателя и продавца. В киосках целесообразно общее равномерное освещение. В больших палатках рекомендуется размещать ОП над прилавками и товарной экспозицией. Для киосков и палаток рекомендуется использовать потолочные одноламповые ОП, перекрытые снизу светорассеивающей решеткой. При использовании этих приборов в киосках и палатках с ограждающими конструкциями из сгораемых материалов (ДСП, фанера, доски) необходимо применять только светильники со знаком F в треугольнике (подробнее см. раздел 6).



Рис. 14.42. Освещение витрины с тканями

Особенно профессиональный подход требуется к освещению витрин с разноцветными объектами (фруктами, овощами, мясом, тканями, одеждой), от правильной цветопередачи которых зависит успех торговли. В этих случаях необходимо использовать линии светильников с ЛЛ типа 827 или 954 по классификации EN [82] (рис. 14.41) или светильники с ГЛН или МГЛ (рис. 14.42) с $R_a \geq 90$ и $T_{II} = 3500-6000$ К.

Салоны продажи автомобилей, как правило, располагаются в просторных (400–1000 кв. м) высоких (5–7 м) помещениях с уровнями освещенности не менее 500 лк и строгими требованиями к цветопередаче (рис. 14.43).



Рис. 14.43. Освещение салона продажи автомобилей

Важно также отметить, что нормами энергосбережения МГСН [58] регламентируется максимально допустимая удельная мощность (p , Вт/м²) для торговых залов супер- и гипермаркетов при $E_n = 500$ лк, $p \leq 35$ Вт/м², а для торговых залов магазинов при $E_n = 400$ лк, $p \leq 25$ Вт/м².

Преимущественной системой освещения в складских помещениях является общее равномерное освещение. Исключение составляет освещение складов со стационарно установленными стеллажами. В этом случае ОП устанавливаются по оси межстеллажных проходов смеханизированных, механизированных и полностью автоматизированных складов (рис. 14.44). В складах с межстеллажными штабелерами ОП должны монтироваться достаточно высоко, чтобы не мешать движению штабелеров. Предпочтительным для складских баз и отдельных помещений, в которых хранятся промышленные товары, является люминесцентное освещение (ОП с ЛЛ и централизованной КСС типа К1 или К2).

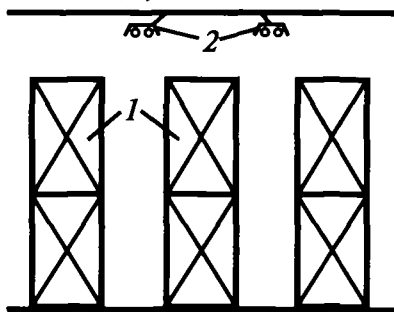


Рис. 14.44. Схема освещения склада со стеллажами: 1 — стеллаж; 2 — зеркальный ОП с централизованной КСС и ЛЛ

В ювелирных магазинах стеклянные витрины с изделиями наиболее целесообразно освещать зеркальными ГЛН с многослойными интерференционными отражателями. Расстояние от ОП с ГЛН до товаров, изделий и тары, находящихся в торговых помещениях и складских, должно быть не менее 0,5 м. Очень часто в складских помещениях производят браковку товаров. Для этого требуются высокая освещенность бракеражных столов и правильная цветопередача. Освещение таких рабочих мест целесообразно выполнять ОП с ЛЛ в системе локализованного освещения с установкой ОП с соответствующим типом ЛЛ на пониженной высоте по сравнению с остальными ОП склада. Аналогичны требования к освещению складов, в которых хранятся продовольственные товары. Исключение составляют склады овощей и помещения, где товары хранятся при пониженной температуре. В этих случаях выполняется общее равномерное освещение ОП с ЛН.

Увеличение освещенности в торговых залах крупных универмагов, фирменных магазинов требует согласования.

Электроприемники магазинов имеют следующие категории по степени обеспечения надежности электроснабжения: электроустановки в целом магазинов с торговыми залами общей площадью от 220 м² и бо-

лес — вторая категория; менее 220 м² — третья категория.

В ряде случаев в торговых залах крупных универмагов, в больших залах самообслуживания рекомендуется половину ОП (через ряд) подключать к сети рабочего и АЭО, взаимно резервируя эти виды освещения. В магазинах самообслуживания к такому же решению приводит наличие большого количества покупателей и открыто выложенного товара.

В групповую осветительную сеть предприятий торговли запрещено включать кассовые аппараты, торговые автоматы, электрополотенца, электроутюги и т.п. Освещение витрин должно питаться отдельными линиями от сети рабочего освещения. Для местного освещения прилавков, полок, световых указателей и прочего торгового оборудования предусматриваются самостоятельные групповые линии. Для ОП, встроены в торговое оборудование, создается сеть розеток (двухполюсных с заземляющим контактом), которые устанавливаются на колоннах, стенах и в полу торговых залов таким образом, чтобы можно было подключать оборудование на каждом участке торгового зала.

Управление освещением торговых залов должно быть централизованным, недоступным для покупателей и осуществляться с групповых щитков или панели управления.

14.7. ОСВЕЩЕНИЕ СПОРТИВНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Развитию спорта и формированию здорового образа жизни в нашей стране уделяется большое внимание. Крупные средства вкладываются в строительство новых и реконструкцию существующих спортивных сооружений.

Хорошее освещение открытых спортивных сооружений позволяет более чем вдвое увеличить их реальное использование. Закрытые сооружения без освещения не могут существовать.

Стоимость устройства освещения спортивных площадок составляет примерно от 15% до 40% стоимости строительства новых площадок. Высококачественное освещение спортивных сооружений является одним из наиболее важных условий для их окупаемости.

Высокое качество спортивного освещения является неперемным требованием.

14.7.1. Принципы спортивного освещения

Создание рационального и высококачественного спортивного освещения является сложной и противоречивой задачей, требующей в первую очередь обеспечения оптимальных зрительных условий для спортсменов, зрителей и судей, а также требований для ведения телевизионных трансляций с мест соревнований.

Для спортсменов система освещения должна обеспечивать условия для быстрого и надежного различения объектов наблюдения (мяч, шайба, снаряд и т.д.), как правило, быстро движущихся на фоне переменной яркости, при этом угловые размеры объекта наблюдения могут изменяться в широких пределах, а сам на-

блюдатель также часто быстро перемещается в произвольных направлениях. Для мгновенного выбора правильного решения спортсмену необходимо не только фиксировать местоположение объекта наблюдения, но и оценить характер его движения, в частности, направление вращения мяча, его траекторию и т.д., а также иметь возможность координировать свои действия с положениями и действиями других спортсменов в пределах игрового поля. Для неигровых видов спорта полноценное освещение позволяет не только выполнить необходимую спортивную программу, но и уменьшает вероятность травматизма.

Для зрителей и судей также необходимо обеспечить быструю зрительную фиксацию происходящих спортивных событий, часто в условиях больших расстояний наблюдения, особенно на крупных сооружениях, где это расстояние может достигать несколько сотен метров, а угловой размер объекта составляет лишь несколько угловых минут. Наряду с этим, учитывая зрелищность спортивных соревнований, должны быть обеспечены комфортные условия для зрителей: не только достаточные уровни яркости наблюдаемых объектов и равномерность распределения света, но и максимально ограниченное слепящее действие ИС и хорошая цветопередача излучения.

Реализация этих общих требований для разных видов спорта и спортивных сооружений осуществляется различными путями.

Открытые и закрытые спортивные сооружения можно подразделить на «плоскостные», где спортсмены находятся все время на горизонтальной плоскости, и на «объемные», где спортсмены перемещаются в некотором пространстве (трамплины для прыжков на лыжах, бассейны для прыжков в воду и т.д.).

Кроме того, виды спорта, а соответственно и сооружения для них, делятся на игровые и неигровые. Игровые виды спорта бывают «наземные» и «воздушные». Наземными играми считаются те, в которых объект наблюдения (мяч, шайба) движутся по земле или вблизи нее, а линия зрения спортсменов обычно горизонтальна или направлена ниже горизонта (хоккей, городки и т.п.). Воздушные — это те игры, где объекты наблюдения перемещаются в пространстве над игровой площадкой, а линия зрения спортсменов часто бывает направлена выше горизонта. Сюда относятся большинство спортивных игр: футбол, баскетбол, теннис, бадминтон и др.

Освещение сооружений для неигровых видов спорта будет сильно отличаться одно от другого в зависимости от того, имеет ли линия зрения спортсменов постоянное направление (стрельба, бег) или оно меняется.

Иногда при освещении комбинированных и многоцелевых спортивных сооружений установка спортивного освещения должна удовлетворять нескольким, подчас противоречивым требованиям. Однако любая спортивная ОУ должна обеспечивать спортсменам возможность полноценно заниматься данным видом спорта, а зрителям и судьям — следить за ходом спортивной борьбы.

Для реализации требований, предъявляемых к ОУ спортсооружений, как с телевизионными трансляциями так и без них, регламентируются следующие основные параметры:

- уровни горизонтальной и вертикальной освещенности и показатели равномерности освещения;
- показатели слепящего действия и пульсации освещения;
- цветовая температура и индекс цветопередачи излучения источников света.

В практике спортивного освещения освещенность принимается в качестве основного количественного показателя, обеспечивающего требуемый уровень видимости. Для большинства видов спорта регламентируется горизонтальная освещенность как параметр, достаточно просто и надежно характеризующий ОУ. Его обеспечение в заданных пределах при правильно выбранной системе освещения и типах ОП позволяет получить требуемые уровни освещенности и в вертикальных плоскостях [14.27].

Однако в ряде видов спорта, особенно «воздушных», а также там, где объект наблюдения расположен в вертикальной плоскости (например, в стрельбе), нормируется также вертикальная освещенность. Поскольку видимость объекта для спортсменов, зрителей и телевизионных систем определяется соотношениями световых потоков, падающих на объект с разных направлений и создающих моделирующие эффекты, при проектировании систем освещения целесообразно учитывать соотношение освещенностей в различных вертикальных плоскостях.

В табл. 14.16 приведены минимальные уровни освещенности для основных видов спорта на тренировках, а также необходимые при проведении соревнований [14.27] без трансляции по телевидению. Указанные в табл. 14.16 значения освещенностей не зависят от типа ИС. Различие в рекомендуемых величинах освещенности для одного и того же вида спорта, в крытых и открытых спортивных сооружениях объясняется соображениями экономии.

Кроме того, как правило, в крытых спортивных сооружениях проводятся соревнования более высокого уровня, сопряженные с большими скоростями движения и большей ответственностью зрительной работы.

Отечественные «Нормы электрического освещения спортивных сооружений» ВСН-1-73, принятые в 1973 г. [14.28], давно уже требуют пересмотра.

Для правильного ориентирования проектировщиков в табл. 14.16 наряду с нормами ВСН-1-73 приведены данные некоторых зарубежных норм.

В частности, Европейских норм EN 12193:1999, вошедших в Германские нормы DIN EN 12193 (столбцы 5 и 6 табл. 14.16), рекомендаций справочной книги Американского общества инженеров-светотехников IES RP-2000 (столбцы 7 и 8 табл. 14.16) и Рекомендаций Международной комиссии по освещению МКО (столбцы 9 и 10 табл. 14.16) [14.29—14.31].

Следует отметить, что в отличие от российских норм, в которых указаны значения минимальной освещенности $E_{мин}$, в зарубежных нормах и публикациях

Продолжение табл. 14.16

Вид спорта	Класс игры или спортивного сооружения	BSI-1-73 минимальная освещенность		EN12193 средняя освещенность		IES Rec. Pract. RP-2000 средняя освещенность		МКО средняя освещенность	
		$\frac{E_{гор}}{E_{мин}/E_{макс}}$	$E_{верт}$	$\frac{E_{гор}}{E_{мин}/E_{средн}}$	$E_{верт}$	$\frac{E_{гор}}{E_{макс}/E_{мин}}$	$E_{верт}$	$\frac{E_{гор}}{E_{средн}/E_{мин}}$	$E_{верт}$
		3	4	5	6	7	8	9	10
Легкая атлетика	Тренировка	$\frac{50}{1/3}$	—	$\frac{100}{0,5}$	—	—	—	—	—
	Соревнование	$\frac{50-100^2}{1/3}$	—	$\frac{500}{0,7}$	—	—	—	—	—
Тяжелая атлетика	Тренировка	$\frac{30}{1/3}$	—	—	—	—	—	—	—
	Соревнование	—	—	—	—	—	—	—	—
Плавание	Тренировка	$\frac{100}{1/3}$	—	$\frac{200}{0,5}$	—	$\frac{300}{4/1}$	—	$\frac{200}{3/1}$	—
	Соревнование	—	—	$\frac{500}{0,7}$	—	$\frac{500}{2,5/1}$	—	$\frac{500}{3/1}$	—
Водное поло	Тренировка	$\frac{100}{1/3}$	50 ¹	$\frac{200}{0,5}$	—	—	—	—	—
	Соревнование	—	—	$\frac{500}{0,7}$	—	—	—	—	—
Прыжки в воду	Тренировка	$\frac{100}{1/3}$	50 ³	$\frac{200}{0,5}$	—	—	—	—	—
	Соревнование	—	—	$\frac{500}{0,7}$	—	—	—	—	—
Стрельба пулевая	Тренировка	—	—	—	—	$\frac{100}{2/1}$	500	100	—
	Соревнование	—	—	—	—	—	—	—	—
Стендовая стрельба	Тренировка	—	50 ⁴	—	—	—	200–300	—	500
	Соревнование	—	—	—	—	—	—	—	—
Фигурное катание на коньках	Тренировка	$\frac{50}{1/3}$	—	$\frac{300}{0,5}$	—	—	—	—	—
	Соревнование	$\frac{400}{1/3}$	—	$\frac{750}{0,7}$	—	—	—	—	—
Велогонки на треке	Тренировка	$\frac{50}{1/3}$	—	$\frac{100}{0,5}$	—	$\frac{200}{4/1}$	—	$\frac{100}{3/1}$	—
	Соревнование	—	—	$\frac{500}{0,7}$	—	$\frac{300}{3/1}$	—	$\frac{300}{3/1}$	—
Прыжки на лыжах с трамплина	Тренировка	$\frac{30^5-75^6}{1/3}$	50 ⁷	$\frac{20}{0,3}$	—	—	—	$\frac{100}{3/1}$	—
	Соревнование	—	—	$\frac{150}{0,51}$	—	—	—	$\frac{300}{3/1}$	—
Горнолыжный спорт	Тренировка	$\frac{30^8}{1/5}$	—	$\frac{20}{0,2}$	—	—	—	$\frac{10}{3/1}$	—
	Соревнование	—	—	$\frac{100}{0,5}$	—	—	—	$\frac{50}{3/1}$	—

Продолжение табл. 14.16

Вид спорта	Класс игры или спортивного сооружения	ВСН-1-73 минимальная освещенность		EN12193 средняя освещенность		IES Rec. Pract. RP-2000 средняя освещенность		МКО средняя освещенность	
		$\frac{E_{гор}}{E_{мин}/E_{макс}}$	$E_{верт}$	$\frac{E_{гор}}{E_{мин}/E_{средн}}$	$E_{верт}$	$\frac{E_{гор}}{E_{макс}/E_{мин}}$	$E_{верт}$	$\frac{E_{гор}}{E_{средн}/E_{мин}}$	$E_{верт}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Скоростной бег на лыжах	Тренировка	$\frac{5^{10} - 20^9}{1/25}$	—	$\frac{200}{0,6}$	—	5	—	—	—
	Соревнование	—	—	$\frac{300}{0,7}$	—	—	—	—	—
Массовое катание на лыжах	Тренировка	$\frac{2^{10} - 20^9}{1/25}$	—	—	—	5	—	—	—
	Соревнование	—	—	—	—	—	—	—	—
Массовое катание на коньках	Тренировка	$\frac{10^{11}}{1/10}$	—	—	—	—	—	—	—
	Соревнование	—	—	—	—	—	—	—	—
Сани, бобслей	Тренировка	$\frac{300}{1/3}$	—	$\frac{50}{0,4}$	—	—	—	—	—
	Соревнование	—	—	$\frac{300}{0,7}$	—	—	—	—	—

Б. Крытые сооружения

Вид спорта	Класс игры или спортивного сооружения	ВСН-1-73 минимальная освещенность		EN12193 средняя освещенность		IES Rec. Pract. RP-2000 средняя освещенность		МКО средняя освещенность	
		$\frac{E_{гор}}{E_{мин}/E_{макс}}$	$E_{верт}$	$\frac{E_{гор}}{E_{мин}/E_{средн}}$	$E_{верт}$	$\frac{E_{гор}}{E_{макс}/E_{мин}}$	$E_{верт}$	$\frac{E_{гор}}{E_{мин}/E_{средн}}$	$E_{верт}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Футбол	Тренировка	$\frac{300}{1/3}$	100 ¹	$\frac{200}{0,5}$	—	$\frac{500}{4/1}$	—	—	—
	Соревнование	$\frac{500}{1/3}$	200 ¹	$\frac{750}{0,7}$	—	$\frac{2000}{1,7/1}$	—	—	—
Хоккей с шайбой	Тренировка	$\frac{500}{1/3}$	—	$\frac{300}{0,7}$	200	$\frac{500}{4/1}$	—	$\frac{200}{3/1}$	—
	Соревнование	$\frac{500}{1/3}$	—	$\frac{750}{0,7}$	500	$\frac{500}{1,7/1}$	—	$\frac{750}{3/1}$	—
Хоккей с мячом и на траве, скоростной бег на коньках	Тренировка	$\frac{150}{1/3}$	—	$\frac{200}{0,5}$	—	$\frac{200}{4/1}$	—	—	—
	Соревнование	$\frac{500}{1/3}$	—	$\frac{500}{0,7}$	—	$\frac{300}{3/1}$	—	—	—
Бадминтон, баскетбол, ручной мяч, волейбол	Тренировка	$\frac{300}{1/3}$	100 ¹	$\frac{200}{0,5}$	200	$\frac{200}{4/1}$	—	$\frac{300}{3/1}$	—
	Соревнование	$\frac{500}{1/3}$	—	$\frac{750}{0,7}$	500	$\frac{1250}{1,7/1}$	—	$\frac{750}{3/1}$	—
Теннис	Тренировка	$\frac{300}{1/3}$	100 ¹	$\frac{300}{0,5}$	—	$\frac{500}{4/1}$	—	$\frac{300}{3/1}$	—
	Соревнование	$\frac{500}{1/3}$	200 ¹	$\frac{750}{0,7}$	—	$\frac{1500}{1,7/1}$	—	$\frac{750}{3/1}$	—

Продолжение табл. 14.16

Вид спорта	Класс игры или спортивного сооружения	BSI-1-73 минимальная освещенность		EN12193 средняя освещенность		IES Rec. Pract. RP-2000 средняя освещенность		МКО средняя освещенность	
		$\frac{E_{гор}}{E_{мин}/E_{макс}}$	$E_{верт}$	$\frac{E_{гор}}{E_{мин}/E_{средн}}$	$E_{верт}$	$\frac{E_{гор}}{E_{макс}/E_{мин}}$	$E_{верт}$	$\frac{E_{гор}}{E_{мин}/E_{средн}}$	$E_{верт}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Настольный теннис	Тренировка	$\frac{400}{1/3}$	—	$\frac{300}{0,5}$	200	$\frac{300}{4/1}$	—	$\frac{300}{3/1}$	—
	Соревнование	$\frac{500}{1/3}$	—	$\frac{750}{0,7}$	500	$\frac{700}{2,5/1}$	—	$\frac{750}{3/1}$	—
Акробатика, гимнастика, фехтование	Тренировка	$\frac{200}{1/3}$	—	$\frac{300}{0,5}$	200	$\frac{300}{4/1}$	—	$\frac{300}{3/1}$	—
	Соревнование	$\frac{500}{1/3}$	—	$\frac{750}{0,7}$	500	$\frac{800}{2,5/1}$	—	$\frac{1000}{3/1}$	—
Бокс, борьба	Тренировка	$\frac{200}{1/3}$	—	$\frac{500}{0,5}$	250	—	—	$\frac{300}{3/1}$	—
	Соревнование	$\frac{1000}{1/3}$	—	$\frac{2000}{0,8}$	1000	$\frac{1000}{3/1}$	—	$\frac{3000}{3/1}$	—
Легкая атлетика	Тренировка	$\frac{150}{1/3}$	—	$\frac{300}{0,5}$	200	—	—	—	—
	Соревнование	—	—	$\frac{750}{0,7}$	500	—	—	—	—
Тяжелая атлетика	Тренировка	$\frac{150}{1/3}$	—	$\frac{200}{0,5}$	—	—	—	—	—
	Соревнование	$\frac{200-500^2}{1/3}$	—	$\frac{500}{0,7}$	—	—	—	—	—
Плавание	Тренировка	$\frac{150}{1/3}$	—	$\frac{200}{0,5}$	—	$\frac{300}{4/1}$	—	$\frac{200}{3/1}$	—
	Соревнование	$\frac{200-400^2}{1/3}$	—	$\frac{500}{0,7}$	—	$\frac{750}{1,7/1}$	—	$\frac{500}{3/1}$	—
Водное поло	Тренировка	$\frac{200}{1/3}$	100 ¹	$\frac{200}{0,5}$	—	$\frac{300}{4/1}$	—	—	—
	Соревнование	$\frac{200-400^2}{1/3}$	150 · 200 ^{1,2}	$\frac{500}{0,7}$	—	$\frac{750}{1,7/1}$	—	—	—
Прыжки в воду	Тренировка	$\frac{150}{1/3}$	75 ³	$\frac{200}{0,5}$	—	$\frac{300}{4/1}$	—	—	—
	Соревнование	$\frac{200-400^2}{1/3}$	100–150 ^{2,3}	$\frac{500}{0,7}$	—	$\frac{750}{1,7/1}$	—	—	—
Стрельба пулевая	Тренировка	$\frac{75^{12}}{1/3}$	300 ¹³	$\frac{200}{0,5}$	1000	$\frac{200}{4/1}$	500	$\frac{200}{3/1}$	1000
	Соревнование	—	500 ¹⁴	$\frac{200}{0,5}$	2000	$\frac{300}{2,5/1}$	1000	—	—
Фигурное катание на коньках	Тренировка	$\frac{500}{1/3}$	—	$\frac{300}{0,5}$	—	$\frac{500}{4/1}$	—	$\frac{200}{3/1}$	—
	Соревнование	$\frac{500}{1/3}$	—	$\frac{750}{0,7}$	—	$\frac{1000}{1,7/1}$	—	$\frac{750}{3/1}$	—

Окончание табл. 14.16

Вид спорта	Класс игры или спортивного сооружения	ВСН-1-73 минимальная освещенность		EN12193 средняя освещенность		IES Rec. Pract. RP-2000 средняя освещенность		МКО средняя освещенность	
		$E_{гор}$	$E_{верт}$	$E_{гор}$	$E_{верт}$	$E_{гор}$	$E_{верт}$	$E_{гор}$	$E_{верт}$
		$E_{мин}/E_{макс}$		$E_{мин}/E_{средн}$		$E_{макс}/E_{мин}$		$E_{мин}/E_{средн}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Велогонки на треке	Тренировка	—	—	$\frac{200}{0,5}$	—	—	—	—	—
	Соревнование	—	—	$\frac{750}{0,7}$	—	—	—	—	—
Скоростной бег на коньках	Тренировка	—	—	—	—	$\frac{200}{4/1}$	—	—	—
	Соревнование	—	—	—	—	$\frac{300}{3/1}$	—	—	—

- 1 Освещенность в вертикальной плоскости, проходящей через продольную ось поля с обеих ее сторон.
- 2 Освещенность выбирается в зависимости от вместимости трибун.
- 3 Освещенность в зоне траектории прыжка.
- 4 Освещенность в зоне полета мишеней.
- 5 На поверхности стартовой площадки, горы разгона и горы приземления.
- 6 На поверхности стола отрыва.
- 7 В зоне траектории прыжка.
- 8 Средняя освещенность с коэффициентом неравномерности 1:5.
- 9 Средняя освещенность в зоне старта и финиша, а также спусков с уклоном более 15°.
- 10 Средняя освещенность на остальных участках трассы. Коэффициент неравномерности не менее 1:25.
- 11 Средняя освещенность с коэффициентом неравномерности не менее 1:10.
- 12 В пределах огневой позиции.
- 13 Средняя освещенность в плоскости мишеней с коэффициентом неравномерности не менее 1:2.
- 14 То же в плоскости движения мишени «бегущий кабан» в пределах «окна».

МКО нормирована средняя освещенность $E_{ср}$, поэтому для их сравнения требования отечественных норм должны быть пересчитаны в $E_{ср}$ с учетом допустимой неравномерности распределения освещенности. Значения этого параметра также приведены в табл. 14.16.

Для хорошей видимости важен контраст объекта наблюдения с фоном. В практических условиях величина контраста может изменяться на несколько порядков. Так, при игре в теннис белый или желтый мяч попеременно может наблюдаться на фоне красного или желтого покрытия корта, окружающих корт зеленых насаждений или темного задника, ночного неба, светлой одежды игроков или ярких прожекторов. При этом яркость мяча, находящегося в различных зонах над кортом, меняется. Однако система освещения должна обеспечить такое распределение светового потока, чтобы при любом игровом моменте контраст мяча с фоном был достаточен для надежного определения его положения, траектории и скорости движения, а также направления вращения. В спортивных залах можно влиять на контраст путем окраски стен и потолка в контрастные с объектом различия цвета и дополнительного освещения ограждающих конструкций. На открытых сооружениях эти задачи решаются сложнее, однако и здесь известный эффект может быть получен

окраской окружающих изгородей, трибун и специальных фонов, а также их освещением. Часто используется контрастная окраска объектов различия (мяча, одежды игроков и т.д.). Например, сейчас в футбол и другие спортивные игры играют пестрыми мячами, что делает их хорошо видимыми на самых различных фонах. Наиболее эффективным способом влияния на контраст является регламентация равномерности распределения освещенности. Практически установлено, что для всех спортивных игр неравномерность в горизонтальной или вертикальной плоскости должна быть не менее 1:3, а для зимних видов спорта может достигать существенно меньших значений — до 1:10 — 1:25.

Уровни освещенности трибун спортивных сооружений следует принимать: в крытых сооружениях — 50 лк; на открытых сооружениях не менее 10% от уровня освещенности, предусмотренной для соответствующего вида спорта (с учетом освещенности на трибунах, создаваемой установкой освещения спортивной площадки).

В отдельных случаях спортивная технология требует «верхнего света» (бокс, борьба, тяжелая атлетика). В этих случаях соотношение $E_{верт}$ и $E_{гор}$ не может быть выдержано в пределах 1:2 и достигает 1:3 — 1:4 и даже более, что следует считать допустимым.

Существенную роль в создании хороших условий зрительной работы спортсменов и зрителей играет ограничение слепящего действия ИС. При этом ограничение слепящего действия ОП с ЛЛ при освещении большого спортивного зала так же важно, как и от мощных батарей прожекторов на крупном стадионе.

Уменьшение слепящего действия ОУ достигается следующими способами:

- снижением яркости ОП по направлению к глазу при помощи оптической системы, рассеивателей, экранирующих решеток (жалюзи);
- применением рациональной системы освещения, т.е. размещением и направлением ОП в соответствии со спортивной технологией.

Так, для большинства спортивных игр характерно преимущественно продольное перемещение спортсменов и направления линии их зрения (баскетбол, теннис, футбол и др.). В связи с этим ОП должны располагаться в виде групп или линий, параллельных продольной оси игровой площадки, а для уменьшения слепящего действия их целесообразно максимально удалять от продольной оси игровой площадки. Это приводит к рекомендации применения верхнебоковой системы освещения для большинства спортивных игр.

Для спортивных залов, в которых показатель ослепленности не должен превышать величины 60 [14.28], система верхнебокового освещения является наиболее рациональной, расположение ОП на торцевых стенах или на потолке вблизи этих стен не допускается. При верхнебоковом освещении открытых спортивных сооружений ОП должны устанавливаться на высоте не менее 10 м, при этом угол между поверхностью игрового поля сооружения и перпендикуляром, опущенным из оптического центра ОП на продольную ось сооружения, был не менее 27 град. [14.45]. За счет удаления блестящих ИС от основного направления линий зрения спортсменов и зрителей удается снизить слепящее действие до приемлемых уровней. Поскольку слепящее действие ОУ существенно влияет на качество зрительной работы, эти требования должны безусловно выполняться, несмотря на большие экономические затраты и необходимость создания сложных инженерных сооружений (особенно для крупных стадионов).

В рекомендациях МКО для ограничения слепящего действия ОП при 4-мачтовой системе освещения стадионов принят угол между направлением от центра поля к нижнему ряду ОП на мачте и горизонталью в пределах 20–30 град, что близко совпадает с отечественными нормами. При многомачтовой системе верхнебокового света угол, аналогичный принятому в отечественных нормах, регламентируется в пределах 20–25 град, а высота мачт больше или равна 12 м [14.27].

Для небольших стадионов и спортивных площадок из экономических соображений допускается применение «верхнего» освещения, однако при этом высота установки ОП должна быть не менее 12 м для волейбола и тенниса, 8 м для бадминтона, баскетбола, и ручного мяча и 6 м для хоккея. Кроме того, применяемые ОП должны иметь защитный угол не менее 30 град.

Снижение слепящего действия достигается повышением яркости адаптации спортсменов и зрителей: освещением трибун для зрителей, окраской стен и потолков спортивных залов в светлые тона, направлением светового потока ОП в верхнюю полусферу.

Требования, предъявляемые к освещению спортивных сооружений для передачи цветного телевидения, имеют свою специфику. Это связано с ограниченной по сравнению с глазом интегральной светочувствительностью телевизионных камер и передаваемого ими диапазона яркостей, а также с их цветопередающими свойствами [14.29, 14.32–14.33].

Для получения цветного телевизионного изображения высокого качества необходимо, чтобы соотношение сигнал/шум для телевизионных камер составляло не менее 40–46 дБ. Это условие выполняется при световом потоке, проходящем от объекта передачи через объектив телекамеры, не менее 0,002–0,004 лм (в зависимости от типа камеры и применяемого объектива).

Другой особенностью техники телевизионной передачи является необходимость диафрагмирования объектива телекамеры для получения четкого изображения спортивных событий с большой глубиной пространства, а также связанная с удобством работы оператора при показе объектов, быстро перемещающихся в пространстве (например, при игре в хоккей, теннис).

Практикой передач установлено, что диапазон значений диафрагмы варьируется в пределах 2–5,6, при этом наиболее употребительна диафрагма 4, обеспечивающая, как правило, достаточную глубину резкого изображаемого пространства без перефокусировки камеры.

К числу других особенностей телевизионной системы следует отнести ограниченный диапазон воспроизводимых яркостей (1:40) и требования к спектральному составу источников света для получения правильной цветопередачи объектов.

Для передач цветного телевидения с мест соревнований необходимо обеспечить освещенность не менее 1000 лк на плоскостях, вектор нормали которых обращен к телевизионной камере. В случае произвольного размещения телекамер с различных сторон спортивной арены, нужно рассчитывать требуемый уровень освещенности по направлению к каждой камере, но для упрощения расчетов можно проводить расчет лишь в четырех вертикальных плоскостях, параллельных продольной и поперечной осям арены в точках, лежащих на высоте 1 м от арены [14.32].

В нашей стране требования к освещению спортивных сооружений для проведения цветных телевизионных передач были разработаны Всесоюзным научно-исследовательским светотехническим институтом (ВНИСИ) при подготовке к проведению Олимпиады-80.

Основные данные из этих «Требований» приведены в табл. 14.17.

При передачах цветного телевидения должна быть обеспечена равномерность 1:2 в четырех вертикальных плоскостях, параллельных продольной и поперечной осям спортивной арены, а также в горизонтальной плоскости. Кроме того, регламентируется соотношение

Таблица 14.17

Основные требования к освещению спортивных сооружений при проведении цветных телевизионных передач

Нормируемый параметр	Требуемая величина
Средняя величина освещенности в вертикальной плоскости $E_{\text{верт.средн}}$	500–1400 лк
Допустимая неравномерность распределения освещенности в вертикальной плоскости $E_{\text{верт.мин}}/E_{\text{верт.макс}}$	1/2
Допустимое соотношение освещенностей в вертикальной и горизонтальной плоскостях $E_{\text{верт}}/E_{\text{гор}}$	1/2
Цветовая температура излучения ИС – на открытых и крытых сооружениях, где возможен естественный свет – в крытых сооружениях без естественного света	4000–6500 К 2800–6500 К
Индекс цветопередачи R_a	больше 65

вертикальной и горизонтальной освещенностей в каждой точке поля в пределах 1:2.

Для уменьшения контраста яркости между полем и трибунами, являющимися при телевизионной передаче фоном, вертикальная освещенность на передних рядах трибун должна составлять не менее 30%, а на задних рядах не менее 10% от нормированной для спортивной арены.

Для получения высококачественного цветного телевизионного изображения применяют ИС со спектральным составом излучения достаточно близким к дневному. Это позволяет для открытых спортивных сооружений и залов со светопроемами дневного света переходить от естественного к искусственному освещению в ходе соревнования без существенной перестройки телекамер. Для спортивных сооружений, с которых идут цветные телерепортажи, регламентируется применение ИС с цветовой температурой $T_{\text{цв}} = 4000\text{--}6500\text{ К}$ и индексом цветопередачи $R_a > 65$. На спортобъектах, где отсутствует естественное освещение, могут применяться ИС с цветовой температурой 2800–6500 К. Для прочих спортивных сооружений, предназначенных для тренировочных занятий и соревнований без цветных телерепортажей, цветопередающие свойства ОУ не являются критическими, а их ужесточение существенно увеличивает стоимость ОУ. Основные требования к освещению спортивных сооружений при проведении цветных телевизионных передач приведены в табл. 14.17 (см. также [14.33]).

Технические параметры, приведенные в табл. 14.17, соответствуют требованиям МКО при значении диафрагмы объектива передающей телекамеры 1:4, наиболее употребительной для большинства случаев спортивных телевизионных репортажей.

Нормирование величин освещенности для школьных спортивных залов и для территорий стадионов приведено в [14.34].

14.7.2. Осветительные средства

Основными критериями для выбора оптимального ОП для установки спортивного освещения являются светотехнические параметры, эксплуатационные харак-

теристики, экономические показатели и конструктивные особенности, позволяющие наиболее рационально решить задачу освещения.

Оценка ОП по этим критериям во многом определяется достоинствами и недостатками используемых в них ИС.

С этой точки зрения три основные группы ИС (лампы накаливания, люминесцентные лампы и газоразрядные лампы высокого давления) могут быть оценены по таким характеристикам, как диапазон мощностей, световая отдача, срок службы, габариты, цветность излучения, возможность перераспределения светового потока в ОП, рабочее положение, стоимость, эксплуатационные расходы.

В настоящее время основным типом ИС, применяемым для освещения спортивных сооружений, являются МГЛ. Это объясняется тем, что требуется создание освещенности на значительных по размерам поверхностях спортивных сооружений, экономичностью этих ИС и обеспечением высоких значений индекса цветопередачи, что особенно важно в случаях цветных телевизионных передач со спортивными соревнованиями.

Можно считать установившимися следующие области применения ИС: ЛН и ГЛН — небольшие и временные ОУ открытых и крытых спортобъектов; ЛЛ — тренировочные и школьные залы; ДРЛ — тренировочные площадки; МГЛ — крупные стадионы и спортзалы, особенно при передачах цветного телевидения, когда необходима правильная цветопередача.

В последнее время для освещения крупных стадионов, где прожекторы находятся на значительном расстоянии от освещаемой поверхности, находят применение короткодуговые МГЛ, позволяющие наиболее эффективно перераспределить их световой поток.

В ОУ малых и средних спортзалов иногда применяют смешанный свет МГЛ и ДНаТ. При этом световые потоки этих ИС должны быть хорошо смешаны, чтобы не создавать разноцветных пятен и теней.

При использовании ГРЛ значение коэффициента пульсаций освещенности в крытых спортзалах не должно превышать 20% [14.28]. Для открытых сооружений эта величина не нормируется, однако следует прини-

мать меры для ее ограничения путем подключения смежных ОП к разным фазам сети.

Использование прожекторов экономически целесообразно в любом спортивном сооружении, в котором ОП расположены на значительном удалении от игровой площадки.

При необходимости максимальной концентрации светового потока для освещения удаленных поверхностей (освещение спортивной арены стадиона с высоких мачт, как правило >18 м) применяются прожекторы с параболическими отражателями и ИС, имеющими относительно малые размеры, такие как короткодуговые МГЛ. В том случае, когда большие требования предъявляются не к концентрации светового потока, а к равномерности распределения его в пространстве, могут быть использованы, например, прожекторы с параболическими отражателями или кососветы с зеркальной или структурной отражающей поверхностью [14.37–14.38].

Для освещения малых спортивных залов, где отсутствует необходимость телевизионных передач, рекомендуется применять ОП с ЛЛ. ОП должны защищаться от удара мячом специальными решётками или в них должны устанавливаться рассеиватели из ударопрочных материалов (поликарбоната, ацетобутилата целлюлозы и т.п.).

Прожекторы с МГЛ являются наиболее экономичными и высокоэффективными ОП для крытых и открытых сооружений.

Многие фирмы-изготовители в различных странах производят высококачественные прожекторы и светильники для освещения спортивных сооружений. Информация о них может быть почерпнута из фирменных каталогов.

14.7.3. Методы освещения

Реализация требуемых технологических данного вида спорта количественных и качественных показателей ОУ является сложной инженерной задачей, на решение которой существенно влияют архитектурные особенности спортивного сооружения, а также экономика.

Задачей проектировщика является поиск оптимального решения с точки зрения технологических, светотехнических, архитектурных, эксплуатационных и экономических требований. При всем разнообразии возможных вариантов могут быть выделены следующие основные приемы и методы освещения наиболее характерных и распространенных сооружений [14.37–14.39].

Открытые спортивные сооружения. К этой группе относятся разнообразные объекты: от крупных стадионов до дворовых спортплощадок.

Разумеется, применяемые методы и средства освещения должны быть различными. Рассмотрим некоторые наиболее популярные примеры этих ОУ.

Футбольные стадионы. При освещении стадионов применяются мачтовые, линейные либо смешанные системы.

Мачтовые системы нашли широкое распространение в основном в варианте использования 4-х опор, ус-

тановленных по углам поля в зонах, указанных на схеме. Практика показывает, что в этом случае основные требования к освещению могут быть реализованы, однако системе свойственны и недостатки: для ограничения слепящего действия прожекторов требуются высокие мачты (рис. 14.45). В зависимости от места расположения их высота может достигать 80 м и более, что существенно увеличивает стоимость строительных работ. Несколько уменьшить высоту мачт при сохранении требуемого угла, ограничивающего слепящее действие ИС, можно, придав мачтам некоторый наклон в сторону продольной линии поля.

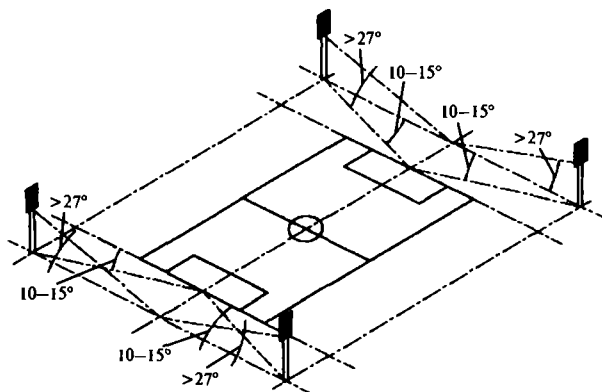


Рис. 14.45. Схема, поясняющая требования, предъявляемые к размещению и высоте прожекторных мачт для освещения стадионов

Для уменьшения экранирования световых пучков прожекторов возможно придать наклон в сторону поля и разворот к его центру самой конструкции прожекторных батарей (рис. 14.46). Этот прием позволяет сделать их более компактными за счет сокращения интервалов между соседними прожекторами. Возможно также устанавливать два соседних по горизонтали ряда прожекторов — нижний в нормальном положении, а верхний с лирой, перевернутой на 180° , с обслуживанием их с одной площадки.

Мачты с прожекторами по условиям безопасности спортсменов не должны располагаться ближе 5 м от боковой и лицевой линий футбольного поля. При наличии на стадионе трибун для зрителей мачты не должны находиться перед трибунами и мешать наблюдению за игрой.

Недостатком системы является также наличие 4-х теней от освещаемых объектов (спортсменов, спортивного оборудования). Для уменьшения этого эффекта, прожекторы с каждой из 4-х мачт должны освещать всю поверхность поля, а не только близлежащую к мачте четверть. 4-мачтовая система для освещения многофункциональных полей иногда применяется в сочетании с группами прожекторов, установленных на козырьках, опорах или других строительных элементах и служащих для улучшения качественных показателей ОУ (рис. 14.47). Переход к большему количеству мачт (6, 8 и более) упрощает задачу получения регламентированных показателей освещения, однако увеличивает

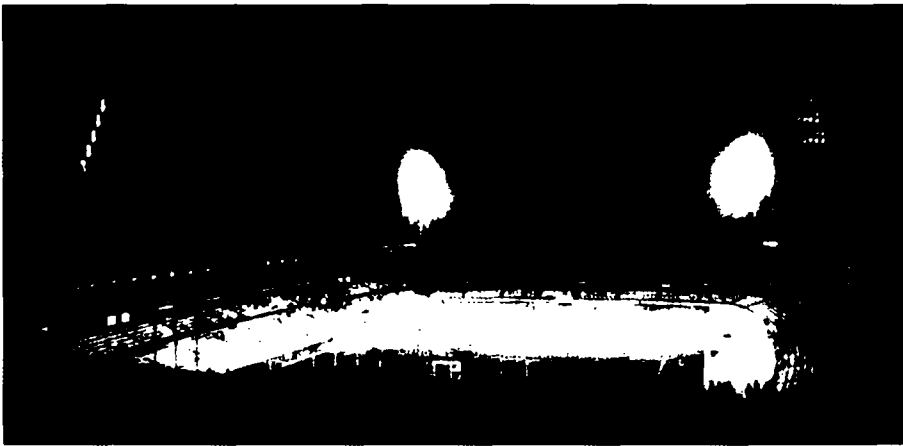


Рис. 14.46. Четырехмачтовая система освещения футбольного стадиона

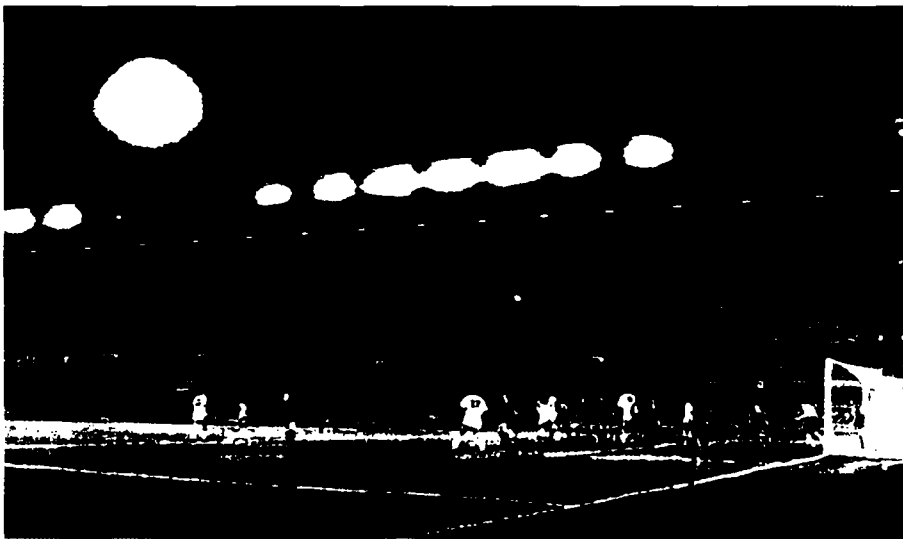


Рис. 14.47. Смешанная система освещения стадиона

стоимость ОУ. Такой способ используется при освещении небольших спортплощадок, где высота мачт невелика (рис. 14.48).

Линейные системы предусматривают установку прожекторов вдоль длинных сторон поля на козырьке над трибунами, либо на специально предусмотренных для этой цели конструкциях (рис. 14.49). Сплошная, или состоящая из отдельных групп, линия прожекторов позволяет обеспечить нужные зрительные условия и требования телевидения. Глубина теней при этой системе уменьшается. Ограничивающим является условие соблюдения соответствующего размещения прожекторов (рис. 14.49), при котором слепящее действие от прожекторов мало. К недостаткам этой системы следует отнести высокую стоимость ОУ, связанную со строительством козырьков. Однако в настоящее время правилами международных спортивных организаций устанавливается требование устройства козырьков над трибунами, как условие проведения соревнований вы-

сокого уровня. Таким образом, расширяется применение линейных и смешанных систем освещения футбольных стадионов. Следует лишь при проектировании стадионов позаботиться о высоте козырьков для установки прожекторов, достаточной для ограничения слепящего действия ИС.

ОУ стадионов должны быть спроектированы таким образом, чтобы избежать образования теней от козырьков трибун.

Следует также предусматривать световое ограждение прожекторных мачт в соответствии с требованиями безопасности полетов авиации.

Необходимо иметь раздельное включение групп прожекторов, освещающих футбольное поле, беговую дорожку и легкоатлетические сектора.

При создании ОУ крупных стадионов, расположенных в пределах городской территории, следует уделять внимание снижению уровня «паразитного света», попадающего в окна близлежащих домов и в ряде случаев мешающего нормальной работе автотранспорта.

Теннисные корты. Их освещение является одной из наиболее сложных задач спортивного освещения.

Трудности связаны с тем, что теннисный мяч имеет малые размеры и движется с очень высокой скоростью. Так, если футбольный мяч в моменты быстрых передач имеет скорость около 50 км/час, и только в моменты «нулевых» ударов скорость его достигает 85–100 км/час, то теннисный мяч в среднем движется со скоростью примерно 135 км/час, а у игроков высокого класса скорость движения мяча превосходит 200 км/час.

Теннисисты обычно смотрят вдоль игровой площадки, но часто их взгляд направлен значительно выше линии горизонта, вплоть до положения прямо над игроком (при выполнении подачи, приеме «свечей»), что не позволяет размещать ОП над площадкой. Зрители обычно располагаются вдоль боковых сторон площадки, а мяч при игре быстро перемещается перед их глазами в основном перпендикулярно направлению линии зрения, поэтому наблюдение за мячом все время происходит на фоне предметов с различной яркостью (пло-

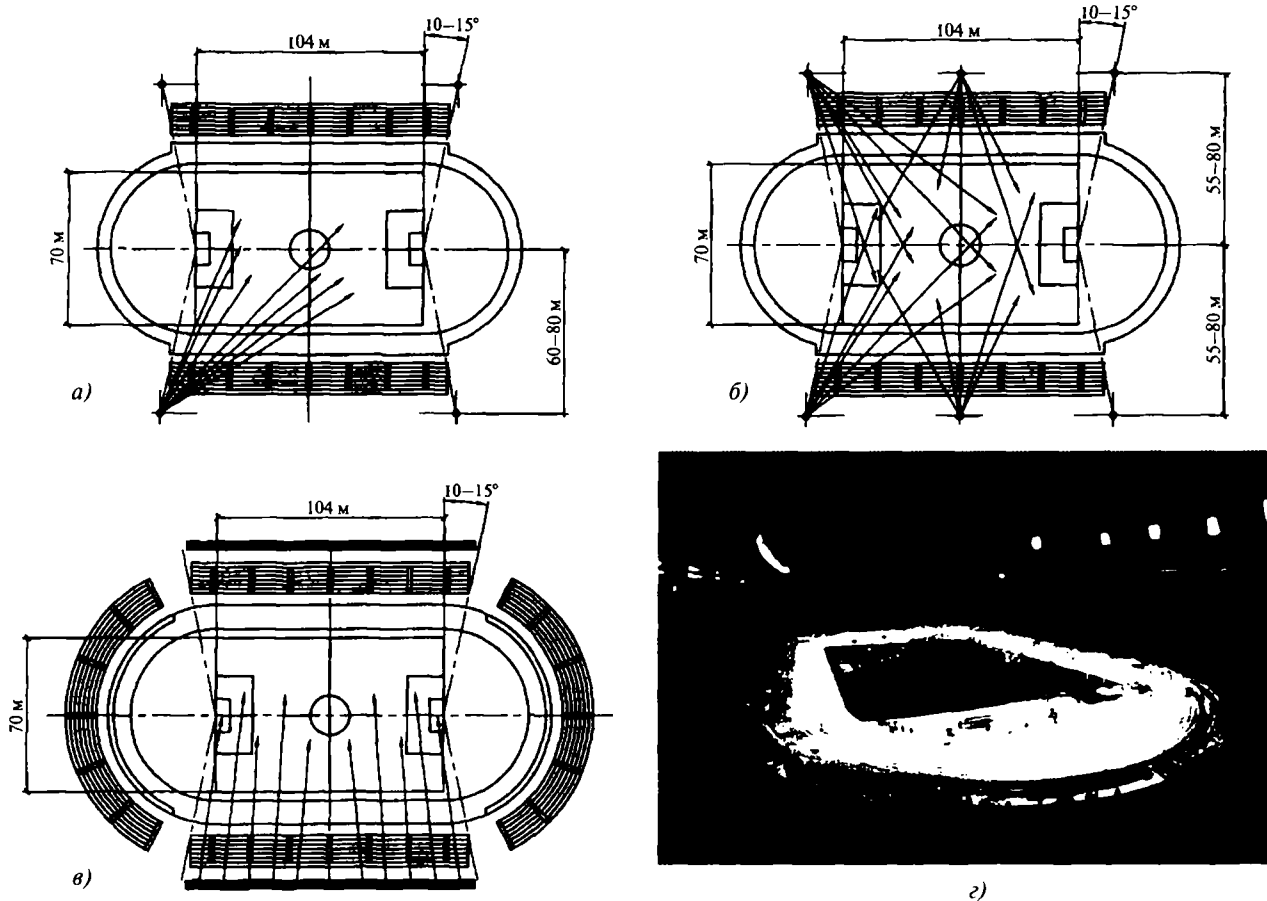


Рис. 14.48. Системы освещения стадиона: *a* — система 4-х мачт; *b* — система 6-ти мачт; *v* — линейная система; *z* — общий вид стадиона с многомачтовой системой освещения



Рис. 14.49. Линейная система освещения стадиона (Большая спортивная арена Олимпийского комплекса «Лужники» в г. Москве)

надки трибун, ограждений и т.п.). Сложные условия зрительной работы игроков, описанные здесь, и зрителей делают необходимыми повышенные уровни освещенности кортов и применение установок высокого качества. Основным направлением света является верхнебоковое направление, создающее высокий контраст мяча с фоном и оказывающее наименьшее слепящее действие на игроков. ОП располагаются на опорах высотой не менее 12 м, установленных вдоль длинных сторон корта, и направляются в основном поперек его продольной оси (рис. 14.50, *a*, *v*). Установка верхнебокового света может быть также выполнена при

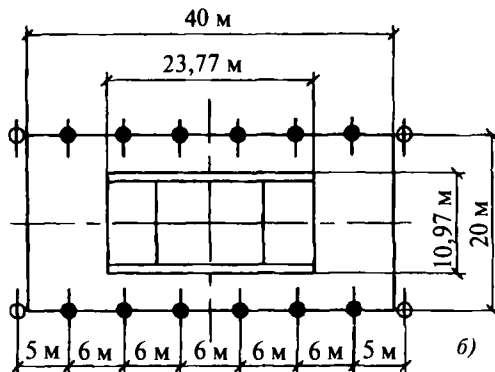
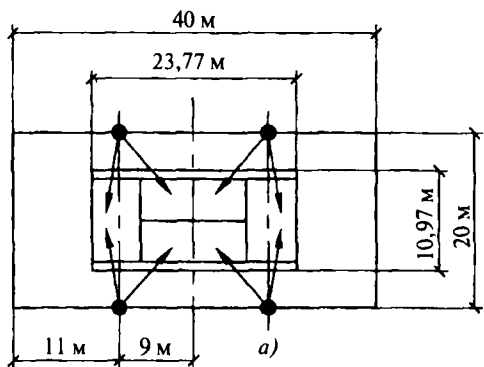


Рис. 14.50. Освещение теннисных кортов: *а* — система верхнебокового освещения теннисного корта; *б* — подвесными светильниками; *в* — вид освещенного корта

помощи подвесных ОП, монтируемых на тросах, натянутых между опорами, которые устанавливаются за пределами игровой площадки в соответствии со схемой, приведенной на рис. 14.50, *б*. ОП должны быть установлены вдоль боковых линий, вне пределов площадки и иметь наклон в сторону ее продольной оси. Целесообразно в этом случае применение ОП с несимметричным светораспределением, типа «кососвет». Необходимо обеспечить освещением с нормированным уровнем не только поверхность игровой площадки, но и «забеги».

Хоккейные поля. Хоккей с шайбой является типичной «наземной» спортивной игрой, поэтому для освещения хоккейного поля может быть применена как ОУ верхнебокового света с наклонно установленными ОП концентрированного светораспределения или прожекторами на опорах, которые монтируются вдоль длинных сторон поля, как это показано на рис. 14.51, *а*, так и ОУ верхнего света с подвесными ОП, смонтированными на тросах, натянутых над полем на уровне не ниже 6 м (рис. 14.51, *б*, *в*).

ОУ верхнего света позволяет полностью устранить тени от бортов поля, возникающие при боковой и верхнебоковой системе освещения. Несмотря на этот недостаток, система верхнебокового освещения чаще всего применяется на демонстрационных катках с три-

бунами, так как подвесная установка выглядит не слишком эстетично и громоздко. Подвесные светильники могут мешать нормальному наблюдению за игрой. На рис. 14.51, *а* показана комбинированная спортивная площадка с ОУ, которая зимой используется как хоккейная, а летом как три теннисных корта. Наблюдение за быстро летящей шайбой может быть значительно улучшено при повышении яркости фона. С этой целью бортики поля должны иметь высокий коэффициент отражения.

Баскетбольные площадки. Баскетбольные площадки освещаются системой верхнебокового света, так как баскетбол может служить характерным примером «воздушной» игры. На рис. 14.52 показана схема освещения баскетбольной площадки с применением 4-х опор для ОП. Высота установки не менее 8 м.

Площадки для волейбола и бадминтона. Площадки для волейбола и бадминтона также освещаются по системе верхнебокового света. Анализ особенностей игры в волейбол показывает, что в этом случае более целесообразно устанавливать ОП на двух высоких опорах (не менее 12 м), расположенных около опор, к которым крепится сетка (рис. 14.53). При бадминтоне используется та же система, но высота установки ОП мо-

в)

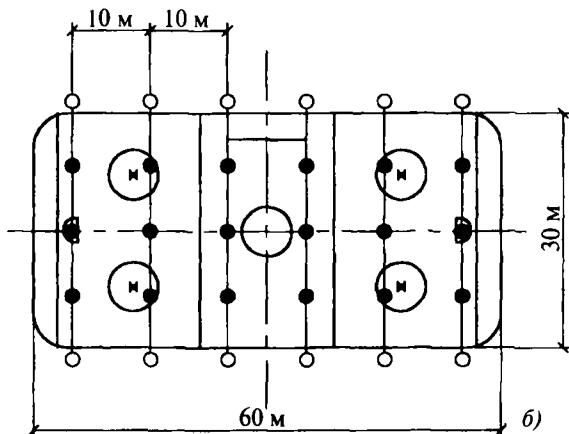
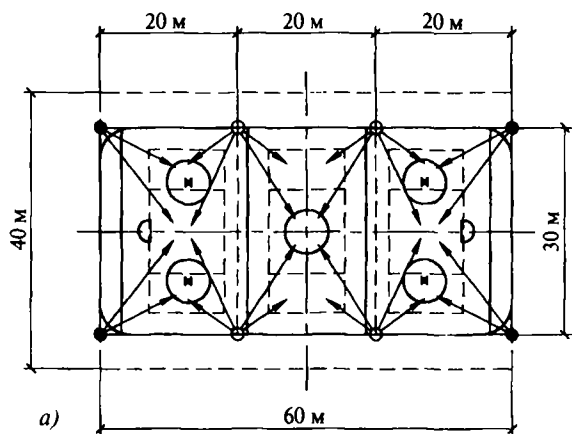


Рис. 14.51. Освещение открытого ледового катка подвесными светильниками: а — схема освещения поля для хоккея с шайбой (три теннисных корта); б — схема освещения поля для хоккея с шайбой (подвесные светильники); в — вид освещенного катка

в)

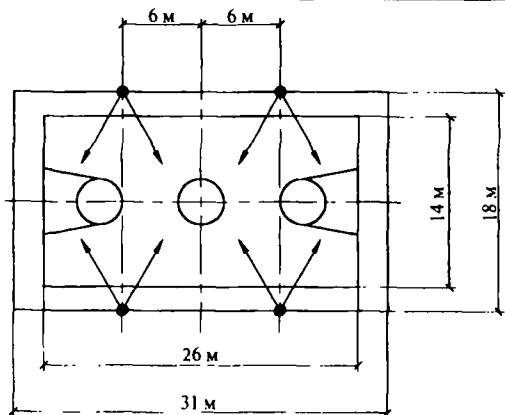


Рис. 14.52. Система освещения баскетбольной площадки

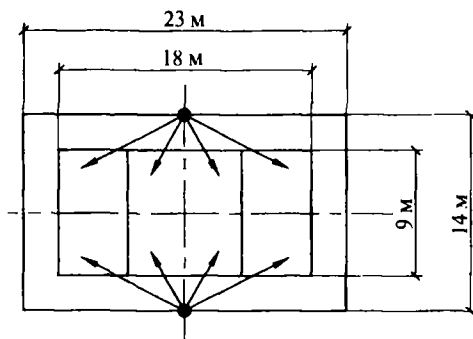
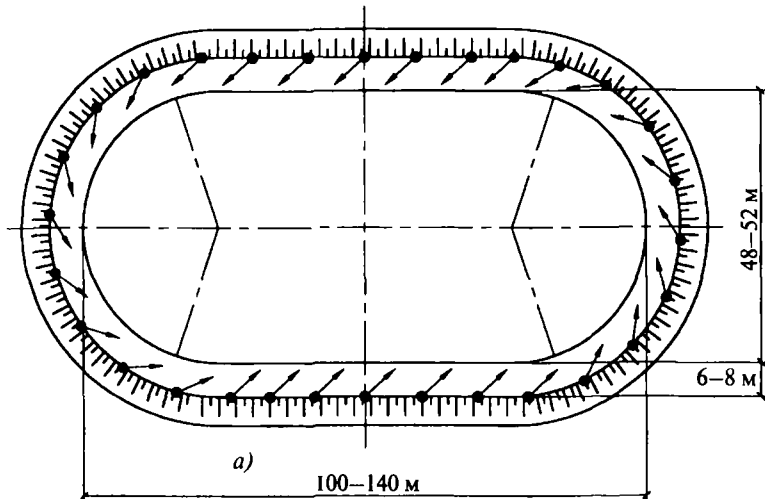


Рис. 14.53. Система освещения волейбольной площадки

Рис. 14.54. Освещение велотрека: а — схема размещения ОП; б — фото освещенного трека



б)



жет быть снижена до 8 м. Предпочтительно применение несимметричных ОП типа «кососвет».

Столы для настольного тенниса. Столы для настольного тенниса освещаются подвесными ОП, расположенными по системе верхнебокового света. При этом необходимо осветить с уровнем освещенности не ниже 400 лк не только поверхность стола, но и пространство вокруг него в пределах всей игровой площадки (4 м за пределами стола). Высота установки ОП не менее 3,5 м. При освещении ЛЛ следует подключать ОП к различным фазам трехфазной питающей сети для уменьшения пульсации освещенности. Защитный угол ОП не менее 30 град. ОП должны быть расположены таким образом, чтобы не создавать отражений от стола.

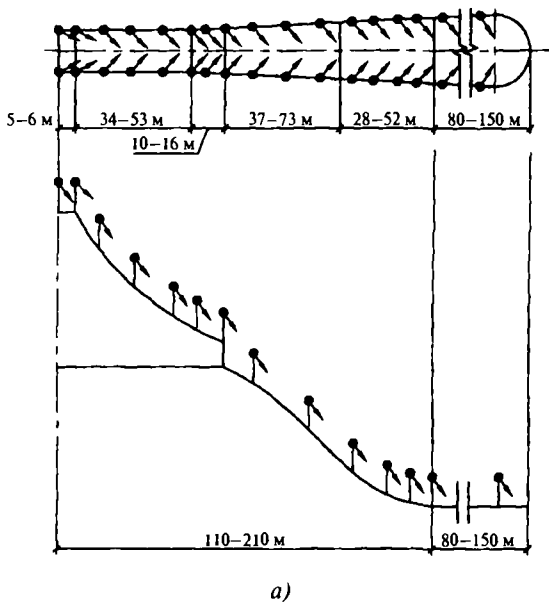
Велотреки. Велотреки освещаются обычно ОП направленного света, располагаемыми на опорах высотой 10 м с консолями длиной 3–5 м, вынесенными над полотном трека. Опоры устанавливаются вдоль кромки трека, а ОП на них — с наклоном в сторону движения спортсменов (рис. 14.54). Система освещения должна быть рассчитана таким образом, чтобы зоны действия отдельных ОП значительно перекрывали друг друга для устранения глубоких теней. Необходимо предусматривать устройство аварийного освещения.

Лыжные трамплины. Лыжные трамплины (рис. 14.55, а, б) должны освещаться так, чтобы обеспечить спортсменам хорошую видимость горы разгона, стола отрыва и горы приземления при минимальной слепимости, а судьям и зрителям — хорошую видимость спортсмена на всех этапах движения его по поверхности горы, в полете и точную фиксацию места его приземления.

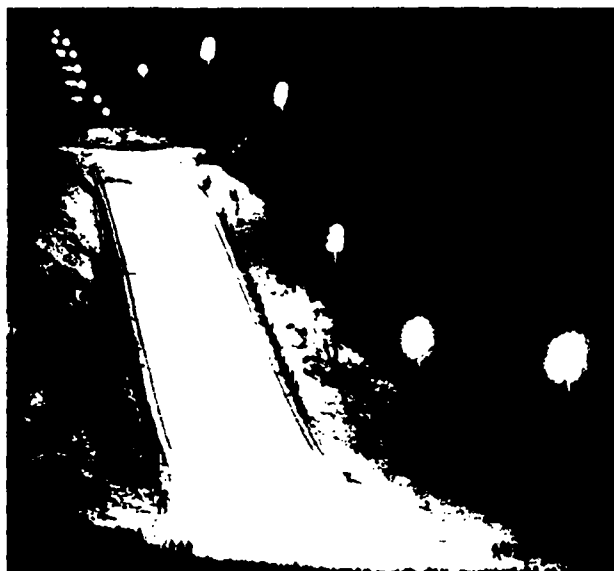
Светильники на стартовой площадке, вдоль горы разгона и стола отрыва устанавливаются с двух сторон на стойках высотой 2–3 м и направляются вдоль движения спортсменов. Гора приземления и площадка останки освещаются светильниками или прожекторами, устанавливаемыми на опорах высотой 10–20 м с одной или двух сторон в зависимости от месторасположения судей и зрителей.

Ввиду высокой травмоопасности трамплины следует обеспечивать устройствами аварийного освещения в соответствии с нормами [14.28].

Аналогично выполняется освещение горнолыжных трасс для тренировочных занятий по слалому и скоростному спуску (рис. 14.56). Освещаемые лыжни для равнинного бега и кросса на лыжах целесообразно (с точки зрения освещения) прокладывать в виде вытя-



а)



б)

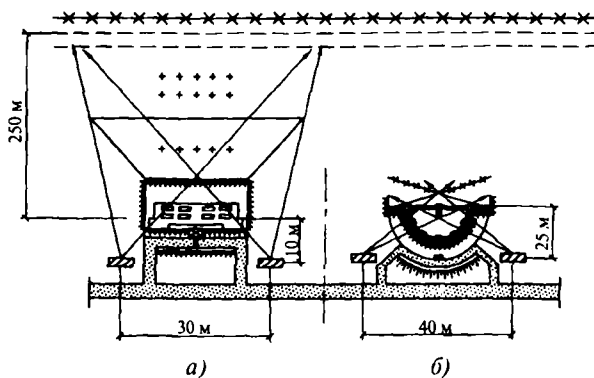
Рис. 14.55. Схема (а) и фото (б) освещения лыжного трамплина



Рис. 14.56. Освещение горнолыжной трассы

путой негли, чтобы обе ее стороны могли быть эффективно освещены ОП, установленными па общей опоре, расположенной между этими ветвями лыжни.

Объекты стрелкового спорта. Сложность освещения траншейных и круглых стрелково-охотничьих стендов связано с тем, что мишени — тарелочки, по которым ведется стрельба на стенде, быстро перемещаются на большое расстояние (до 80 м па траншейном стенде) в различных направлениях. На круглом стенде задача освещения осложняется перемещением стрелка и изменением направления его линии зрения при переходе с одного стрелкового номера на другой. Схема размещения прожекторов для освещения стендов приведена па рис. 14.57. Высота установки прожекторов должна составлять на траншейном стенде 5–10 м, а на круглом — 20–25 м. Установка должна обеспечивать уровень вер-



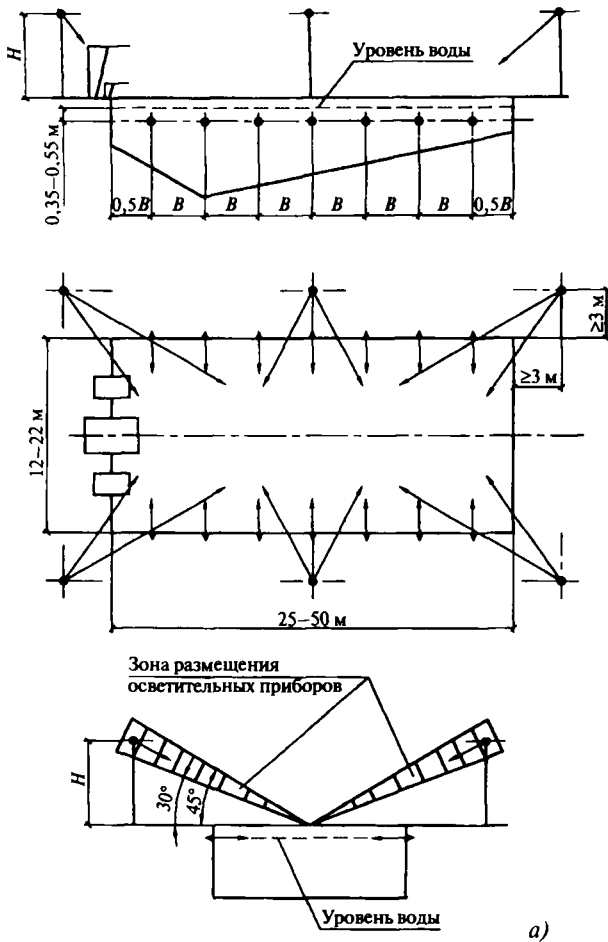
а)

б)

Рис. 14.57. Схема освещения стрелково-охотничьих стендов: а — траншейного; б — круглого

тикальной освещенности во всей зоне полета мишеней со стороны расположения стрелков па ниже 50 лк. При освещении круглых стендов для уменьшения слепящего действия прожекторов целесообразно применять дополнительно их экранировку, установку на них кольцевых или пластинчатых жалюзи и т.п.

Открытые бассейны. Открытые бассейны могут быть оборудованы двумя отдельными установками наружного и подводного освещения. Наружное освещение бассейна для плавания может быть успешно выполнено установкой верхнего света. Но если бассейн предполагается использовать и для плавания, и для прыжков, и для игры в водное поло, то установка верхнего света не может быть применена, и освещение следует выполнить по схеме, изображенной па рис. 14.58. Высота установки ОП может быть определена из усло-



б)

Рис. 14.58. Освещение открытого бассейна: а — схема верхнего и подводного освещения; б — вид открытого бассейна

вия, когда перпендикуляр, опущенный от ИС на продольную ось бассейна или ее продолжение, составит угол от 30 до 45 градусов с горизонтом. При этом отражение ОП от водной поверхности ванны не должно попадать на трибуны для зрителей. Особенно важно выполнение этого требования при телевизионных передачах, ввиду ограниченных диапазонов яркостей, передаваемых телекамерой. Построение зеркального отражения от поверхности воды для определения зоны допустимого размещения ОП должно выполняться с учетом наклона фронта волны, образующейся в бассейне при плавании. Исследования показали, что угол наклона фронта волны лежит в пределах 5–12 град. ИС должны обладать цветопрелачей, правильно передающей естественный цвет кожи.

Вышки для прыжков должны освещаться дополнительно. Вертикальная освещенность должна быть обеспечена в плоскости, проходящей через продольную ось верхней платформы вышки (доски трамплина) с обеих ее сторон на уровне $E_{\text{верт}} = 50$ лк от поверхности воды до высоты 10 м.

Подводное освещение целесообразно для хорошего распознавания, безопасности пловцов и уменьшения слепящего действия отражений источников света от

водной поверхности. Оно необходимо для синхронного плавания.

Для подводного освещения бассейна может быть использован метод «сухих ниш», когда прожекторы в обычном исполнении устанавливаются за уплотненными иллюминаторами, размещенными в стене ванны бассейна в соответствии со схемой рис. 14.59, или метод «мокрых ниш», когда герметичные прожекторы устанавливаются непосредственно в воде, обычно в специальных нишах в стене ванны бассейна.

Если первый метод требует для своего осуществления устройства специальной обходной галереи вокруг ванны бассейна, то для второго метода нужны специальные водонепроницаемые и потому дорогостоящие низковольтные прожекторы.

Кроме того, используемые для этой цели прожекторы должны иметь ИС, питаемые током низкого напряжения (12 В), что связано с правилами электробезопасности. Это требование определяет необходимость применения ЛН и ГЛН. Прожекторы подводного освещения устанавливаются в продольных стенках ванны бассейна. Глубина погружения прожекторов не должна превышать 0,4–0,55 м. Шаг установки прожекторов определяется в зависимости от их мощности. При мощности ЛН 300–500 Вт его следует выбирать равным

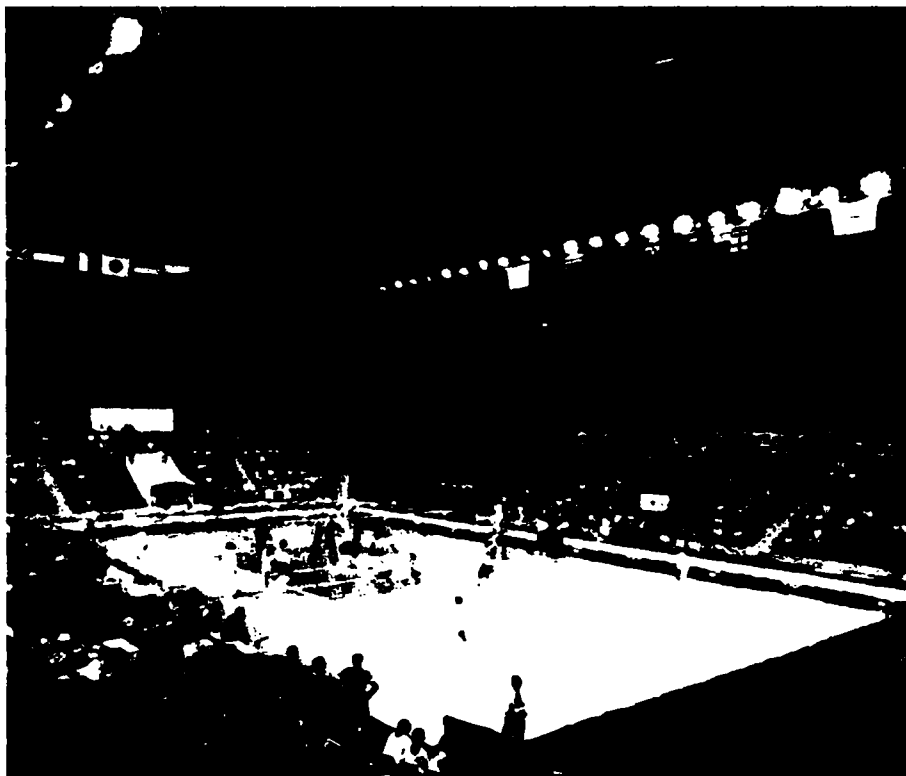


Рис. 14.59. Освещение универсального крытого спортивного зала

2,5–3 м, а при мощности 750–1000 Вт — 3,5–4,5 м. Большие из значений шага относятся к тем местам ванны, которые имеют глубину менее 1,5 м, а меньшие — к более глубоким. Для уменьшения количества ниш следует стремиться использовать прожекторы максимальной мощности.

Мощность установки подводного освещения открытого бассейна рекомендуется выбирать, исходя из удельного светового потока 200 лм на квадратный метр поверхности воды в бассейне. Для бассейнов, ширина которых превышает 21 м, применять подводное освещение ванны не рекомендуется, так как вода в средней части ванны бассейна будет освещена слабо. Подводное освещение бассейна должно быть обусловлено высокой прозрачностью воды, для этого необходимо ее повышенный обмен или улучшенная фильтрация.

Аварийное освещение в открытых бассейнах должно выполняться в соответствии с нормами [14.28].

Крытые спортивные сооружения. Крытые спортивные сооружения объединяют обширную группу значительно отличающихся объектов: от многофункциональных залов, рассчитанных на десятки тысяч зрителей, до небольших тренировочных школьных залов, теннисных кортов и т.п. Их рациональное освещение определяется размерами и характером помещения и должно учитывать ряд специальных требований (рис. 14.59).

Наблюдатели, как правило, не имеют фиксированных направлений наблюдения (например, мяч может оказываться на разных уровнях и перемещаться в различных направлениях). Вследствие этого ОУ должна обеспечивать равномерное освещение пространства. Система искусственного освещения должна сочетаться

с часто имеющимся естественным освещением. Это может быть достигнуто как специальным размещением ОП, смягчающим высокие контрасты, создаваемые естественным освещением, так и установкой специальных экранирующих приспособлений (решеток, жалюзи). ОП должны иметь защитные углы, обеспечивающие устранение слепящего действия. Это требование особенно важно в связи с тем, что линия зрения часто может быть направлена в их сторону. Наряду с этим исполнение ОП должно обеспечивать их защиту от ударов мяча. Стены и потолок спортивных залов должны иметь по возможности светлую матовую окраску, коэффициенты их отражения должны находиться в пределах: 0,4–0,6 для стен; 0,6–0,8 для потолка; 0,2 для пола; для темных поверхностей стен и экранов, используемых в теннисе, бадминтоне, настольном теннисе коэффициент отражения должен составлять — 0,2; для жалюзи, устанавливаемых на светопроемах — 0,4–0,6, с тем, чтобы несколько снизить их яркость при интенсивном естественном освещении и избежать эффекта темной поверхности при одном искусственном освещении.

Спортивное освещение закрытых помещений осуществляется разными методами, среди которых могут быть выделены системы направленного, рассеянного и смешанного освещения [14.35, 14.36]. В больших многофункциональных залах применяют обычно системы направленного освещения, выполняемые с помощью прожекторов. Это вызвано не только необходимостью использования мощных ОП из-за больших размеров помещений, но и возможностью создания гибкой системы освещения с несколькими программами включе-



Рис. 14.60. Освещение малого спортивного зала

ния, соответствующими различным назначениям зала. Несмотря на то, что это закрытое помещение, класс исполнения прожекторов обычно выбирается IP54, т.к. возможен конденсат.

Для небольших залов наиболее характерным является применение системы рассеянного и смешанного освещения (рис. 14.60). Рассеянное освещение, как правило, создается с помощью ОП с ЛЛ либо светящими потолками. В случае светящих потолков с ЛЛ возникают сложности ограничения слепящего действия, обеспечения требуемых уровней освещенности по краям зала, кроме того, моделирующий эффект от такого освещения незначителен. Поэтому более рациональным является использование структуры потолка, крыши или верхней части стен зала для установки индивидуальных ОП или прожекторов. Сочетание этих двух систем позволяет выполнить специальные технологические требования отдельных видов спорта.

Как указывалось выше, при освещении игровых спортивных залов рекомендуется использовать систему верхнебокового света, обеспечивающую наилучшее качество освещения.

14.7.4. Проектирование осветительных установок спортивных сооружений

При проектировании светотехнической части ОУ целесообразна следующая последовательность работ с учетом специфики спортивных сооружений.

1. Определение технологических особенностей спортивного сооружения, которые должны быть сформулированы в техническом задании на проектирование, утвержденном заказчиком. В случае необходимости передач цветного телевидения, проектирование ОУ должно выполняться после предварительного согласования с телевизионным техническим центром.

2. Определение системы освещения с учетом технологических особенностей освещаемого сооружения. При освещении многоцелевых спортивных сооружений рекомендуется построить систему освещения для различных видов спорта таким образом, чтобы избежать переориентации ОП. Изменение режимов работы ОУ должно осуществляться переключением ее отдельных частей.

3. Светотехнические расчеты ОУ выполняются, как правило, на ЭВМ. Для этого разработано большое количество расчетных программ. Большинство из них носит диалоговый характер и предполагает, что компьютеру задаются исходные данные, содержащие информацию об освещаемом сооружении, светотехнические характеристики применяемых ОП, координаты их установки и нацеливания, коэффициент запаса и т.д. По этим параметрам машина производит поверочный расчет распределения освещенностей в заданных плоскостях. Расчетчик оценивает результат, корректирует в случае необходимости размещение и нацеливание ОП и дает машине откорректированное задание. Проводится новый расчет. Процесс повторяется до получения удовлетворительного результата. Количество повторов зависит от опыта и квалификации проектировщика.

Большинство светотехнических фирм имеет собственные расчетные программы, в которые введены фотометрические параметры ОП, изготавливаемых фирмой.

4. Определение необходимости устройства аварийного освещения. Эвакуационное аварийное освещение должно устраиваться в проходных помещениях и на лестницах, служащих для эвакуации людей из помещений, где может одновременно находиться более 50 человек; в помещениях, где может находиться одновременно более 100 человек (выходы из этих помещений должны быть отмечены световыми указателями); в бассейнах, на велотреках и на трамплинах для прыжков на

лыжах, а также на трибунах открытых сооружений, имеющих более 20 рядов. Эвакуационное освещение должно обеспечивать освещенность не менее 0,5 лк на полу по линии основных проходов и ступеней лестниц, а для ванн бассейна, полотна велотрека, горы разгона и горы приземления для прыжков на лыжах — не менее 5 лк на их поверхности [14.28].

Коэффициент запаса для крытых спортивных сооружений следует принимать 1,5 при ГРЛ, 1,3 при ЛН, а для открытых спортивных сооружений 1,5 при ГРЛ и прожекторах, 1,3 при ЛН.

Конструкция прожекторных батарей должна обеспечивать достаточное расстояние между соседними прожекторами и по горизонтали, и по вертикали, чтобы исключить экранирование световых пучков прожекторов соседними прожекторами и конструктивными элементами батарей.

По степени надежности электроснабжения устройства электрического освещения спортивных сооружений относятся к следующим категориям [14.39]: к первой — АЭО крытых спортивных сооружений с количеством мест более 800 (должна быть предусмотрена аккумуляторная установка для питания ОП и автоматическое переключение на нее); ко второй — все виды освещения в крытых спортивных сооружениях с количеством мест от 200 до 800 и на открытых спортивных аренах для хоккея и ручных игр (или бассейнах) со стационарными трибунами на 20 и более рядов, а также рабочее освещение в крытых спортивных сооружениях с количеством мест более 800; к третьей — все виды освещения в прочих спортивных сооружениях.

Если открытые и крытые спортивные сооружения предназначены для соревнований республиканского и более высокого масштаба, то АЭО этих сооружений относятся к первой категории независимо от их вместимости.

Если со спортивного сооружения предусматриваются передачи цветного телевидения, то ОУ, обеспечивающую эти передачи, рекомендуется питать от двух независимых источников электроэнергии с устройством АВР на ГРЩ. ОП этих установок могут иметь устройства для перезажигания ГРЛ в горячем состоянии (БМП).

14.7.5. Монтаж, наладка и эксплуатация ОУ

Монтаж ОУ выполняется в соответствии с техническими условиями проекта освещения. Устройства, с помощью которых осуществляется установка ОП, должны надежно закреплять их в расчетном положении.

Прожекторы обычно устанавливаются на специальных прожекторных площадках, монтируемых на мачтах. Крепление к металлоконструкциям площадок осуществляется болтами. Большинство современных прожекторов имеют ностоянную фокусировку, т.е. ИС поставлен точно в фокусе отражателя.

Все прожекторы в установке должны быть пронумерованы, и их необходимо правильно направить на спортивную арену в соответствии с расчетными данными проекта, т.е. выполнить наладку ОУ.

Наладку прожекторных ОУ можно производить несколькими способами. Можно придать прожекторам расчетные углы наклона и разворота, пользуясь делениями, установленными на прожекторах. Можно воспользоваться специально изготовленным лимбом большого размера из металла или картона. Однако этот метод не позволяет обеспечить равномерность распределения освещенности, необходимую для телевизионных передач.

Наиболее точным способом наладки ОУ является применение визирных приспособлений, которыми снабжаются практически все современные прожекторы. Визирные приспособления могут быть установлены непосредственно на корпус прожектора или быть съемными, что позволяет одним визирным устройством пользоваться для всех используемых прожекторов (рис. 14.61). При этом наладка ОУ может выполняться днем с незажженными прожекторами. На плоскости спортивной арены размещаются метки расчетных точек нацеливания прожекторов с их номерами согласно проекту. Прожектор с соответствующим номером поворачивается до совпадения оптической оси визира с направлением, в котором должен работать прожектор, и закрепляется.



Рис. 14.61. Наладка прожекторной осветительной установки с помощью визирных приспособлений

После наладки ОУ необходимо проконтролировать полученные результаты. Лучше всего это сделать с помощью люксметра. Проводя измерения люксметром, следует тщательно следить за правильностью положения измерительной поверхности фотоэлемента, которая должна находиться при измерении строго горизонтально или вертикально в соответствии с измеряемой величиной. Расположение контрольных точек измерения освещенностей желательно выбирать в соответствии с рекомендациями МКО [14.41], а для футбольных стадионов, на которых проводятся игры международного уровня, в соответствии с рекомендациями ФИФА [14.42].

По результатам измерений составляется протокол. Перед проведением контрольных измерений освещенности необходимо проверить состояние ОУ на соответствие проекту: работоспособность всех прожекторов, соответствие включаемых в каждом режиме прожекторов проектной документации, уровни питающего ИС напряжения непосредственно на ОП. Все отклонения от проекта заносятся в протокол измерений.

После выполнения наладки и контроля прожекторной ОУ рекомендуется нанести отметки или риски на подвижные и неподвижные части основания прожектора с тем, чтобы после поворотов прожектора в процессе эксплуатации можно было легко восстановить его расчетное положение. Полезно также составить исполнительную схему направлений прожекторов после окончания наладки ОУ и иметь ее в службе эксплуатации данного спортивного сооружения.

Осветительные установки со светильниками в специальной наладке не нуждаются. Нужно только проследить за правильностью монтажа светильников в соответствии с проектом. Контроль освещенности выполняется с помощью люксметра.

В целях сокращения затрат рабочей силы при замене ламп и количества отказов ИС во время спортивного сезона рекомендуется производить групповую замену ламп. Такая замена дает особенно хорошие результаты, если она совмещается с чисткой ОП. После замены ламп прожекторы должны быть заново и точно направлены.

Чистка ОП производится в соответствии с инструкцией по их эксплуатации. Кварцевые колбы ГЛН и ГРЛ после установки в ОП до включения должны быть обезжирены спиртом.

Чистка ОП должна выполняться в помещениях не реже 1 раза в 3 месяца, а в открытых ОУ — не реже 2 раз в год. Необходимость чистки ОП может быть установлена по снижению освещенности ниже нормируемых значений. Планово-предупредительный осмотр, проверка и ремонт ОП, сетей электропитания производится по графику в сроки, устанавливаемые службой главного энергетика спортивного сооружения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 14.1. *СНиП 2.08.02-89**. Общественные здания и сооружения.
- 14.2. *СНиП 31.05-2003*. Общественные здания общего назначения.
- 14.3. *СПЗ1-110-2003*. Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий. Москва 2004.
- 14.4. *ГОСТ 13109-97*. Электрическая энергия. Нормы качества электрической энергии в системах энергоснабжения общего назначения.
- 14.5. *ГОСТ Р50571.15-97* (МЭК 364.5.52-93). Электроустановки зданий. Часть 5. Выбор и монтаж электрооборудования. Глава 52. Электропроводки.
- 14.6. *НПБ 110-03*. Перечень сооружений, помещений и оборудования, подлежащих защите автоматическими установками пожаротушения и автоматической пожарной сигнализации.
- 14.7. *СНиП II-84-78*. Нормы проектирования. Здания управления.
- 14.8. *СНиП II-84-78*. Нормы проектирования. Здания конструкторских и проектных организаций.
- 14.9. *Комплекс статей по освещению ОЗ осветительными устройствами с полыми протяженными световодами*. Светотехника. 1986. №№ 6, 7. 1988. № 3. 1996. № 7. № 8.
- 14.10. *Хорошее освещение для офисов и административных зданий*. Брошюра общества «Gutes Light» Германия. Выпуск 4. М.: Знак. 2004.
- 14.11. *Говен Т.* Энергоэффективное освещение рабочих мест. Светотехника. 2001. № 5.
- 14.12. *Айзенберг Ю.Б., Федюкина Г.В., Шмаров И.А.* Разработка норм энергосбережения в осветительных установках зданий Москвы. Светотехника. 1999. № 3.
- 14.13. *СНиП II-69-78*. Лечебно-профилактические учреждения. Нормы проектирования.
- 14.14. *Роцин В.В.* Электрическое освещение лечебно-профилактических учреждений. М.: Энергоатомиздат. 1984.
- 14.15. *Освещение больниц*. Под ред. Р. Гопкинсона. М.: Медицина. 1968.
- 14.16. *Gutes Licht Gesundheitswesen*. Общество «Gutes Light». Германия. Брошюра № 7. 2002.
- 14.17. *Использование ультрафиолетового бактерицидного излучения для обеззараживания воздуха и поверхностей в помещениях*. Руководство РЗ.1.683-98. Минздрав РФ. 1998.
- 14.18. *Рекомендации и типовые решения по освещению основных школьных помещений в г. Москве*. МНИИТЭП. 1980.
- 14.19. *Белостоцкая Б.М.* Гигиена зрения школьников. М.: Медгиз, 1960.
- 14.20. *Gutes Licht für Schulen und Bildungsstätten*. Общество «Gutes Light», Германия, Брошюра № 2, 2002.
- 14.21. *ВСН 17-73* Госгражданстрой. Указания по проектированию зданий и помещений библиотек.
- 14.22. *СН 426-71* Госгражданстрой. Временные указания по проектированию зданий и помещений архивов.
- 14.23. *СНиП II-77-80*. Магазины. Нормы проектирования.
- 14.24. *Беркман Ф.Н., Перепелицкий С.Г., Циперман Л.А.* Электрическое освещение комплекса зданий проспекта Калинина в Москве. Светотехника. 1971. № 7.
- 14.25. *Эшттейн Н.Д.* Проектирование электрического освещения магазинов. Светотехника. 1970. № 11.
- 14.26. *Gutes Licht für Verkaufsräume und Schaufenster*. Общество «Gutes Light». Германия. Брошюра № 2. 2002.

14.27. Публикация МКО № 42 (1978). Освещение тенниса.

Публикация МКО № 45 (1978). Освещение ледовых видов спорта.

Публикация МКО № 57 (1983). Освещение футбола.

Публикация МКО № 58 (1983). Освещение спортивных залов.

Публикация МКО № 62 (1984). Освещение плавательных бассейнов.

14.28. ВСН-1-73. Нормы электрического освещения спортивных сооружений. Спорткомитет СССР. Вильнюс. 1975

14.29. EN 12193. 1999.

14.30. The IESNA Lighting Handbook. Ninth Edition IESNA. 2002.

14.31. Illuminance levels for sport events. CIE. 1991.

14.32. Митин А.И., Царьков В.М., Шахпаруянц Г.Р., Ключев С.А. Критерии освещения стадионов при передачах цветного телевидения и методы их обеспечения при проектировании путем расчета на ЭВМ. Светотехника. № 9. 1979.

14.33. Публикация МКО № 83 (1989). Освещение спортивных сооружений для цветных телевизионных передач и киносъемок.

Царьков В.М., Шахпаруянц Г.Р. Принципы и методы спортивного освещения с учетом требований цветного телевидения в СССР. Труды 20 сессии МКО, 1983.

Practical design guidelines for Stadia Lighting for all UEFA Competitions. UEFA. 1995.

14.34. СНиП 23-05-95*.

14.35. Демчев В.И., Царьков В.М. Проекторное освещение. Издание второе. М.: Энергия. 1972.

14.36. ВСН-22-69. Указания по проектированию освещения открытых спортивных сооружений. Спорткомитет СССР. 1969.

14.37. Царьков В.М. Освещение спортивных сооружений. М.: Энергия. 1971.

14.38. Рекомендации светотехнического общества США по современному освещению спортивных сооружений. Перевод под редакцией Царькова В.М. 1971.

14.39. Царьков В.М., Гарифулина Г.И. Освещение спортивных сооружений. Дом Света. Выпуск 3–4, М. 2000.

14.40. СНиП II-76-78. Спортивные сооружения. Нормы проектирования. Стройиздат. 1979.

14.41. Публикации МКО № 67 (1986). Руководство для фотометрирования установок спортивного освещения.

14.42. Руководство по искусственному освещению футбольных полей. Philips. (Guide to the artificial lighting of football pitches).

14.43. Каталоги изделий ведущих светотехнических фирм: Philips, Zumtobel, Trilux, Thorn.

14.44. Каталог фирмы Zumtobel.

НАРУЖНОЕ ОСВЕЩЕНИЕ ГОРОДОВ И НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

Наружное освещение улиц городов является одним из главных элементов их благоустройства, результатами которого пользуются практически все граждане. Совокупным действием установок наружного освещения различного функционального назначения (утилитарными, архитектурно-художественными, светорекламными и витринными) создается среда города, его внешний облик в темное время суток.

Благодаря своим богатейшим возможностям искусственный свет становится важной категорией вечернего города, позволяющей по-новому решать задачи композиции, пластики и организации пространства.

Специфика наружного освещения состоит прежде всего в том, что глаз человека постоянно работает в сумеречном диапазоне яркостей.

Хорошее наружное освещение городов позволяет в темное время суток:

- снизить количество аварий на 20–30%, в первую очередь число серьезных аварий;
- снизить количество грабежей, краж, изнасилований и других преступлений на улицах [15.1–15.4];
- обеспечить выявление светом архитектуры городских ансамблей, зданий и культурно-бытовых объектов и совместно со световой рекламой и иллюминацией создать внешний облик современного города (рис. 15.1) [15.5–15.10, 15.20, 15.25, 15.26].

Стоимость оборудования хорошей осветительной установки наружного освещения полностью окунается за короткий срок благодаря снижению числа человеческих жертв и материального ущерба, причиняемого транспортными катастрофами, а также различными преступными действиями.

В настоящее время можно выделить три основные группы пользователей наружного освещения улиц и дорог: водители автотранспорта, пешеходы и жители окружающих домов. В табл. 15.1 сформулированы основные их требования к искусственному освещению улиц.

Таблица 15.1

Требования различных пользователей к наружному освещению

Водители автотранспорта	Пешеходы	Жители
Хорошая видимость проезжей части, своевременное обнаружение препятствий, пространственная зрительная ориентация	Хорошая видимость маркировки, разметки, препятствий и хорошее восприятие человеческого лица	Отсутствие засветки в окнах жилых и лечебных зданий

В наиболее тяжелых условиях находятся водители механизированного транспорта, тем более что имен-

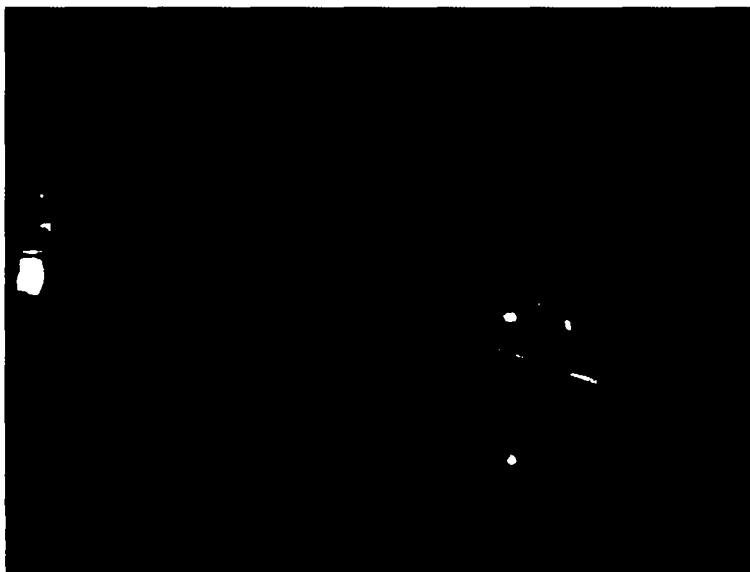


Рис. 15.1. Пример сочетания утилитарного и архитектурно-декоративного наружного освещения

но они могут стать причиной самых фатальных последствий. В связи с этим принципами нормирования параметров наружного освещения улиц в первую очередь предусматривается обеспечение необходимых условий видения именно для водителей транспортных средств.

Для пешеходов видимость объектов также является важным фактором, хотя и менее значимым, чем для водителей, однако для них при этом необходимо видеть лица встречных. Кроме того, для пешеходов желательно, чтобы осветительная установка обеспечивала правильную цветопередачу человеческого лица.

Наружное освещение имеет ряд существенных отличий от других видов освещения:

- в темное время суток глаза людей постоянно работают в условиях низкой яркости окружающих объектов; сумеречное освещение характеризуется сдвигом кривой относительной чувствительности глаза в коротковолновую часть спектра, что приводит к различию в ощущениях светлоты объектов при освещении источниками света различного спектрального состава при одинаковом уровне фотометрической яркости;

- как правило, имеется только одна поверхность, находящаяся в поле зрения водителей транспорта — дорожное покрытие, при этом стены и потолок, наличие которых характерно для ОУ внутреннего освещения, как правило, отсутствуют;

- рабочая поверхность — асфальтовое или асфальтобетонное покрытие — обладает очень сложными отражающими характеристиками, меняющимися в зависимости от условий окружающей среды;

- осветительные приборы работают в тяжелых условиях эксплуатации — перепады температуры, дождь, пыль, снег, механические нагрузки.

15.1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТАНОВОК НАРУЖНОГО УТИЛИТАРНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Проектирование освещения улиц, дорог и автострад состоит из светотехнической и электротехнической частей, а также предусматривает технико-экономическое сопоставление вариантов ОУ. Общие вопросы проектирования ОУ рассмотрены в разделе 10, ниже приводятся лишь особенности проектирования УНО. Принципы нормирования параметров УНО рассмотрены в разделе 7.

15.1.1. Светотехническая часть проекта установок наружного утилитарного освещения (УНО). Основные регламентируемые показатели наружного освещения улиц

Основные количественные и качественные показатели наружного освещения улиц регламентированы СНиП 23-05-95* [44] с учетом категорий и значения в градообразующей структуре и интенсивности движения. Освещение улиц, дорог и площадей с регулярным транспортным движением следует проектировать исходя из нормы средней яркости дорожных покрытий согласно табл. 15.2.

В этой же таблице приведены уровни горизонтальной освещенности. Для улиц с нетиповыми покрытия-

ми, а также для улиц городов, расположенных в северной строительно-климатической зоне азиатской части России и севернее 66° северной широты в европейской части России, освещение следует проектировать исходя из средней горизонтальной освещенности покрытий проезжей части.

Светотехническая часть проекта предусматривает расчет средних яркостей дорожных покрытий, средних уровней горизонтальных освещенностей непроезжих частей улиц, дорог и площадей, бульваров и скверов, пешеходных улиц и территорий микрорайонов в городских поселениях, определение средней полуцилиндрической освещенности в зонах пешеходного движения, расчет вертикальных освещенностей в зоне пешеходного движения, и в плоскости окон фасадов жилых и общественных зданий.

15.1.2. Размещение светильников наружного утилитарного освещения

Типовые профили улиц городов представлены на рис. 15.2.

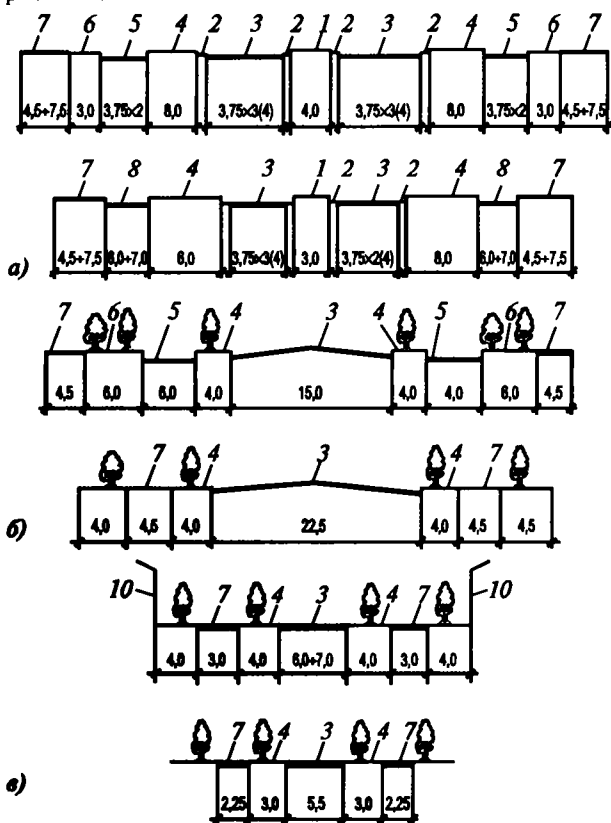


Рис. 15.2. Поперечные профили улиц: а — магистральных общего назначения; б — магистральных районного значения; в — местного значения. 1 — центральная разделительная полоса; 2 — полоса безопасности; 3 — центральная проезжая часть; 4 — разделительная полоса между центральным и боковым проездом; 5 — боковой проезд; 6 — разделительная полоса между боковым проездом и тротуаром; 7 — тротуар; 8 — местный проезд; 9 — разделительная полоса между центральным проездом и тротуаром; 10 — застройка

Нормируемые количественные и качественные показатели наружных осветительных установок

Категория улиц, дорог и площадей	Максимальная интенсивность движения транспорта, ед./ч	$L_{ср}$, кд/м ²	$E_{г. ср}$, лк	N_L		P
				$\frac{L_{min}}{L_{ср}}$	$\frac{L_{min}}{L_{max}}$	
А. Магистральные дороги и магистральные улицы общегородского значения	>3000	1,6	20	≥0,4	≥0,6	<150
	От 1000 до 3000	1,2	20			
	От 500 до 1000	0,8	15			
Б. Магистральные улицы районного значения	>2000	1,0	15	≥0,4	≥0,6	<150
	От 1000 до 2000	0,8	15			
	От 500 до 1000	0,6	10			
	<500	0,4	10			
В. Улицы и дороги местного значения	≥500	0,4	6	≥0,3	≥0,4	
	<500	0,3	4			
	Одиночные автомобили	0,2	4			

Примечания: 1. Средняя яркость покрытия скоростных дорог независимо от интенсивности движения транспорта принимается равной 1,6 кд/м² в черте городов и не менее 1,0 кд/м² вне городов на основных подъездах к аэропортам, речным и морским портам.

2. Средняя яркость или средняя освещенность покрытия проезжей части в границах транспортного пересечения в двух и более уровнях на всех пересекающихся магистралях должна быть как на основной из них, так и на съездах и ответвлениях не менее 0,8 кд/м² или 10 лк.

3. Уровень освещения улиц местного значения, примыкающих к скоростным дорогам и магистральным улицам, должен быть не менее одной трети от уровня освещения скоростной дороги или магистральной улицы на расстоянии не менее 100 м от линии примыкания.

4. На пешеходных переходах в одном уровне с проезжей частью улиц и дорог с интенсивностью движения более 500 ед/ч следует предусматривать повышение нормы освещения не менее чем в 1,3 раза по сравнению с нормой освещения пересекаемой проезжей части. Увеличение уровня освещения достигается за счет изменения шага опор, установки дополнительных или более мощных световых приборов, использования осветленного покрытия на переходе и т.п.

5. Условные обозначения к табл. 15.2: $L_{ср}$ — средняя яркость дорожного покрытия, кд/м²; $E_{г. ср}$ — средняя горизонтальная освещенность, лк; N_L — показатель неравномерности распределения яркости дорожного покрытия; L_{min} — минимальное значение яркости дорожного покрытия, кд/м²; L_{max} — максимальное значение яркости дорожного покрытия, кд/м². Светотехническая часть проекта предусматривает расчет средних яркостей дорожных покрытий, средних уровней горизонтальной освещенностей непроезжих частей улиц, дорог и площадей, бульваров и скверов, пешеходных улиц и территорий микрорайонов в городских поселениях, определение средней полуцилиндрической освещенности в зонах пешеходного движения, расчет вертикальных освещенностей в зоне пешеходного движения и в плоскости окон фасадов жилых и общественных зданий.

Выбор схемы расположения светильников зависит от нормируемых значений яркости или освещенности и от ширины и конфигурации проезжей части. Более подробно об этом см. 15.2.

Проектирование освещения улиц, дорог и площадей при нормировании средней яркости дорожного покрытия должно выполняться на основе учета характеристик светоотражения покрытий, по которым покрытия разделяются на гладкие и шероховатые; коэффициенты яркости указанных типов покрытий приведены в разделе 7.

15.1.3. Светотехническая часть проекта установок наружного освещения

Инженерные методы ручных расчетов количественных и качественных показателей УНО приведены в Справочной книге по светотехнике (издания 1 и 2 1983 и 1995 годов) [83], в том числе расчеты параметров УНО методом коэффициента использования и точечным методом, оценка слепящего действия УНО и расчеты равномерности распределения яркости и освещенности. В настоящем, 3-м издании Справочной книги по светотехнике основное внимание сконцентрировано на компьютерных методах расчета (раздел 8 и § 15.3).

15.1.4. Электрическая часть проекта установок наружного утилитарного освещения

Электротехническая часть проекта УНО улиц предполагает выбор источников питания и размещение пунктов питания; создание замкнутых каскадов при минимальной длине линий управления; увязку электрических сетей уличного освещения, освещения архитектурных объектов и объектов наружной световой рекламы с целью обеспечения удобства обслуживания и управления ими, контроля их параметров, а также включает в себя определение сечений проводов, проверку выбранного сечения на допустимую плотность тока, выбор аппаратуры защиты, распределения нагрузки и системы управления.

Электроснабжение установок наружного освещения осуществляется через пункты питания, от трансформаторов, предназначенных для питания сети общего пользования и вводно-распределительных устройств. Электрические сети установок НО выполняются на 380/220 В трехфазного переменного тока при заземленной нейтрале. Применение напряжения 380 В переменного тока для питания ОУ допускается при соблюдении следующих условий: вводы в ОП и ПРА должны выполняться медными проводами (или кабелем) с изоляцией, рассчитанной на напряжение не менее 660 В,

должна быть предусмотрена возможность одновременного отключения фазных проводов, вводимых в ОП (или ПРА), на ОП (или отсеках ПРА) должна быть нанесена хорошо различимая надпись «380 В».

Для дополнительного повышения надежности электроснабжения работающих круглосуточно осветительных установок городских транспортных и пешеходных туннелей длиной более 80 м следует предусматривать электроснабжение их пунктов питания от разных секций вводно-распределительного устройства (ВРУ), подключая их к разным линиям на напряжение 0,4 кВ и разным трансформаторам двухтрансформаторных подстанций или трансформаторам двух близлежащих однострановых подстанций, питающихся по разным линиям 6–10 кВ.

Пункты питания для внутренней установки рекомендуется монтировать в трансформаторных подстанциях в помещении распределительных устройств низшего напряжения.

Пункты питания для наружной установки должны монтироваться в металлических шкафах, устанавливаемых на наружных стенах трансформаторных подстанций, на стенах зданий или отдельно стоящих. Расстояние от трансформаторной подстанции до пункта питания, как правило, не должно превышать 200 м.

Принципиальная схема вводно-распределительного шкафа НО представлена на рис. 15.3, а. Установка шкафов пунктов питания должна предусматриваться на высоте, доступной для обслуживания без применения подъемных средств. Отдельно стоящие шкафы пунктов питания необходимо устанавливать на фундаменте. Вводы в шкафы пунктов питания следует выполнять кабельными. Для вводов в шкафы пунктов питания, монтируемые на стенах трансформаторных пунктов, допускается использовать изолированные провода, проложенные в трубах.

В целях обеспечения надежного функционирования УНО, а также оперативного контроля и управления состоянием УНО целесообразно предусматривать каскадное включение распределительных сетей УНО от разных пунктов питания (рис. 15.3, б).

Схема каскадного управления сетями наружного освещения должна строиться таким образом, чтобы улицы категории А и Б входили в головной или ближайший к нему участок каскада, а также обеспечивался контроль за состоянием основных направлений сети наружного освещения путем подачи напряжения с последнего участка каскада на ГПП или непосредственно на пункт управления.

Распределительные сети установок наружного освещения

Распределительные сети УНО могут выполняться кабельными (с прокладкой в земле) или воздушными с использованием голых или изолированных алюминиевых проводов (воздушные сети).

Распределительные устройства в сетях УНО должны обеспечивать равномерное распределение нагрузки, для чего отдельные линии следует присоединить к разным фазам или с соответствующим чередованием фаз, а также защиту от перегрузок и коротких замыканий,

контроль качества и учет расхода электроэнергии. Проектирование распределительных сетей установок выполняется с учетом возможности частичного отключения ОП в ночном режиме для улиц и дорог категорий А и Б с возможной прокладкой отдельных распределительных кабелей вечернего и ночного режимов освещения.

Кабельные распределительные сети наружного освещения выполняются в основном на территориях летских яслей-садов, общеобразовательных школ, школ-интернатов, участках улиц с троллейбусным движением в местах наибольшей вероятности схода штанг, а также на территориях общегородских парков, садов, бульваров и скверов, примыкающих к улицам и площадям категорий А и Б.

Применение кабельных сетей обязательно при использовании венчающих ОП при высоте их установки не более 6 м. На улицах и дорогах категорий А и Б с кабельной распределительной сетью допускается прокладка отдельных распределительных кабелей вечернего и ночного режимов освещения.

Воздушные распределительные сети в УНО улиц, дорог, площадей, территорий микрорайонов в населенных пунктах должны, как правило, выполняться воздушными с использованием изолированных проводов (в отдельных случаях допускается использовать неизолированные провода). Воздушные сети должны выполняться алюминиевыми проводами сечением не менее 16 мм². Высота подвеса воздушных линий НО в местах пересечения с контактной сетью троллейбуса должна быть не менее 10,5 м от уровня дорожной покрытия, а расстояние от проводов НО до конструкций крепления контактной сети должно быть не менее 1,5 м.

Питание ОП УНО микрорайонов следует осуществлять непосредственно от пунктов питания УНО или от находящихся вблизи сетей уличного освещения с учетом принятой системы эксплуатации. Осветительные приборы, установленные на стенах зданий, козырьках подъездов и т.д., можно питать от сетей здания, на котором они установлены, с оборудованием устройств защиты и отключения.

Расчет проводов сетей установок наружного освещения

При определении нагрузок в сетях с газоразрядными лампами следует учитывать потери мощности в пускорегулирующих аппаратах, которые, в случае отсутствия точных данных, рекомендуется принимать при газоразрядных лампах высокого давления равными 10% их мощности. Сечения нулевых проводов воздушных линий в УНО с РЛ следует принимать равными сечению фазных проводов. Это требование целесообразно выполнять и для кабельных сетей. Допускается использовать кабели с сечением нулевых жил меньше фазных для питания ОП с РЛ, если обеспечиваются условия допустимой потери напряжения и пропускной способности нулевой жилы.

Расчет сечения линии сети наружного освещения проводится по предельно допустимой величине потери напряжения ΔU , с проверкой на допустимую плотность тока и на отключение при замыкании фазового провода

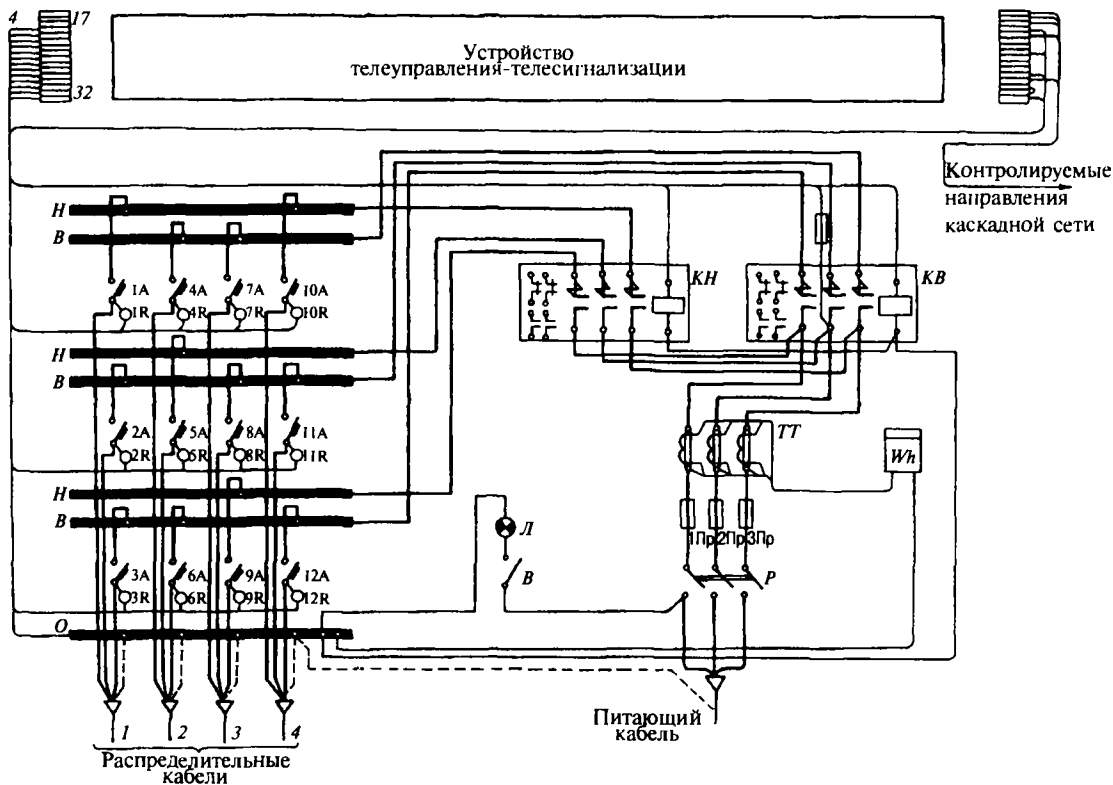


Рис. 15.3, а. Принципиальная схема вводно-распределительного шкафа наружного освещения

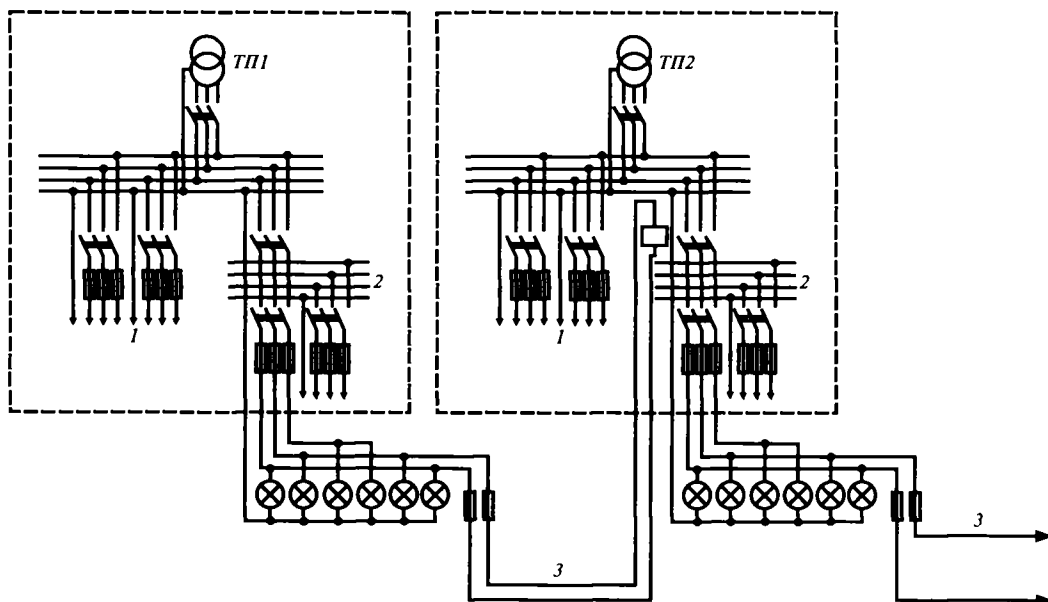


Рис. 15.3, б. Принципиальная схема каскадного соединения двух трансформаторных подстанций: *ТП1*, *ТП2* — силовые трансформаторы; *1* — силовые и осветительные нагрузки; *2* — шины рабочего освещения территории; *3* — сеть управления

на нулевой в наиболее удаленной точке сети. Кабели с пластмассовой изоляцией, кроме того, проверяют на термическую устойчивость. В расчетах сети наружного освещения коэффициент спроса принимается равным 1. Расчетная потеря напряжения у наиболее удаленных

светильников не должна превышать 5% номинального напряжения сети, а у наименее удаленных — 2,5%. При использовании светильников с лампами накаливания и газоразрядными лампами с индивидуальной компенсацией реактивной мощности ($\cos \varphi < P = 0,85$ и более)

расчеты допускается выполнять без учета реактивного сопротивления линий.

Защита сетей УНО должна выполняться в соответствии с требованиями ПУЭ. Ответвления к ОП необходимо защищать индивидуальными предохранителями или автоматами, если защитный аппарат обслуживает более 20 ОП на фазу. В цоколе каждой опоры рекомендуется устанавливать предохранители или автоматы, обеспечивающие защиту отвлений кабельного ввода к ОП. В распределительных линиях, питающих ОП с РЛВД, номинальный ток плавкой вставки должен быть не менее 1,25 рабочего тока, а уставка автомата с тепловым или комбинированным расцепителем — не менее 1,5 рабочего тока.

Для надежного отключения линий электрических сетей напряжением до 1 кВ с заземленной нейтралью при коротких замыканиях (КЗ) ток КЗ должен быть не менее трехкратного значения номинального тока расцепителя автоматического выключателя (автомата) или плавкой вставки предохранителя, установленных в начале каждой линии (ПУЭ).

Линии УНО, имеющие большую протяженность, а следовательно, значительное сопротивление проводников, ограничивающее ток КЗ, должны проверяться на надежность отключения при однофазных КЗ, происходящих в конце линии. Ток двух- и трехфазного КЗ превышает ток однофазного, и линия, отвечающая условиям отключения при однофазном КЗ, дополнительной проверки на многофазное КЗ не требует.

15.1.5. Дистанционное, автоматическое и телемеханическое управление УНО

Сети УНО должны управляться независимо от сетей общего пользования. Управление производится по возможности из ограниченного числа мест, система управления УНО должна обеспечивать его отключение в течение не более 3 мин. Включение УНО улиц, дорог и площадей должно производиться при снижении уровня естественной освещенности до 2 лк, а отключение — при его повышении до 10 лк. Переключение освещения пешеходных туннелей с дневного режима на вечерний и ночной или с ночного на дневной должно производиться одновременно с включением или отключением УНО. Дневной режим освещения транспортных туннелей осуществляется при естественной освещенности свыше 100 лк, перевод освещения на вечерний и ночной режимы производится при снижении естественной освещенности ниже 100 лк. Включение и отключение установок УНО целесообразно производить посредством фотоавтоматов, настроенных на заданные уровни естественной освещенности.

Устройства УНО в городах оборудуются централизованным управлением или телеуправлением, при этом в пункте управления предусматривается контроль состояния освещения. В установках УНО широко используются схемы дистанционного управления, осуществляемого магнитными пускателями или контакторами, установленными в линиях.

15.2. ТЕХНИКА ОСВЕЩЕНИЯ ГОРОДСКИХ ПРОСТРАНСТВ

Освещение улиц, автомагистралей

Для освещения улиц, дорог, площадей, мостов и транспортных развязок применяются следующие системы освещения: **обычная**, когда осветительные приборы устанавливаются на опоре или подвешиваются на тросе на высоте 6–15 м; **промежуточная**, когда ОП устанавливаются на опорах на высоте около 20 м; **высокомачтовая**, когда ОП монтируются на опоре высотой 30–50 м; **парапетная**, когда светильники размещаются на парапетах мостов или ограждений; **настенная**, когда ОП располагаются на стенах или крышах зданий, образующих улицу или площадь.

Обычная система применяется для улиц, дорог, а также для освещения дворов и промышленных территорий. Промежуточная схема применяется в основном для освещения автострад.

В табл. 15.3 приведены основные схемы расположения ОП, применяемые при обычной, наиболее распространенной системе освещения. По условиям обеспечения нормируемой равномерности распределения яркости дорожного покрытия рекомендуется применять следующие схемы:

- односторонняя — при ширине проезжей части до 12 м;
- осевая — при ширине проезжей части до 18 м;
- двухрядная шахматная — при ширине проезжей части до 48 м;
- двухрядная прямоугольная — при ширине проезжей части до 48 м;
- двухрядная по оси улицы — при ширине проезжей части до 36 м;
- двухрядная прямоугольная по осям движения — при ширине проезжей части до 36 м.

Приведенные рекомендуемые значения ширины проезжей части для каждого вида размещения светильников являются ориентировочными и не исключают необходимости поверочного расчета равномерности распределения яркости или освещенности по проезжей части.

На очень широких улицах может использоваться четырехрядная система освещения, представляющая собой совокупность двухрядных прямоугольных схем.

Кроме того, для отдельных случаев могут быть рекомендованы опоры с двумя (или более) кронштейнами, иногда смонтированными на разной высоте. В этом случае ОП большей мощности обеспечивает яркость дорожного покрытия, а ОП меньшей мощности освещает тротуар (схема б).

Выбор конкретной схемы осветительной установки зависит от геометрии освещаемого участка.

Для узких улиц следует применять однорядное расположение светильников. При этом подвес светильников по оси проезжей части обеспечивает равномерное распределение яркости в направлении, перпендикулярном оси дороги, и лучшую зрительную ориентацию.

На очень широких улицах и автострадах применяются опоры со спаренными кронштейнами на резерв-

ной зоне (рис. 15.4, а). В этом случае необходимо использовать светильники с широкой боковой КСС.

К преимуществам такой схемы относится возможность экономии средств за счет сокращения количества опор и уменьшения длины питающего кабеля.

На улицах с трамвайным и троллейбусным движением для установки светильников рекомендуется использовать опоры контактной сети [15.11].

Высокомачтовая система используется в тех случаях, когда необходимо осветить сложное транспортное пересечение в разных уровнях, не нарушая условий ориентирования водителя транспорта лесом опор, а также для освещения автостоянок, больших площадей, крупных производственных территорий (рис. 15.4, б). Во всех этих случаях нежелательно использовать много опор обычной высоты.

Продольно-подвесная система предусматривает размещение ОП вдоль резервной зоны или разделительной

полосы автострад, при этом опоры, несущие продольный трос, должны располагаться на расстоянии 70–80 м, а шаг ОП не должен превышать 9–10 м.

Парапетная система используется для освещения отдельных участков сложных транспортных пересечений на разных уровнях для улучшения зрительной ориентации водителя, а также на некоторых участках автострад, где установка опор нежелательна или невозможна, например, при освещении мостов, виадуков, сложных закруглений, особенно на горных дорогах, и т.д. При парапетной схеме ОП монтируются в виде светящей линии, располагаемой в перилах или ограждениях на высоте около 1 м от поверхности земли. В этой системе, как правило, используются ОП с люминесцентными лампами, позволяющие создавать сплошную светящую полосу. Применение таких установок ограничено в связи с присущими им многочисленными недостатками: трудность обеспечения равномерной яркости дорожного покрытия из-за малой высоты установки, повышенное загрязнение ОП и в результате этого быстрое снижение уровня освещения, частые повреждения установки из-за наездов автомобилей и вандализма, высокие капитальные и эксплуатационные затраты. Кроме того, в нашей климатической зоне люминесцентные лампы не обеспечивают бесперебойной работы. Пример осветительной установки парапетного освещения приведен на рис. 15.5.

Пересечения и закругления

Закругления и пересечения дорог являются конфликтными участками, поэтому при проектировании освещения необходимо использовать все возможности для повышения безопасности.

На перекрестках улиц, пешеходных переходах и железнодорожных переездах для обеспечения безопасности движения светильники рекомендуется располагать в соответствии с рис. 15.6. Заметность перекрестка с большого расстояния повышается при использовании ламп с цветностью, отличающейся от доминирующей на основной дороге, а также при увеличении яркости дорожного покрытия в зоне пересечения. За рубежом для выделения перекрестков часто применяют натриевые лампы низкого давления.

При одностороннем расположении светильников на обеих пересекающихся улицах в зоне перекрестка необходимо устанавливать не менее двух дополнительных светильников.

На примыканиях улиц один из светильников основной улицы или дороги независимо от схемы расположения светильников на ней должен размещаться на противоположной стороне перекрестка по линии зрения подвезжающего водителя.

На закруглениях улиц и дорог с радиусом кривизны в плане по оси проезжей части 60–250 м ОП при одностороннем расположении должны размещаться по внешней стороне улицы (рис. 15.7 и 15.8), а в случае необходимости размещения опор по внутреннему радиусу они должны устанавливаться с шагом $d = 0,55 R$.

Даже в дневное время заметные с большого расстояния опоры показывают направление, в котором

Таблица 15.3

Рекомендуемые схемы расположения светильников

№№ п/п	Ширина проезжей части, м	Схема расположения	Схема установки	Способ установки
1	Менее 12	Односторонняя		На опорах с одной стороны проезжей части
2	Менее 18	Осевая		На тротуарах по оси проезжей части
3	Менее 48	Двухрядная прямоугольная или шахматная		На опорах с двух сторон проезжей части в прямоугольном или шахматном порядке
4	24–48	Двухрядная по оси улицы		На опорах, установленных на разделительной полосе проезжей части
5	Менее 60	Двухрядная прямоугольная или шахматная по осям движения		На тротуарах по осям движения в прямоугольном или шахматном порядке
6	48–100	Четырехрядная прямоугольная или шахматная		На опорах с двух сторон проезжей части в шахматном порядке с дополнительными кронштейнами для освещения тротуаров



Рис. 15.4. а. Установка осветительных опор на резервной полосе на МКАД



Рис. 15.4. б. Освещение автостоянки светильниками с высоких опор

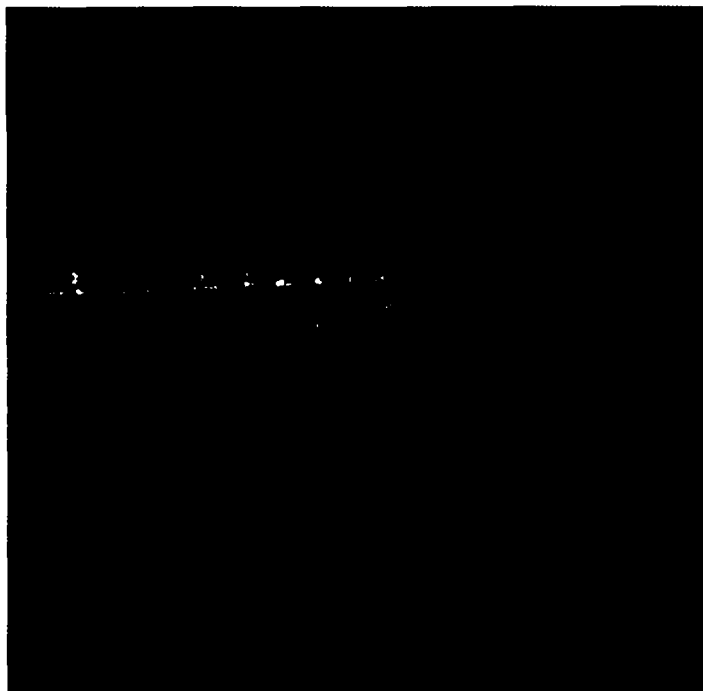


Рис. 15.5. Парапетная система освещения, выполненная фирмой Siemens

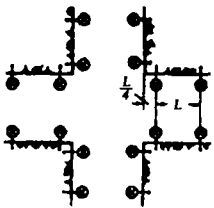


Рис. 15.6. Расположение светильников на перекрестке

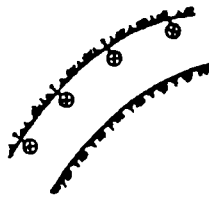


Рис. 15.7. Расположение светильников на закруглении

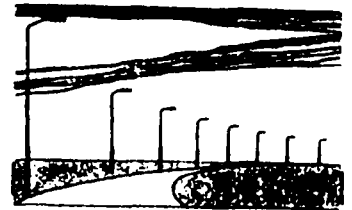


Рис. 15.8. Зрительная ориентация на закруглении



Рис. 15.9. Парапетная система освещения, выполненная с использованием полых световодов

поворачивает дорога. Хороший результат в этом случае даст также сокращение расстояния между светильниками в зоне закругления. Не рекомендуется на закруглениях использовать шахматную схему расположения светильников.

Возможно выделение закругления с помощью катафотов.

В Японии и Польше существуют парапетные установки с использованием шелевых световодов, так называемые световые барьеры. На рис. 15.9 представлен внешний вид такой осветительной установки. Каждый из 6-метровых модулей, оборудованных одним или двумя низковольтными источниками света, точно повторяет форму дороги. Установка световых барьеров является эффективным способом увеличения безопасности движения, особенно при неблагоприятных условиях видимости, например, в густом тумане.

Наземные переходы и переезды

При освещении железнодорожных переездов и пешеходных переходов, находящихся на одном уровне, ОП, как правило, должны располагаться по схемам, приведенным на рис. 15.10 и 15.11.

Освещение переходов требует увеличения количества светильников по сравнению с самой дорогой. Могут быть использованы специальные приборы с узким пучком, так называемые приборы типа «downstream», на улицах с односторонним движением.

Так как на переходах требуется максимальная острота различения и возможность оценить скорость автомобиля, приближающегося к переходу, жестко ограничивается слепящее действие.

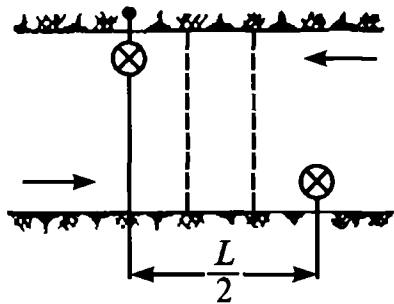


Рис. 15.10. Расположение светильников на пешеходном переходе

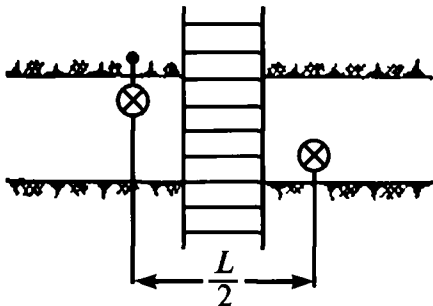


Рис. 15.11. Расположение светильников на железнодорожном переезде

Существуют специальные светильники для освещения наземных пешеходных переходов, использующие источники света контрастной цветности по сравнению с освещением основной улицы. Светильник имеет яркую окраску с нанесенными на корпус вертикальными полосами оранжево-черного, бело-черного или желто-черного цветов. В качестве примера на рис. 15.12 приведена фотография светильника типа «Zebra», а на рис. 15.13 внешний вид осветительной установки с таким светильником.

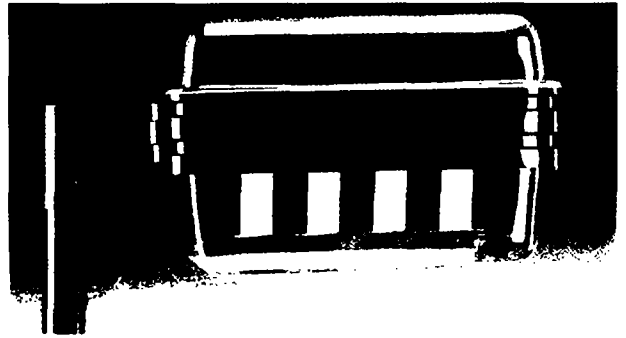


Рис. 15.12. Светильник типа «Zebra»



Рис. 15.13. Внешний вид осветительной установки со светильником типа «Zebra»

Для освещения наземных пешеходных переходов могут использоваться как светильники, так и полые световоды (рис. 15.14).

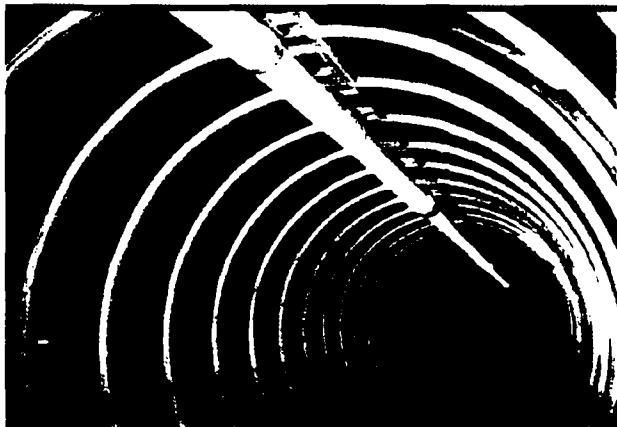


Рис. 15.14. Освещение надземного пешеходного перехода с помощью полого световола

Освещение пересечений в разных уровнях

Для освещения пересечений в разных уровнях применяются как промежуточная, так и высокомачтовая системы освещения. Основное требование при проектировании заключается в обеспечении четкой зрительной ориентации для водителя механизированного транспорта. Большое количество опор не дает возможности пользователю заранее отчетливо видеть направление дальнейшего движения. Для обеспечения безопасности движения и хорошей зрительной ориентации рекомендуется освещать такие пересечения небольшим количеством мощных светильников, установленных на опорах высотой 15–20 м и выше (рис. 15.4, б). Естественно, что для того, чтобы реже обслуживать такую установку, необходимо выбирать источники света с большим сроком службы, а светильники — с высокой степенью защиты от воздействия окружающей среды.

При высокомачтовой системе освещения обычно на стальных или железобетонных мачтах высотой 30–50 м монтируется специальное устройство, предназначенное для размещения ОП. Это устройство может опускаться и подниматься с помощью лебедки или другого приспособления для монтажа, чистки и замены ламп. В некоторых случаях спускового устройства не предусматривают, а внутри опоры делают лестницу, по которой monter может подняться к ОП, однако такие системы встречаются редко, так как при сравнительной дешевизне она представляет большие неудобства при эксплуатации.

Яркость дорожного покрытия в зоне пересечения необходимо принимать не ниже, чем на обеих пересекающихся дорогах.

Освещение подземных пешеходных переходов

В соответствии с СНиП 23-05-95* для подземных пешеходных переходов нормируется средняя горизонтальная освещенность на уровне пола, равная не менее 100 лк днем и 40 лк ночью.

Для освещения подземных пешеходных переходов применяются специальные светильники, устанавливаем

ые на стенах или потолке или встраиваемые. Светильники должны быть вандалопрочными и не должны отрываться без применения специальных инструментов.

Выбор светильника зависит от конструкции туннеля. При наличии в туннеле поперечных балок рекомендуется размещать светильники между балками для того, чтобы исключить слепящее действие.

Если позволяет конструкция туннеля, желательно использовать встраиваемые светильники: в этом случае улучшается внешний вид установки, снижается загрязненность светильников и полностью исключается слепящее действие [15.11].

Освещение микрорайонов

Задачей наружного освещения территории микрорайонов является создание комфортной среды для жителей и пешеходов, а также снижение преступности в темное время суток. Как известно, фактор освещения весьма существенно влияет на количество правонарушений. Средства наружного освещения должны обеспечивать беспрепятственную визуальную ориентацию и безопасность жителей в вечернее и ночное время, а также служить декоративным целям — подсветка кустарников, крош деревьев, клумб.

Зрительная задача наблюдателя значительно отличается от той, которая стоит перед водителем. Если водитель должен различать препятствие на проезжей части, то пешеход на территории жилого района должен иметь возможность не только заметить злоумышленника, но и своевременно определить его намерения. Поскольку человеческий глаз воспринимает яркость в световом объеме, необходимо обеспечивать интегральную характеристику насыщенности пространства светом — цилиндрическую освещенность. В связи с этим на территории микрорайонов кроме горизонтальной освещенности дорожного покрытия может формироваться вертикальная, цилиндрическая, полуцилиндрическая или полусферическая освещенность на уровне человеческого лица. То же самое относится и к восприятию формы архитектурных деталей, памятников и других объемных объектов. В наших нормах регламентируется значение полуцилиндрической освещенности. Существенное значение для глаза имеет соотношение яркостей проезжей части, полосы деревьев, тротуара, фасадов, а также соотношение яркостей в пределах одной зоны.

Для освещения жилых районов особенно важен правильный выбор источника света. При плохой цветопередаче восприятие человеческого лица искажается, что вызывает отрицательные эмоции. В зависимости от условий решаемой задачи могут использоваться лампы ДРЛ с улучшенной цветопередачей, лампы ДРИ, ДНаТ, компактные люминесцентные (КЛЛ). Для освещения микрорайонов не следует применять источники света большой мощности, чтобы не вызывать ослепления.

На территории микрорайонов можно выделить следующие функциональные зоны:

- зона движения транспорта — проезжая часть;
- пешеходные зоны, тротуары;

- архитектурные объекты;
- витрины;
- зоны отдыха;
- спортивные площадки;
- хозяйственные зоны.

Осветительные приборы выбираются в соответствии с архитектурным замыслом и схемой их размещения. Для освещения территории, зеленых насаждений, архитектурных объектов чаще всего применяются светильники с равномерной кривой силы света, венчающие и подвесные. Для освещения внутренних и служебно-хозяйственных проездов, автостоянок, игровых и спортивных площадок используются консольные и подвесные светильники с широкой кривой силы света. Для освещения клумб, газонов, цветников, дорожек применяют декоративные светильники, расположенные на малой высоте (от 0,7 до 1,0 м). Схемы установки ОП для освещения микрорайонов представлены на рис. 15.15–15.20.

Для освещения внутренней дорожной сети микрорайона рекомендуется использовать одностороннюю схему размещения светильников, предусматривая возможное приближение в плане ОП к освещаемой полосе (рис. 15.15).

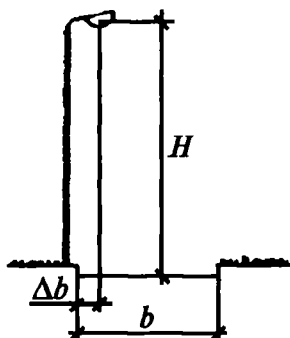


Рис. 15.15. Установка светильника на опоре. H — высота светового центра, обычно 6–7 м; b — ширина освещаемой полосы; Δb — расстояние от проекции светильника до начала освещаемой полосы

Для консольных светильников, устанавливаемых под углом 15° к горизонту и предназначенных для освещения дорожной поверхности, оптимальным является положение над границей полосы. Для подвесных светильников максимальное использование светового потока достигается при размещении их над осевой линией освещаемого участка.

Светильники с различным характером светораспределения способствуют созданию определенного светового облика застройки, выделению отдельных функциональных зон микрорайона и лучшей ориентации в темное время суток.

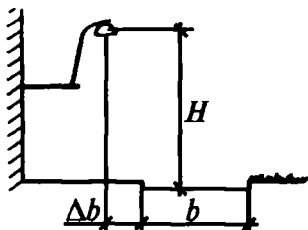


Рис. 15.16. Установка подвешенного светильника на кронштейне

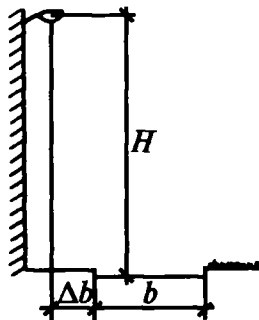


Рис. 15.17. Установка консольного светильника на опоре

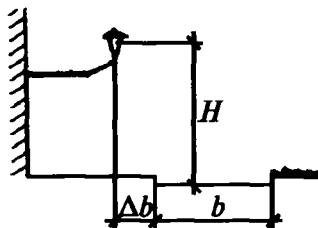


Рис. 15.18. Установка венчающего светильника на кронштейне

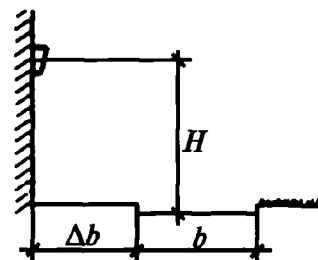


Рис. 15.19. Установка настенного светильника

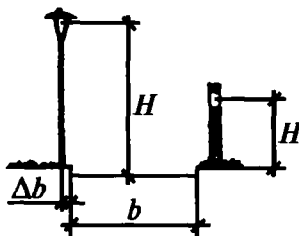


Рис. 15.20. Венчающий и декоративный светильники

Во всех случаях необходимо предусматривать возможность обслуживания светильников с помощью телескопических вышек.

Светильники должны быть вандалоустойчивыми.

Освещение наков, скверов, бульваров

Поскольку для парков, бульваров, зеленых насаждений характерны не столько асфальтовые покрытия, сколько грунтовые, для этих объектов нормируется средняя освещенность на поверхности земли. Уровень освещенности выбирается в зависимости от значимости аллеи, дорожки или другого объекта. При современном подходе к проблемам освещения и широкой номенклатуре светильников подсветка деревьев, кустов, газонов очень эффективна. Наиболее яркой выглядит зелень в свете ртутных ламп — ДРЛ или люминесцентных. В отличие от проезжих улиц здесь не требуется ограничивать светораспределение светильников, так как

слепающее действие не имеет решающего значения, и часть светового потока, направленная в верхнюю полусферу, не только не мешает, но и высвечивает кроны деревьев, улучшая вечерний вид насаждений. Поэтому для этих объектов обычно применяют венчающие, реже подвесные светильники с равномерной, синусной или косинусной кривой силы света. Типы осветительных приборов и схемы их размещения выбираются в соответствии с замыслом дизайнера. Большое внимание должно уделяться опорам, на которых устанавливаются светильники (см. 15.3). Более подробно о ландшафтном освещении см. гл. 13.

15.3. СРЕДСТВА НАРУЖНОГО УТИЛИТАРНОГО ОСВЕЩЕНИЯ УЛИЦ

Источники света. Для наружного освещения применяется большое количество разнообразных источников света. Основными характеристиками источников света для наружного освещения являются: тип; мощность, Вт; световой поток, лм; световая отдача, лм/Вт; спад светового потока во времени; цветопередача; срок службы, час; габаритные размеры; размер светящего тела; тип цоколя; время разгорания и перезажигания, мин; диапазон рабочих температур, град [15.12].

Для наружного освещения большое значение имеет единичная мощность и световая отдача источника света, так как, в основном, светильник находится на большом расстоянии от освещаемой поверхности, и для обеспечения нужного уровня яркости или освещенности необходим большой световой поток. Естественно, что при этом из соображений экономичности источник света должен обладать также высокой световой отдачей и длительным сроком службы.

Очень важно, при какой температуре работает источник света, так как это в значительной степени определяет область его применения. Для объектов, где недопустимо длительное отсутствие освещения, например охранное и спортивное, необходимо использовать источники света с быстрым зажиганием и перезажиганием или предусматривать устройства бесперебойного электрического питания.

Цветопередача в условиях утилитарного наружного освещения менее важна, чем для внутреннего освещения, однако для освещения пешеходных зон, архитектурного, декоративного и ландшафтного освещения требования к цветопередаче повышаются.

Какой именно источник выбрать, зависит от замысла проектировщика, объекта, который надо осветить, энергетических возможностей и выделяемых на это средств. Рекомендуемые области применения источников света в наружном освещении приведены в табл. 15.4.

Анализ показывает, что в наружном освещении наибольшая потребность — 41% — соответствует источникам света со световым потоком от 5,0 до 10,0 клм, 27% — с потоком от 2,5 до 5,0 клм, 9% — с потоком от 10,0 до 20,0 клм и всего 3% приходится на лампы со световым потоком свыше 20,0 клм. Эти цифры соответствуют потребности создания высококачественных

Рекомендуемые области применения источников света

Тип источника света	Область применения
Лампы ртутные ВД (ДРЛ)	Освещение улиц, дорог, площадей, тротуаров, пешеходных переходов, парковых зон, подъездов
Лампы НЛВД (ДНаТ)	Освещение просежей части улиц и дорог, пешеходных переходов, подъездов
Люминесцентные лампы компактные	Парковое освещение, освещение улиц в микрорайонах, подъездов
Лампы МГЛ Лампы QL	Освещение улиц с повышенными архитектурными требованиями, пешеходных зон, парков
Лампы накаливания	Дежурное, охранное, эвакуационное освещение, освещение скверов, парков, сельских улиц при низких уровнях яркости и малом числе часов работы
Галогенные лампы накаливания	Парковое и декоративное освещение

осветительных установок, полностью отвечающих условиям обеспечения необходимого уровня видимости для водителей механизированного транспорта и пешеходов. К сожалению, в ряде случаев потребность определяется не только нормами и качеством освещения, но и ограничивается финансовыми возможностями потребителя.

Для освещения скверов, парков и бульваров, а также пешеходных зон, наиболее подходящим источником света являются МГЛ. Лампы РЛВД (ДРЛ) плохо передают цвет зелени, однако искажают цветопередачу человеческого лица, поэтому использование их для пешеходных зон нежелательно.

Во многих странах в наружном освещении широко применяются натриевые лампы низкого давления, однако в нашей стране они распространения не получили. По-видимому, используют эти источники там, где они были освоены давно, еще до появления ламп ДНаТ, и население успело адаптироваться к их специфической цветопередаче при высоких экономических характеристиках. Во многих странах эти источники света применяются также для выделения цветом перекрестков.

Не применяются в России и традиционные люминесцентные лампы. Объясняется это тем, что большая часть Российской Федерации расположена в холодной климатической зоне, а эти источники света за редким исключением плохо работают при минусовых температурах. При этом большая длина ламп приводит к увеличению материалоемкости светильников и усложняет их уплотнение.

В последние годы в наружном освещении намечается использование различных типов КЛЛ, так как некоторые из них, имея хорошую цветопередачу при высокой световой отдаче, вполне удовлетворительно работают при минусовых температурах. В связи с тем, что эти лампы имеют малую мощность, они применяются в основном для функционально-декоративного освещения — в парках, скверах и т.д., а также для освещения дворов.

Основные параметры светильников наружного освещения

Можно выделить следующие основные группы технических требований к светильникам наружного освещения: светотехнические; электротехнические; конструктивные, в том числе климатические и механические; эксплуатационные; эстетические; экономические.

Светотехнические требования. Основным требованием к светильникам наружного освещения является обеспечение нормируемого уровня яркости дорожного покрытия при необходимой равномерности ее распределения и при ограничении слепящего действия.

Определение эффективных (оптимальных) КСС светильников утилитарного наружного освещения связано с решением системы уравнений, составленных исходя из условий заданного фиксированного пространственного размещения осветительных приборов относительно освещаемой поверхности и их совокупного действия. Критерием эффективности КСС является наилучшее обеспечение количественных (уровень средней яркости дорожного покрытия) и качественных (равномерность распределения яркости и ограничение слепящего действия) показателей осветительной установки при минимальных затратах электроэнергии.

Для каждого заданного взаимного расположения светильников при условии их совместной работы может быть определена эффективная КСС, при этом ее характер в значительной степени зависит от того, какой количественный критерий (яркость или освещенность дорожного покрытия) принят за основу формирования светораспределения.

Такие КСС были рассчитаны и постоянно уточняются в связи с развитием вычислительной техники и изменением характеристик дорожных покрытий.

На рис. 15.21, 15.22 представлены КСС, обеспечивающие равномерное распределение освещенности и равномерное распределение яркости.

В основном для светильников наружного освещения используются широкие и полуширокие КСС в вертикальной плоскости. При этом направление максимума силы света лежит в диапазоне углов α от 45 до 70°. Как известно, именно силы света под углами $70^\circ \leq \alpha < 90^\circ$ наиболее сильно влияют на формирование яркости дорожного покрытия, но они же и в наибольшей степени приводят к слепящему действию. В соответствии с этим верхняя часть КСС формируется исходя из условия ограничения силы света до регламентируемого уровня.

В международной классификации по этому признаку различаются КСС ограниченные, полуограниченные и неограниченные (см. п. 15.4). В России в утилитар-

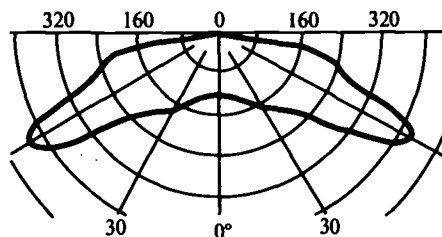


Рис. 15.21. Кривая силы света, обеспечивающая равномерное распределение освещенности дорожного покрытия при двустороннем направлении линии зрения

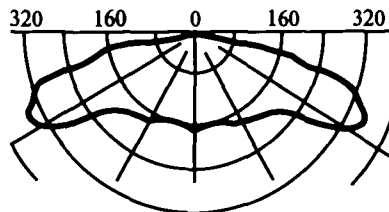


Рис. 15.22. Кривая силы света, обеспечивающая равномерное распределение яркости дорожного покрытия

ном наружном освещении в основном применяются светильники с полуограниченной КСС. В соответствии с ГОСТ 8045 регламентируются значения сил света в зоне углов от вертикали $\alpha = 75 - 90^\circ$ (см. табл. 15.5).

Таблица 15.5

Нормируемые значения сил света светильников наружного освещения

α , град.	75	80	85	90
Сила света, кд/1000 лм	200	80	25	10

Следует отметить, что практически все светильники для утилитарного наружного освещения имеют ограниченные или полуограниченные КСС (преобладание того или иного типа обычно традиционно для каждой страны). При этом применение светильников с ограниченной КСС полностью исключает слепящее действие, но создать с их помощью равномерную яркость дорожного покрытия сложнее, так как они не обеспечивают световой поток в самых ценных верхних зонах кривой силы света. Соответственно, создание нужного уровня яркости в таких установках обходится дороже.

Для обеспечения равномерного распределения яркости дорожного покрытия необходимо обеспечить определенную форму КСС не только в вертикальной, но и в горизонтальной плоскости. Форма КСС в этой плоскости зависит от ширины проезжей части. Отечественной нормативной документацией предусматривается четыре типа КСС в горизонтальной плоскости — круглосимметричная, боковая, осевая и четырехсторонняя (табл. 15.6).

Таблица 5.6

Классификация светильников утилитарного наружного освещения по КСС в горизонтальной плоскости

Тип кривой сил света	Внешний вид КСС в горизонтальной плоскости	Обозначение
Осевая		Ц
Боковая		Б
Круглосимметричная		КС
Четырехсторонняя		П

В проектной практике эффективность и экономичность светильников наружного утилитарного освещения оцениваются коэффициентами использования светового потока относительно рабочей поверхности по освещенности u_E и по яркости u_L .

Для всех упомянутых типов КСС ГОСТ 8045 регламентирует значения КПД, коэффициента использования и коэффициента усиления [15.13].

В других странах такие конкретные требования к светильникам наружного освещения не предъявляются и не регламентируются кодексами и стандартами.

Для удовлетворения вышеприведенных светотехнических требований в светильниках наружного освещения применяются различные оптические системы: зеркальные, призматические и зеркально-призматические.

Осветительные приборы функционально-декоративного назначения более разнообразны по сравнению с утилитарными как по внешнему виду, так и по своим светотехническим и эстетическим характеристикам. Поскольку эти приборы используются в основном в установках, где нормируется горизонтальная освещенность, то можно считать, что наиболее эффективными будут светильники с высоким коэффициентом использования по освещенности. Действительно, как показывают расчеты, удельная установленная мощность установки со светильниками с полуширокой КСС ниже в 3,5 раза по сравнению с равномерной и в 4–5 раз по сравнению с синусной КСС при значительно лучшей равномерности распределения освещенности. Очевидно, что установка, оборудованная светильниками с полуширокой КСС, будет более экономичной, так как в этом случае значительно сокращаются как капитальные, так и текущие затраты, при этом с увеличением светового потока используемого источника света экономический эффект растет.

Применение функционально-декоративных светильников не ограничивается освещением дорожного по-

крытия. Освещаемые объекты можно разделить на три основные группы:

- фасады зданий, архитектурные сооружения;
- лица и одежда пешеходов;
- зеленые насаждения.

Светильники функционально-декоративного освещения должны, с одной стороны, в большей степени, чем любые другие осветительные приборы, отвечать требованиям эстетики, а с другой — быть по возможности эффективными и экономичными. В некоторых случаях эти требования могут противоречить друг другу.

Так, для освещения вертикальных поверхностей и кустарников наилучший эффект дает применение синусной и равномерной КСС. Для подсветки крон высоких деревьев можно использовать приборы отраженного света с косинусной КСС.

Электротехнические требования к светильникам [15.14]. Большинство светильников изготавливается класса защиты I. Для светильников, устанавливаемых непосредственно на грунт (парковые светильники), применяется класс II.

Климатические требования. Конструктивные требования к осветительным приборам определяют их климатическое исполнение и категорию размещения по ГОСТ 15150 [15.15]. Основное отличие светильников наружного освещения от всех остальных заключается в том, что все они предназначены для использования на открытом воздухе, то есть имеют категорию размещения I по ГОСТ 15150.

Что касается климатического исполнения, то оно целиком зависит от региона, в котором предполагается использовать светильники (см. раздел 6).

Наиболее распространенным является климатическое исполнение для умеренного климата У, а для более холодных районов — УХЛ и ХЛ. Встречается исполнение для сухого и влажного тропического климата — Т и ТС, однако таких светильников немного, на территории Российской Федерации они практически не применяются.

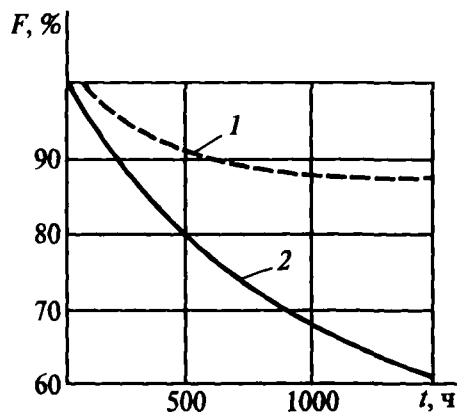
Защита от воздействия окружающей среды. Степени защиты светильников от прикосновения к токоведущим частям, а также от попадания твердых тел и воды определяются в соответствии с ГОСТ 14254 в зависимости от требований, предъявляемых к конкретному светильнику [15.16] (см. раздел 6).

Все светильники наружного освещения обязательно должны иметь защиту от дождя и по возможности от пыли.

Известно, что с экономической точки зрения закрытые светильники (со степенью защиты не ниже IP53) имеют несомненные преимущества перед открытыми (IP23), несмотря на большие капитальные затраты. Это объясняется тем, что чистку открытых светильников необходимо производить в 2 раза чаще, чем закрытых. Эксплуатация открытого светильника в течение срока службы обходится намного дороже, чем закрытого.

По зарубежным данным, хорошо уплотненный оптический отсек с абсорбирующим фильтром обеспечивает световой поток между чистками на 25% выше, чем

без фильтра (рис. 15.23). Поэтому для защиты оптической системы светильников применяются уплотняющие прокладки из резины, фетра, войлока и т.д., а также специальные фильтры, задерживающие пыль и вредные газы.



15. 23. Зависимость светового потока светильника от продолжительности работы между чистками. 1 — с фильтром; 2 — без фильтра

МКО опубликованы данные о снижении светового потока светильника в зависимости от степени защиты и загрязненности окружающей среды [15.1]. Эти сведения приведены в табл. 15.7.

Таблица 15.7

Коэффициент снижения светового потока светильников в результате загрязнения

Степень защиты	Среда	Снижение светового потока за период горения, месяцы				
		12	18	24	30	36
IP2X	Чистая	0,90	0,82	0,79	0,78	0,75
	Средняя	0,62	0,58	0,56	0,53	0,52
	Грязная	0,53	0,48	0,45	0,42	0,41
IP5X	Чистая	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88
	Средняя	0,90	0,88	0,86	0,84	0,82
	Грязная	0,89	0,87	0,84	0,80	0,76
IP6X	Чистая	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89
	Средняя	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87
	Грязная	0,91	0,90	0,88	0,86	0,83

Требования к механическим воздействиям. Группа условий эксплуатации светильников в части стойкости

к механическим воздействиям определяется ГОСТ 17516 и указывается в стандартах или технических условиях на конкретные типы светильников [15.17]. Группа условий эксплуатации выбирается в зависимости от испытываемой нагрузки — вибрации, ударов и т.д. Нормируются статические и динамические нагрузки, которые должны выдерживать узлы крепления осветительных приборов.

Основные элементы светильников наружного освещения

При разработке светильников необходимо иметь в виду, что его конструкция должна удовлетворять основным техническим требованиям, быть удобной при монтаже и демонтаже и ремонтнопригодной.

Конструкция светильника и, соответственно, его внешний вид определяются как способом компоновки его отдельных блоков, так и типом и мощностью применяемого источника света, габаритами комплектующих элементов. Немалую роль играет также выбранный дизайн светильника.

Оптические системы. У светильников наружного освещения оптическая система должна перераспределить весь излучаемый источником света световой поток $\Phi_{и.с}$ в нижнюю полусферу, создавая значительную концентрацию светового потока с коэффициентом усиления $K_y = 4 \div 6$ под большими углами $\alpha_{max} = 60 \div 70^\circ$, то есть обеспечить заданную КСС. Такие большие углы позволяют получить эффективную установку наружного освещения с точки зрения светотехники и экономики.

Наиболее характерные схемы оптических систем светильников представлены в табл. 15.8.

В состав оптического блока обычно входит источник света, патрон, отражатель и защитное стекло, которое может быть просто прозрачным, защищающим оптический отсек от внешних воздействий, а при нанесении на его поверхность преломляющих или рассеивающих элементов может стать одновременно частью оптической системы. Более дешевые и примитивные светильники изготавливаются вообще без защитного стекла.

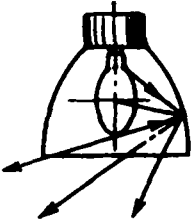
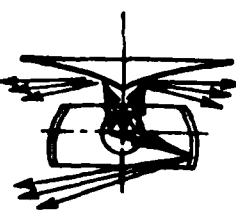

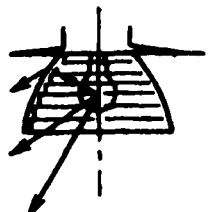

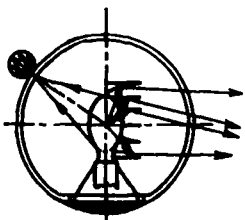
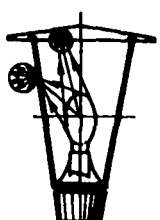
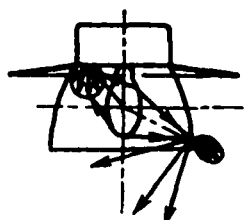
Для целей наружного освещения особенно важны именно зеркальные отражатели, т.к. по сравнению с диффузными и матированными их КПД и коэффициент усиления значительно выше. Существенной особенностью зеркальных оптических систем является возможность достаточно гибко управлять перераспределением светового потока источника, создавая значительную его концентрацию в нужных направлениях.

Форма отражателя может быть различной — от простых зеркальных вставок до цельнотянутого очень сложной конфигурации (рис. 15.24).

Для НЛНД часто применяют фасетные зеркальные отражатели. Некоторые фирмы используют составные отражатели с возможностью изменения взаимного расположения и наклона отдельных его элементов, что позволяет получать требуемую КСС и таким образом равномерно освещать даже очень широкие или сильно закрученные улицы (рис. 15.25).

При изготовлении отражателей светильников для наружного освещения часто применяется алюминиро-

Оптические системы светильников наружного освещения

Тип оптической системы	Схема хода лучей		
Зеркальная			
Призматическая			
Зеркально-призматическая			
Рассеивающая			

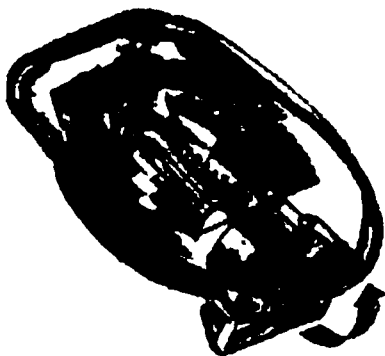


Рис. 15.24. Отражатель светильника с лампой ДНаТ

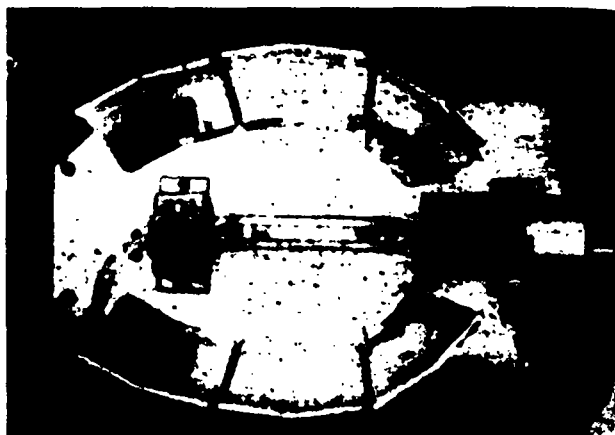


Рис. 15.25. Отражатель светильника с регулируемой КСС

вание в вакууме, причем в качестве подложки может использоваться алюминий, декапированная сталь, стекло, пластик. Часто используется и другой широко известный способ — альзак-процесс — электрохимическое обьярчение чистого алюминия. Применение такого прогрессивного зеркального материала, как Miro фирмы Alanod, в светильниках для утилитарного наружного освещения ограничено из-за отсутствия возможности глубокой вытяжки при формообразовании.

Большой размах за последнее время в различных областях светотехники приобрело использование вторичных отражателей (рис. 15.26, 15.27, 15.28).

В разных осветительных приборах вторичные отражатели представляют либо неотъемлемую часть конструкции, либо связаны только оптически.

Как уже отмечалось выше, к элементам оптической системы относятся также преломлятели или призматические устройства. Они, так же как и зеркальные отражатели, позволяют создавать значительную концентрацию светового потока под большими углами α_{\max} и осуществлять требуемую несимметричность КСС.

В качестве материала для призматических элементов применяются поликарбонат, полиметилметакрилат, реже силикатное стекло.

В венчающих и декоративных светильниках, предназначенных для освещения, в основном, пешеходных зон, применяются чаще всего рассеивающие оптические системы. Рассеиватель играет важную роль как со светотехнической, так и с эстетической точки зрения, так как именно он создает образ светильника. Форма и



Рис. 15.26. Светильник со вторичным отражателем

фактура рассеивателя должны быть максимально разнообразны, однако, учитывая необходимость унификации, при конструировании стремятся к созданию изделий, позволяющих устанавливать их на единый корпус. Материал рассеивателей может быть диффузным, структурированным или матированным, бесцветным или окрашенным. Однако в функционально-декоративных светильниках могут использоваться не только рассеиватели, но также призматические конструкции, зеркальные решетки с ламелями конической или сферической формы, а также более сложные оптические системы (см. рис. 15.29–15.32).

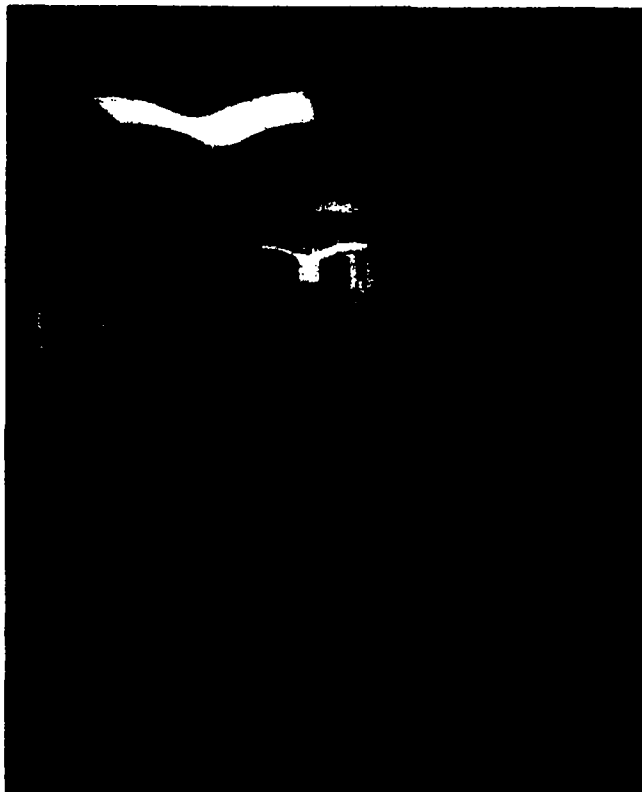


Рис. 15.27. Светильники со вторичным отражением на улицах Мадрида



Рис. 15.28. Установка, оборудованная светильниками со вторичным отражением



Рис. 15.29. Венчающий светильник с призматической оптикой



Рис. 15.31. Венчающий светильник с линзовой оптической системой



Рис. 15.30. Венчающий светильник с зеркальной оптической системой

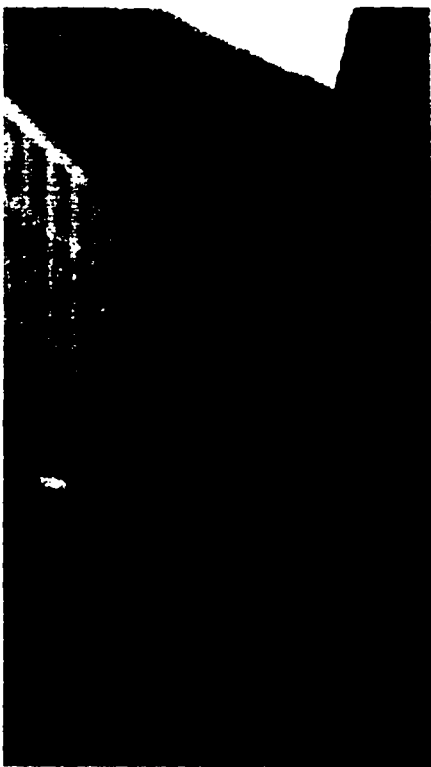


Рис. 15.32. Венчающий светильник с экранирующей решеткой

Защитные стекла. Защитное стекло является необходимой деталью светильника наружного освещения с высокой степенью защиты. Защитное стекло может быть как прозрачным, так и с мелким рельефом. Для ламп в прозрачной колбе чаще применяют структурированное стекло, для диффузных прозрачное.

Защитные стекла из пластмасс изготавливаются в основном выпуклыми, они намного легче, а в случае применения поликарбоната — ударопрочны.

Главными недостатками силикатных стекол является их малая ударопрочность и большой вес.

Закрывающиеся светильники могут выполняться в двух вариантах: защитное стекло закрывает весь светильник снизу или перекрывает только оптический отсек. В первом случае узлы светильника объединены под одной крышкой, которая вместе с защитным стеклом обеспечивает высокую степень защиты, а также упрощает обслуживание светильника.

Недостатками данного варианта являются ухудшение теплового режима отсека ПРА и необходимость увеличения размеров защитного стекла, а также установки дополнительных элементов крепления. Достоинство — удачная дизайнерская проработка.

При защитном стекле, закрывающем только оптический отсек, конструкция более экономична, снижается расход материала и удешевляется процесс изготовления.

Следует отметить, что плохо выполненное уплотнение может способствовать скоплению пыли внутри

светильника. В этом случае при работе светильника нагретый воздух выходит наружу через щели в уплотнении, а после отключения внутренний объем охлаждается и начинает засасывать внешний воздух вместе с пылью, которая и оседает на отражателе, лампе и защитном стекле.

В качестве уплотнителя по линии прилегания защитного стекла и оптического отсека могут быть использованы различные материалы, например, фетр, резина. Наиболее перспективным на сегодня материалом в данном случае является кремнийорганическая резина.

Высокая степень защиты оптического отсека может достигаться при неразъемном соединении отражателя и защитного стекла и заполнении места их стыка герметиком. В этом случае крепление патрона с источником света к отражателю производится с помощью так называемого устройства типа Sealsafe, состоящего из двух основных частей: на одной крепится патрон, а ответная часть герметично крепится на отражателе (рис. 15.33).



Рис. 15.33. Устройство типа Sealsafe

Такая конструкция обеспечивает высокую степень герметизации (IP66). В этих светильниках спад светового потока составляет не более 30% за 20 лет эксплуатации, что практически исключает необходимость обслуживания оптического отсека.

За последнее время многие фирмы включили в свою номенклатуру светильники, перекрываемые плоским силикатным стеклом. Преимуществом такой конструкции является полное отсутствие слепящего действия, так как отсутствует выпуклое защитное стекло, которое при запылении становится вторичным излучателем, в результате чего светильник начинает излучать световой поток в горизонтальном направлении. Часто светильник имеет две модификации — с плоским силикатным или выпуклым защитным стеклом из ПММА или ПК. Плоские защитные стекла, снижая слепящее действие светильников, несколько искажают КСС под большими углами.

Фокусировка. Характерной особенностью многих современных светильников является возможность регулирования положения патрона, что позволяет в одной и той же оптической системе использовать ИС различного типа и мощности или же получать различные КСС от одного источника. Например, подвижный патрон перемещается по направляющей, на которой отме-

чены положения для установки ламп различной мощности. Патрон, установленный на кронштейне, может перемещаться по направляющим как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях и при достижении нужного положения закрепляется. При этом горизонтальное перемещение (вдоль продольной оси светильника) даст возможность регулировать перераспределение светового потока в зависимости от относительной ширины освещаемого участка, а вертикальное (в плоскости, проходящей через продольную ось светильника) позволяет получить ограниченное или полуограниченное светораспределение.

Корпуса светильников. Корпус включает в себя оптический отсек, отсек ПРА и узел крепления. Форма корпусов весьма разнообразна — прямоугольная, шаровидная, цилиндрическая и др. Для светильников с трубчатыми лампами (ЛЛ, НЛНД) внешний вид определяется геометрией лампы, в результате чего для них характерна вытянутая сигарообразная форма. Отсек ПРА является продолжением корпуса и часто выполняется съемным.

Как правило, применяются два варианта конструкции: светильник с корпусом-отражателем и светильник со встроеным отдельным отражателем. Корпус-отражатель обычно имеет гладкую обтекаемую форму, изготавливается методом штамповки из алюминисового листа, позволяет значительно снизить материалоемкость и трудоемкость изготовления светильников. Недостатком такой системы является сложность получения необходимой формы отражателя. Кроме того, при выходе из строя отражателя приходится выбрасывать весь светильник. В качестве примера на рис. 15.34 приведен светильник с корпусом-отражателем.

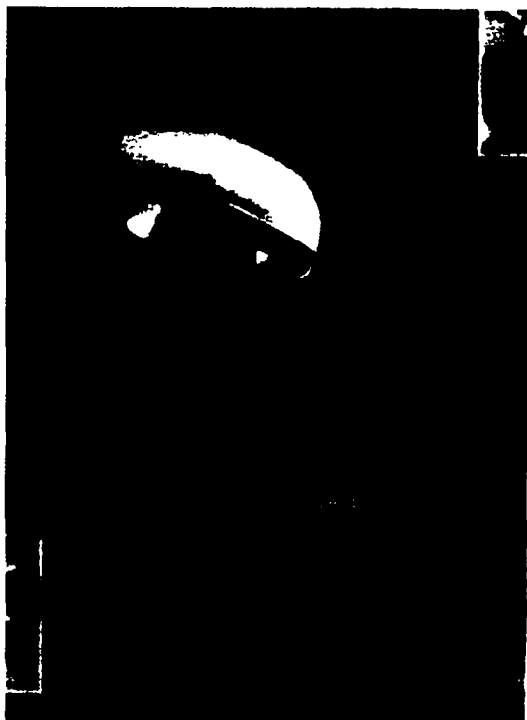


Рис. 15.34. Светильник с корпусом-отражателем

В случае применения встроеного отражателя имеется большая свобода в изменении его формы — отражатель может быть составной, ступенчатый; наконец, это могут быть просто зеркальные вставки. Светильники традиционной формы могут иметь цельный корпус довольно большого объема, содержащий оптический отсек и отсек ПРА; иногда корпус разделяется на две части по горизонтали и скрепляется замками (рис. 15.35), иногда имеет вертикальную линию разреза (рис. 15.36).



Рис. 15.35. Светильники с горизонтальной линией разреза

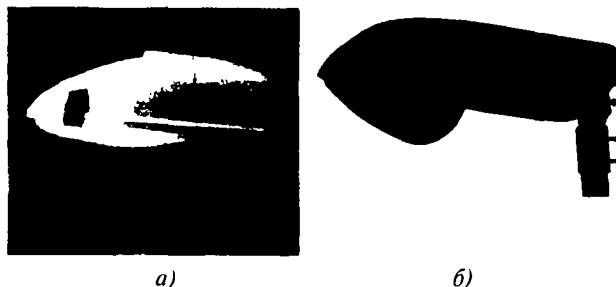


Рис. 15.36. Светильники с вертикальной линией разреза

Материал корпуса может быть весьма различен. Используется алюминиевый и стальной прокат, алюминиевые сплавы, пластики, например, стекловолокно, холодноштампованные пластмассы с добавкой стекловолокна. Для отсека ПРА, испытывающего большие силовые нагрузки, чаще применяется литье под давлением. Для защиты металлических деталей применяются химические покрытия (цинкование, анодирование и т.д.), жидкие и порошковые эмали.

Отсек ПРА. Характерной особенностью светильников с ГРЛ является наличие блока ПРА, включающего в общем случае дроссель, зажигающее устройство и компенсирующие конденсаторы.

Существуют различные способы монтажа и установки элементов отсека ПРА: они могут быть смонтированы на отдельной плате или на откидной крышке, закрывающей отсек и являющейся в данном случае монтажной платой.

В подавляющем большинстве случаев ПРА устанавливается внутри светильника, однако в некоторых случаях выпускаются светильники с независимыми ПРА. Это объясняется необходимостью максимального сни-

жения массы светильника при установке его на кронштейнах с большим вылетом и позволяет убрать опоры за пределы проезжей части. Что касается встроенных ПРА, то они обычно крепятся на нижней откидывающейся перфорированной крышке корпуса или электрического отсека.

Все российские светильники имеют индивидуальную компенсацию коэффициента мощности, однако уровень его не регламентируется. Многие зарубежные фирмы выпускают все изделия в двух исполнениях — компенсированном и некомпенсированном.

В последнее время все чаще используются электронные ПРА, которые сочетают в себе одновременно функции зажигающего, стабилизирующего и компенсирующего устройства. Применение ЭПРА приводит к уменьшению веса светильника, увеличению срока службы и возрастанию светового потока лампы, ускорению монтажа, облегчению ремонта.

Большой интерес представляют светильники, в которых электрические соединения осуществляются с помощью теплосильных разъемов, что существенно облегчает монтаж и замену элементов (см. раздел 5).

В некоторых случаях светильники оборудуются устройствами индивидуального регулирования светового потока, а также приборами индивидуального включения и отключения в зависимости от уровня наружной освещенности. Встречаются светильники с индивидуальными солнечными батареями, которые заряжаются в светлое время суток, а ночью питают лампы (рис. 15.37). Естественно, такое устройство применимо только для светильников с маломощными источниками света, например, КЛЛ.



Рис. 15.37. Установка, включающая светильник с индивидуальной солнечной батареей

Способ установки. По способу установки светильники утилитарного наружного освещения делятся на консольные, консольно-торцевые и подвесные.

У консольных и консольно-торцевых светильников узлы крепления могут быть выполнены отдельной деталью и устанавливаться снаружи светильника. В случае, когда узел крепления расположен внутри светильника, он, как правило, выполняется в виде единой конструкции с деталью, связанной с ним функционально, например, это может быть корпус или нижняя крышка отсека ПРА.

Часто светильники имеют универсальный узел крепления, допускающий установку на трубу различного диаметра, например, от 42 до 60 мм или от 34 до 49 мм.

Вопросы дизайна светильников наружного освещения. В повышении качества осветительных приборов и их совершенствовании дизайн играет важную роль.

Для светильников функционально-декоративного назначения эстетические требования играют не только очень важную, но иногда и решающую роль. Как считают дизайнеры, светильник наружного освещения не должен быть ни чрезвычайно красив, ни чисто функционален. Если он будет соответствовать требованиям краткосрочной моды, то в скором времени будет выглядеть безнадежно устаревшим. Удачно сконструированный светильник должен выглядеть естественно и соответствовать своему назначению. Он должен смотреться одинаково хорошо издалека и вблизи, на фоне светлого неба или зданий и в темноте.

Эстетическому виду осветительной установки днем и ночью следует уделять большое внимание. В жилых кварталах фон может играть существенную роль для качества жизни, поэтому уличное освещение, как и любая другая уличная структура, должно вписываться в этот фон. Это относится к высоте подвеса, вылету кронштейнов, форме и пропорциям светильников и опор (по отдельности и в комплексе) и к фону, на котором они наблюдаются.

Задачей дизайнера является создание такого светильника, который органично вписывается в окружающую среду. При проектировании осветительных установок, особенно установок функционально-декоративного освещения, необходимо решать всю систему освещения объекта в едином ключе, выбирая одновременно как утилитарные, так и декоративные светильники, а в зависимости от замысла художника и другие светотехнические элементы, например, опоры, светящиеся плитки тротуара, подсветку рекламных щитов, подсветку элементов зданий, световые табло и т.д.

Наиболее распространенной формой для функционально-декоративных светильников является шар, так как классическая простота этой формы позволяет использовать такие приборы практически в любых осветительных установках — как в зеленых зонах, так и около старинных или современных зданий. Кроме шара часто применяют другие тела вращения с сечением в виде чечевицы, эллипса, конуса и различных сложных кривых.

Рассматривая момент восприятия прибора в среде, необходимо помнить, что автомобильную дорогу, основную объект освещения, можно трактовать как новую искусственную форму в природной или урбанизированной среде. Восприятие происходит при движении, что также влияет на формообразующие принципы создания опор с осветительными приборами. Кроме того, необходимо учитывать предполагаемые перспективные ракурсы объектов восприятия, а также определенную ритмичность повторяющихся объектов, какими являются утилитарные опоры со светильниками. Эти объекты должны органично включаться в существующую среду.

В создании светильника большую роль играет тектоничность. Тектоника — это зримое отражение работы конструкции и материала в форме. Например, литая несущая конструкция должна быть выражена так, чтобы не возникало сомнений — это именно литье, а не сварная или какая-либо иная конструкция. Поэтому можно говорить о тектонике «литой формы», в частности тонкостенного литья или тяжелого монолитного литья, о тектонике легких штампованных несущих элементов, о тектонике пластмассовых конструкций. Если форма лишена тектонической ясности, то она не информирует о том, как работает конструкция, каково распределение усилий, каково соотношение несомого и несущего. Примеры удачного решения тектоничности формы представлена на рис. 15.38 и 15.39.

За рубежом уделяется очень большое внимание не только внешнему виду самих светильников, но и опорам, а также тому, как смотрится вся установка в интерьере города, что служит, в свою очередь, эстетическому воспитанию граждан.

Часто светильники и опоры выбираются независимо друг от друга и используются только по техническим характеристикам. Эти соображения нельзя игнорировать, но рассматривать опоры и светильники надо в комплексе, как единое решение дизайнера.



Рис. 15.38. Светильники с регулируемым углом наклона

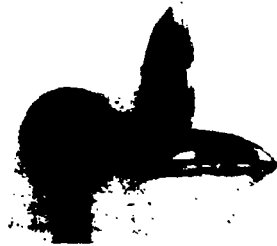


Рис. 15.39. Комплекс из нескольких светильников

Опора должна быть изящной и покрашена так, чтобы быть ненавязчивой или представлять самостоятельное изделие. Глянцевая краска смягчает очертания опоры в солнечном свете и делает опору менее заметной.

Там, где это возможно, дизайн осветительного оборудования должен входить в дизайн других элементов уличного освещения. В этой связи опоры могут использоваться для несения транспортных знаков, наименований улиц, урн, цветочных горшков. В этих случаях особенно важно, чтобы они не снижали прочности опоры, не увеличивали ветровую нагрузку и не нарушали доступ к кабелям и предохранителям в опоре.

Из множества моментов, необходимых для создания современного светильника, существенную роль играет цвет изделия.

Цвет как естественное свойство материала способен информировать о конструктивно-технологических особенностях вещи, например цвет металла и пластмассы; цветное покрытие лакокрасочными материалами выполняет, как правило, и защитные функции.

Наибольшую популярность имеют ахроматические цвета (белый, черный, серый) как наиболее пишываемые в среду магистрали. Встречаются и более теплые, уютные и на первый взгляд неожиданные цвета светильников, например темно-синие или коричнево-бежевые. Они воспринимаются несколько более монолитными и конкретизированными к определенной среде города и цвету опоры. Использование пластмассовых частей в светильниках наружного освещения значительно расширяет рамки их цветовых решений. Примеры дизайнерского решения светильников наружного освещения представлены на рис. 15.38—15.41.



Рис. 15.40. Примеры оригинального дизайнерского решения светильников наружного освещения



Рис. 15.41. Светильники, спроектированные в комплекте с кронштейнами и опорой

Опоры наружного освещения

Опоры наряду со светильниками играют очень большую роль в наружном освещении. По назначению опоры наружного освещения разделяются на осветительные и опоры контактной сети [15.12].

При создании наружных осветительных установок необходимо учитывать, что в черте города опоры для установки светильников являются сложными многофункциональными элементами, несущими на себе не только светильники, но и другие элементы благоустройства — провода воздушной сети, контактную сеть троллейбусов и трамваев, рекламные щиты, дорожные знаки и указатели, необходимые для обслуживания городской среды.

Опоры наружного освещения различаются габаритными размерами — по высоте, диаметру; по сечению они могут быть цилиндрические, конические, трапециевидные.

В зависимости от назначения и возможностей потребителя применяются опоры деревянные, стальные или железобетонные. Деревянные опоры применяются, в основном, в сельской местности при воздушной проводке. Они, естественно, менее долговечны; обычно деревянные опоры просто вкапываются в грунт или устанавливаются на бетонных «пасынках».

В городах обычно применяются стальные и железобетонные опоры. В течение длительного времени из соображений экономии металла и, в частности, труб, стальные опоры разрешалось применять только для декоративных светильников.

Стальные опоры не только красивее и долговечнее, но и безопаснее железобетонных, так как при столкновении со стальной опорой водитель получает менее серьезные травмы. Стальные опоры требуют защитного покрытия — эмалирования или горячего цинкования. Современные технологические процессы позволяют изготавливать красивые и долговечные опоры.

Опоры конические изготавливаются из листовой стали методом гибки, с одним продольным сварным

швом. Максимальная длина составных частей опор не более 12,5 м, что обусловлено технологией производства и обеспечивает транспортировку грузовым автотранспортом без специальных разрешений. Опоры высотой более 12,5 м изготавливаются составными. Соединение составных частей (секций) опор производится при монтаже методом «конус в конус», обеспечивающим надежность соединения и не требующим болтов и фланцев. Соединение неразборное ввиду малого угла конусности и большой длины посадки (рис. 15.42).



Рис. 15.42. Конусная опора наружного освещения

Опоры трубчатые изготавливаются из бесшовных труб, которые соединяются одним из трех способов: сварной с фланцем (рис. 15.43), холодного вальцовывания (рис. 15.44) и болтового соединения (рис. 15.45).

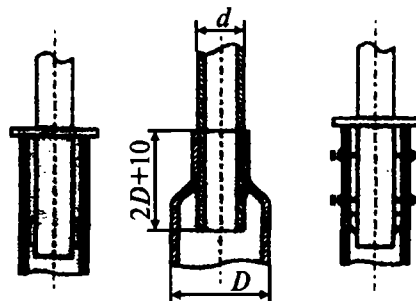


Рис. 15.43.

Рис. 15.44.

Рис. 15.45

Трубчатые опоры, изготовленные различными способами

Опоры имеют фланец для крепления к шпилькам фундамента или подземной части с фланцем.

В нижней части опоры имеется закрытый крышкой отсек (ревизионное окно) со встроенным предохранителем и контактными зажимами для подключения проводов сети и от светильников (рис. 15.46).

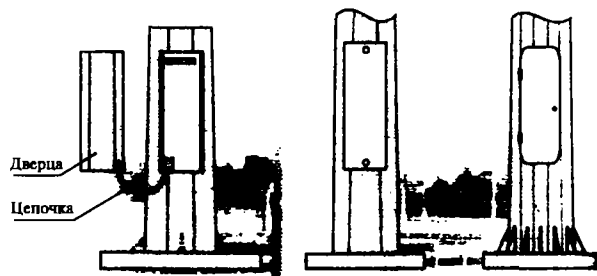


Рис. 15.46. Различные конструкции ревизионного окна

Дверца доступна во внутреннюю полость опоры может изготавливаться в различных вариантах — удерживаемая на цепочке, накладная, откидывающаяся на петлях.

Для повышения безопасности водителя и пассажиров при столкновении с опорой изготавливают опоры из пластических материалов, а также «ломающиеся» опоры, что значительно уменьшает повреждения при аварии.

Высокомачтовые опоры со стационарными коронами предназначены для эффективного освещения аэропортов, спортивных сооружений, больших открытых пространств, промышленных и железнодорожных сооружений. Они могут иметь трансы для подъема персонала с площадками отдыха и обслуживания или устройство для спуска и подъема короны со светильниками. Лебедка может работать, используя электроинструмент или ручной привод.

Для освещения объектов с ограниченным доступом к осветительной установке, таких как спортивные площадки с дорогим покрытием, железнодорожные развязки, сортировочные станции применяются также складывающиеся опоры (рис. 15.47). Опора может обслуживаться одним электромонтажником без применения подъемных механизмов.

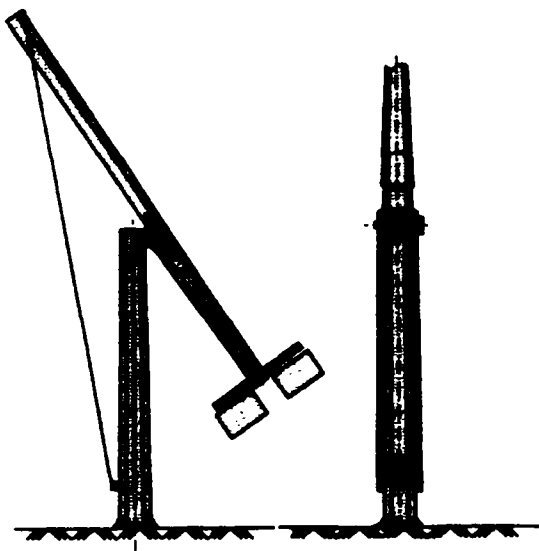


Рис. 15.47. Складывающаяся опора

том числе, и в области дорожного освещения, в нормативной базе которой имеется ряд существенных отличий от международных норм. Поэтому в данном разделе освещен ряд вопросов, носящих нормативно-методологический характер, ознакомление с которыми будет способствовать более успешному переходу к международной практике проектирования уличного освещения. Здесь же для сравнения представлены отечественные аналоги. Кроме того, приведенные здесь термины и понятия широко используются в зарубежных нормах, каталогах и справочниках, и знание их будет полезным для читателей этой книги.

15.4.1. Классификации ОП по светораспределению

В настоящее время в России светораспределение светильников для дорог и улиц регламентируется стандартом [15.13], согласно которому различают четыре типа КСС по виду сечения фотометрического тела ОП экваториальной плоскостью [15.18]: круглосимметричная, боковая, осевая и четырехсторонняя (рис. 15.48). Наряду с этим используется введенная МКО в 1965 г. международная классификация ОП по характеру светораспределения в меридиональных плоскостях, в соответствии с которой КСС подразделяются на ограниченные (cut-off), полуограниченные (semi-cut-off) и неограниченные (non-cut-off). При этом для каждого типа КСС регламентируются предельные значения силы света для углов наблюдения, близких к горизонту, и направления максимума силы света (табл. 15.9).

Таблица 15.9

Классификация уличных светильников по МКО (1965 г.)

Тип КСС	Предельные значения силы света ОП (кд/1000 лм) в плоскости C_0 для углов γ :		Предельный угол направления максимальной силы света I_{max}
	80°	90°	
ограниченная	30	10	65°
полуограниченная	100	50	76°
неограниченная	не регламентируются		

Позднее МКО рекомендовал другую, более детальную светотехническую классификацию уличных ОП [15.19], которая в последнее время получает все большее распространение. В соответствии с ней светораспределение светильников определяется тремя критериями.

1. Размах (Throw) — характеризует ширину КСС, т.е. степень отклонения направления максимумов силы света от направления оптической оси, и определяется углом γ_{max} между направлением оптической оси ОП I_0 и лучом, лежащим в меридиональной плоскости C_{max} , проходящей через направление максимума силы света I_{max} , и направленным в середину области КСС, ограниченной уровнем силы света, равным 90% от I_{max} (рис. 15.49).

15.4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДОРОЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ ПО МЕЖДУНАРОДНЫМ ПРАВИЛАМ И НОРМАМ

В настоящее время происходят глобальные процессы интеграции стран Европы в единое экономическое и правовое пространство, следствием чего является, в частности, переход на единую нормативно-методологическую базу во многих областях, включая и проектирование ОУ. Нетрудно предсказать, что в скором времени этот процесс коснется непосредственно и России, в

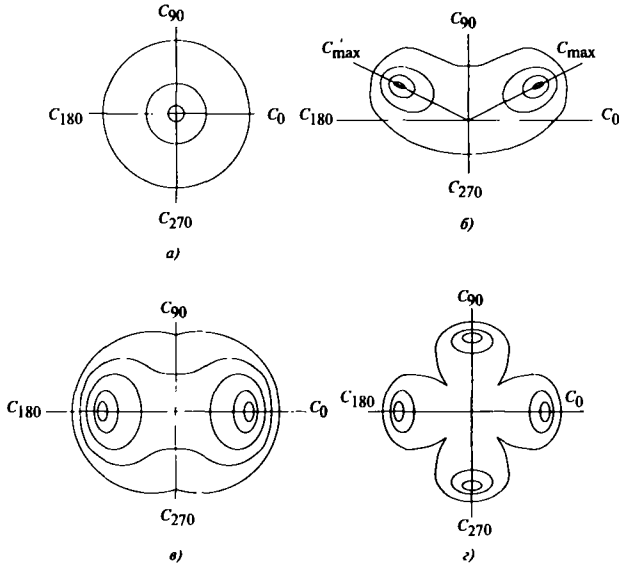


Рис. 15.48. Типы КСС по виду сечения фотометрического тела ОП экваториальной плоскостью: а — круглосимметричная; б — боковая; в — осевая; г — четырехсторонняя

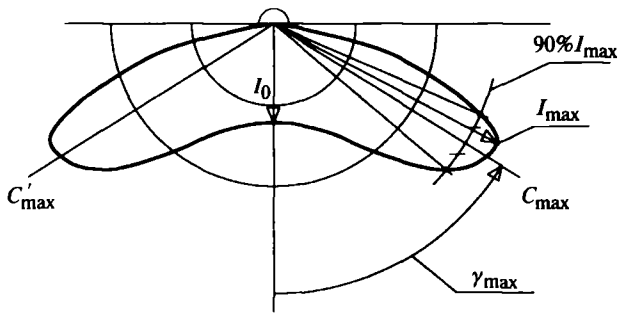


Рис. 15.49. К определению критерия *размах* классификации МКО

2. Сдвиг (Spread) — характеризует отклонение области с максимальными силами света относительно главной поперечной плоскости ОП и определяется углом γ_{90} между направлением оптической оси ОП I_0 и лучом, лежащим в меридиональной плоскости C_{90} и проходящим через линию, параллельную оси дороги и касающуюся с внешней стороны следа области КСС, ограниченной уровнем силы света, равным 90% от I_{max} (рис. 15.50).

3. Индекс слепимости SLI (Control) — характеризует степень слепимости ОП и определяется по следующей эмпирической формуле:

$$SLI = 13,84 - 3,31 \log I_{80} + 1,3 (\log (I_{80} / I_{88}))^{0,5} - 0,08 \log (I_{80} / I_{88}) + 1,29 \log F + C, \quad (15.1)$$

где I_{80} и I_{88} — значения силы света ОП в меридиональной плоскости C_0 под углами γ , равными 80° и 88° соответственно, кд; F — площадь проекции светящей по-

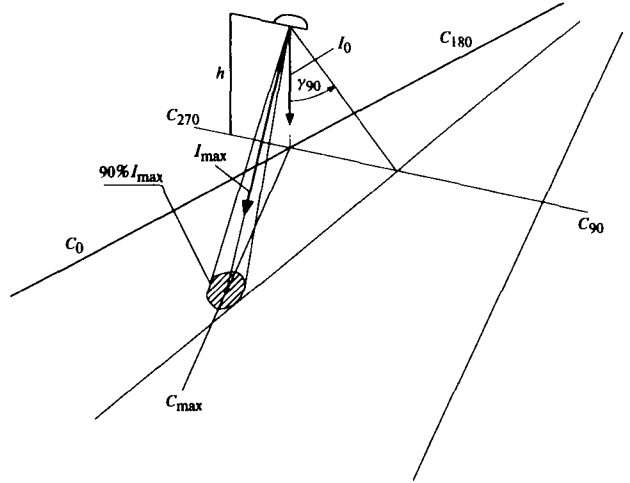


Рис. 15.50. К определению критерия *сдвиг* классификации МКО

верхности ОП, видимой под углом $\gamma = 76^\circ$ в плоскости C_0 , m^2 ; C — коэффициент, зависящий от цветности ИС (равный 0,4 для НЛНД и 0 для всех остальных ИС).

По каждому из этих критериев ОП подразделяются на три группы в зависимости от числового значения соответствующего параметра (табл. 15.10). При классификации ОП по первым двум критериям удобно воспользоваться рис. 15.51. Очевидно, что данная классификация позволяет более полно охарактеризовать светораспределение уличных светильников, чем предыдущая.

Таблица 15.10

Классификация уличных светильников по МКО (1977 г.)

Критерий	Градации	Параметр
Размах	узкий	$\gamma_{max} < 60^\circ$
	промежуточный	$60^\circ \leq \gamma_{max} \leq 70^\circ$
	широкий	$\gamma_{max} > 70^\circ$
Сдвиг	малый	$\gamma_{90} < 45^\circ$
	средний	$45^\circ \leq \gamma_{90} \leq 55^\circ$
	большой	$\gamma_{90} > 55^\circ$
Индекс слепимости	ограниченный	$SLI < 2$
	умеренный	$2 \leq SLI \leq 4$
	жесткий	$SLI > 4$

Отметим, что все указанные выше параметры относятся к ОП, установленным в стандартных условиях: а) оптическая ось ОП направлена вертикально вниз; б) главная продольная плоскость ОП ($C_{90}-C_{270}$) перпендикулярна оси дороги.

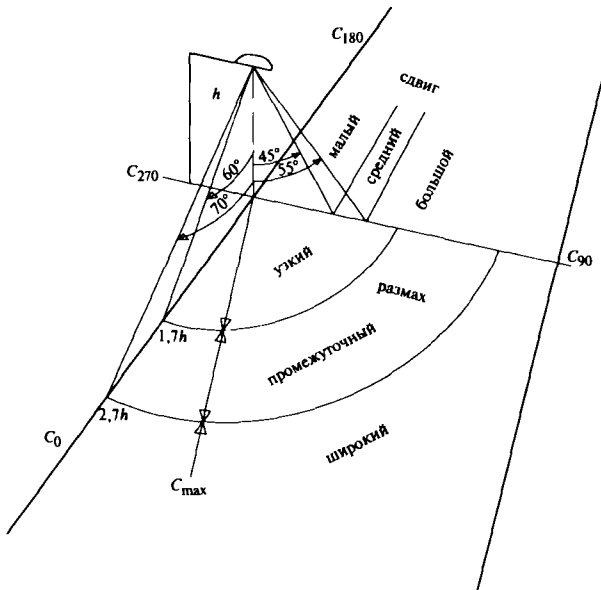


Рис. 15.51. К определению градаций критериев размах и сдвиг классификации МКО

Для ОП, предназначенных для освещения улиц внутри кварталов и пешеходных зон, применяется классификация МКО [15.20], критерием которой служит показатель $L_c A^{0.5}$, регламентирующий слепящее действие светильника. Здесь L_c — наибольшая средняя яркость светящей поверхности ОП, видимой в направлении, лежащем в интервале углов $\gamma = 85-90^\circ$ в плоскости C_0 , кд/м^2 ; A — площадь проекции светящей поверхности ОП, видимой под углом $\gamma = 90^\circ$ в той же плоскости, м^2 . В зависимости от высоты расположения ОП h ограничено предельное значение этого показателя:

- при $h \leq 4,5 \text{ м}$ — $L_c A^{0.5} < 4000$,
- при $4,5 \text{ м} < h \leq 6 \text{ м}$ — $L_c A^{0.5} < 5500$,
- при $h > 6 \text{ м}$ — $L_c A^{0.5} < 7000$.

15.4.2. Классификация дорожных покрытий

Для описания отражающих свойств дорожных покрытий используется коэффициент яркости, однако его определение в российской и зарубежной методологии различно. В отечественной практике под коэффициентом яркости $r(\alpha, \beta, \delta)$, например, в точке P (рис. 15.52) принято понимать отношение яркости дорожного покрытия $L(\alpha, \beta, \delta)$ в этой точке под углом $\alpha = 1^\circ$ к плоскости полотна дороги, к яркости идеального образца* $L_{ид}(\delta)$, расположенного в этой же точке и освещаемого при тех же условиях. В общепринятой зарубежной методологии коэффициент яркости $q(\beta, \delta)$ ** определяется как отношение той же яркости дорожного покрытия $L(\beta, \delta)$ (кд/м^2) к освещенности этого уча-

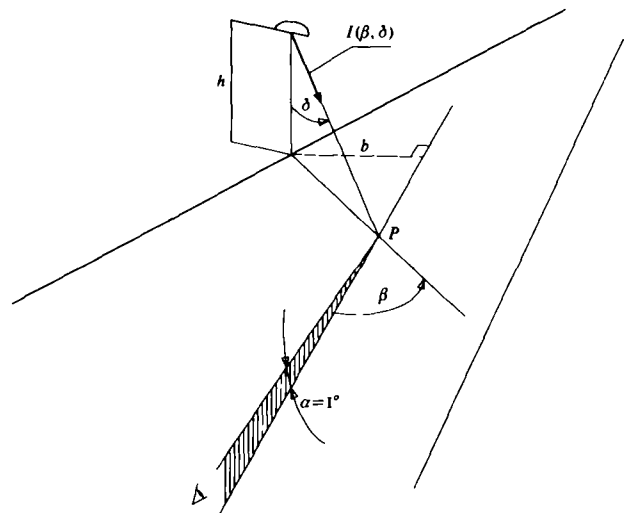


Рис. 15.52. К определению яркости дорожного покрытия

стка $E(\delta)$ (лк) в точке P . Между этими параметрами имеется жесткая связь:

$$r(\beta, \delta) = \frac{L(\beta, \delta)}{L_{ид}(\delta)} = \frac{L(\beta, \delta)}{E(\delta)/\pi} = \pi q(\beta, \delta), \quad (15.2)$$

откуда видно, что r больше q в π раз.

Значения коэффициента яркости для стандартизованных типов дорожных покрытий сводят в таблицы в зависимости от условий освещения. В России в настоящее время стандартизованы два типа покрытий: мелкозернистое и шероховатое асфальтобетонные покрытия [15.21]. Аргументами в этих таблицах являются угол падения света δ (в российском обозначении α) и отношение b/h , где b — расстояние от проекции ОП на плоскость полотна дороги до проекции линии наблюдения на эту же плоскость, h — высота установки ОП над плоскостью полотна дороги. В зарубежной практике, закрепленной в международной нормативно-методологической литературе [15.22], табулируется не непосредственно коэффициент яркости q , а так называемый редуцированный коэффициент яркости r (NB: не путать с имеющим одинаковое обозначение российским коэффициентом яркости), определяемый как

$$r(\beta, \delta) = q(\beta, \delta) \cos^3 \delta \text{ [стер}^{-1}\text{]}. \quad (15.3)$$

Кроме коэффициентов яркости принято дорожные покрытия характеризовать двумя комплексными показателями Q_0 и S_1 . Первый — характеризует общую степень отражения покрытия и определяется как средневзвешенный коэффициент яркости q по регламентированной части пространства направлений падения света Ω_0 относительно точки P (рис. 15.53), т.е.

$$Q_0 = \frac{1}{\Omega_0} \int_{\Omega_0} q(\beta, \delta) d\Omega(\beta, \delta). \quad (15.4)$$

* Идеальный образец характеризуется идеальным диффузным (ламбертовским) отражением с коэффициентом отражения 1.
 ** Учитывая, что угол наблюдения α регламентирован одинаково и в российской, и в зарубежной методологии, здесь и далее в формулах он опущен.

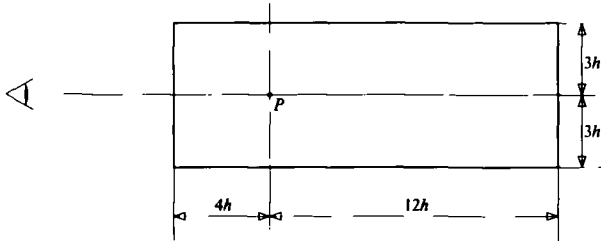


Рис. 15.53. К определению пространства направлений падения света Ω_0

Второй показатель S_1 характеризует степень направленности отражения и определяется по формуле:

$$S_1 = r(0,2) / r(0,0), \quad (15.5)$$

где $r(0,2)$ и $r(0,0)$ — редуцированные коэффициенты яркости соответственно для $\beta=0$ и $\text{tg } \delta=2$ и для $\beta=0$ и $\text{tg } \delta=0$.

К настоящему времени имеется несколько зарубежных классификаций дорожных покрытий по коэффициенту яркости. Наибольшее распространение получила R-классификация [15.22], в соответствии с которой

различают четыре типа покрытий в зависимости от направленности отражения (табл. 15.11). В качестве примера в табл. 15.12 приведены редуцированные коэффициенты яркости r для покрытия типа R3. Кроме указанной имеются и другие классификации, среди которых следует отметить предложенные МКО С-классификацию [15.23], в которой различают два типа покрытий (табл. 15.13), и W-классификацию для влажных покрытий [15.24].

Таблица 15.11

R-классификация дорожных покрытий [15.22]

Тип покрытия	Характеристика	Предельные значения	Стандартные значения	
			S_1	Q_0
R1	диффузное	$S_1 < 0,42$	0,25	0,10
R2	близкое к диффузному	$0,42 \leq S_1 < 0,85$	0,58	0,07
R3	слегка направленное	$0,85 \leq S_1 < 1,35$	1,11	0,07
R4	направленное	$S_1 \geq 1,35$	1,55	0,08

Таблица 15.12

Редуцированные коэффициенты яркости $r(\beta, \delta)$ для дорожного покрытия типа R3 [15.22]

$\text{tg } \delta$	Значения коэффициентов яркости $r(\beta, \delta) \cdot 10^4$ для углов β , град:																			
	0	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
0	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	
0,25	326	326	321	321	317	312	308	308	303	298	294	280	271	262	258	253	249	244	240	240
0,5	344	344	339	339	326	317	308	298	289	276	262	235	217	204	199	199	199	199	194	194
0,75	357	353	353	339	321	303	285	267	244	222	204	176	158	149	149	149	145	136	136	140
1	362	362	352	326	276	249	226	204	181	158	140	118	104	100	100	100	100	100	100	100
1,25	357	357	348	298	244	208	176	154	136	118	104	83	73	70	71	74	77	77	77	78
1,5	353	348	326	267	217	176	145	117	100	86	78	72	60	57	58	60	60	60	61	62
1,75	339	335	303	231	172	127	104	89	79	70	62	51	45	44	45	46	45	45	46	47
2	326	321	280	190	136	100	82	71	62	54	48	39	34	34	34	35	36	36	37	38
2,5	289	280	222	127	86	65	54	44	38	34	25	23	22	23	24	24	24	24	24	25
3	253	235	163	85	53	38	31	25	23	20	18	15	15	14	15	15	16	16	17	17
3,5	217	194	122	60	35	25	22	19	16	15	13	9,9	9	9	9,9	11	11	12	12	13
4	190	163	90	43	26	20	16	14	12	9,9	9	7,4	7	7,1	7,5	8,3	8,7	9	9	9,9
4,5	163	136	73	31	20	15	12	9,9	9	8,3	7,7	5,4	4,8	4,9	5,4	6,1	7	7,7	8,3	8,5
5	145	109	60	24	16	12	9	8,2	7,7	6,8	6,1	4,3	3,2	3,3	3,7	4,3	5,2	6,5	6,9	7,1
5,5	127	94	47	18	14	9,9	7,7	6,9	6,1	5,7										
6	113	77	36	15	11	9	8	6,5	5,1											
6,5	104	68	30	11	8,3	6,4	5,1	4,3												
7	95	60	24	8,5	6,5	5,2	4,3	3,4												
7,5	87	53	21	7,1	5,3	4,4	3,6													
8	83	47	17	6,1	4,4	3,6	3,1													
8,5	78	42	15	5,2	3,7	3,1	2,6													
9	73	38	12	4,3	3,2	2,4														
9,5	69	34	9,9	3,8	3,5	2,2														
10	65	32	9	3,3	2,4	2														
10,5	62	29	8	3	2,1	1,9														
11	59	26	7,1	2,6	1,9	1,8														
11,5	56	24	6,3	2,4	1,8															

$$S_1 = 1,11$$

$$Q_0 = 0,07$$

Таблица 15.13

С-классификация дорожных покрытий [15.22]

Тип покрытия	Характеристика	Предельные значения	Стандартные значения	
			S1	Q ₀
C1	диффузное	S1 ≤ 0,4	0,24	0,10
C2	направленнос	S1 > 0,4	0,97	0,07

Аргументами в этих таблицах редуцированных коэффициентов яркости r являются угол β между плоскостями падения и наблюдения и тангенс угла падения луча света $\operatorname{tg} \delta$ в расчетную точку P . При этом для удобства значения коэффициента r умножены на 10^4 . Переход от угла β к параметру b/h можно осуществить по формуле:

$$b/h = \sin \beta \operatorname{tg} \delta. \quad (15.6)$$

Если классифицировать стандартные отечественные типы покрытий [15.21] по критериям Q_0 и S1, то, как видно из приведенных в табл. 15.14 расчетных данных, гладкое мелкозернистое покрытие по критерию Q_0 ближе к типу R1, а по критерию S1 соответствует типу R3, шероховатое покрытие по обоим критериям более соответствует типу R2.

Таблица 15.14

Расчетные значения Q_0 и S1 для отечественных типов дорожных покрытий по [15.21]

Тип покрытия	Q_0	S1
мелкозернистое	0,093	0,97
шероховатое	0,065	0,75

15.4.3. Нормативные требования

В международной практике при нормировании освещения дорог и улиц принято разделять объекты освещения на три группы:

1) автомобильные дороги и улицы, имеющие, как правило, простую геометрию проезжей части: прямолинейное горизонтальное полотно, без пересечения с другими объектами;

2) участки автомобильных дорог с нестандартной геометрией проезжей части (перекрестки, развилки, сужения, въезды и съезды с эстакад и др.);

3) пешеходные (включая и велосипедные) трассы.

Такое разделение связано с различием зрительных задач, стоящих перед участниками движения в каждой группе объектов.

Автомобильные дороги и улицы (со стандартной геометрией). Нормирование проезжей части улиц и дорог этой группы осуществляется исключительно по яркости. При проектировании освещения таких объектов используется классификация, приведенная в табл. 15.15 [15.25]. Нормативными показателями освещения являются (табл. 15.16):

- средняя яркость дорожного покрытия L_{av}^* ,
- коэффициенты общей U_0 и продольной U_1 равномерности яркости,
- приращение пороговой разности яркостей T1,
- коэффициент периферийного освещения SR.

Таблица 15.15

Классификация автомобильных дорог и улиц [15.25]

Характеристика объекта	Класс объекта
Высокоскоростные дороги с раздельным движением, без пересечений на одном уровне и с полным контролем движения Интенсивность движения и сложность трассы ¹ : высокая средняя низкая	M1 M2 M3
Высокоскоростные дороги с двусторонним движением Управление движением ² и разделение ³ различных участников движения ⁴ : слабое хорошее	M1 M2
Важные городские трассы, радиальные дороги, межрайонные дороги Управление движением и разделение различных участников движения: слабое хорошее	M2 M3
Соединения менее важных дорог, местные дороги, проезды в жилых кварталах. Дороги, соединяющие частные владения с основными трассами Управление движением и разделение различных участников движения: слабое хорошее	M4 M5

Примечания:

¹ Сложность трассы относится к инфраструктуре, движению транспорта и визуальному окружению, включая следующие факторы:

- число полос движения, подъемов и спусков;
- знаки и сигналы.

Въезды и съезды с эстакад, слияние дорог, развилки и т.п. относятся к группе объектов с нестандартной геометрией (см. табл. 15.17.)

² Управление движением предполагает наличие знаков и сигналов и регулирование движения.

Средствами управления являются: светофоры, правила приоритетов, знаки движения, указатели направления и разметка дороги.

Объекты, где эти средства отсутствуют или используются редко, относятся к категории «слабое» и наоборот.

³ Разделение может быть выполнено с помощью раздельных полос или ограничения одного или более типов движения. Для такого разделения допускается более низкий уровень освещения.

⁴ Различными типами участников движения являются легковые и грузовые автомобили, медленно движущийся транспорт, автобусы, велосипедисты, пешеходы.

* Здесь и далее используются обозначения, принятые в зарубежной практике.

Значения нормируемых показателей для автомобильных дорог и улиц [15.25]

Класс объекта	Область применения				
	Любые дороги		ТІ, %	Дороги с малым числом или при отсутствии пересечений	Дороги с пешеходными трассами, не относящимися к классам Р1–Р4 (см. табл. 15.19)
	L_{av} , кд/м ²	U_0		U_1	SR
М1	2,0	0,4	10	0,7	0,5
М2	1,5				
М3	1,0				
М4	0,75		15	не регламентируются	
М5	0,5				

Примечание. Показатель ТІ определяется по начальным параметрам ОУ, остальные показатели – по параметрам ОУ к концу установленного эксплуатационного срока.

Величина L_{av} определяется как средняя яркость участка дорожного полотна, охватываемого угловым полем $\pm 0,5^\circ$ относительно линии зрения наблюдателя (водителя), которая направлена под углом 1° к плоскости дороги.

Коэффициент общей равномерности U_0 определяется отношением минимальной яркости дорожного покрытия L_{min} к средней яркости L_{av} , определенным по всей ширине дороги:

$$U_0 = L_{min} / L_{av}, \quad (15.7)$$

а коэффициент продольной равномерности U_1 — отношением минимальной L_{min} и максимальной L_{max} яркостей, определенным вдоль осевой линии полосы движения:

$$U_1 = L_{min} / L_{max}. \quad (15.8)$$

Приращение пороговой разности яркостей ТІ* (Threshold Increment), регламентирующее слепящее действие ОП в установке, определяется отношением визуальной яркости L_v к средней L_{av} по следующей эмпирической формуле:

$$ТІ = 65 L_v / L_{av}^{0,8} [\%]. \quad (15.9)$$

Коэффициент периферийного освещения SR (Surround Ratio), регламентирующий освещение периферийных зон дороги для создания необходимых условий видения окружающей обстановки, определяется как отношение средней освещенности на периферийных полосах шириной 5 м (или меньше, если пространство не позволяет), примыкающих к обоим краям проезжей части, к средней освещенности на полосах проезжей части дороги шириной 5 м (или равной половине ширины проезжей части, если она > же 10 м), примыкающих к обоим краям проезжей части.

Кроме указанных показателей в нормах содержится еще один, названный визуальной маркировкой пути (optical или visual guidance). Это качественный показатель, характеризующий данный участок дороги с точки

зрения обзора в темное время суток линии светильников, расположенных вдоль этой трассы впереди автомобиля (рис. 15.54). При хорошей визуальной маркировке линия светильников хорошо просматривается на достаточно большом расстоянии, информируя водителя о предстоящем характере трассы (прямолинейность, кривизна, изгибы, пересечения, развилки и т.п.), что создаст более безопасные и комфортные условия для водителя. Ввиду отсутствия каких-либо количественных оценок данного показателя рекомендуется использовать перспективные рисунки проектируемых трасс, а для наиболее сложных случаев (сложные пересечения и развязки) прибегать к помощи моделирования объектов. Отметим перспективность применения для этих



Рис. 15.54. Иллюстрация визуальной маркировки пути

* Показатель ТІ по своей сути является аналогом показателя ослепленности Р, используемого в российских СНиП, хотя и определяется по несколько иной эмпирической формуле и выражается не в относительных единицах, а в процентах.

целей компьютерного анимационного моделирования процесса движения по трассе.

Участки дорог с нестандартной геометрией (conflict areas). Класс объектов этой группы выбирается равным или на ступень выше класса ведущей к ним дороги стандартной геометрии (табл. 15.17). Нормирование, как правило, осуществляется по яркости, используя те же показатели, что и для стандартных дорог (табл. 15.16). В тех случаях, когда контрольный участок не укладывается в регламентированное поле обзора $\alpha = 1^\circ \pm 0,5^\circ$, допускается нормирование по освещенности в соответствии с классификацией (табл. 15.17). Для таких объектов нормируется средняя освещенность на поверхности полотна дороги E_{av} и коэффициент общей равномерности распределения освещенности $U_0(E)$, определяемый отношением минимальной освещенности E_{min} к средней E_{av} (табл. 15.18). Указанные требования должны быть выполнены не только на самих этих объектах, но и на примыкающих к ним участках стандартной дороги, на расстоянии, проходимом транспортным средством за 5 секунд с установленной скоростью. Если пешеходные пути, примыкающие к таким объектам, не освещены самостоятельно в соответствии с требованиями для классов P1–P4 (см. раздел «Пешеходные трассы»), то на них должно быть обеспечено освещение на уровне не ниже половины уровня освещения проезжей части.

Таблица 15.17

Классификация объектов с нестандартной геометрией [15.25]

Тип объекта	Класс объекта
Проезд (под дорогой)*	$C(N) = M(N)$
Перекресток, сужение дороги, въезды и съезды с эстакады, извилистый участок дороги, участок с уменьшенной шириной полос движения	$C(N) = M(N-1)**$
Железнодорожный переезд: простой сложный	$C(N) = M(N)**$ $C(N) = M(N-1)**$
Участок с круговым движением без сигнализации: сложный или большой средней сложности простой или небольшой	C1 C2 C3
Участок возможного скопления транспорта (терминал): сложный или большой средней сложности простой или небольшой	C1 C3 C5

* То, что не подпадает под категорию «туннель» (см. п. 15.5).

** В случае нормирования по яркости классу M1 основной дороги будет соответствовать класс C1 примыкающего объекта с нестандартной геометрией.

Таблица 15.18

Значения нормируемых показателей для объектов с нестандартной геометрией [15.25]

Класс объекта	Средняя освещенность E_{av} , лк	Коэффициент общей равномерности освещенности $U_0(E)$
C0	50	0,40
C1	30	
C2	20	
C3	15	
C4	10	
C5	7,5	

Таблица 15.19

Классификация пешеходных и велосипедных трасс [15.25]

Характеристика объекта	Класс объекта
Наиболее престижные трассы	P1
Трассы с интенсивным движением пешеходов и велосипедистов в темное время суток	P2
Трассы с умеренным движением пешеходов и велосипедистов в темное время суток	P3
Трассы с незначительным движением пешеходов и велосипедистов в темное время суток, связанные исключительно с частными владениями	P4
Трассы с незначительным движением пешеходов и велосипедистов в темное время суток, связанные исключительно с частными владениями. Важны для сохранения сельского или архитектурного характера окружения	P5
Трассы с очень незначительным движением пешеходов и велосипедистов в темное время суток, связанные исключительно с частными владениями. Важны для сохранения сельского или архитектурного характера окружения	P6
Трассы, где требуется только визуальная маркировка пути от прямого света светильников	P7

В тех случаях, когда для объектов с нестандартной геометрией затруднительно воспользоваться критерием T1 для оценки слепящего действия ОП в ОУ, рекомендуется руководствоваться следующими ограничениями. Для вертикальной плоскости, проходящей через световой центр светильника и глаз наблюдателя, предельные значения силы света I_{lim} , отнесенные к потоку лампы 1000 лм, создаваемые светильником в реальных условиях эксплуатации в направлениях, отстоящих на углы 80° и 90° от вертикали, должны составлять 30 и 10 кд соответственно. Понятно, что, как и в случае с T1, зна-

чения L_{lim} определяются по начальным параметрам ОП.

Пешеходные трассы. Классификация объектов этой группы приведена в табл. 15.19. Класс Р1 относится к пешеходным зонам, где необходимо создать наиболее привлекательный вид окружающего пространства. Классы Р5–Р7 должны использоваться только в тех случаях, когда вероятность криминальных акций незначительна. В противном случае класс данного объекта освещения должен быть повышен на одну или даже две ступени. Эти рекомендации следует применять и к трассам для велосипедов и других не моторизированных транспортных средств.

Нормирование объектов этой группы базируется на горизонтальной E_{hor} и полуцилиндрической E_{sc} освещенности (табл. 15.20). Горизонтальная освещенность определяется на уровне дорожного покрытия и усредняется по всей ширине пешеходного пути, а полуцилиндрическая освещенность — на высоте 1,5 м над уровнем покрытия при ориентации полуцилиндра в направлении пешехода. Отметим, что для горизонтальной освещенности нормируется как среднее, так и минимальное значение, для полуцилиндрической — только минимальное.

Таблица 15.20

Значения нормируемых показателей для пешеходных трасс [15.20]

Класс объекта	Горизонтальная освещенность E_{hor} , лк		Полуцилиндрическая освещенность E_{sc} , лк
	средняя	минимальная	минимальная
Р1	20	7,5	5
Р2	10	3	2
Р3	7,5	1,5	1,5
Р4	5	1	1
Р5	3	0,6	0,75
Р6	1,5	0,2	0,5
Р7	не регламентируются		

Для объектов класса Р7 является существенным, чтобы яркие части светильника могли быть видны с расстояния, равного, по крайней мере, одному пролету между ОП.

Нормирование по видимости. Переход от косвенного нормирования дорожного освещения по яркости к прямому нормированию по видимости получает все большую поддержку в ведущих странах. От многолетних исследований и дискуссий этот вопрос перешел в практическую плоскость. Так, в переработанном стандарте США по дорожному освещению [15.26] впервые введено нормирование по видимости на базе метода STV (Small Target Visibility). Здесь видимость объекта VL (Visibility Level) на полотне дороги определяется как от-

ношение разности яркостей тест-объекта L_t и фона (полотна дороги) L_b в реальных условиях к пороговой разности тех же величин, т.е.

$$VL = \left| \frac{(L_t - L_b)_{real}}{(L_t - L_b)_{thresh}} \right|. \quad (15.10)$$

В качестве тест-объекта принимается плоская квадратная пластина со стороной 0,18 м, установленная вертикально на уровне полотна дороги на расстоянии 83 м от наблюдателя, линия зрения которого ориентирована параллельно оси дороги по ходу движения транспорта. Пластина обращена к наблюдателю своей стороной, имеющей серую диффузную поверхность с коэффициентом отражения $\rho_l = 0,20$. В табл. 15.21 приведены нормируемые значения видимости и других показателей, описанные в [15.25] для первой группы объектов (автомобильные дороги со стандартной геометрией). Использование концепции нормирования по видимости носит рекомендательный экспериментальный характер. Однако отмечается, что она не только более адекватно отражает условия видения на дороге, но и имеет экономические преимущества за счет возможности снижения уровня средней яркости покрытия.

Таблица 15.21

Значения нормируемых показателей для автомобильных дорог и улиц по методу STV [15.25]

Класс объекта	VL	L_{av} , кд/м ²	U_l	ТИ, %
М1	7,5	1,0	0,2	10
М2	7,0			
М3	6,0	0,5		
М4	5,5			
М5	5,0			

Примечание. Кроме перечисленных показателей нормируются также коэффициент периферийного освещения SR и визуальная маркировка пути.

15.4.4. Светотехнические расчеты

Светотехнические расчеты установок дорожного освещения относятся к одним из наиболее трудоемких. Обусловлено это тем, что нормирование таких установок базируется в основном на яркости дорожного покрытия, расчет которой учитывает не только светораспределение ОП и их ориентацию относительно освещаемого объекта (как и в случае расчета освещенности), но и отражающие свойства дорожного покрытия в зависимости от направления падающего света при фиксированной линии зрения наблюдателя (водителя). Применявшиеся ранее «ручные» методы расчета базировались на существенном упрощении расчетных процедур путем использования некоторых усредняющих показателей (например, коэффициента использования по яркости), позволявших получать лишь грубые приближения рас-

четных параметров, причем оценить точность таких приближений было практически невозможно. В настоящее время происходит повсеместный переход на компьютерную технологию проведения светотехнических расчетов. На рынке программных продуктов имеются средства для светотехнического проектирования, включая установки дорожного освещения. Среди наиболее известных программ можно указать DIALux (института прикладной светотехники DIAL, Германия), Calculux (фирмы Philips Lighting, Нидерланды), Lighting Reality Road & Outdoor (фирмы Lighting Reality, Великобритания) и др. Из российских продуктов получила распространение программа Light-in-Night (Road) компании «Светосервис». В основе всех этих программ лежит, по существу, единая принятая в ведущих странах мира методология [15.27], базисные положения которой изложены ниже.

Контрольный участок. Для расчета нормируемых показателей на освещаемом объекте определяется расчетное поле, или контрольный участок. Для объектов со стандартной геометрией контрольный участок представляет собой часть прямолинейного горизонтального полотна дороги, ширина которого равна ширине всей проезжей части W_r (при проезде в одну сторону), а длина — шагу S между ОП, расположенными по одной стороне дороги (рис. 15.55,а) или по центру при установке ОП на подвесе. При расчете освещенности для шахматной схемы расположения ОП длина контрольного участка S определяется проекцией на продольную ось дороги расстояния между двумя соседними ОП, расположенными на противоположных сторонах проезжей части (рис. 15.55,б).

К выбору контрольного участка для объектов с нестандартной геометрией (площади, развязки и т.п.) приходится подходить индивидуально, сохраняя при этом общие принципы.

Расчет яркости. Средняя яркость дорожного покрытия L_{av} зависит от положения наблюдателя, которое устанавливается по оси каждой полосы движения. Так, для наблюдателя, расположенного на оси k -той полосы, величина $L_{av,k}$ определяется как среднее арифметическое яркостей дорожного покрытия $L_{i,k}$ от-

носительно этого наблюдателя, взятое по N точкам контрольного участка полотна дороги:

$$L_{av,k} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N L_{i,k}. \quad (15.11)$$

В свою очередь яркость $L_{i,k}$ в отдельной (i -й) точке контрольного участка, видимая наблюдателем (водителем) при расположении его глаза на высоте 1,5 м над осевой линией k -й полосы движения с расстояния 60 м перед границей контрольного участка (рис. 15.55,а), по международной методологии рассчитывается как

$$L_{i,k} = MF \cdot 10^{-4} \sum_{j=1}^M r_{i,j,k} I_{i,j} / h_j^2, \quad \text{кд/м}^2, \quad (15.12)$$

где MF (Maintenance Factor) — показатель эксплуатации (величина, обратная коэффициенту запаса); $r_{i,j,k}$ — редуцированный коэффициент яркости (15.3) в i -й точке от j -го ОП относительно наблюдателя, расположенного на k -й полосе движения; $I_{i,j}$ — сила света j -го ОП в i -ю точку, кд; h_j — высота расположения j -го ОП над полотном дороги, м; M — число ОП, учитываемых при расчете.

По российской методологии —

$$L_{i,k} = \frac{1}{K_3 \pi} \sum_{j=1}^M r_{i,j,k} I_{i,j} \cos^3 \delta_{i,j} / h_j^2, \quad (15.13)$$

где $r_{i,j,k}$ — коэффициент яркости (15.2); $\delta_{i,j}$ — угол падения луча от j -го ОП в i -ю точку; K_3 — коэффициент запаса.

Количество светильников M , учитываемых в расчете яркости $L_{i,k}$ в расчетной точке, определяется значимой областью коэффициентов яркости $r_{i,j,k}$ относительно этой точки. Исходя из областей задания аргументов β (или b/h) и δ в табл. 15.12 указанная r -область может быть определена приближенно как прямоугольник с продольными и поперечными сторонами соответственно $17h$ и $10h$ (рис. 15.56), где h — высота расположения ОП над полотном дороги. Для большинства

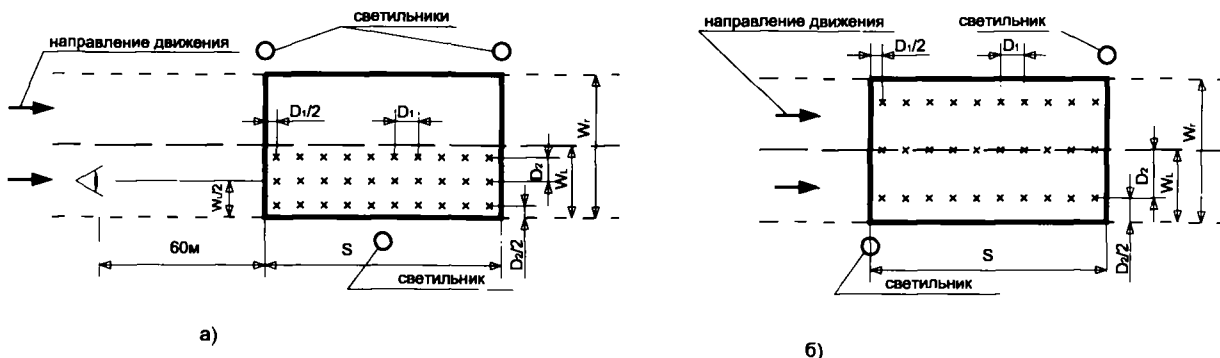


Рис. 15.55. К определению контрольного участка и выбору расчетных точек (показаны только для одной полосы движения) при расчете средней яркости (а) и освещенности (б) на примере шахматной схемы расположения ОП

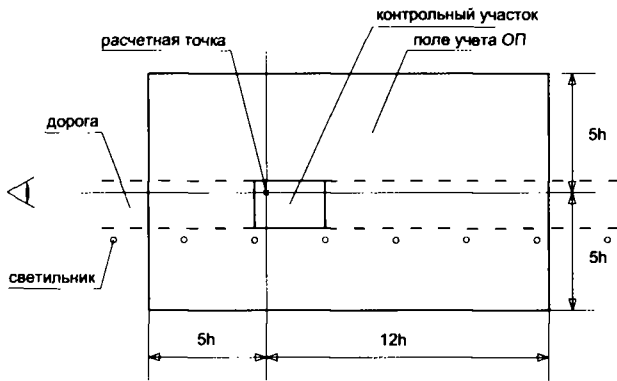


Рис. 15.56. К определению количества светильников M , учитываемых при расчете яркости в расчетной точке

реальных случаев, при которых шаг S близок к $3h$, бывает достаточным учитывать 5 светильников в ряду: два — образующих контрольный участок, один — перед ним и два — за ним.

Число и расположение расчетных точек на контрольном участке выбираются следующим образом. Если $S \leq 30$ м, то число точек в продольном направлении N_1 равно 10, если $S > 30$ м, то N_1 равно такому наименьшему целому числу, при котором $S / N_1 \leq 3$ м. Точки располагаются равномерно с шагом $D_1 = S / N_1$, первая точка отстоит от границы контрольного участка на расстояние $D_1 / 2$. В поперечном направлении число точек на полосу равно 3, а шаг — соответственно $D_2 = W_L / 3$, где W_L — ширина полосы движения. Расстановка точек расчета по полосе показана на рис. 15.55,а. При числе полос N_L общее число расчетных точек на контрольном участке в поперечном сечении составит $N_2 = 3N_L$, а по всему участку — $N = N_1 N_2$.

Из найденных по (15.11) значений $L_{av,k}$ для наблюдателя каждой полосы выбирается наименьшее $L_{av,min}$, которое должно удовлетворять нормативному значению $L_{av,норм}$ (табл. 15.16), т.е. $L_{av,min} \geq L_{av,норм}$.

Важно отметить, что, хотя компьютерная технология позволяет практически мгновенно рассчитать $L_{av,k}$ с гораздо большим, чем определенным выше, числом расчетных точек N и тем самым повысить точность расчета, необходимо придерживаться указанных выше рекомендаций, так как аналогичная методика определения числа и расположения точек измерения применяется и при нахождении экспериментального значения $L_{av,k}$ (см. п. 15.4.5). Только в этом случае сравнение расчетных и натуральных данных будет корректным. Очевидно, что для натуральных измерений яркости увеличение числа точек напрямую повышает и без того большую трудоемкость измерительного процесса и поэтому не является целесообразным.

Расчет освещенности. В соответствии с требованиями освещения для части объектов второй группы и всех объектов третьей группы (см. табл. 15.18 и

15.20) основным нормируемым показателем является средняя освещенность —

$$E_{av} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N E_i, \quad (15.14)$$

где N — общее число расчетных точек на контрольном участке; E_i — освещенность в отдельной (i -той) точке контрольного участка полотна дороги от M светильников:

$$E_i = \frac{1}{K_3} \sum_{j=1}^M I_{i,j} \cos^3 \delta_{i,j} / h_j^2, \quad (15.15)$$

Входящие в эту формулу параметры соответствуют аналогичным параметрам формулы (15.13).

Кроме того, для объектов группы 3 (пешеходные трассы) нормируются минимальные значения горизонтальной E_{hor} и полуцилиндрической E_{sc} освещенностей (табл. 15.20).

Величина E_{hor} определяется как минимальная из величин E_j , рассчитанных по (15.15) среди N точек контрольного участка.

Полуцилиндрическая освещенность $E_{sc,i}$ от M светильников в i -й точке, расположенной на высоте 1,5 м над уровнем покрытия, при ориентации внешней нормали плоскости полуцилиндра N_{sc} вдоль пешеходной трассы по ходу движения пешехода (рис. 15.57,а), определяется по формуле [15.27]:

$$E_{sc,i} = \frac{1}{K_3 \pi} \sum_{j=1}^M I_{i,j} (1 + \cos \alpha_{sc,i,j}) \frac{\cos^2 \delta_{i,j} \sin \delta_{i,j}}{(h_j - 1,5)^2}, \quad (15.16)$$

где $\alpha_{sc,i,j}$ — угол между вертикальной плоскостью, содержащей луч от j -го ОП в i -ю точку, и вертикальной плоскостью, содержащей нормаль N_{sc} к плоскости полуцилиндра.

При определении количества N и расположения расчетных точек руководствуются следующими рекомендациями.

Для проезжей части дорог и улиц количество расчетных точек в продольном сечении N_1 и их расположение определяются так же, как при расчете яркости (рис. 15.55,б). В поперечном сечении количество точек N_2 определяется не на полосу, а на всю ширину проезжей части W_p и равно 3. Тогда поперечный шаг между точками равен $D_2 = W_p / 3$, а общее число расчетных точек $N = 3N_1$.

Для пешеходных и велосипедных трасс количество продольных точек N_1 определяется как для проезжей части, а количество поперечных точек $N_2 = 1$, если ширина трассы $W_f \leq 1$ м, или такому наименьшему целому числу, при котором $W_f / N_2 \leq 1$ м, если $W_f > 1$ м.

Для дорог с нестандартной геометрией, проездов в жилых кварталах и мест с преимущественным пешеходным движением расчетные точки должны распола-

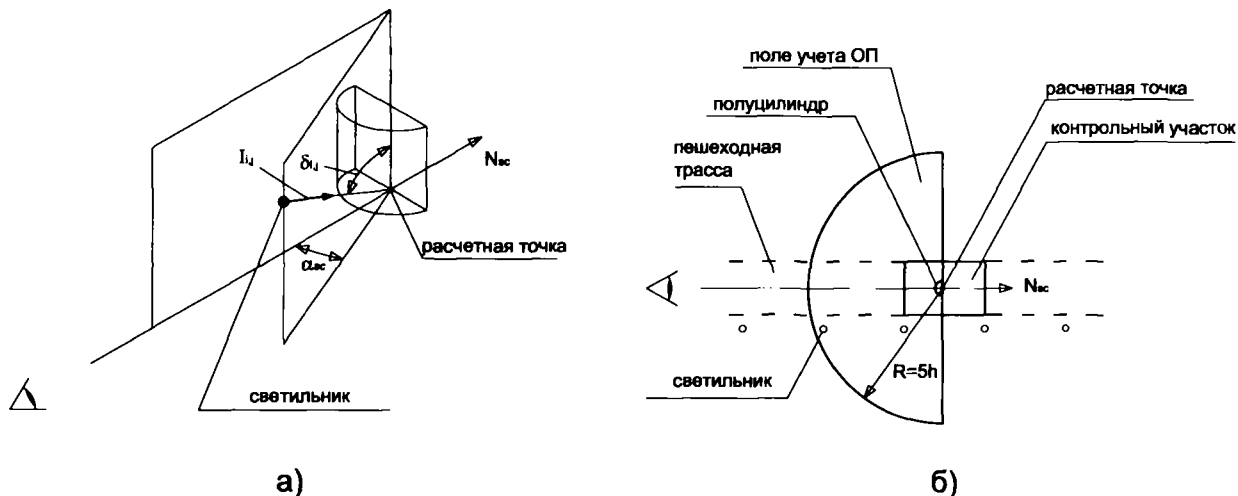


Рис. 15.57. К определению полуцилиндрической освещенности

гаться по узлам квадратной сетки с шагом не более 5 м. Для особо важных объектов допускается уменьшение шага сетки до одного метра. При расчете полуцилиндрической освещенности ориентация нормалей N_{sc} должна соответствовать основным направлениям передвижения пешеходов.

Количество светильников M , учитываемое при расчете горизонтальной освещенности, определяется полем, имеющим форму круга с радиусом $5h$ относительно расчетной точки. Полю учитывать ОП для полуцилиндрической освещенности соответствует полукруг того же радиуса, охватывающий полуцилиндр, для которого определяется значение $E_{sc,i}$ в i -й точке (рис. 15.57, б).

Найденные среднее E_{av} и минимальные E_{hor} и E_{sc} значения должны удовлетворять соответствующим нормативным значениям.

Расчет показателей равномерности. При расчете коэффициента общей равномерности яркости U_0 (15.7) значение минимальной яркости $L_{min,k}$ определяется среди значений $L_{i,k}$ (15.1) в N расчетных точках контрольного участка относительно наблюдателя, расположенного на k -й полосе движения. По найденному значению $L_{min,k}$, а также полученному ранее среднему значению яркости $L_{av,k}$ (15.11) рассчитывается коэффициент $U_{0,k} = L_{min,k} / L_{av,k}$.

При расчете коэффициента продольной равномерности яркости U_1 (15.8) значения минимальной L_{min} и максимальной L_{max} яркости определяются среди значений $L_{i,k}$ (15.12) в N_1 расчетных точках, лежащих на центральной линии k -й полосы контрольного участка, относительно наблюдателя, расположенного на этой же линии. По найденным значениям $L_{min,k}$ и $L_{max,k}$ рассчитывается коэффициент $U_{1,k} = L_{min,k} / L_{max,k}$.

В обоих случаях расчет повторяется для остальных полос движения для нахождения минимальных значений $U_{0,min}$ и $U_{1,min}$, которые затем проверяются на соответствие нормируемым значениям $U_{0,норм}$ и $U_{1,норм}$.

При расчете коэффициента общей равномерности освещенности $U_0(E)$ значение минимальной освещенности E_{min} определяется среди значений E_i (15.15) в N расчетных точках контрольного участка. По найденному значению E_{min} , а также полученному ранее среднему значению освещенности E_{av} (15.14) рассчитывается коэффициент $U_0(E) = E_{min} / E_{av}$ и проверяется его соответствие нормируемому значению $U_0(E)_{норм}$.

Расчет приращения пороговой разности яркостей ТП выполняется по формуле (15.9) при подстановке в нее выражения для вуалирующей яркости:

$$L_v = 10 \sum_{j=1}^M \frac{E_{v,j}}{\theta_j^2}, \quad (15.17)$$

где $E_{v,j}$ — освещенность на зрачке глаза водителя от j -го ОП, лк; θ_j — угол между направлением на j -й ОП и линией зрения, град.; M — количество ОП в поле зрения водителя.

При этом необходимо учитывать следующие обстоятельства. Значения T_i рассчитываются для наблюдателя, последовательно располагаемого в N_1 точках, лежащих на прямой, отстоящей от правого края полотна дороги на расстояние $W_r/4$, где W_r — ширина полотна (рис. 15.58). Первая точка отстоит от ближайшего впереди стоящего ОП на расстоянии $2,75(h-1,5)$, определяемое углом экранирования ОП кабиной автомобиля, который принят равным 20° относительно плоскости, проходящей через линию зрения [15.27]. Точки расположения наблюдателя размещаются с шагом $D_1 = S / N_1$, где S — шаг между ОП. Значение N_1 определяется так же, как при расчете яркости.

Величина освещенности на зрачке глаза наблюдателя $E_{v,i,j}$ в формуле (15.17) рассчитывается как освещенность от j -го ОП в i -й точке, расположенной на высоте 1,5 м над полотном дороги в плоскости, перпендикулярной линии зрения:

$$E_{v,i,j} = I_{i,j} \cos^2 \delta_{i,j} \cos \theta_{i,j} / (h_j - 1,5)^2. \quad (15.18)$$

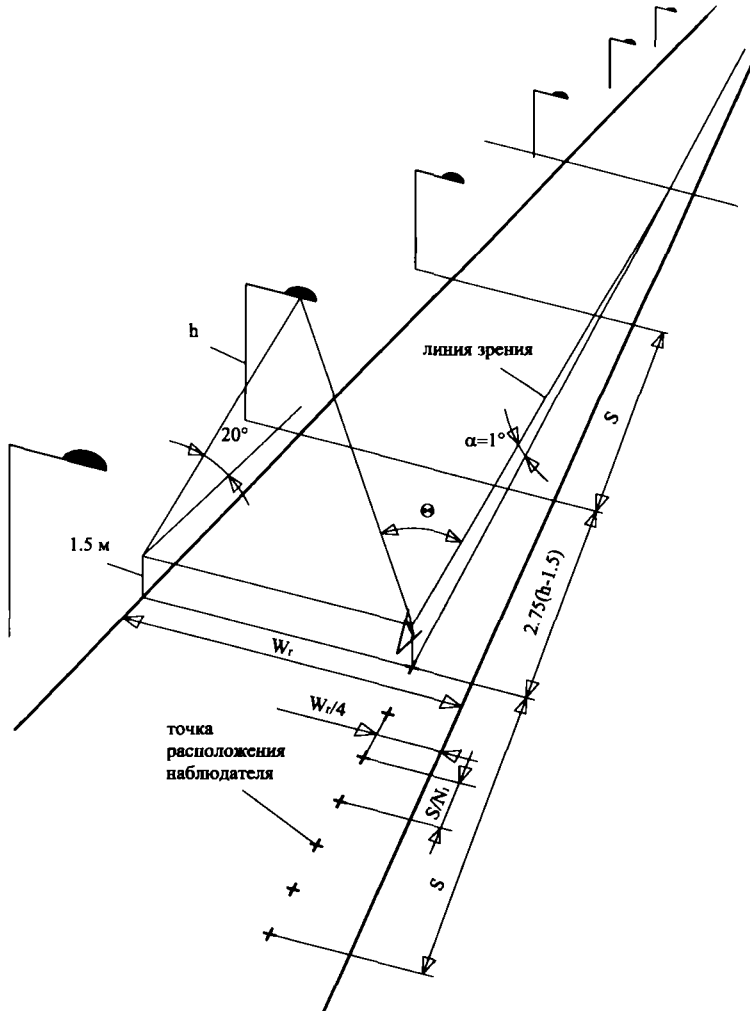


Рис. 15.58. К расчету приращения пороговой разности яркостей Π

Количество светильников M , участвующих в расчете, определяется всеми ОП, располагаемыми впереди расчетной точки на расстоянии до 500 м, но для которых значение угла θ не выходит за пределы интервала $1,5^\circ < \theta < 60^\circ$ и которые не экранируются кабиной водителя.

Входящая в формулу (15.9) величина средней яркости L_{av} определяется по методике, изложенной в разделе *расчет яркости* при $K_3 = 1$. Отметим, что эта формула справедлива для значений L_{av} , лежащих в интервале $0,05-5 \text{ кд/м}^2$.

Из рассчитанных значений Π_i выбирается наибольшее Π_{max} и сравнивается с нормируемым значением Π_{norm} . Для удовлетворения нормативным требованиям необходимо выполнение условия: $\Pi_{max} \leq \Pi_{norm}$.

Расчет коэффициента периферийного освещения SR. В соответствии с определением (см. п. 15.4.3) показатель SR рассчитывается как:

$$SR = \frac{E_{k,1} + E_{k,2}}{E_{r,1} + E_{r,2}}, \quad (15.19)$$

где $E_{k,1}$, $E_{k,2}$ и $E_{r,1}$, $E_{r,2}$ — средние освещенности контрольных участков соответственно периферийных полос и полос полотна дороги, примыкающих к обоим краям проезжей части дороги (рис. 15.59).

Значения средних освещенностей периферийных полос и полос полотна дороги определяются по описанной выше методике расчета средней освещенности для пешеходных и велосипедных трасс.

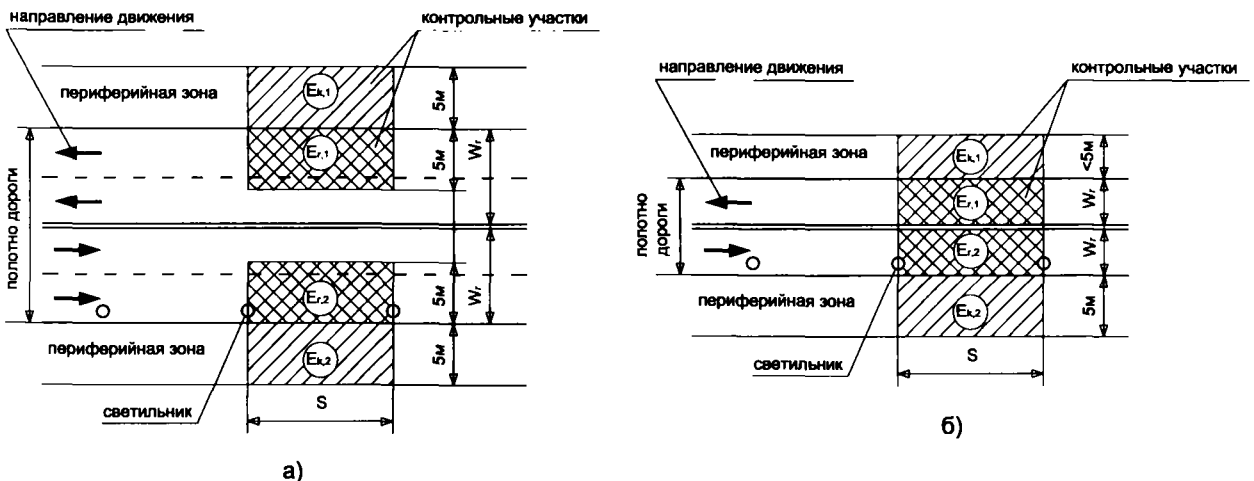


Рис. 15.59. К расчету коэффициента периферийного освещения SR. а — двухстороннее двухполосное движение, ширина проезжей части в одну сторону $W_r > 5 \text{ м}$, ширина обеих периферийных зон — стандартная (5 м); б — двухстороннее однополосное движение, ширина проезжей части в одну сторону $W_r < 5 \text{ м}$, ширина одной из периферийных зон — же стандартная (5 м)

15.4.5. Измерение светотехнических параметров

Измерение светотехнических параметров ОУ проводят с целью определения соответствия реальных и нормативных значений нормируемых показателей. Такие измерения осуществляются, во-первых, при приемке объекта в эксплуатацию и, во-вторых, при инспектировании состояния освещения в действующей установке.

Важной особенностью дорожного освещения является то, что большинство нормируемых показателей (средняя яркость или освещенность, коэффициенты равномерности, коэффициент периферийного освещения, полуцилиндрическая освещенность) не измеряются непосредственно, а рассчитываются по приведенным в предыдущем разделе формулам на основании измеренных значений определяющих их величин (яркости или освещенности в точке). Показатель TI вообще не имеет экспериментального определения.

Как уже было сказано выше, при сопоставлении расчетных и экспериментальных данных необходимо придерживаться следующего принципа: нормируемые параметры определяются на одной и той же сетке точек контрольного участка. Поэтому измерение яркости или освещенности осуществляют в тех же точках контрольного участка, которые были определены выше при определении поля расчетных точек. Отметим два важных обстоятельства. Первое — при определении коэффициентов равномерности используются не глобальные значения минимума и максимума яркости или освещенности, а лишь найденные среди массива значений в точках контрольного участка. Второе — вследствие особенностей отражения света от дорожного покрытия (оно носит не диффузный характер) распределения освещенности и яркости принципиально различны. Если в случае освещенности максимумы располагаются вблизи опор, а минимум между ними, при этом продольное распределение симметрично относительно точки минимума (рис. 15.60,а), то в случае яркости наоборот: вблизи опор, как правило, располагаются минимумы, а максимум между ними, при этом какая-либо симметрия отсутствует (рис. 15.60,б). Поэтому точки с максимальным или минимальным значением яркости и освещенности не совпадают.

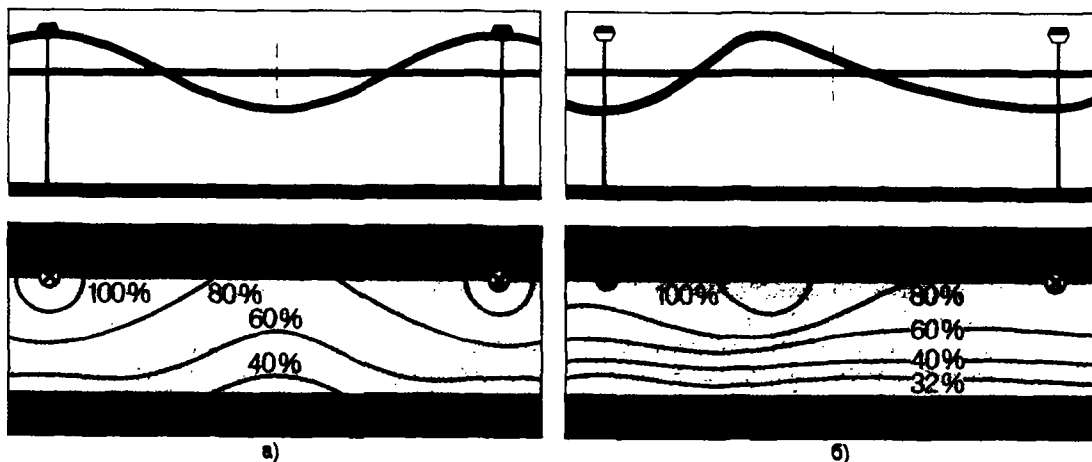


Рис. 15.60. Характерное распределение освещенности (а) и яркости (б) по дорожному полотну

Измерение освещенности. Для измерения освещенности используют переносные люкметры (рис. 15.61,а), отвечающие требованиям, предъявляемым к таким измерениям [15.28], [15.29], [15.30]. Для измерения горизонтальной освещенности фотометрическая головка люкметра устанавливается непосредственно на дорожное покрытие над точкой измерения, при этом плоскость световоспринимающего элемента головки должна быть параллельна плоскости покрытия в этой точке (рис. 15.61,б).

Измерение полуцилиндрической освещенности E_{sc} осуществляют люкстром со специальной фотометрической головкой (например, [15.31]), устанавливаемой на штативе в точке измерения па высоте 1,5 м над уровнем покрытия. При отсутствии такой головки можно использовать обычную фотометрическую головку, производя в этой точке измерения освещенности E_v в четырех вертикальных плоскостях, ориентация нормалей к которым показана на рис. 15.62. На основании полученных данных значение E_{sc} в заданной точке с достаточной для практики точностью можно определить по формуле:

$$E_{sc} = 0,8 \sum_{k=1}^4 E_{v,k}. \quad (15.20)$$

Измерение яркости. В отличие от освещенности на величину яркости существенное влияние оказывает состояние поверхности покрытия в момент измерения, определяемое его влажностью, чистотой, однородностью и накатанностью. Поэтому при выполнении измерения яркости необходимо выбирать контрольный участок, в максимальной степени отвечающий стандартным условиям, принятым при расчете нормируемых показателей. Поверхность участка должна быть прямолинейной, незагрязненной, сухой, однородной по структуре (т.е. без пятен и заплат) и накатанной в течение не менее года. Кроме того, нежелательно проводить измерения в зимний период. В это время даже в сухом и чистом покрытии всегда содержатся кристаллы снега и льда, существенно влияющие

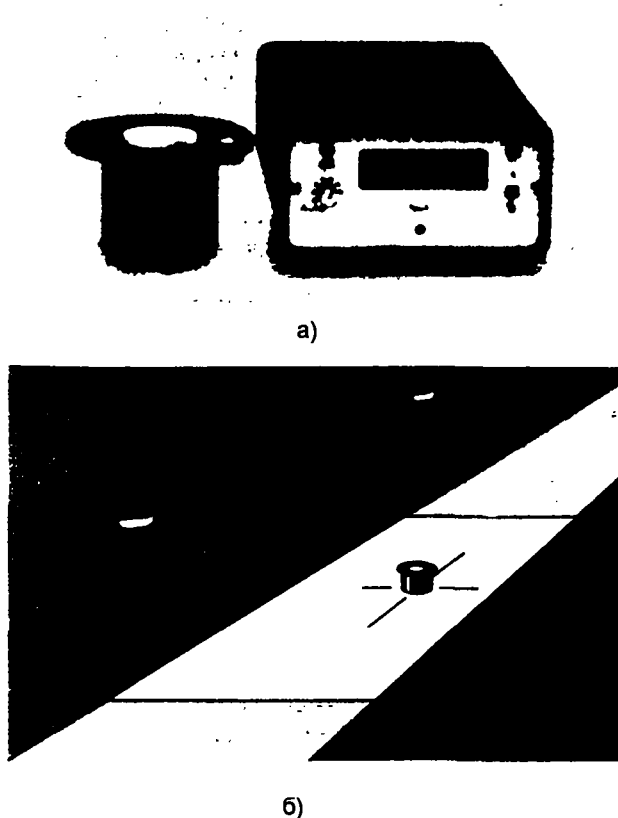


Рис. 15.61. Переносной люксметр для измерения освещенности на дороге (а) и расположение фотометрической головки люксметра при измерении (б)

на коэффициент яркости покрытия. Другим нежелательным фактором может быть белесость покрытия, вызванная испарением разбрызгиваемого на дорогу реагента для таяния снега.

Для измерения яркости дорожного покрытия используют переносные яркомеры (рис. 15.63,а), устанавливаемые па штативе на высоте 1,5 м над уровнем дорожного полотна в положение, соответствующее стандартному положению глаза наблюдателя, указанному в разделе расчета яркости (рис. 15.63,б). Наряду с общими требованиями, предъявляемыми к таким приборам ([15.29], [15.30], [15.21]), отметим одно из наиболее существенных. Измерительное поле таких яркомеров должно быть ограничено угловым полем $2' \times 20'$ (угловых минут) в вертикальной и горизонтальной плоскости соответственно. Только при таких параметрах можно говорить об измерении яркости «в точке».

В заключение отметим, что проведение фотометрических измерений установок дорожного освещения, особенно яркости дорожных покрытий, является очень трудоемкой процедурой. Это обусловлено необходимостью предварительного выбора контрольного участка, разметкой поля точек измерения, настройкой измерительной аппаратуры, проведения самих измерений, а в случае с измерением яркости — перенастройкой яркомера относительно каждой полосы движения. Понятно, что все это усугубляется ночными условиями про-

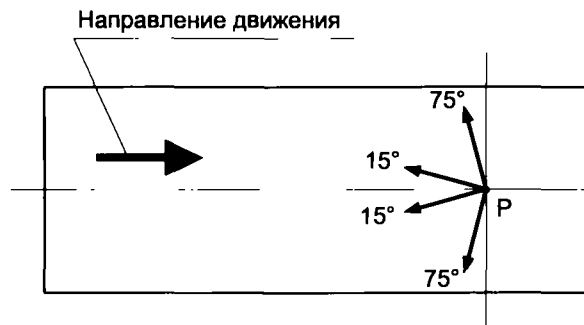


Рис. 15.62. Ориентация нормалей (показаны жирными стрелками) к светопринимающей поверхности фотометрической головки при измерении полуцилиндрической освещенности (в плане)

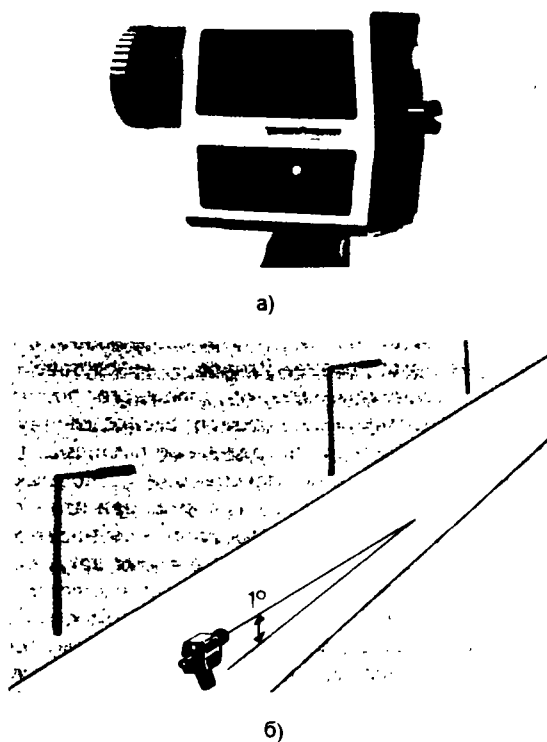


Рис. 15.63. Переносной яркомер (а) и его расположение при измерении яркости дорожных покрытий (б)

ведения измерений. Необходимо по возможности исключить или снизить влияние на результаты измерений паразитных засветок от расположенных рядом светящихся объектов (окон домов, витрин магазинов, рекламных щитов и т.п.). Особые сложности связаны с необходимостью полного или частичного перекрытия движения транспорта на измеряемом участке. При этом следует предпринимать дополнительные меры по предотвращению попадания на фотодатчики света от фар и бликов от обшивки проезжающих мимо автомобилей. Понятно, что в современных городах с перегруженным транспортным потоком выполнить эти рекомендации в полном объеме довольно сложно.

15.5. ОСВЕЩЕНИЕ АВТОТРАНСПОРТНЫХ ТУННЕЛЕЙ

Современный автотранспортный туннель (АТ) представляет сложное инженерное сооружение (рис. 15.64), снабженное такими системами функционирования, как освещение, вентиляция, противопожарная защита, управление движением, откачка сточных вод и др. Конструктивно АТ состоит из транспортной зоны (проезжая часть), рамповых участков и, в зависимости от значимости туннеля, притуннельных сооружений, служебно-технических и вспомогательных помещений.



Рис. 15.64. Общий вид въезда в туннель

Освещение АТ относится к одному из самых ответственных видов освещения, так как здесь даже небольшая авария способна привести к серьезным последствиям, напрямую связанным с опасностью для жизни многих людей, оказавшихся в это время в туннеле. Требования к освещению АТ достаточно специфичны, и выполнение их в полном объеме представляет собой сложную инженерную задачу [15.32]. Наибольшие проблемы связаны с освещением туннелей в дневное время, когда при въезде в туннель необходимо обеспечить приемлемые условия быстрой переадаптации зрительного аппарата водителя с яркого дневного света к существенно более низкому уровню освещения внутри туннеля, причем в условиях быстрого перехода от открытого пространства улицы к резко ограниченному пространству туннеля [15.33]. Возникающий при недостаточном освещении въезда эффект «черной дыры», т.е. практическое отсутствие видимости пространства внутри туннеля при

подъезде к portalу (рис. 15.65), может явиться причиной ДТП с тяжелыми последствиями. Поэтому, учитывая, что АТ относятся к объектам повышенной опасности, требования к их освещению достаточно дифференцированы и жестко регламентированы в большинстве национальных [15.34–15.38] и международных [15.39] нормативных документов*. Положения российских норм по освещению АТ [44, 15.40] в настоящее время не отвечают современным требованиям и вызывают необходимость их пересмотра с учетом международных стандартов. Поэтому данный раздел составлен на основе нормативных требований и рекомендаций, применяемых в мировой практике освещения АТ.



Рис. 15.65. Эффект «черной дыры» при въезде в туннель

*

В 2003 г. Европейским комитетом по стандартизации (CEN) был подготовлен проект европейского стандарта, в котором в наиболее полном виде изложены современные нормативные требования к освещению АТ. Однако до настоящего времени этот документ не утвержден и существует в виде технического отчета (CR 14380 Lighting application — Tunnel lighting).

15.5.1. Нормативные требования

Основной задачей рабочего освещения в транспортной зоне АТ является создание в дневное и ночное время таких условий видимости окружающей обстановки, при которых обеспечивается требуемая степень безопасности и зрительной комфортности водителя при проезде по туннелю с установленной скоростью. Специфической особенностью туннельного освещения является наличие дневного и ночного режимов, нормативные требования для которых существенно различаются.

Дневной режим. В светлое время суток для облегчения зрительной переадаптации водителей должен быть обеспечен плавный переход от высоких уровней естественного освещения на въезде в туннель к относительно низким уровням искусственного освещения в основной части туннеля, а также обратный переход при выезде из него. С этой целью внутри туннеля выделяются четыре яркостные зоны: пороговая, переходная, внутренняя и выездная, а снаружи, перед въездным порталом — подъездная зона (рис. 15.66). Яркостный режим и длина каждой зоны зависят от целого ряда факторов: установленной скорости и интенсивности движения транспорта, длины туннеля, его кривизны в плане и профиле, азимутальной ориентации въездного портала и ландшафтной обстановки вокруг него.

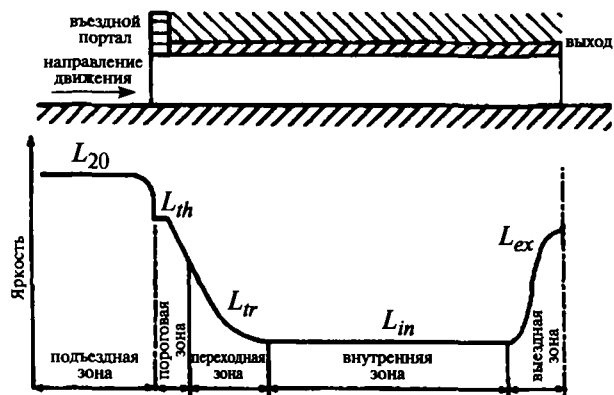


Рис. 15.66. Схема расположения яркостных зон туннеля и распределение в них яркости [15.39]

Важным понятием, на котором базируется нормирование АТ, является «расстояние безопасного торможения» (РБТ), под которым понимается путь, пройденный транспортным средством за время от момента, когда водитель впервые заметил препятствие, до момента полной остановки транспортного средства. Время прохождения автомобилем РБТ включает время возникновения ощущения опасности и осмысления ситуации, время реакции водителя на принятие решения и собственно время торможения. В общем случае величина РБТ зависит от большого числа факторов, включая скорость движения, уклон дороги, состояние дорожного покрытия и протекторов, тип автомобиля и др. Однако с целью упрощения в нормативных документах при определении РБТ, как правило, учитываются только два первых фактора. Приведенные в табл. 15.22 зна-

чения РБТ (м) в зависимости от скорости движения v (км/час) базируются на формуле [15.35]:

$$\text{РБТ} = \left(\frac{v}{10}\right)^2 + 3\left(\frac{v}{10}\right), \quad (15.21)$$

а влияние продольного уклона полотна дороги принято в соответствии с [15.41].

Таблица 15.22

Расстояние безопасного торможения

	Скорость движения, км/час			
	60	80	100	120
Расстояние безопасного торможения, м	54	88	130	180

Примечание. Указанные значения РБТ соответствуют уклону продольного профиля дорожного полотна в подъездной зоне до 10 промилле (‰). При уклоне 10‰ и более значения РБТ следует увеличить на 3% при спуске или уменьшить на 2% при подъеме на каждые 10‰ уклона к въездному portalу.

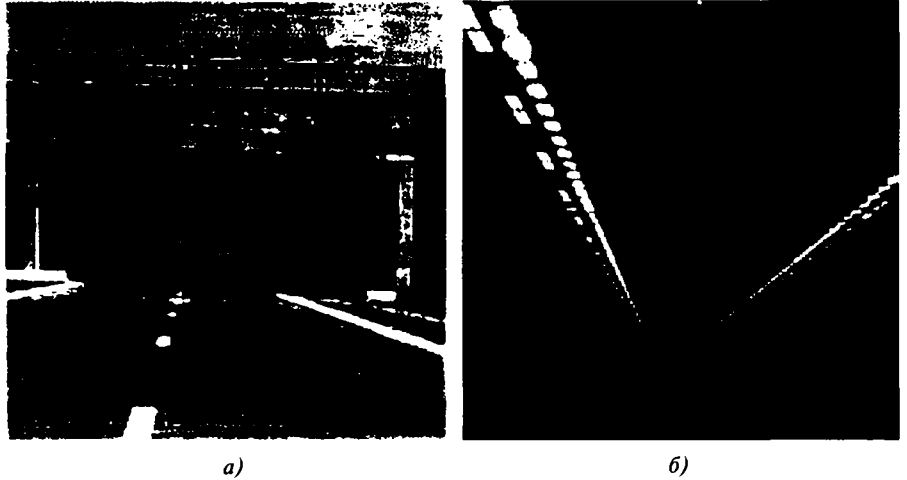
С позиций зрительных задач любой участок дороги, имеющий верхнее перекрытие проезжей части, может рассматриваться как «туннель», вне зависимости от длины и строительной конструкции этого сооружения. Поэтому любые проезды под дорогой или путепроводами тоже относятся к категории туннелей. Важным критерием, дифференцирующим туннели по условиям обнаружения в них препятствий при дневном свете, является видимость водителем, находящимся перед въездным порталом на РБТ, рамки въездного портала и расположенного за ним открытого пространства. По тому, виден или нет въездной портал, туннели делятся соответственно на «короткие» и «длинные» (рис. 15.67), условия освещения которых могут во многом быть разными. Однако воспользоваться этим критерием на стадии проектирования бывает сложно, поэтому при определении категории туннеля руководствуются данными о длине туннеля и его кривизне в плане (табл. 15.23). По ним устанавливается, нужно ли вообще освещение в таком туннеле в дневном режиме, и если да, то каков должен быть его уровень по отношению к уровню освещения длинного туннеля. Все основные требования, изложенные ниже, относятся к длинным туннелям.

Таблица 15.23

Освещение коротких туннелей в дневном режиме

Длина туннеля, м	Радиус кривой въездного участка в плане	Освещение в дневном режиме
до 25	любой	не требуется
от 25 до 75	350 м и более	
	менее 350 м	50% уровень
от 75 до 125	350 м и более	
	менее 350 м	в полном объеме
более 125	любой	

Рис. 15.67. К определению «коротких» (а) и «длинных» (б) туннелей [15.41]



В пороговой зоне, где происходит основной процесс переадаптации, базовым нормируемым показателем является отношение средней яркости дорожного покрытия L_{th}^* к яркости адаптации L_{20} . Величина L_{20} определяется как средневзвешенная яркость внутри 20-градусного (по диаметру) поля адаптации, видимого водителем, находящимся на оси дорожного полотна на РБТ перед въездным порталом, при этом линия зрения водителя нацелена на центр рамки въездного портала (рис. 15.68). Величина L_{20} определяется для условий, наилучших с точки зрения переадаптации, т.е. для яркого солнечного дня, с учетом ориентации въездного портала и окружающего его ландшафта. Для существующего АТ (например, при его реконструкции) значение L_{20} может быть получено путем фотометрирования въездного портала при указанных условиях с помощью яркомера, имеющего 20-градусное поле измерения (рис. 15.69). При отсутствии экспериментальных исход-

ных данных для нахождения значения L_{20} можно воспользоваться следующей формулой:

$$L_{20} = K_c L_c + K_r L_r + K_e L_e, \quad (15.22)$$

где K_c , K_r и K_e — соответственно доли небосвода, дорожного полотна и окружающего портала в поле адаптации, а L_c , L_r и L_e — их средние яркости, ориентировочные значения которых приведены в табл. 15.24.

Пороговая зона отсчитывается от въездного портала, а ее длина принимается равной РБТ. Отношение L_{th} / L_{20} в первой половине пороговой зоны должно быть постоянным и не менее величин, указанных в табл. 15.25, а затем линейно спадать к концу этой зоны до 40% от начального значения. Значения L_{th} / L_{20} регламентируются в зависимости от выбранной системы освещения (см. п. 15.5.2).

В туннелях, имеющих при въезде стены с открытыми проемами или перед въездным порталом солнцеза-

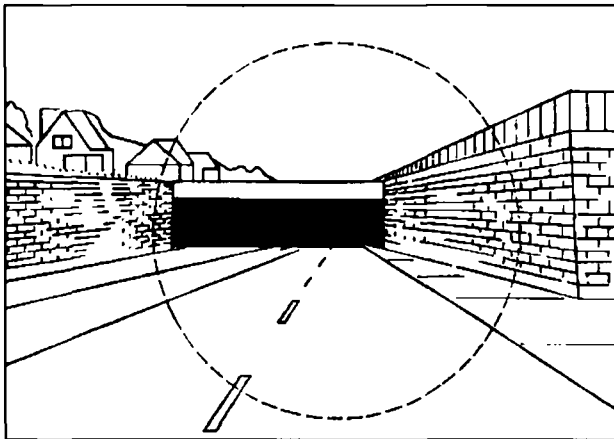


Рис. 15.68. Вид на въездной портал с расстояния безопасного торможения [15.37]. Пунктирным кругом помечено 20-градусное поле адаптации

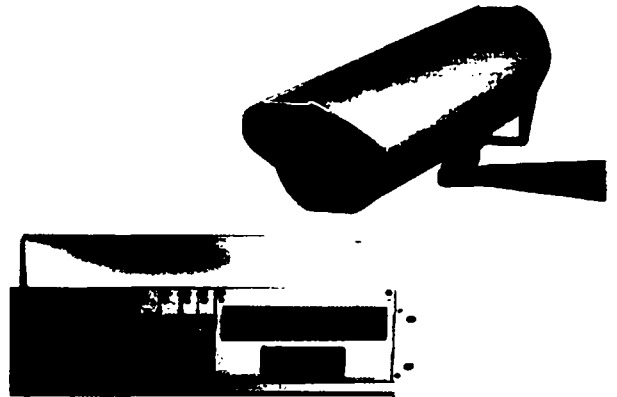


Рис. 15.69. Яркомер для измерения яркости адаптации L_{20} и блок системы управления освещением

* Здесь и далее по разделу использованы обозначения, принятые в мировой практике.

Таблица 15.24

Яркость участков в поле адаптации [15.35]

Направление движения при въезде	Значения средней яркости участков поля адаптации, ккд/м ²					
	небосвод, L_c	дорога, L_r	окружение портала, L_e			
			здания	скальные породы	трава, листва	снег*
на север	6	3	8	3	2	15/15
на восток или запад	12	4	6	2	2	10/15
на юг	16	5	4	1	2	5/15

* В числителе — на вертикальной поверхности, в знаменателе — на горизонтальной поверхности.

Таблица 15.25

Нормируемые значения отношения средней яркости дорожного покрытия пороговой зоны к яркости адаптации [15.35]

Интенсивность на одну полосу движения, единиц/час	Значение L_{th}/L_{20} , %							
	Система освещения — симметричная*				Система освещения — встречная*			
	скорость движения, км/час				скорость движения, км/час			
	60	80	100	120	60	80	100	120
≥ 1200	4	5	7	8	2,5	3,2	4	4,5
< 1200	3,5	4,5	6	7	2	2,7	3,5	4

Примечание. Приведенные значения отношения L_{th}/L_{20} относятся к туннелям, которые характеризуются следующими условиями:

- одностороннее движение транспорта;
- отсутствуют боковые въезды и выезды в пороговой и переходной зонах;
- въезд располагается на прямолинейном участке трассы.

В тех случаях, когда хотя бы одно из этих условий не выполняется, отношения L_{th}/L_{20} следует повышать не менее чем на 30%.

* см. п. 15.5.2.

щитные экраны (см. п. 15.5.4), уровень яркости в пороговой зоне следует определять с учетом действия в ней дневного света. В последнем случае пороговая зона отсчитывается от начала участка, перекрытого солнцезащитным экраном.

В переходной зоне, где переадаптация заканчивается, продольное распределение яркости дорожного покрытия L_{tr} при удалении от пороговой зоны должно носить плавно спадающий характер (рис. 15.70), при этом отношение L_{tr}/L_{th} должно быть не ниже значений, определяемых кривой спада яркости переходной зоны [15.35]:

$$L_{tr}/L_{th} = (3,6d/V + 1,9)^{-1,4}, \quad (15.23)$$

где d — расстояние в глубь туннеля от начала переходной зоны, м; V — скорость движения, км/час.

Допускается ступенчатое распределение яркости L_{tr} при этом каждая ступень должна быть не ниже кривой спада яркости переходной зоны, а перепады яркости при переходе от ступени к ступени не должны превышать отношения 3:1. Конец переходной зоны определяется местом, где яркость L_{tr} спадает до трехкратной величины средней яркости внутренней зоны L_{in} .

В туннелях со встречным движением пороговую и переходную зоны следует устраивать со стороны каждого портала.

Во внутренней зоне, т.е. основной зоне туннеля, регламентируется постоянный уровень средней яр-

кости дорожного покрытия L_{in} , минимально допустимые значения которой в зависимости от скорости и интенсивности движения должны соответствовать данным табл. 15.26.

Таблица 15.26

Средняя яркость дорожного покрытия внутренней зоны [15.35]

Интенсивность на одну полосу движения, единиц/час	Значение яркости (кд/м ²) при скорости движения (км/час)			
	60	80	100	120
≥ 1200	2	2,5	4	5
< 1200	1,7	2	3,5	4

В выездной зоне, расположенной на протяжении 60 м перед выездным порталом, происходит переадаптация к естественному освещению на выезде. Средняя яркость дорожного покрытия в этой зоне L_{ex} должна соответствовать пятикратной величине средней яркости внутренней зоны L_{in} .

Ночной режим. Ночной режим освещения предусматривается независимо от длины туннеля. При этом средняя яркость дорожного покрытия по всей длине туннеля должна быть постоянна и не ниже средней яркости участков улицы или дороги, примыкающих к выездному и въездному порталам. Для городских тунне-

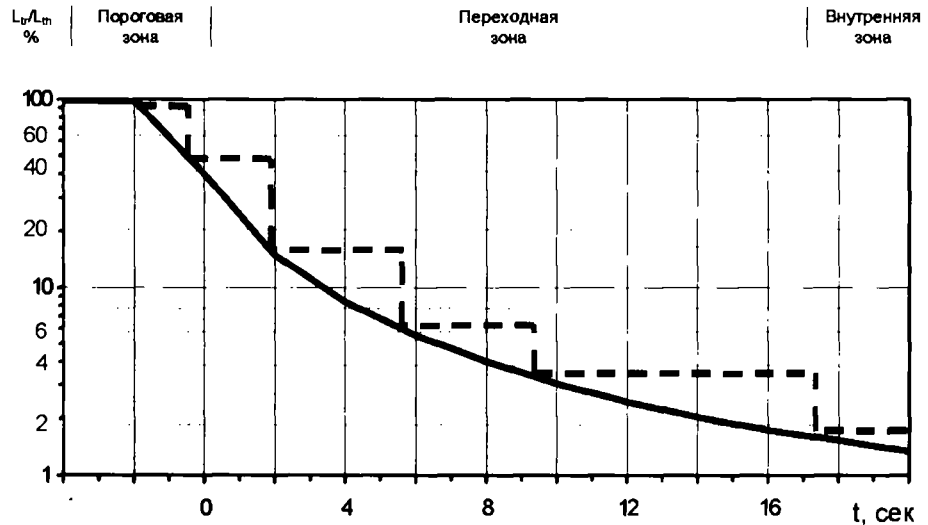


Рис. 15.70. Кривая спада яркости дорожного покрытия в переходной зоне. Пунктиром показан пример ступенчатой аппроксимации этой кривой



лей освещение подъездной зоны (на протяжении РБТ перед въездным порталом) должно обеспечить повышенный не менее чем на 30% уровень средней яркости дорожного покрытия по сравнению с соответствующим уровнем яркости улицы, ведущей к туннелю. При наличии примыкающего к въездному portalу участка, перекрытого солнцезащитным экраном (см. п. 15.5.4), ночной режим освещения этого участка должен быть аналогичен режиму, принятому для всего туннеля. Для АТ, расположенных в загородных зонах с неосвещенными дорогами, участок дороги, примыкающий к въездному portalу на протяжении двух РБТ, должен быть освещен, при этом уровень освещения должен быть не ниже 70% уровня освещения внутри туннеля.

Переключение освещения с ночного режима на дневной и обратно следует проводить соответственно при повышении и спаде естественной горизонтальной освещенности вблизи въездного портала до 100 лк.

Другие показатели. Средняя яркость стен L_w туннеля до уровня 2 м над полотном дороги во всех зонах должна быть не менее 0,7 величины средней яркости дорожного покрытия L_r ближайшей к стене полосы движения.

На участках с постоянным уровнем средней яркости дорожного покрытия (первая половина пороговой и вся внутренняя зоны в дневном режиме, а также вся транспортная зона в ночном режиме) регламентируются следующие показатели равномерности распределения яркости дорожного покрытия:

- коэффициент общей равномерности —

$$U_0 = L_{\min} / L_{av}, \quad (15.24)$$

где L_{\min} и L_{av} соответственно минимальная и средняя яркость дорожного покрытия по всей ширине проезжей части;

- коэффициент продольной равномерности —

$$U_1 = L_{\min} / L_{\max}, \quad (15.25)$$

где L_{\min} и L_{\max} соответственно минимальная и максимальная яркость дорожного покрытия вдоль осевой линии полосы движения.

Значение U_0 должно быть не ниже 0,4, а U_1 — не ниже 0,6 для каждой полосы движения. Для нижней части стен (до 2 м над дорожным покрытием) коэффициент U_0 должен быть не ниже 0,35.

Слепящее действие ОП в поле зрения водителя регламентируется таким показателем, как приращение пороговой разности яркостей П1 (%), определяемым по формуле:

$$П1 = 950 \sum_{i=1}^M \frac{E_{v,i}}{\Theta_i^2} / L_r^{1,05}, \quad (15.26)$$

где L_r — средняя яркость дорожного покрытия, кд/м²; $E_{v,i}$ — вертикальная освещенность на глазу водителя от i -го ОП, лк; Θ_i — угол между линией, проходящей через глаз водителя и i -й ОП и линией зрения во-

дителя, град.; M — количество ОП, попадающих в поле зрения водителя в пределах изменения угла Θ ($1,5^\circ < \Theta < 20^\circ$). Найденное по (15.26) значение Π не должно превышать 15%.

Формула (15.26) справедлива для яркости $L_r > 5$ кд/м², в случае меньших значений следует пользоваться формулами (15.9, 15.17), применяемыми для стандартных дорог.

Для предотвращения раздражающего монотонного мелькания ярких частей ОП (фликер-эффекта) шаг между ОП в ряду должен быть вне области, определяемой минимальным и максимальным значениями шага в зависимости от скорости движения (табл. 15.27). Это требование должно выполняться, начиная с некоторого минимального расстояния от въездного портала, значения которого указаны в этой же таблице.

Таблица 15.27

Выбор шага между ОП для предотвращения фликер-эффекта [15.41]

	Скорость движения, км/час			
	60	80	100	120
Минимальное расстояние от въездного портала, м	500	660	830	1000
Шаг, м:				
не более,	1,3	1,7	2,1	2,6
не менее	6,7	8,9	11,1	13,3

Коэффициент запаса ОУ в транспортной зоне туннеля принимается равным 1,7 при двух чистках ОП в год.

При проектировании рабочего освещения притуннельных сооружений, служебно-технических и вспомогательных помещений туннеля (рис. 15.71) следует руководствоваться требованиями действующих норм искусственного освещения [44].

15.5.2. Системы освещения и осветительные приборы

Системы освещения. В зависимости от характера светораспределения и ориентации ОП различают симметричную и асимметричную системы освещения туннелей (табл. 15.28).

Симметричная система, подразделяемая на поперечную и продольную, обеспечивается ОП со светораспределением, симметричным относительно двух главных плоскостей: продольной и поперечной [15.18].

При поперечной системе продольные оси ОП ориентируются вдоль оси туннеля, что обеспечивает преимущественное направление светового потока поперек туннеля. Примером такой системы являются линии светильников с ЛЛ или НЛНД. К преимуществам такой системы можно отнести хорошую световую ориентацию, низкую слепимость, высокую равномерность освещения полотна дороги и стен, хорошее проникновение света между автомобилями, удобство расфазировки и управления питанием. К недостаткам — малый шаг между ОП (во избежание продольной неравномерности яркости) и, как следствие, большое число светоточек, повышенные капитальные затраты и эксплуатационные расходы, а кроме того, проблемы использования ОП с указанными лампами в отечественной практике.

При продольной системе продольные оси ОП ориентируются поперек оси туннеля, что обеспечивает преимущественное направление светового потока вдоль туннеля. Преимуществами такой системы являются более высокое использование светового потока ОП относительно полотна дороги и увеличенный шаг между ОП. Недостатки связаны с худшей равномерностью освещения дороги и, особенно, степ при использовании более высокой мощности ламп, повышенной затененностью впереди идущего транспорта, сложностью перехода на пониженные уровни освещения в ночном режиме.

Асимметричная система подразделяется на встречную и попутную и базируется на ОП типа «кососвет», имеющих в главной поперечной плоскости ярко выраженный максимум силы света, отстоящий от оптической оси на угол в районе 50° – 65° .

В случае встречной системы главная поперечная плоскость ОП устанавливается параллельно оси движения, а лежащий в этой плоскости максимум силы света направляется навстречу движению транспорта. Такая система характеризуется повышенным уровнем яркости дорожного покрытия и низкой яркостью впереди идущего транспорта (т.е. высоким отрицательным контрастом). Это позволяет для обеспечения нормируемого уровня яркости дорожного полотна существенно снизить требуемый световой поток, т.е. мощность и количество ОП, что особенно актуально для пороговой и переходной зон с их очень высокими уровнями яркости [15.42]. К недостаткам этой системы следует отнести повышенный уровень слепимости.

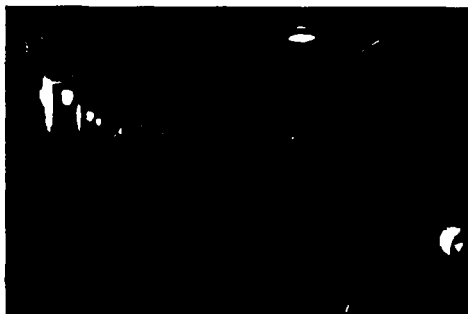

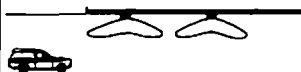
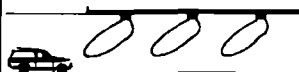
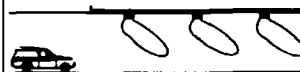
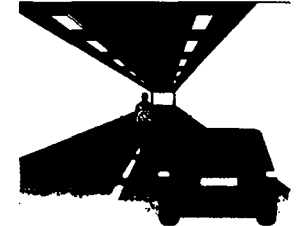
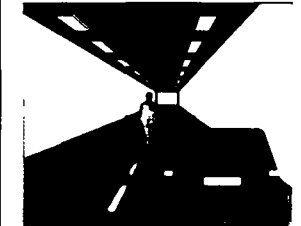
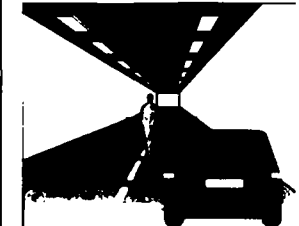
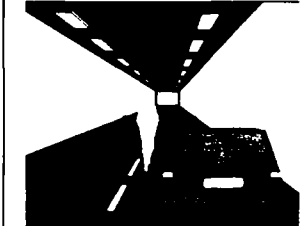


Рис. 15.71. Освещение притуннельных сооружений, служебно-технических и вспомогательных помещений

Таблица 15.28

Системы освещения в туннелях

Системы освещения			
Симметричная		Асимметричная	
Поперечная	Продольная	Встречная	Попутная
			
			

Наоборот, в случае ориентации максимума силы света по направлению движения транспорта (попутная система), обеспечивается очень хорошее освещение объекта на фоне низкой яркости (положительный контраст). Однако, учитывая необходимость обеспечения высокого нормируемого уровня яркости полотна дороги, эта система экономически заметно уступает предыдущей и вследствие этого практически не применяется.

Исходя, в первую очередь, из экономических соображений, в последнее время наибольшее распространение получили асимметричная встречная система (чаще называемая просто «встречная система») для пороговой и переходной зон (рис. 15.72) и симметричная продольная система (или просто «симметричная система») для внутренней и выездной зон в дневном режиме и всей транспортной зоны в ночном режиме (рис. 15.73).

Для количественной характеристики системы освещения принят коэффициент контрастности q_c , определяемый выражением:

$$q_c = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{L_{r,i}}{E_{v,i}}, \quad (15.27)$$

где $L_{r,i}$ и $E_{v,i}$ — соответственно яркость (кд/м²) в i -й расчетной точке дорожного покрытия и освещенность (лк) обращенной к водителю вертикальной плоскости в точке, расположенной на высоте 0,1 м над i -й расчетной точкой, N — число расчетных точек.

Симметричная система освещения характеризуется значением $q_c \leq 0,2$, для встречной системы $q_c \geq 0,6$.



Рис. 15.72. Встречная система освещения в пороговой и переходной зонах

Рис. 15.73. Симметричная система освещения во внутренней (а) и выездной (б) зонах

Этим критерием удобно пользоваться при определении системы освещения. Если для проектируемой ОУ коэффициент q_c лежит в интервале $0,2 + 0,6$, то при определении яркости пороговой зоны (по табл. 15.25) используют значение L_{th} / L_{20} , отнесенное к симметричной системе.

Осветительные приборы. Используемые для освещения туннелей ОП имеют специфические особенности, обусловленные предъявляемыми к ним светотехническими, монтажными и эксплуатационными требованиями. Очевидно, что обеспечить соответствия современным светотехническим требованиям можно сегодня только при применении мощных газоразрядных ИС в сочетании с эффективной светооптической системой ОП (рис. 15.74).

При выборе ИС для ОП туннельного освещения, в первую очередь, руководствуются экономическими соображениями, учитывая необходимость обеспечения высоких (внутренняя зона) и сверхвысоких (пороговая и переходная зоны) уровней яркости дорожного покрытия и стен и связанные с этим существенные затраты, особенно на обслуживание многоламповой ОУ в условиях жесткого ограничения времени для замены вышедших из строя ламп. Поэтому здесь важны такие характеристики ИС, как оптимальная мощность, большой срок службы, надежность работы и низкая цена. К цветности излучения особых требований не предъявляется. За рубежом в качестве ИС используются, как правило, НЛВД и НЛНД, а также трубчатые ЛЛ (для внутренней зоны и ночного режима). В отечественной практике применяются исключительно НЛВД, так как НЛНД не получили какого-либо развития и применения, а при использовании ЛЛ в условиях низких температур в зимний период могут возникать проблемы с запуском.

Для обеспечения встречной и симметричной систем освещения, по существу, необходимы два типа ОП с соответствующими КСС типа «кососвет» (рис. 15.75,а) и «batwing» (рис. 15.75,б). Однако эффективно так унифицировать конструкцию ОП, чтобы при использовании ламп одного типа и мощности можно, заменив в ней только оптическую часть, обеспечивать оба типа КСС. Важным конструктивным требованием, предъявляемым к туннельным ОП, является ограничение по габаритной высоте, что обусловлено жесткой регламентацией зазора между строительной высотой туннеля и предельной высотой транспортных средств. Такое требование, как минимизация времени блокирования полосы движения при обслуживании ОП, во многом определяет конструкцию светильника. В случае выхода ОП из строя конструкция ОП должна позволять быстро производить замену лампы, электротехнического блока или всего ОП с последующим ремонтом в специализированных мастерских. При этом необходимо учитывать специфику работы под потолком туннеля, находясь на транспортном средстве и в условиях большой загазованности воздушной среды. Требования долговечности и надежности работы ОП диктуют необходимость защиты корпуса и функциональных элементов ОП от вредного воздействия химически агрессивной среды в туннеле. Поэтому туннельные светильники характеризуются применением особо качественных коррозионно-стойких материалов и комплектующих изделий. Корпус изготавливается из пержавающей стали или алюминиевого сплава, применяются термостойкое защитное стекло и крепежные детали повышенной химической стойкости, герметизация корпуса осуществляется кремнийорганическими прокладками и клеями (герметиками). Конструкция ОП должна обеспечивать как для оптического, так и для электротехнического отсеков надежное уплотнение со степенью защиты от

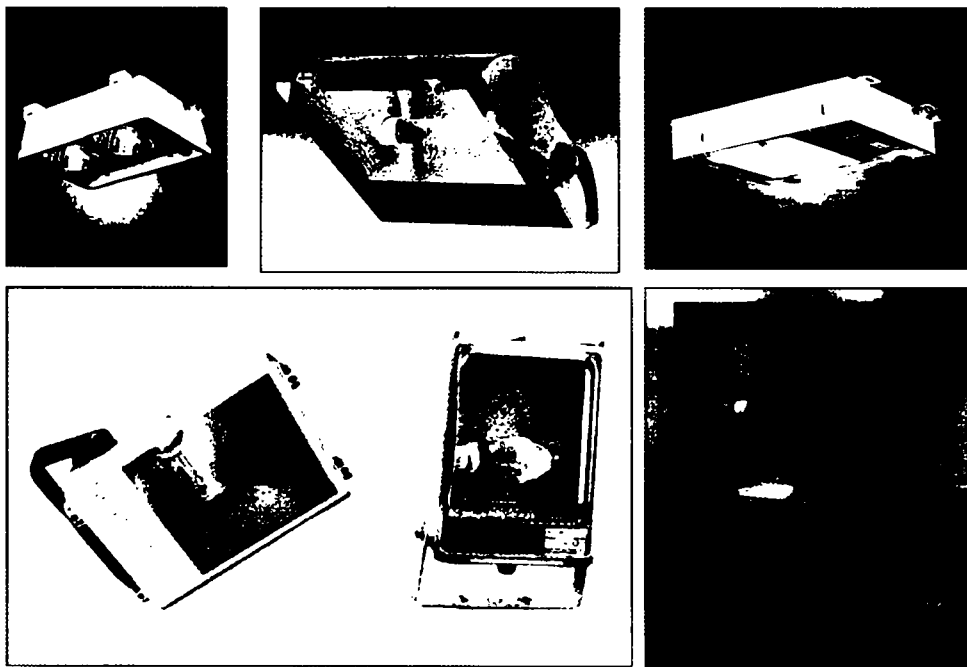


Рис. 15.74. Туннельные светильники и прожекторы

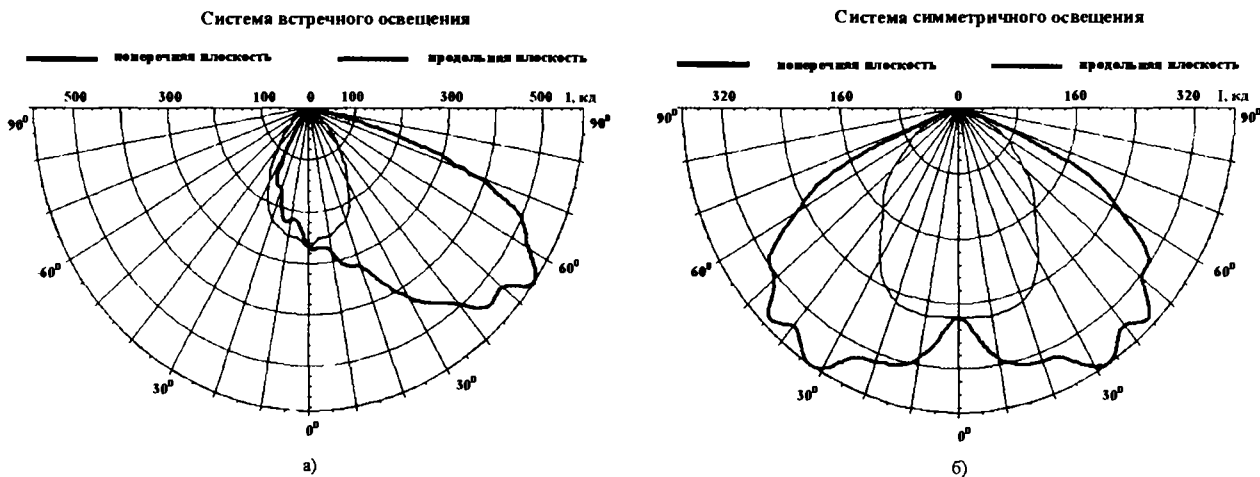


Рис. 15.75. Типичные КСС туннельных светильников встречного (а) и симметричного (б) освещения (для потока лампы 1000 лм)

пыли и воды не менее IP65, что позволяет осуществлять чистку потолка и стен туннеля струей воды. Кроме того, должно использоваться бесколочное защитное стекло, которое при его разбивании исключает возможность создания аварийной ситуации в туннеле.

Светильники монтируются на монтажный профиль или специальные конструкции, прикрепленные к потолку или стенам туннеля (рис. 15.76). Наиболее целесообразно располагать ОП на потолке в один или несколько рядов в зависимости от ширины и уровня нормируемой средней яркости дорожного полотна так, чтобы при обслуживании блокировалась только одна полоса движения. Для туннелей с числом полос не более двух допускается боковое размещение ОП, т.е. на стенах или в углах между стеной и потолком. Высота установки ОП при этом должна быть не ниже 4 м над проезжей частью туннеля.

Помимо традиционных ОП за рубежом имеется определенный опыт использования в АТ осветительных устройств на основе полых щелевых световодов. В качестве ИС в них используются МГЛ или НЛВД мощностью 250 и 400 Вт либо с зеркализированной колбой, либо с отдельным отражателем. Наиболее распространенные для этой цели устройства имеют цилиндрические световоды диаметром 150 мм и длиной до 6 м, работающие

на основе зеркального или полного внутреннего отражения. При двусторонней схеме одно такое устройство создает светящую линию длиной 12 м (рис. 15.77). Особенно эффективно применение устройств со световодами во внутренней зоне длинных туннелей. Размещение их в непрерывную светящую линию обеспечивает практически идеальную равномерность освещения вдоль полотна дороги и стен туннеля и полностью исключает фликер-эффект (рис. 15.78). Кроме того, за счет более низких значений яркости светящей поверхности по сравнению с традиционными светильниками световоды оказывают существенно меньшее слепящее действие и поэтому обеспечивают для водителя более комфортные условия видения. Ограничение в использовании устройств на основе полых световодов в АТ обусловлено в основном их более высокой стоимостью по сравнению со светильниками.

15.5.3. Особенности расчета и измерения нормируемых показателей

Светотехнический расчет туннельного освещения, несмотря на идентичность большинства нормируемых показателей с утилитарным дорожным освещением, имеет ряд существенных особенностей, в зна-

Рис. 15.76. Установка светильников на монтажный профиль и специальные конструкции

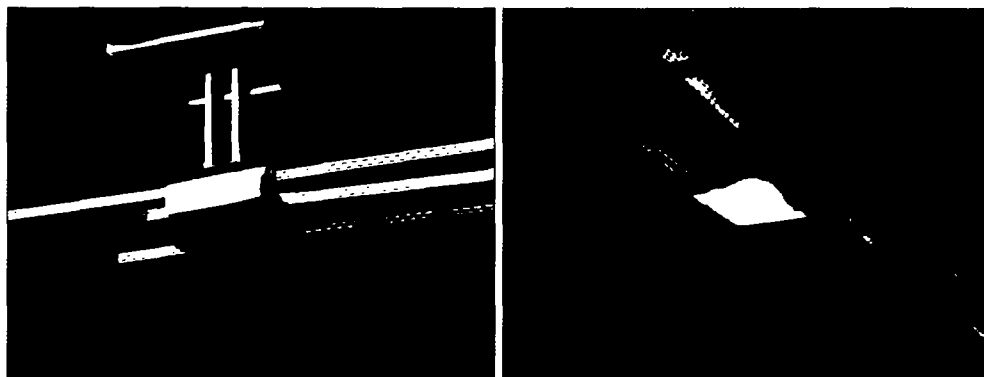




Рис. 15.77. Осветительное устройство с полным щелевым световодом для освещения туннелей (двустороннего действия)

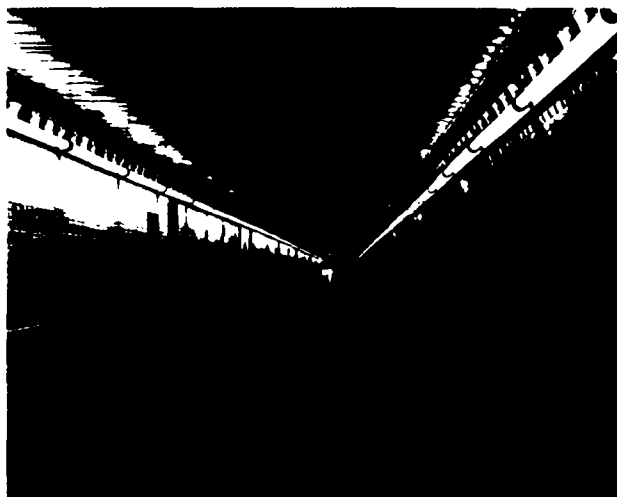


Рис. 15.78. Освещение внутренней зоны туннеля устройствами с полными щелевыми световодами

чительной степени усложняющих его проведение. Наиболее важными из них являются следующие.

1. Наличие окружающих поверхностей (стен и потолка) туннеля. Это вызывает необходимость расчета двух дополнительных характеристик: яркости стены L_w и составляющей яркости дорожного покрытия за счет отражения от стен $L_{r,отр}$.

Учитывая требование использования диффузно отражающих материалов и покрытий для облицовки стен туннеля (см. п. 15.5.4), прямую составляющую яркости в i -й точке стены можно определить как

$$L_{w,i} = \frac{\rho_w}{\pi} \sum_{j=1}^M E_{i,j}, \text{ где } \rho_w \text{ — коэффициент отражения}$$

стены, $E_{i,j}$ — освещенность в i -й точке от j -го ОП, M — количество ОП, участвующих в формировании этой освещенности. Для большинства практических случаев ограничиваются прямой составляющей яркости, но при необходимости можно рассчитать и отраженную составляющую яркости стены за счет многократных отражений от поверхностей туннеля по известной методике (см. раздел 8 «Светотехнические расчеты ОУ»). Далее по найденным значениям яркости в N_w заданных точках нижней части (до 2 м) стены определяют величины нормируемых показателей: средней яркости

стены $L_w = \frac{1}{N_w} \sum_{i=1}^{N_w} L_{w,i}$ и коэффициента общей равномерности яркости $U_{0,w} = L_{w,\min} / L_w$.

Учет составляющей яркости $L_{r,отр}$ позволяет повысить расчетные значения средней яркости L_{av} и коэффициента равномерности U_0 дорожного покрытия. Принимая диффузный характер отражения составляющей $L_{r,отр}$ и применяя формулу коэффициента использования светового потока от одной бесконечной светящей полосы относительно другой, перпендикулярно к ней расположенной [15.43], можно определить приближенную оценку значения $L_{r,отр}$ (от обеих стен) по следующей формуле:

$$L_{r,отр} = \rho_r L_w (1 + h/w - \sqrt{1 + (h/w)^2}), \quad (15.28)$$

где ρ_r — коэффициент отражения дорожного покрытия, L_w — средняя яркость стен, найденная выше, h — высота стен (от уровня дороги до высоты расположения ОП), w — расстояние между стенами. Для более точных расчетов должен быть использован указанный выше аппарат расчета многократных отражений.

2. Характерное неравномерное распределение яркости дорожного покрытия (и стен) вдоль туннеля (за исключением внутренней зоны) в дневном режиме. Это не позволяет (по аналогии с дорожным освещением) выделить один контрольный участок. Приходится проводить расчет практически по всей длине туннеля, в крайнем случае для нескольких характерных участков в каждой яркостной зоне.

3. Большая плотность ОП и связанная с этим необходимость учета большого количества ОП при расчете яркости в каждой точке. Так, например, при использовании критерия, устанавливающего размеры области учитываемых при расчете ОП (см. п. 15.4.4), количество ОП, попавших в эту область относительно расчетной точки, расположенной в пороговой или переходной зоне, может достигать нескольких сотен.

4. Наличие нескольких яркостных режимов. Это, во-первых, дневной и ночной режимы, а кроме того, режимы, связанные со ступенчатым регулированием освещения в дневном режиме (см. подраздел «Управление» п. 15.5.6). В каждом из этих режимов расчет должен подтвердить выполнение нормативных требований по уровню и равномерности яркости.

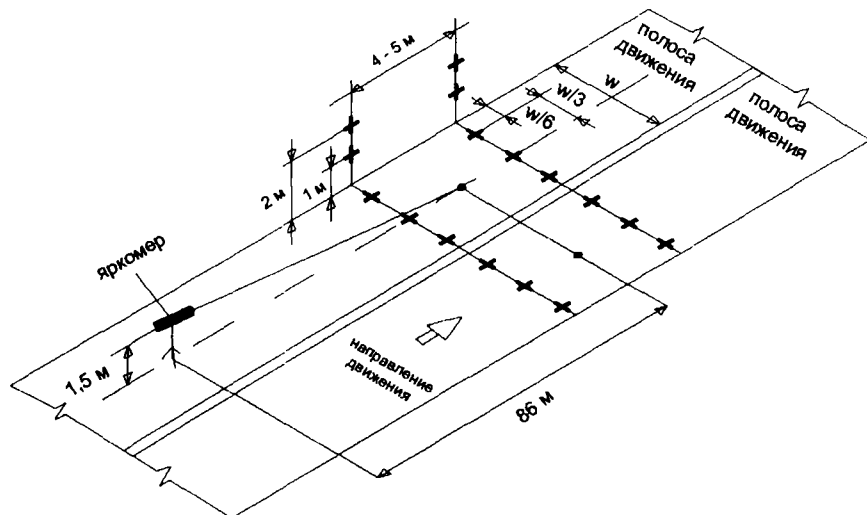
5. Необходимость учета влияния естественного света в пороговой зоне при наличии солнцезащитных экранов или открытых проемов в стене туннеля [15.44].

Очевидно, проведение таких расчетов может осуществляться только с помощью специальных компьютерных программ.

Измерения нормируемых показателей для туннелей проводят в основном по аналогичным методикам и теми же средствами, что и в случае стандартных дорог (см. п. 15.4.5), однако имеется ряд особенностей, порожденных в основном теми же причинами, что и в случае расчета. Наиболее полно специфические особенности фотометрических измерений в туннеле отражены в [15.45], среди которых отметим следующие.

* Как правило, прямой свет светильников на потолок не попадает, и поэтому отражением от потолка можно пренебречь. В противном случае влияние отражения от потолка (особенно при светлом покрытии) при расчете средней яркости стен и полотна дороги необходимо учитывать.

Рис. 15.79. Схема расположения точек измерения яркости на дорожном полотне и стене туннеля



1. Измерение яркости дорожного покрытия и прилегающих стен проводят для участков с пологим распределением яркости L_r (первая половина пороговой зоны, внутренняя и выездная зоны). При ступенчатом распределении яркости в переходной зоне желательно провести измерение для каждой ступени. Контрольный участок во внутренней зоне должен отстоять от конца переходной и начала выездной зон настолько, чтобы исключить их влияние на измерения.

Для указанных выше зон, за исключением внутренней зоны, расположение точек измерения на дорожном полотне и стене выбирается в соответствии с рис. 15.79. Продольное расстояние между точками измерения выбирается из диапазона 4–5 м, при этом целесообразно, чтобы оно было кратным продольному шагу между ОП. Яркомер устанавливается на штативе на высоте 1,5 м относительно уровня дорожного полотна, над осевой линией выбранной полосы движения, на расстоянии 86 м* относительно середины отрезка между двумя точками измерения, расположенными на этой же осевой линии. Далее, не перемещая яркомер, проводят измерения яркости для каждой из шести точек данной полосы, и усредненное по этим точкам значение яркости определяется как средняя яркость L_{av} данной полосы движения. По этим же шести точкам определяется коэффициент общей равномерности U_0 , а по двум центральным (расположенным на оси полосы) точкам — коэффициент продольной равномерности U_1 . Далее яркомер перемещается на осевую линию следующей полосы, и аналогичные измерения проводятся для шести точек этой полосы и т.д. При измерении яркости стен яркомер устанавливается в указанной выше позиции для полосы движения, примыкающей к этой стене. Здесь измерение проводится для четырех точек. Понятно, что нормируемые значения L_{av} , U_0 , U_1 и L_w , $U_{0,w}$ должны быть выполнены для каждой полосы и обеих стен.

Для внутренней зоны выбор расположения яркомера и точек измерения определяется общими правилами для дорожного освещения (см. п. 15.4.5).

15.5.4. Рекомендации к строительной части

Имеется ряд рекомендаций, относящихся к строительной части туннеля, направленных на облегчение переадаптации и создание комфортных и безопасных условий видения, а в конечном итоге на снижение необходимого количества ОП и электропотребления в ОУ.

К рекомендациям, направленным непосредственно на снижение яркости адаптации L_{20} , относятся:

- покраска наружных поверхностей въездного портала и рамповых стен в черный матовый цвет;
- использование наиболее темных дорожных покрытий на участке дороги перед въездным порталом, равном РБТ;
- установка каких-либо конструкций (например, рекламных щитов) над въездным порталом и посадка зеленых насаждений для экранирования части небосвода, видимой водителем.

Кроме того, рекомендуется:

- облицовывать поверхности стен и потолка туннеля светлыми матовыми материалами и покрытиями с коэффициентом отражения не ниже 0,5;
- использовать в туннелях длиной более 125 м осветленные дорожные покрытия (особенно в пороговой и переходной зонах);
- применять раструбные и ступенчатые расширения припортального участка на въезде в туннель;
- предусматривать (по возможности) в одной из стен или потолочном перекрытии на въезде в туннель проемы для более эффективного проникновения естественного света в пороговую зону;
- сооружать перед въездным порталом солнцезащитные конструкции (экраны) (рис. 15.80), выполняющие одновременно функцию защиты от шума [15.46].

Последние две рекомендации позволяют кардинально снизить яркость, а следовательно, и число ОП в пороговой и переходной зонах, но связаны с увеличением затрат на строительство туннеля.

* При таких параметрах линия зрения наблюдателя наклонена под углом 1° к полотну дороги.



Рис. 15.80. Солнцезащитный экран перед въездом в туннель

Для снижения визуальной монотонности движения в туннелях длиной более 2000 м рекомендуется через каждые 1,5 мин. езды оборудовать участки с заметными отличиями в окраске стен или повышенной яркостью покрытия.

15.5.5. Аварийное освещение

Для туннелей длиной 500 м и более должно быть предусмотрено стационарное аварийное эвакуационное освещение. В транспортной зоне выполняется освещение путей эвакуации [15.47], которое обеспечивается эвакуационными светильниками и специальными световыми указателями (знаками безопасности [15.48]). В туннеле, в отличие от общепринятых правил [15.47], световые указатели с обозначением направления пути эвакуации устанавливаются на стенах туннеля на высоте 0,5 м над уровнем эвакуационного тротуара с шагом не более 25 м [15.35]. Над эвакуационными выходами из туннеля должны быть установлены световые указатели с соответствующей надписью или знаком и эвакуационные светильники, которые должны обеспечить освещенность не менее 0,5 лк на уровне пола перед дверью эвакуационного выхода (рис. 15.81). Часто оба эти прибора совмещают в одном устройстве (рис. 15.82). Особенностью туннельных эвакуационных указателей является возможность изменения направления эвакуации в зависимости от расположения очага задымления. Реализация этой возможности обеспечивается путем переключения питания на один из двух установленных рядом и противоположно направленных указателей или использования специальных двунаправленных указателей (рис. 15.83). Другая особенность туннельных эвакуационных светильников и указателей связана с тем, что, установленные на такой малой высоте, они не должны препятствовать проходу людей по тротуару при эвакуации. Поэтому эти приборы, как правило, устанавливаются в стене в специально для этого предназначенных нишах и имеют минимально выступающие

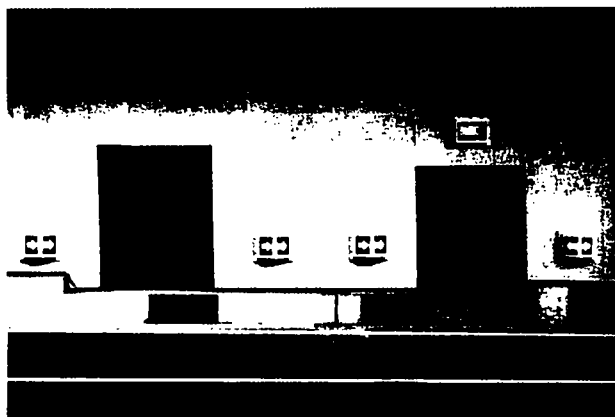


Рис. 15.81. Расположение световых указателей в туннеле

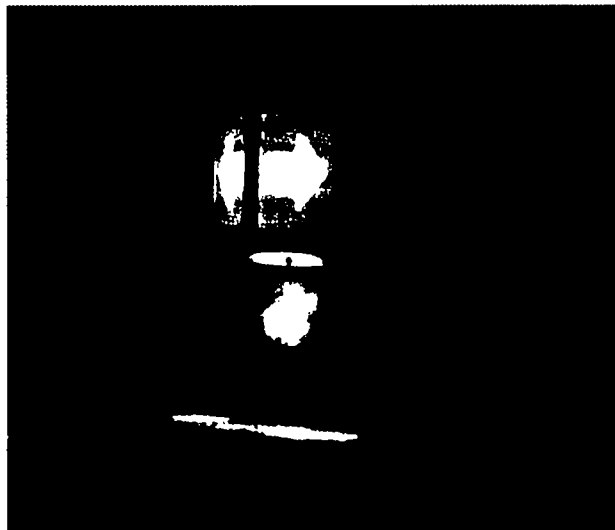


Рис. 15.82. Комбинированный светильник-указатель эвакуационного освещения

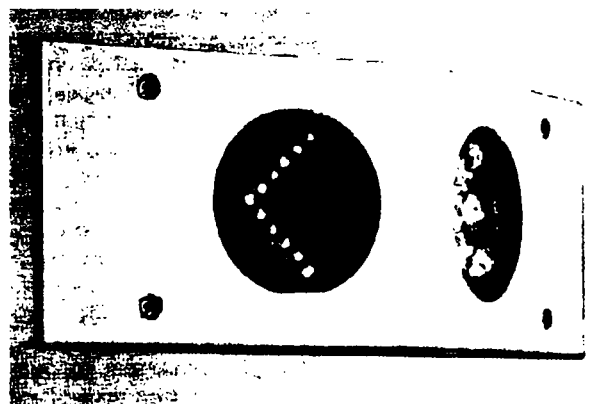


Рис. 15.83. Туннельный эвакуационный двунаправленный указатель на светодиодах

размеры относительно плоскости стены. Но при этом должна быть обеспечена видимость этих световых указателей при проходе вдоль стены. Кроме того, конструкция эвакуационных светильников и указателей должна предусматривать возможность их чистки струей воды и щетками при механизированной уборке транспортной зоны туннеля.

Питание указателей и светильников эвакуационного освещения в нормальном режиме осуществляется от сети рабочего освещения, а в аварийном режиме должно быть предусмотрено автоматическое переключение на питание от аккумуляторной батареи*. Время работы эвакуационного освещения в аварийном режиме должно быть достаточным для эвакуации людей из туннеля. Все световые указатели необходимо дублировать светоаккумулирующими наклейками-указателями, рассчитанными на трехчасовой режим работы.

Подземные притуннельные сооружения и зоны безопасности (эвакуационные лестничные клетки и галерси, межтуннельные переходы, сервисные туннели, галерси доступа аварийно-спасательных служб) должны иметь искусственное аварийное стационарное освещение, при проектировании которого следует руководствоваться требованиями действующих российских [44] и международных [15.47] норм искусственного освещения.

15.5.6. Электроснабжение, управление и эксплуатация

Электроснабжение. По надежности электроснабжения светильники рабочего и аварийного освещения (освещения зон повышенной безопасности) в туннелях длиной до 500 м относятся к электроприемникам II категории, а в туннелях длиной 500 м и более — к электроприемникам I категории, светильники эвакуационного освещения и световые указатели относятся к особой группе электроприемников I категории.

Питание осветительного оборудования АТ осуществляется от городских или собственных трансформаторных подстанций (ТП). Электроснабжение осветительных, силовых и других технологических потребителей предусматривается напряжением 380/220 В переменного тока частотой 50 Гц, как правило, от общих трансформаторов с глухозаземленной нейтралью по системе TN-S, а при питании от существующих подстанций без разделения шин «N» и «PE» — по системе TN-C-S.

Электроснабжение ТП обеспечивается напряжением 10 кВ от двух независимых источников городской энергосистемы. На ТП необходимо предусматривать распределительные устройства (РУ) 10 кВ, состоящие из двух секций шин. Количество и мощность трансформаторов определяется расчетом. При необходимости число трансформаторов и секций РУ 380/220 В может быть увеличено. Применение маслонаполненного

оборудования на подземных подстанциях не допускается.

Для проведения аварийно-спасательных и ремонтных работ необходимо предусматривать электрическую сеть напряжением 380/220 В по системе TN-S со шкафами для подключения оборудования и механизмов аварийно-спасательных и ремонтных бригад. При числе полюсов движения два и более ремонтная сеть должна располагаться по обеим сторонам туннеля.

Максимальная длина кабеля распределительной сети (от пункта питания до наиболее удаленного светильника) не должна превышать 250 м. Система распределительной сети — TN-S. Светильники, подключенные к разным секциям шин пункта питания, должны располагаться вдоль туннеля через один с равным интервалом присоединением к фазам распределительной сети. Для повышения надежности работы освещения при пожаре целесообразно разделять распределительную сеть со светильниками на группы, совпадающие по расположению с дымовыми зонами (условными отссками), разделяемыми трансформируемыми дымоогнезащитными преградами, дренчерными водяными завесами.

Кабели распределительной сети, подключенные к разным секциям шин, должны прокладываться в разных лотках, коробах, на разных полках коллекторов и кабельных отсеков. Взаиморезервируемые кабели следует прокладывать по разным сторонам отсека или по разным трассам. По стенам туннеля допускается прокладка распределительных сетей только для приемников, размещаемых непосредственно в туннеле. В подводящей части (при сводчатом или круговом очертании обделки туннеля) допускается прокладка кабелей сети внутреннего освещения. Прокладка трапезитных кабельных линий электропередачи и кабельных линий связи через туннель не допускается.

Строительная часть электропомещений, размещение оборудования, защита людей от поражения электрическим током должны быть выполнены в соответствии с требованиями ПУЭ. Электропомещения должны иметь системы поддержания температурно-влажностного режима воздуха, оптимального для обслуживающего персонала и установленного оборудования.

У п р а в л е н и е. С целью экономии электроэнергии рекомендуется предусматривать автоматическое регулирование освещения в дневном режиме в пороговой и переходной зонах, а также при переходе с дневного режима на ночной и обратно по всему туннелю. Для этого могут быть использованы два основных способа: а) включение/отключение части ОП; б) изменение напряжения на лампах, которое может быть как ступенчатым, так и непрерывным.

Ступенчатое регулирование может быть осуществлено путем комплектования светильников ПРА с выводами на две ступени мощности, например, 400/250 Вт, при котором реализуются 100- и 50-процентный режимы по световому потоку. Для непрерывного регулиро-

* При длине туннеля более 3000 м в качестве третьего источника питания допускается предусматривать дизельные электростанции.

вания применяется специальный светорегулятор (темнитель). При отключении части ОП необходимо обеспечивать требуемые показатели равномерности распределения яркости. Для этого либо устанавливают по два ОП в одной точке, либо применяют двухламповые светильники.

Автоматическое регулирование освещения в туннеле в зависимости от уровня наружного освещения осуществляется с помощью датчика, в качестве которого используют специальный яркомер, измеряющий яркость адаптации $L_{20}(t)$ в данный момент времени t . Яркомер размещают на РБТ перед въездным порталом, на высоте 2–5 м, со стороны обочины или разделительной полосы. Сигнал от яркомера подается на регулятор освещения, где он пересчитывается на яркость пороговой зоны $L_{th}(t)$ и сравнивается с номинальным уровнем $L_{th,ном}$ (обеспечиваемым всеми ОП при номинальном напряжении), и в случае их рассогласования производится ступенчатое или плавное соответствующее изменение напряжения на лампах или включение/отключение части ОП. В более совершенной схеме используется второй яркомер, измеряющий яркость дорожного покрытия в пороговой зоне в данный момент времени [15.49]. Это позволяет учитывать реальное состояние ОУ в процессе эксплуатации, связанное с изменением яркости покрытия как за счет старения и выхода из строя ламп, загрязнения ОП и отражающих поверхностей туннеля, так и за счет установки новых ламп и чистки ОП и туннеля. В этом случае входной сигнал сравнивается не с номинальным, а текущим значением яркости $L_{th}(t)$. Важным моментом здесь является то, что отпадает необходимость завышения первоначального уровня освещения, обусловленного коэффициентом запаса. Иногда устанавливают еще один яркомер для контроля освещения во внутренней зоне. Учитывая инерционность ГРЛ при их разгорании и остывании, система должна быть настроена так, чтобы не реагировать на кратковременные изменения яркости $L_{20}(t)$,

вызванные затенением солнца отдельными облаками. Исходя из обеспечения зрительной комфортности, мгновенный спад яркости при отключении части ОП не должен быть более чем 3:1.

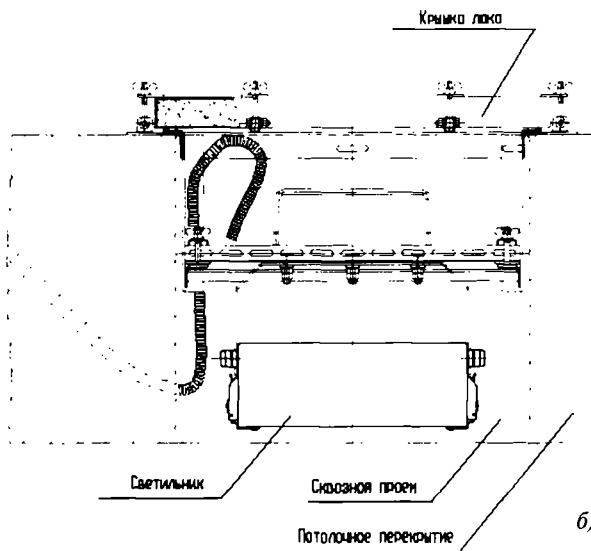
Эксплуатация. Техническая эксплуатация включает техническое обслуживание и текущий ремонт ОУ туннеля. Основными видами работ по техническому обслуживанию ОУ транспортной зоны туннеля являются замена перегоревших ламп и вышедших из строя ОП (замена электротехнического блока) и чистка ОП (допускается мытье светильника струей воды из специальных поливочных машин). При наличии системы управления освещением необходимо также обслуживание яркомеров (их чистка). Кроме того, в соответствии с регламентами эксплуатации инженерных сооружений города должна осуществляться чистка дорожного покрытия и нижней части стен.

Понятно, что традиционное обслуживание ОП (из туннеля) сопряжено с необходимостью блокирования полосы движения транспортного потока в туннеле, и, как следствие, снижением уровня безопасности движения и возникновения «пробок». Кроме того, учитывая высокий уровень загазованности туннеля, особенно в верхней зоне, такое обслуживание сопряжено с большим вредом для здоровья обслуживающего персонала. Кардинальным решением этой проблемы является использование для обслуживания ОП проходных вентиляционных (сервисных) туннелей, располагаемых над основным туннелем. Для этого в потолочном перекрытии транспортной зоны туннеля делают сквозные проемы, в которых устанавливаются светильники (рис. 15.84). Очевидно, что при этом увеличиваются капитальные затраты на строительную часть туннеля.

При наличии эвакуационного освещения помимо замены ламп и чистки светильников и световых указателей проводятся работы по тестированию и замене аккумуляторных батарей.



а)



б)

Рис. 15.84. Вид из технического туннеля (а) и чертеж разреза (б) установки светильника в проеме потолочного перекрытия

15.6. КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВОК НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Нормы наружного освещения регламентируют следующие основные показатели осветительных установок: уровень средней яркости дорожного покрытия, равномерность распределения яркости. Для контроля состояния уличной осветительной установки необходимо регулярно проверять значения этих параметров, что чрезвычайно важно для обеспечения безопасности движения транспорта.

Измерения параметров осветительных установок необходимы при:

- сдаче в эксплуатацию новых или реконструированных осветительных установок с целью определения их соответствия требованиям норм;
- периодических обследованиях установок в течение срока службы — проведения мониторинга для выявления их состояния.

Точность и методология измерений в этих случаях различные. При обследовании на соответствие требованиям норм должны быть четко соблюдены все условия, при которых определяются нормируемые параметры. При мониторинге в процессе работы ОУ важна воспроизводимость результатов.

До сих пор проведение таких работ было связано со значительными сложностями. Измерение вручную яркости дорожного покрытия — очень трудоемкий процесс, занимающий много времени, и, кроме того, требующий перекрытия движения транспорта, что трудно выполнимо в городских условиях даже глубокой ночью. В вечернее время такие измерения весьма затруднительны из-за интенсивного движения транспорта.

В связи с этим мониторинг наружных осветительных установок был сложным и дорогостоящим мероприятием. За последние годы развитие цифровой техники и ее внедрение в фотометрическую аппаратуру позволило упростить этот процесс и сделать его доступным для массовых измерений. В различных странах начали появляться мобильные светотехнические лаборатории, предназначенные для мониторинга наружных осветительных установок [15-50, 15-51].

В 2006 г. ООО ВНИСИ совместно с ГУП «Моссвет» создана мобильная светотехническая измерительная лаборатория для мониторинга основных светотехнических характеристик наружного освещения в режиме плановых проверок. Лаборатория проводит измерение ярковых характеристик дорожных покрытий при движении автомобиля и обеспечивает возможность сохранения данных измерений посредством автоматической регистрации их на компьютере. Кроме того, аппаратура позволяет определять среднюю, максимальную и минимальную яркости, находить общий и продоль-

ный коэффициент неравномерности. Лаборатория оснащена измерительной техникой для определения горизонтальной, вертикальной и полуцилиндрической освещенностей в стационарном режиме.

В качестве основного измерительного прибора используется цифровой яркометр LMK 98-3 (фирмы TechnoTeam), предназначенный для измерений из движущегося автомобиля. Измеряя яркость на отображениях высокого разрешения, можно одновременно оценивать освещение больших участков автострад и туннелей. Камера LMK делает снимки, по которым ПК рассчитывает яркости в соответствующих точках сцены. Эти отображения содержат информацию о световых и геометрических характеристиках дороги, что позволяет решать любые измерительные задачи легко и быстро. Скорость получения данных и, соответственно, возможная скорость движения машины при измерении (до 80 км/ч) зависит от возможности занесения в память компьютера изображений яркости (объема памяти процессора и скорости работы жесткого диска). При измерениях из движущегося автомобиля камера используется с портативным компьютером, в котором установлена специальная программа, разработанная фирмой TechnoTeam. С ноутбуком 1,6 ГГц и 256 мВ и жестким диском 30 ГВ интервал между последовательными изображениями составляет 3 с. С более быстрым компьютером можно получать изображения через 1–2 с. Для обеспечения более широкого угла зрения и охвата большего участка можно использовать объектив с фокусным расстоянием 25 мм.

В результате проведения измерений и их обработки программа выдает протокол, содержащий распределение яркости по выбранному участку дорожного покрытия в табличной и графической форме (псевдонцветное представление, приписывающее значениям яркости определенные цвета); среднюю яркость дорожного покрытия; общий и продольный коэффициенты неравномерности (рис. 15.85). Для измерения горизонтальной, вертикальной и полуцилиндрической освещенностей в стационарном режиме используется люксметр типа Pocket-lux 2В фирмы LMT.

Основным достоинством лаборатории является возможность измерения фактических характеристик освещения при движении автомобиля, документирования и протоколирования данных посредством автоматической записи на персональный компьютер. Лаборатория позволяет за короткое время провести обследование значительного количества осветительных установок.

Общий вид лаборатории, смонтированной в автомобиле типа «Соболь», представлен на рис. 15.86, установка камеры в кабине на рис. 15.87.

ПРОТОКОЛ

измерения светотехнических характеристик установки наружного освещения,
проведенного мобильной лабораторией ГУП «Моссвет»

дата:

Адрес объекта
Дата измерения
Время измерения
Категория объекта по МГСН 2.06-99

Ярославское шоссе. г. Москва.
19.05.2006 г.
2.43.42

Результаты съемки объекта:
папка с файлами объекта
количество файлов в папке
имя файла с выбранным объектом

Результаты измерений:	Значение	Норма	Соответствие
средняя яркость поля $L_{\text{ср}}$, кд/м ²	3,17		соответствует
минимальная яркость поля $L_{\text{мин}}$, кд/м ²	2,26		
максимальная яркость поля $L_{\text{макс}}$, кд/м ²	4,23		
общая равномерность яркости $U_0 = L_{\text{мин}} / L_{\text{ср}}$	0,71		соответствует
полоса движения	Правая		
минимальная яркость $L'_{\text{мин}}$, кд/м ²	2,32		
максимальная яркость $L'_{\text{макс}}$, кд/м ²	3,37		
продольная равномерность яркости $U_1 = L_{\text{мин}} / L_{\text{макс}}$	0,69		соответствует

Причины несоответствия:

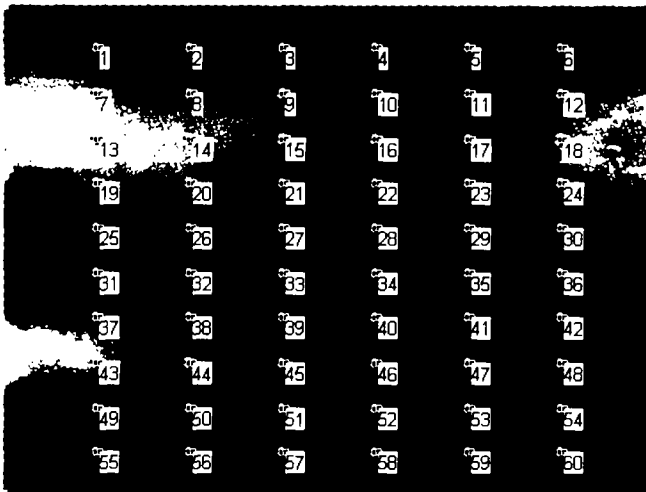
Меры по устранению:

Руководитель мобильной лаборатории	/	Ф.И.О./
Съемку проводил	/	Ф.И.О./
Обработку изображения проводил	/	Ф.И.О./

Приложение к Протоколу



Фотография объекта с выделенным полем измерения



Левая половина			Правая половина		
2,67	2,75	3,06	3,86	3,37	4,23
2,57	2,80	3,14	3,62	3,33	3,99
2,77	2,76	2,91	3,30	3,24	3,92
2,93	2,91	2,95	3,21	3,09	3,91
2,93	2,86	2,73	3,05	2,73	3,74
2,62	2,52	2,81	3,15	2,58	3,70
2,26	2,49	2,70	3,23	2,71	3,88
2,41	2,77	3,27	3,86	3,30	3,51
2,81	3,03	2,97	3,13	2,61	3,11
3,30	2,83	2,89	2,73	2,32	2,80

Развертка поля измерения с указанием номеров расчетных точек

Значения яркости в $\text{кд}/\text{м}^2$ в расчетных точках поля измерения



Рис. 15.86



Рис. 15.87

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 15.1. *Publication*: CIE 92 Technical Report. Guide to Lighting of Urban areas. 2000.
- 15.2. Шрейдер Д.А. Оценка экономической эффективности установок дорожного и уличного освещения. Светотехника. 1995. № 4–5.
- 15.3. Паинтер К. Уличное освещение и уменьшение преступности: выгоды и убытки. Светотехника. 1999. № 6.
- 15.4. Боммель В. ван. Исследования дорожного освещения за последние 80 лет. Результаты и уроки на будущее. Светотехника. 1999. № 6.
- 15.5. *Publication*: CIE 154:2003. The maintenance of outdoor lighting systems. 2003.
- 15.6. EN 13201-1. Road lighting – Part 1: Selection of lighting classes.
- 15.7. EN 13201-2. Road lighting – Part 2: Performance requirements.
- 15.8. EN 13201-3. Road lighting – Part 3: Calculation of performance.
- 15.9. EN 13201-4. Road lighting – Part 4: Methods of measuring lighting performance.
- 15.10. Шрейдер Д.А. Оценка экономической эффективности установок дорожного и уличного освещения. Светотехника. 1995. № 4–5.
- 15.11. Московские городские строительные нормы МГСН 2.06-99, Правительство Москвы, Москва, 1999.
- 15.12. Флодина Т.Л., Елович Э.П. Что нужно знать коммерсанту о наружном освещении. Пособие для менеджеров торговых компаний. Под редакцией Ю.Б. Айзенберга. М., 2003.
- 15.13. ГОСТ 8045-82. Светильники для наружного освещения. Общие технические условия.
- 15.14. ГОСТ 12.2.007.0. Изделия электротехнические. Требования безопасности.
- 15.15. ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды.
- 15.16. ГОСТ 14254-96. Электрическое оборудование с напряжением до 1000 В. Оболочки. Степени защиты.
- 15.17. ГОСТ 17516.1-90. Изделия электротехнические. Общие требования в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам.
- 15.18. ГОСТ 16703-79. Приборы и комплексы световые. Термины и определения.
- 15.19. *Publication*: CIE 34-1977. Road lighting lanterns and installation data: photometrics, classification and performance.
- 15.20. *Publication*: CIE 136-2000. Guide to the lighting of urban areas.
- 15.21. ГОСТ 26824-86. Здания и сооружения. Методы измерения яркости.
- 15.22. *Publication*: CIE 132-1999. Design method for lighting of roads.
- 15.23. *Publication*: CIE 66-1984. Road surfaces and lighting.
- 15.24. *Publication*: CIE 47-1979. Road lighting for wet conditions.
- 15.25. *Publication*: CIE 115-1995. Recommendations for the lighting of roads for motor and pedestrian traffic.
- 15.26. American National Standard of Practice for Roadway Lighting, RP-08-00. New York: IESNA/ANSI, 2000. Approved.
- 15.27. *Publication*: CIE 140-2000. Road lighting calculations.
- 15.28. *Publication*: CIE 69-1087. Methods of characterizing illuminance meters and luminance meters: Performance, characteristics and specifications.
- 15.29. IESNA LM-50-99. Guide for photometric measurement of Roadway lighting installations. New York: Illuminating Engineering Society of North America, 1999.
- 15.30. ГОСТ 24940-96. Здания и сооружения. Методы измерения освещенности.
- 15.31. Каталог фирмы LMT Lichtmesstechnik GmbH Berlin. <http://www.lmt-berlin.de>.
- 15.32. Шредер Й. Освещение тоннелей. Светотехника. 1993, № 5/6. С. 21–25.
- 15.33. Шрейдер Д.А. Освещение автотранспортных туннелей. Светотехника. 1994, № 3. С. 8–11.
- 15.34. DIN 67 524. Beleuchtung von Straßentunnels und Unterführungen. Teil 1 und 2. 1987.
- 15.35. SN 150915 Öffentliche Beleuchtung. Straßentunnels, – galerien und – unterführungen. 1997.
- 15.36. ANSI/IESNA RP-22-96 IESNA. Recommended Practice for Tunnel Lighting. 1996.
- 15.37. BS 5489: Part 7: Road lighting. Code of practice for the lighting of tunnels and underpasses. 1992.
- 15.38. JIS Z 9116. Lighting of Tunnels for Motorized Traffic. 1990.
- 15.39. *Publication*: CIE 88. Guide for the lighting of road tunnels and underpasses.
- 15.40. СНиП 32-04-97. Тоннели железнодорожные и автодорожные, Госстрой России, 1999.
- 15.41. Lighting Manual. Philips Lighting B.V., 5th edition. 1993.
- 15.42. Шрейдер Д.А. Эффективность освещения автотранспортных туннелей светильниками, излучающими навстречу движению. Светотехника. 1995, № 4/5.
- 15.43. Теплообмен излучением: Справочник. А.Г. Блох, Ю.А. Журавлев, Л.Н. Рыжков. — М., Энергоатомиздат, 1991. 432 с.
- 15.44. Стокмар А., Фишер У., Хуберт Х., Чеунг Н.Ч. Проектирование светопропускающих и шумопоглощающих тоннельных ограждений. Светотехника. 2003. № 1.
- 15.45. IESNA LM-71-96. Approved guide for photometric measurement of tunnel lighting installations. New York: Illuminating Engineering Society of North America, 1996.
- 15.46. Литманович А., Нейман И., Шилони Й. Использование дневного света для освещения въездной зоны автотранспортного тоннеля. Светотехника. 2004 № 5.
- 15.47. EN 1838 Lighting applications — Emergency lighting. 1999.
- 15.48. ГОСТ Р 12.4.026-2001. Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная.
- 15.49. Дижон Ж.М. Автоматическое управление освещением туннеля Belliard в Брюсселе. Светотехника. 1994. № 6.
- 15.50. Iacomussi P., Rossi G., Castellano M. The development of a new mobile photometric laboratory, доклад на сессии МКО, 2005.
- 15.51. Шмидт Ф. Динамический метод измерения яркости на дорогах и в туннелях. Светотехника, 2005, № 3.

ОБЛУЧАТЕЛЬНЫЕ СВОТТЕХНИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

16.1. ВВЕДЕНИЕ [77, 84, 86, 16.(1–6)]

Облучательные светотехнические установки (ОСУ) предназначены для генерации и перераспределения ОИ в пространстве, по времени и по спектру с целью обеспечения целесообразной (полезной) реакции незрительных приемников излучения.

Незрительные приемники ОИ можно подразделить на приемники фотофизического, фотохимического и фотобиологического действия.

Приемники фотофизического действия ОИ включают фотоэлектрические, фотолюминесцентные и тепловые приемники излучения.

Тепловое действие излучения соответствует статистически равномерному распределению поглощенной энергии излучения. В этом случае энергия излучения преобразуется в энергию поступательного, колебательного и вращательного движений молекул, ионов и свободных электронов, взаимодействующих с излучением.

Фотоэлектрическое, фотолюминесцентное, фотохимическое и фотобиологическое действие ОИ характеризуется поглощением энергии отдельными молекулами. В результате фотоэлектрического преобразования энергии происходят изменения электрического состояния поглощающего тела — фотоэффект; фотолюминесцентное преобразование имеет своим следствием излучение возбужденных молекул, атомов; при фотохимическом — происходят химические превращения (реакции) в молекулах, поглотивших излучение; при фотобиологических процессах — химические реакции в белках, нуклеиновых кислотах и других органических мо-

лекулах и связанные с этим процессы обмена веществ в живом организме.

На рис. 16.1 дана классификация ОСУ.

В последние годы задачи облучательной техники начали расширяться за счет выявленных новых свойств (качеств) света. Во-первых, было подтверждено на основе **объективных критериев**, что свет, помимо зрительных функций, несет мощную физиологическую информацию, контролирует суточные режимы, температуру тела, гормональную секрецию, влияя на настроение, работоспособность, поведение и другие физиологические функции, включая познавательные. Во всех случаях значимые «надпороговые» стимулирующие или лечебные эффекты достигаются при освещенностях, в 3–5 раз превышающих освещенность, диктуемую с позиций зрительной работоспособности.

С другой стороны, неоднократные утверждения о необходимости «натурализовать» искусственный свет получили дополнительное обоснование в гипотезе соответствия спектральных характеристик важнейших составных частей живых организмов Земли и тонкой спектральной структуры излучения Солнца, достигающего поверхности Земли.

Таким образом, традиционная сенсорная светотехника в ближайшее время обогатится достижениями незрительной облучательной техники (см. раздел 16.3.1).

В заключение укажем, что при разработке ОСУ, как любого комплекса, зависящего от большого числа параметров, важно правильно выбрать критерий оптимизации. В одних случаях таковым может быть качество

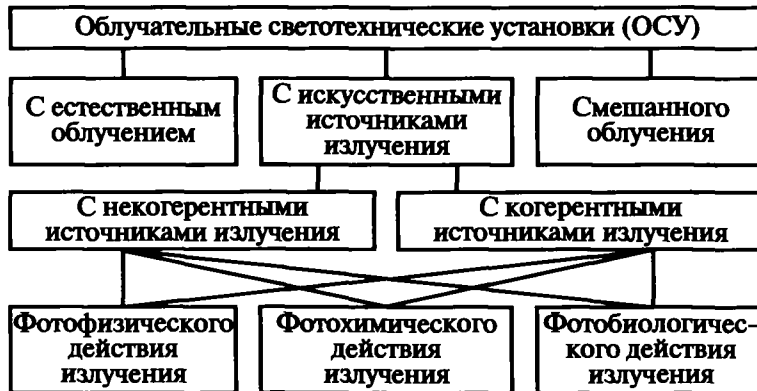


Рис. 16.1. Три уровня классификации ОСУ

получаемых конечных продуктов — изделий (например, фотолиитография), в других — время получения конечного эффекта (установки нагрева и сушки), в третьих — получение полезных эффектов и исключение вредных воздействий (например, УФ-облучение живых организмов) и т.п. Однако с точки зрения разработчика ОСУ в подавляющем большинстве случаев важным является получение максимального эффекта (максимум производительности, минимум времени и др.) при минимальных затратах, т.е.

$$z = Z / N \rightarrow \min, \quad (16.1)$$

где Z — затраты на производство продукта N ; z — себестоимость фотопродукта.

В зависимости от важности (доли) той или иной составляющей общих затрат Z глобальный минимум (16.1) может быть сведен к частным минимумам: по сумме капитальных затрат на создание облучательной установки; по стоимости электроэнергии, необходимой для производства N ; по фонду заработной платы обслуживающего персонала ОСУ и т.п.

Для нахождения параметров ОСУ, обеспечивающих глобальные или частные минимумы, необходимо выразить затраты через указанные параметры.

Только детальное изучение зависимости реакции фотоприемника от параметров ОИ может создать основу для нормирования, выбора светотехнических параметров и их значений, удовлетворяющих практику. Для наиболее массовых приемников ОИ (растения, например) практика построения ОСУ существенно приблизилась к решению этой важной проблемы. Иногда общепринятое нормирование не требуется, так как создание таких уникальных систем, как установки нагрева, фотолиитографические установки, ОСУ фотохимического синтеза, зависит от конкретных условий, ресурсов и специфических требований для каждого конкретного случая. Во многих случаях (особенно это относится к фотоадаптирующимся приемникам) до сих пор еще не получены фундаментальные сведения о реакции приемника, что, конечно, сдерживает построение общей концепции нормирования.

16.2. ОСУ ФОТОФИЗИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ [5, 77, 84, 16.(7–20)]

Из всего разнообразия установок и приборов фотофизического действия в настоящем разделе рассмотрены получившие наибольшее распространение ОСУ теплового действия и имитаторы солнечного излучения; в последних, вообще говоря, объединен комплекс воздействия света на исследуемый объект.

В облучательных установках теплового действия тепловая энергия передается телу с помощью ОИ.

Кинетика накопления тепловой энергии телом при поглощении ОИ, а также распределение температуры в объеме облучаемого тела зависят от физических параметров тела, условий его охлаждения и параметров облучательной установки. Как правило, предварительные оценки делаются с учетом ряда допущений, экспериментально проверяются на моделях и уточняются на

стадии проектирования. Относительно простое соотношение для расчета температуры облучаемого тела получается в предположении ее равномерного распределения по толщине тела:

$$T_i = T_0 + \frac{aE_e - qrk}{\alpha_{\Sigma}k} \left(1 - e^{-\alpha_{\Sigma} \sigma t_i / \gamma} \right), \quad (16.2)$$

где T_i — температура в момент времени t_i от начала облучения; T_0 — начальная температура тела, К; a — коэффициент поглощения излучения телом; E_e — облученность, Вт/м²; q — скорость испарения, кг/(м²·с); r — удельная теплота испарения, Вт·с/кг; $k = A/A_0$ — отношение площадей полной поверхности и облучаемой ее части; $\sigma = A/V$ — отношение площади полной поверхности облучаемого тела к его объему; c — удельная теплоемкость облучаемого тела, Вт·с/(кг·К); γ — плотность облучаемого тела, кг/м³; α_{Σ} — суммарный коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К):

Температура тела, °С	α_{Σ} , Вт/(м ² ·К)
0	8,6
60	11,6
100	14,4
150	17,1
200	20,2
300	25,6
400	34,7
500	44,7

Однако эти оценки справедливы в простейшем случае, когда речь идет о тонких листах, имеющих хорошую теплопроводность. Характер нагрева может изменяться в телах с большой толщиной и низким коэффициентом теплопроводности. Особо сложные процессы образования и передачи теплоты разыгрываются в многослойных телах.

На рис. 16.2 и 16.3 показана качественная картина теплообразования в однослойном и многослойном телах, нагреваемых ОИ.

В ОСУ теплового действия используются, в основном, тепловые излучатели, нагреваемые электроэнергией и газом. В последнее время стали использоваться разрядные, например, ксеноновые лампы (в микроэлектронике, имитации Солнца). Сравнительная характеристика тепловых излучателей дана в табл. 16.1. По спектральному составу излучения излучатели делят на «светлые» и «темные».

«Светлые» излучатели имеют температуру излучаемого тела выше 1000°С. К ним относятся зеркальные ЛН и кварцевые ГЛН.

Кварцевые ГЛН типов КГ, КГО, КГД и КГТ представляют собой цилиндрическую колбу из кварца, по



Рис. 16.2. Теплообразование внутри облучаемого однослойного тела при слабом (а) и сильном (б) поглощении: 1 — падающее излучение; 2 — отраженное излучение; 3 — поглощенное излучение; 4 — пропущенное излучение



Рис. 16.3. Теплообразование внутри облучаемого двухслойного тела при сильно (а) или слабо (б) поглощающей подложке: 1 — падающее излучение; 2 — отраженное излучение; 3 — поглощенное излучение; 4 — слой лака; 5 — подложка

Таблица 16.1

Сравнительная характеристика тепловых излучателей

Характеристика	Тип источника						
	электрические					газовые	
	зеркальные ЛН	кварцевые ГЛН	кварцевые излучатели с нихромовой спиралью	трубчатые электронагреватели	панельные излучатели	керамические перфорированные	отражательного типа
Температура излучателя, °С	1650–2000	1650–2200	760–980	540–760	200–590	760–920	760–1200
λ_{\max} , мкм	1,5–1,3	1,5–1,27	2,8–2,6	3,6–2,8	6,0–3,2	2,8–2,5	2,8–2,1
Отдача энергии, % излучением конвекцией	65–80 35–20	72–86 28–14	55 45 45–55	53–45 47–55	50–20 50–80	46–50 54–50	36–40 64–60
Размеры (диаметр × длина), мм	125 × 185	9,5 (диаметр)	9,5–16 (диаметр)	9,5–16 (диаметр)	-	76 × 560 127 × 560	76 × 305
Устойчивость против удара: механического термического	плохая плохая	хорошая превосходная	хорошая превосходная	хорошая превосходная	разная хорошая	превосходная превосходная	плохая превосходная
Время нагрева	секунды	секунды	минуты	минуты	десяtkи минут	до 60% за минуту	до 60% за минуту
Время охлаждения	секунды	секунды	секунды	секунды	то же	до 18% за минуту	до 18% за минуту

оси которой монтируется спиральное тело накала из вольфрамовой проволоки (см. разд. 3).

Кварцевые излучатели с нихромовой спиралью имеют негерметизированную кварцевую трубку, предохраняющую спираль от охлаждения конвекционными потоками воздуха.

«Темные» излучатели имеют максимальную температуру тела накала ниже 1000°С. Наибольшее распространение в промышленных технологических установках находят трубчатые электронагреватели (ТЭН). Зависимости температуры ТЭН от удельной мощности в спокойной воздушной среде и при движении воздуха с различной скоростью приведены на рис. 16.4.

Плоские панельные излучатели изготавливаются в виде прямоугольных или квадратных плит из чугуна, имеющего коэффициент излучения, близкий к едини-

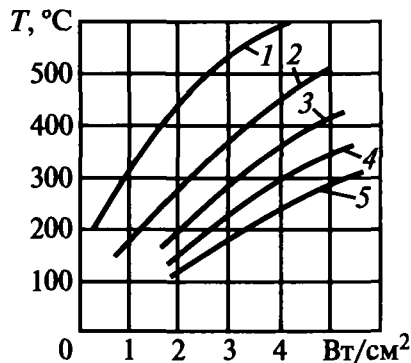


Рис. 16.4. Связь температуры и удельной мощности ТЭН в спокойной воздушной среде и при движении воздуха с различной скоростью: 1 — естественное охлаждение; 2 — 2–3 м/с; 3 — 6 м/с; 4 — 9 м/с; 5 — 12 м/с

пе. В плите находятся один или несколько ТЭН. Рабочая температура плоских панельных излучателей 350–400°C.

Газовые источники требуют гораздо больших материальных и трудовых затрат с целью обеспечения надлежащих норм техники безопасности.

16.2.1. Установки для сушки [5, 77, 84, 16.(7, 9, 12, 13)]

Установки применяются для сушки лакокрасочных покрытий и пропиточных лаков бумажно-бакелитовых изделий, древесины, бумаги, типографских оттисков, резины, клея при строительных работах, в пищевой промышленности, в сельскохозяйственном производстве и др.

Скорость сушки зависит от скорости испарения после нагрева влажного материала до установившейся температуры $T_{\text{исп}}$, при которой в течение продолжительного времени происходит испарение влаги. Значение $T_{\text{исп}}$ определяется из (16.2) при условии $t_i \rightarrow \infty$, причем в первый период сушки испарение происходит с поверхности тела. Скорость испарения q определяется из соотношения:

$$q = (E_e + Q_k) / r, \quad (16.3)$$

где Q_k — конвективный подвод теплоты к материалу. Величина Q_k будет положительной, если температура воздуха выше температуры материала.

При выборе спектрального состава источников излучения для сушки влажных материалов необходимо учитывать спектральное поглощение не только материала, но и воды.

В следующий период скорость сушки лимитируется интенсивностью подвода влаги изнутри тела к поверхности испарения:

$$q = -a_m \gamma_0 (\partial W / \partial x \pm \delta \partial T / \partial x), \quad (16.4)$$

где a_m — коэффициент диффузии влаги; γ_0 — плотность сухого вещества материала; W — содержание влаги, %; x — линейная координата; δ — термоградиентный коэффициент. Выражение (16.4) показывает, что интенсификация процесса сушки достигается в том случае, если градиенты влагосодержания и температуры направлены одинаково изнутри наружу, что достигается, как правило, при ИК-сушке. Встречное направление градиентов характерно для конвективной сушки.

Обдув поверхности материала холодным воздухом способствует удалению паров и увеличивает градиент температуры, что в итоге приводит к интенсификации процесса сушки. Еще больший эффект достигается при периодическом облучении материала и обдуве его поверхностью холодным воздухом.

Сушка материала происходит при температуре испарения. После практически полного испарения влаги температура материала повышается и достигает максимального значения.

Отверждение лакокрасочных покрытий представляет собой сушку с одновременным термопреобразованием материала: у термопластичных материалов процесс формирования пленки сводится к удалению растворителя, у терморезистивных он связан как с удалением

растворителя, так и с химическими превращениями (поликонденсацией, полимеризацией), приводящими к образованию пленки с необратимой структурой (см. также § 16.3).

Спектральный состав ИК-излучения для отверждения выбирается с учетом оптических характеристик пленки и подложки. Как правило, все лаковые полимеры хорошо пропускают ИК-излучение с $\lambda \leq 6$ мкм. В области спектра $\lambda = 2 + 6$ мкм коэффициент отверждения лакокрасочных покрытий светлых и темных тонов для близких по составу групп лакокрасочных материалов практически одинаков. В коротковолновой ИК-области ($\lambda = 0,8 + 2$ мкм) коэффициент поглощения существенно зависит от цвета: при одинаковой облученности температура нагрева белых и светлых покрытий ниже, чем черных и темных.

В заключительной стадии процесса отверждения эффективно применение селективного ИК-излучения с частотой, соответствующей частоте колебаний химической связи функциональной группы, определяющей процесс химических превращений. В результате воздействия селективного излучения процесс образования полимера, составляющего основу лакокрасочной пленки, в значительной степени ускоряется.

Предельно допустимая неравномерность нагрева лакокрасочного покрытия определяется коэффициентом:

$$K_{\text{нр}} = T_{\text{max}} / T_{\text{min}}, \quad (16.5)$$

где T_{max} — максимальная температура сушки лакокрасочного покрытия, при которой еще сохраняются допустимые отклонения твердости на всей поверхности окрашенного изделия; T_{min} — минимальное значение температуры сушки покрытия, обеспечивающее ее высыхание. Если значение $K_{\text{нр}}$ значительно отличается от единицы, то сушильная камера должна быть многозонной, с регулируемой облученностью по длине и высоте, при этом окрашиваемые изделия не должны иметь сложную конфигурацию. При больших значениях $K_{\text{нр}}$ сложная система регулирования облученности в сушильных камерах не обязательна, сушка покрытия может производиться на изделиях более сложной конфигурации.

Достижение равномерности облученности особенно важно при сушке материалов с низкой теплопроводностью, например при обработке дерева, кожи. Равномерность распределения облученности по объекту достигается соответствием расположения излучателей или облучательных приборов форме обрабатываемого изделия. Внутренняя обшивка или отражающий свод сушильных установок часто выполняется из листового алюминия, имеющего коэффициент отражения в ИК-области спектра выше 0,9. Форма отражающего свода оказывает существенное влияние на распределение облученности по поверхности изделия.

Конструкция установок сушки наиболее проста с зеркальными ЛН; кроме того, эти установки обладают малой тепловой инерцией. При размещении в сушильной камере зеркальных ЛН необходимо исключить попадание на колбы капель лака или влаги, которое может привести к растрескиванию ламп.

Кварцевые ГЛН выдерживают резкие перепады температуры и позволяют обеспечить уровень облученности на порядок выше, чем в установках с зеркальными лампами. Цоколи и патроны ЛН необходимо интенсивно охлаждать потоком воздуха, чтобы избежать недопустимого повышения температуры, ведущего к повреждению цокольной мастики и вводов. Установки с ТЭН и панельными излучателями обладают высокой механической прочностью, большим сроком службы, обеспечивают более равномерное распределение облученности и менее критичны к загрязнению. Однако они имеют большую тепловую инерцию, что особенно характерно для камер с панельными излучателями.

В табл. 16.2 дана общая характеристика ОСУ сушки.

В установках закрытого типа особое внимание обращается на обеспечение взрывобезопасности при сушке лакокрасочных покрытий. При этом одной из главных мер является пропускание через установку такого

количества воздуха, которое исключает появление в камере концентрации взрывоопасных растворителей выше предельно допустимой.

Примером установки закрытого конвейерного типа является ОСУ сушки трансформатора, рис. 16.5, а. Используются длинноволновые излучатели общей мощностью 50 кВт. Скорость конвейера 0,78 м/мин, длина печи — 3 м, ширина — 1,6 м, высота — 1,8 м.

Другой пример, рис. 16.5, б — сушка аптечных стеклянных флаконов на поддонах. На первом этапе осуществляется ультразвуковая мойка, на последнем ИК-сушка. Конвейер — открытого типа. Общая мощность ламп КГТ $0,6 \times 10 = 6$ кВт. Температура сушки — 90°C, скорость транспортера — 0,03 м/с. Производительность установки — 140 поддонов/час.

На рис. 16.5, в представлены две камеры ИК-сушки периодического действия. Первая — для крупногаба-

Таблица 16.2

Общая характеристика ОСУ сушки

Область применения (отрасль промышленности)	Объект сушки (приемник ОИ)	Уровень облученности (ориентировочно), кВт/м ²	Температура сушки (ориентировочно), °С	Время сушки, мин	Время конвейерной сушки, мин
Сушка лакокрасочных покрытий (автомобильная, машиностроительная, электротехническая, легкая, мебельная и др.)	Эмали, лаки, растворители на металлических или деревянных подложках	0,5–20	80–200	1–30	10–500
Сушка древесины, бумаги, клея на древесно-стружечных плитах (строительство, деревообработка, бумажное производство)	Дерево, бумага, клей, вода, латексное покрытие	0,5–5	50–60	0,5–10	20–600
Сушка оттисков и клееных изделий (полиграфия)	Тифографская краска, растворитель, лак, тушь, клей на бумажных или картонных подложках	1–8	—	0,01–3	0,5–10
Сушка тканей, фетровых и войлочных изделий, сушка тканей, пропитанных латексом (текстильная, легкая)	Ткань, вода, аспиратура	1–15	50–180	5–10	30–60
Сушка кожи, кожаной обуви (кожевенная, обувная, кожевнотранспортная)	Кожа, окрашенная кожа, вода, краска, лак, клей	0,5–2	45–50 до 70 (дубленая кожа)	10–60	300–600
Сушка керамики, фарфора, литейных форм, оттаивание и сушка угля (легкая, металлургическая, транспорт)	Керамика, уголь, вода	1–10	До 100	10–30	200–400
Сушка штукатурки, железобетонных изделий (строительство)	Штукатурка, бетон, вода	1–10	70–90	240–600	500–1500
Предотвращение коррозии при хранении металлоизделий (складское хозяйство)	Металл, пленка воды	0,05–0,1	15–20	Постоянно	
Сушка овощей, фруктов, зерна, чая, табака, сахара, хлеба и др., пастеризация молока, пива, соков (пищевая, сельское хозяйство)	Пищевые продукты, вода	1–20	60–220	1–150	До 300

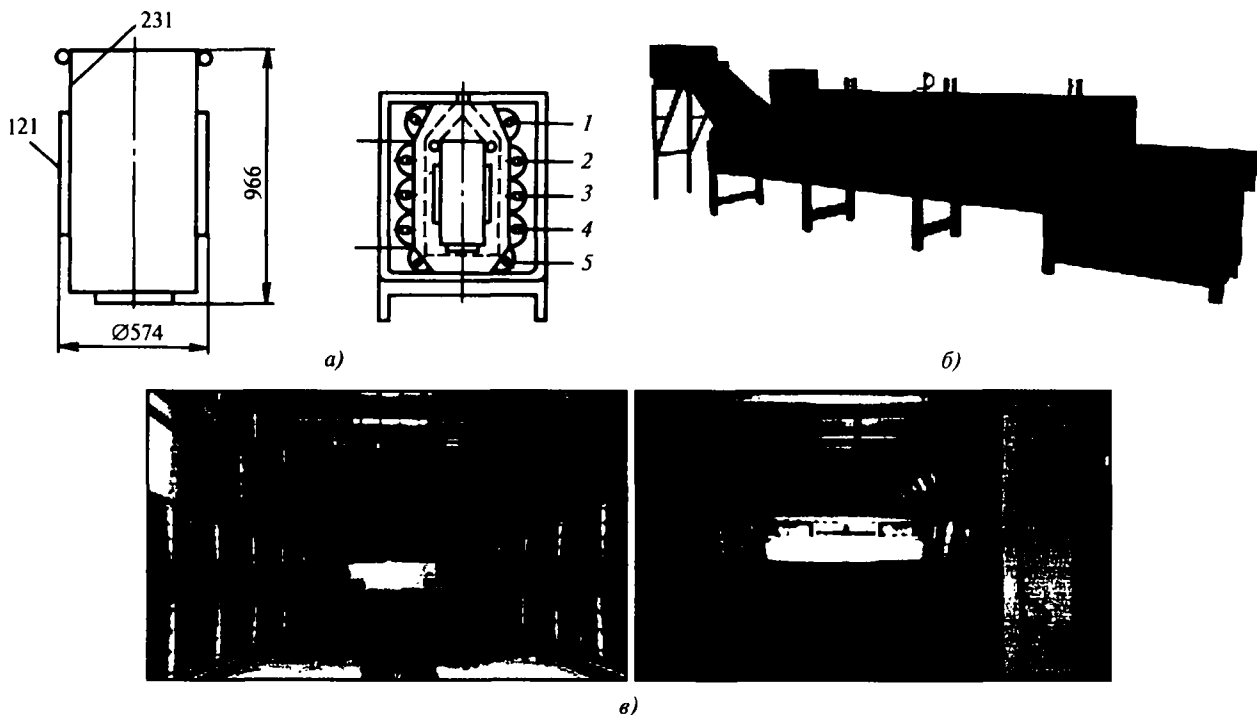


Рис. 16.5. Установки сушки различных изделий: а — покрытый кожухов трансформаторов; форма обрабатываемой детали; расположение 18 нагревателей типа В мощностью, кВт: 1 — 0,3; 2 — 0,5; 3 — 0,5; 4 — 0,75; 5 — 0,75; б — стеклянных аптечных флаконов с лампами КГТ общей мощностью $0,6 \times 10 = 6$ кВт (совместно с мойкой и ополаскиванием); в — лакокрасочных покрытий крупногабаритного транспорта и легковых автомобилей. Возможна локальная (крыло, багажник и т.п.) сушка

ритного транспорта, вторая — для легковых автомобилей.

Имеется информация о двухступенчатой сушке, когда используется верхний прозрачный слой лакокрасочного покрытия (на водной основе) на автомобилс. Введение новой технологии повлекло за собой реконструкцию производства, в частности установку оборудования ИК-сушки на участке конвейера между окрасочной камерой и печью горячей сушки. Режим сушки и оптические свойства слоев подобраны так, что излучение, отражаясь от металлической подложки, создает высокую концентрацию поля излучения на границе раздела фаз. При этом происходит нагрев лака со стороны подложки, начинается интенсивное испарение растворителей и одновременное отверждение лакокрасочной пленки. Такая ИК-сушка не сопровождается нагревом окружающего воздуха, что позволяет избежать расходов на его нагрев, а также проблем, связанных с попаданием частичек пыли.

16.2.2. Установки ИК-нагрева [5, 77, 84, 16.(7–9, 12, 13, 14–20)]

При лучистом нагреве вещества в нем могут либо происходить фазовые превращения, либо нет. К установкам без фазовых превращений относятся установки лучистого обогрева, установки, имитирующие тепловой барьер, установки для разрушения горных пород, для нагрева металлов перед обработкой, для предотвраще-

ния коррозии при хранении металлоизделий и др. К установкам второго типа относятся установки с распылом облучаемого вещества и использованием диффузных явлений в материале (например, упрочнение материала) и установки, обеспечивающие испарение облучаемого вещества (сверление отверстий, контурная обработка материала и т.п.). Эти установки приобретают в последнее время все большее распространение в связи с использованием когерентных источников излучения.

Эффективность нагрева излучением зависит от спектрального состава излучения и его соответствия спектральному поглощению и толщине нагреваемого материала. При слабом поглощении и малой толщине материала большая часть потока излучения Φ_e проходит сквозь тело и не принимает участия в его нагреве (кривая 1 на рис. 16.6, а). В случае сильного поглощения излучение поглощается в поверхностном слое, а нагрев глубинных слоев осуществляется за счет теплопроводности (кривая 2). При двухслойном теле в виде пленки толщиной Δ на подложке картина усложняется. Сильно поглощающая пленка сводит ситуацию к предельному случаю (кривая 2 на рис. 16.6, б). Если пленка слабо поглощает излучение, то эффективность процесса нагрева определяется оптическими свойствами подложки. Наиболее благоприятный случай для нагрева излучением — при сильно поглощающей подложке: значительная часть теплоты $(1 - \rho)\Phi_\Delta$ выделяется на

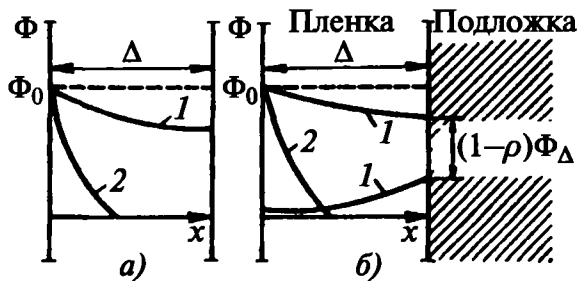


Рис. 16.6. Поглощение оптического излучения: *а* — однослойным телом, *б* — пленкой на подложке

границе подложки и слоя, а температура внутри тела выше, чем на его поверхности.

Целесообразность применения ОИ для нагрева, в основном, зависит от свойств материала. Во-первых, лучистый нагрев малоэффективен для материалов с высоким коэффициентом отражения излучения. Во-вторых, из-за небольшой глубины проникновения ОИ в вещество основной областью использования ИК-нагрева является нагрев тонких объектов. При большой толщине объектов возможно применение ИК-нагрева для материалов с хорошей теплопроводностью. В-третьих, ИК-нагрев более пригоден для объектов простой формы (табл. 16.3).

В табл. 16.3 даны примеры применения ИК-нагрева с указанием предпочтительных параметров поля излучения.

Примером ОСУ нагрева является технологический комплекс в электронной промышленности. Планарная технология изготовления полупроводниковых структур состоит из чередования термических и фотолитографических процессов.

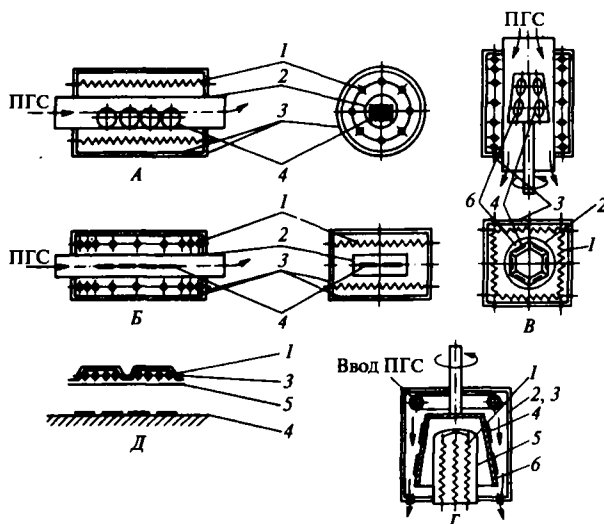


Рис. 16.7. Схемы основных конструкций отражательных ИК-печей: *А* — коаксиальная цилиндрическая; *Б* — с плоскими горизонтальными отражателями и прямоугольным реактором; *В* — вертикальная с внешним нагревом; *Г* — вертикальная с внутренним нагревом; *Д* — открытая панельного типа; 1 — высокотемпературные ИК-излучатели ГЛН; 2 — кварцевый реактор; 3 — водоохлаждаемые рефлекторы; 4 — нагреваемые подложки; 5 — лучепрозрачный экран; 6 — пьедестал; ПГС — парогазовая смесь

Схемы основных конструкций отражательных ИК-печей представлены на рис. 16.7. На рис. 16.8 представлен общий вид установки оплавления ИК-нагревом при производстве печатных плат.

Принцип импульсного ИК-облучения применен при сварке и пайке различных материалов. Примером

Таблица 16.3

Предпочтительные параметры поля излучения в различных областях

Область применения (отрасль)	Объект нагрева (приемники ОИ)	Уровень облученности (ориентировочно), кВт/м ²	Температура нагрева (ориентировочно), °С
Имитация теплового барьера, плавка, сварка (машиностроение, металлургия)	Корпус летательного аппарата, металлы, стекло	До 1500	1500–3100
Нагрев перед ковкой (металлургия)	Металлические заготовки, слитки	100–500	700–1250
Нагрев пластических материалов перед формованием (машиностроение, легкая промышленность)	Пластические материалы	0,5–5	50–200
Пайка радиодеталей (электронная, радиотехническая)	Свинцово-оловянный припой	15–20	280–350
Нанесение асфальтобетонных покрытий (строительство и ремонт дорог)	Битум	20–25	До 500
Отопление	Кожа и одежда человека	0,05–0,2	Обеспечение теплового комфорта
Терапия	Кожа человека	До 100	До 43,5 (болевые ощущения)
Стерилизация (медицина)	Хирургические инструменты и др.	30–50	До 500



Рис. 16.8. Установка оплавления ИК-нагревом

может служить установка для пайки выводов керамических конденсаторов с применением импульсного облучения. Обрабатываемыми объектами являются керамические пленочные конденсаторы, а также литые секционные конденсаторы. Схема установки показана на рис. 16.9.

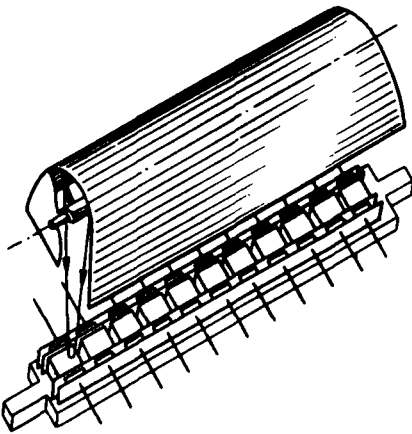


Рис. 16.9. Схема ИК-установки для пайки конденсаторов

Радиационный нагрев тонкостенных заготовок применяют при токарно-давилыной обработке. Этот метод нагрева вытеснил применявшийся ранее нагрев газовым пламенем, который приводил к нарушению поверхностного слоя заготовок и не обеспечивал равномерности нагрева.

Радиационный нагрев заготовок при токарно-давилыной обработке осуществляется по двум схемам. На схеме на рис. 16.10, а коническая заготовка 1 устанавливается на вращающуюся оправку 2 и нагревается излучателями 3, заключенными в конический рефлектор 4. Панель нагревательной установки имеет продольный вырез для пропускания давилыника, который при своем движении в направлении, показанном

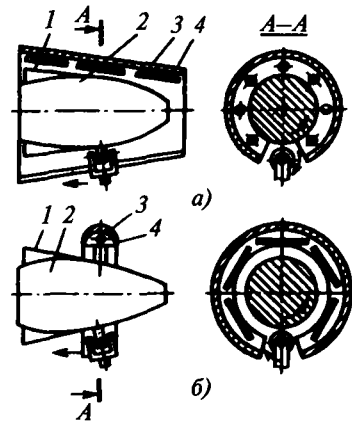


Рис. 16.10. Схемы токарно-давилыной обработки с радиационным нагревом: а — общий подогрев заготовки; б — локальный подогрев

стрелкой, деформирует заготовку, придавая ей конфигурацию оправки.

При больших размерах заготовки целесообразно нагревать не всю заготовку, а только кольцевой участок, деформируемый в данный момент (рис. 16.10, б).

Для нагрева до температурыковки цилиндрических заготовок диаметром 100–200 мм и длиной до 450 мм применяется мощная отражательная печь, состоящая из девяти параболических модулей мощностью 20 кВт каждый. Они охватывают заготовку по кругу (рис. 16.11).

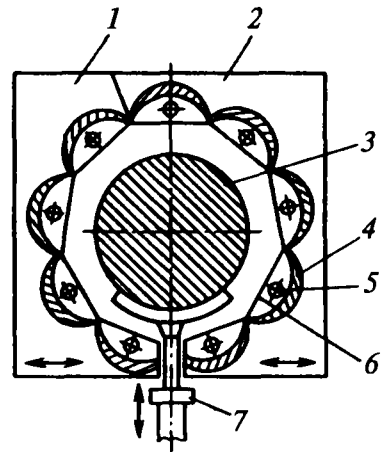


Рис. 16.11. Мощная отражательная печь для нагрева заготовок под ковку: 1, 2 — раздвижные блоки печи; 3 — нагреваемая заготовка; 4 — параболический отражатель; 5 — ГЛН; 6 — кварцевое окно; 7 — пневмоцилиндр подъема и опускания заготовок

Преимуществом такой схемы печи является обеспечение быстрого разъема камеры нагрева для загрузки и выгрузки заготовки. Исследования показали, что быстрый нагрев до температуры около 1520°C позволяет вдвое уменьшить толщину обезуглероженного слоя стали по сравнению с обычными методами нагрева. Эту установку используют также для пайки, сварки, пла-

стической деформации, испытаний конструкций в условиях аэродинамического нагрева и др.

Использование ИК-нагрева имеет хорошие перспективы при обработке различных пластических материалов. В [16.14] приведены многочисленные примеры нагрева пластических материалов перед формованием. Особо подчеркивается необходимость подбора ИИ с учетом соответствия его спектра излучения спектру поглощения материала. Так, поливинилхлорид практически полностью поглощает «темное» излучение при $\lambda = 3$ мкм и значительно лучше пропускает «светлое» излучение. В установке для нагрева ПВХ-шленки перед тиснением применены керамические «темные» излучатели. Аналогичным образом с помощью «темных» излучателей решается задача нагрева тонких слоев поливинилхлорида при изготовлении искусственных кож.

При нагреве толстостенных изделий из поливинилхлорида (например, труб) применяют «светлые» излучатели. Это дает возможность разогреть материал по всей массе. Излучение «темных» излучателей было бы поглощено поверхностными слоями поливинилхлорида.

В последние годы установки нагрева пластмассовых изделий перед их последующей обработкой (например, штамповкой) снабжены компьютерами, следящими за температурой объекта (ее равномерностью) и ее регулированием путем изменения электрического режима ИК-излучателей. Примером нагрева пластиковой пленки посредством «светлого» ИК-излучения является процесс изготовления многослойного стекла. В этом случае общий нагрев стекол приводит к их растрескиванию, а «темное» ИК-излучение в основном поглотилось бы в первом слое стекла, не разогрев промежуточную пластиковую пленку. Описан процесс триплексирования стекла (промежуточный слой — поливинилбутирольная пленка) с помощью ОСУ на основе ксеноновых ламп типа ДКсТВ15000. Время обработки пакета при одностороннем облучении 20 с при облученности 100 Вт/см².

Облучательные приборы ИК-нагрева применяются для предохранения машин и механизмов, работающих на открытом воздухе и подвергающихся воздействию мороза. В этом случае нет необходимости обогревать всю машину или крупногабаритный механизм, а достаточно создать нормальные температурные условия только для наиболее ответственных узлов и деталей (подшипников, узлов смазки, транспортных роликов и т.п.).

В [16.12] описывается использование ИК-нагрева при разгрузке вагонов с углем, железнодорожных цистерн с вязкими жидкостями (мазутом, маслами, жирами и т.д.), для оттаивания снега и льда с тротуаров. В [16.11, 16.12] подробно описано применение газовых ИК-облучателей при безгаражном содержании транспортных средств.

Установки **лучистого обогрева** обеспечивают тепловой комфорт, когда применение традиционных систем обогрева малоэффективно. При лучистом обогреве происходит нагрев предметов, пола, стен, людей, а не воздуха; эта система малоинерционна и в связи с этим в ряде случаев более экономична. Она не создает локализованные конвективные потоки воздуха вместе с пы-

лью, микробами и т.п. Вместе с тем, лучистый обогрев предпочтителен в тех помещениях, где движение воздуха достаточно сильно (например, при часто открывающихся дверях).

Возможность локального обогрева этими системами раскрывается в таких помещениях, как палатки (шатры), неотапливаемые гаражи, железнодорожные платформы, церкви, открытые арены, кафе, рестораны, а также во многих видах работ на открытом воздухе и при пониженных температурах.

В качестве непосредственного критерия теплового ощущения используется понятие результирующей температуры $T_{рез}$, [16.9] которая зависит от ряда факторов (температуры воздуха T_B , средневзвешенной температуры окружающих поверхностей $T_{ср}$, относительной влажности воздуха, скорости его движения). Без принудительной вентиляции и при малых потерях на испарение (практическая независимость от влажности) [16.9]:

$$T_{рез} = (T_B + T_{ср}) / 2. \quad (16.6)$$

Если результирующая температура соответствует приятному тепловому ощущению (тело отдает в окружающее пространство столько теплоты, сколько организму необходимо отдать), то это соответствует комфортной температуре:

$$T_{кф} = (T_B + T_{ср}) / 2. \quad (16.7)$$

Из (16.7) следует, что одну и ту же комфортную температуру можно получить при различных комбинациях T_B и $T_{ср}$.

При обогреве излучением $T_{ср}$ всегда больше T_B , и человек может дышать относительно более холодным воздухом, что, по мнению ряда гигиенистов, благоприятно для дыхания.

В ОСУ обогрева достижение комфортной температуры является необходимым, но не достаточным условием. ИК-излучение оказывает наиболее сильное воздействие на не прикрытые одеждой участки тела человека и прежде всего на голову. При этом если режим отопления выбран неправильно (переоблучение), то теплового комфорта достичь невозможно. Это происходит потому, что граница предельно выносимого человеком облучения достигается значительно быстрее, чем состояние теплового комфорта, соответствующего тепловому равновесию тела и окружающей среды.

Максимально допустимое количество теплоты, выделяющейся при облучении головы, называется физиологическим пределом $q_{0\max}$. Эту величину, Вт·м⁻², определяют из выражения

$$q_{0\max} = 10,2 (T_{к.ф.г} - T_{рез}), \quad (16.8)$$

где $T_{к.ф.г}$ — комфортная температура на уровне головы, °С.

Разница между комфортной температурой головы $T_{к.ф.г}$ и температурой на уровне лодыжек $T_{кф}$ — степень теплового комфорта — выбирается в зависимости от назначения помещения (табл. 16.4).

В зависимости от установленной степени теплового комфорта в табл. 16.4 приведены рекомендации для выбора оптимальных значений разности температур $T_{кф} - T_{рез}$ (для двух ситуаций — стоя и сидя).

Таблица 16.4

Степень теплового комфорта [16.9]

Степень теплового комфорта $T_{к.ф.г} - T_{кф}, ^\circ\text{C}$	Характеристика помещения и условия работы для установления теплового комфорта
2	Для стоящих людей во всех случаях, когда требуются особо комфортные условия
3	Для стоящих людей, выполняющих легкую работу, причем помещение имеет естественную вентиляцию (от одного до двух воздухообменов в час)
4	Для людей, выполняющих более тяжелую работу не на ногах и много ходящих, причем помещение имеет принудительную вентиляцию (более двух воздухообменов в час)
5	Для помещений с временным нахождением людей (возможно, в верхней одежде), в которых не так существенно наличие комфорта

В заключение укажем, что, как правило, облученность при локальном обогреве варьируется от 100 Вт/м^2 (внутри помещения в дополнение к традиционным отопительным системам) до 1000 Вт/м^2 (при обогреве палаток, гаражей, ангаров, складов и т.п.).

В стационарных теплоизолированных помещениях облученность при лучистом обогреве варьируется от 100 Вт/м^2 до 320 Вт/м^2 .

Пример облучателей и ОСУ обогрева представлены на рис. 16.12.



Рис. 16.12. Фрагмент облучательной установки ИК обогрева в зале ЗАО «Российская биржа»

Установки имитации солнечного излучения отличаются разнообразием конструкций, большим диапазоном мощностей, разной степенью имитации солнечного излучения.

В табл. 16.5 и 16.6 представлены основные характеристики заатмосферного Солнца. Степень приближе-

ния к этим характеристикам в имитационных установках диктуется компромиссом с теми затратами, которые можно позволить, приближаясь к реальной имитации. Практически любые шаги в направлении реализации требуемой параллельности пучка лучей, спектрального состава излучения, близкого к Солнцу, требуют дополнительных затрат.

Таблица 16.5

Характеристики заатмосферного Солнца

Планета	Плотность потока излучения, $E_e, \text{ Вт/м}^2$	Угол расходимости лучей (угловой размер Солнца)
Венера	2700	44'30"
Земля	1400	32'
Марс	600	21'

Таблица 16.6

Спектральное распределение энергии солнечного излучения

Диапазон длин волн, нм	Доля общей энергии, %
0–150	$8,3 \cdot 10^{-4}$
150–200	$1,4 \cdot 10^{-4}$
200–250	0,1
250–300	1,1
300–400	7,8
400–500	14,5
500–700	25,3
700–800	9,1
800–900	7,2
900–1000	5,8
1000–1100	4,8
1100–1500	11,9
1500–2000	6,3
2000–3000	4,0
3000–4000	1,2
4000–5000	0,5
5000–7000	0,4
7000–10000	0,1

Точность соответствия воспроизводимых в имитаторах солнечного излучения (ИСИ) параметров солнечного излучения зависит, прежде всего, от целей проводимых исследований.

Для экспериментальной отработки и проверки надежности космических аппаратов (КА) создаются тепловакуумные камеры (ТВК), включающие в себя ИСИ, назначение которых — воспроизвести натурные условия эксплуатации КА. Тип имитатора считается современным, если неоднородность поля потока излучения во всем объеме рабочей зоны не превышает $\pm 5\%$, расходимость лучей — не более $\pm 2^\circ$, среднее квадратичное отклонение спектра ИСИ от кривой распределения и интенсивности солнечного излучения по спектру — не более 5% в диапазоне длин волн от $0,2$ до 3 мкм .

Основной вклад в тепловой баланс КА вносит область спектра $0,3\text{--}3 \text{ мкм}$, где сосредоточено 97% всей энергии излучения Солнца. Излучение в области $0,2\text{--}0,3 \text{ мкм}$, которое составляет всего лишь 1% солнечного излучения, сильно влияет на поверхностные свой-

ства многих материалов, в частности на оптические характеристики покрытий, которые, в свою очередь, определяют тепловой баланс КА. Поэтому в ИСИ очень важно воспроизвести УФ-область спектра Солнца.

Для обеспечения характеристик ИСИ, указанных выше, в качестве ИИ наиболее часто используются ксеноновые лампы. Хорошее приближение к солнечному спектру получают и с помощью МГЛ на основе хлорида алюминия $AlCl_3$, йодида индия InI и галогенидов олова SnI_3 , $SnBr_2$. В некоторых типах ИСИ, где не обязательно воспроизведение коротковолнового диапазона спектра Солнца, например, имитация теплового барьера, можно применять ЛН, ИК-излучатели (например, ТЭН).

Необходимые углы расходимости лучей и равномерность облученности в рабочем объеме обеспечиваются оптическими коллимирующими системами ИСИ. В зависимости от применяемой оптической коллимирующей системы ИСИ можно разделить на три типа (рис. 16.13): а) модульный, б) засветочный, в) неосевой.

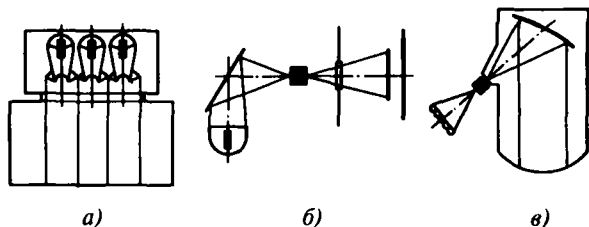


Рис. 16.13. Различные типы ИСИ

Наилучшими имитационными качествами обладают неосевые, длиннофокусные, одномодульные ИСИ. Примером такого ИСИ является солнечный имитатор, принципиальная схема которого дана на рис. 16.14, а. Установка ИСИ обеспечила облученность около $1,4 \text{ кВт/м}^2$, угол расходимости лучей $\alpha = \pm 1^\circ$, равномерность облученности $\pm 5\%$. Рабочая зона ИСИ — вертикальный цилиндр диаметром 6,1 м, облучаемый с торца (сверху).

Общий вид другого имитатора Солнца представлен на рис. 16.14, б. Установка обеспечила облученность до $2,8 \text{ кВт/м}^2$, угол расходимости лучей $\alpha = \pm 6^\circ$, равномерность облучения $\pm 15\%$.

Наряду с установками постоянного действия, в некоторых случаях успешно используется режим кратковременного, импульсного облучения, например, имитация «теплового барьера» при испытании материалов для ракетной техники в лабораторных или производственных условиях. Одна из таких облучательных установок создает внутри экспериментальной зоны за несколько секунд температуру примерно 1700°C при форсировании режима работы 225 трубчатых кварцевых ГЛН по 2,5 кВт каждая, расположенных внутри цилиндрического кожуха.

Использование ОСУ нагрева — концентраторов открывает хорошие перспективы при решении технологических задач сварки, пайки и плавки металлов. При этом важное значение имеет ряд особенностей такого

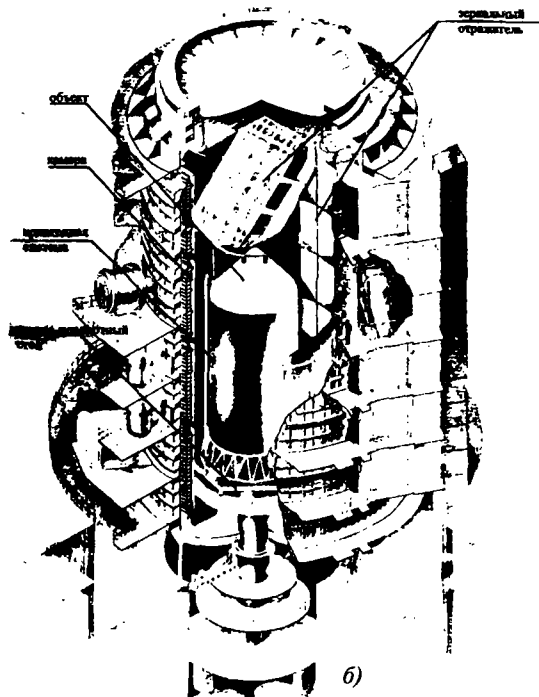
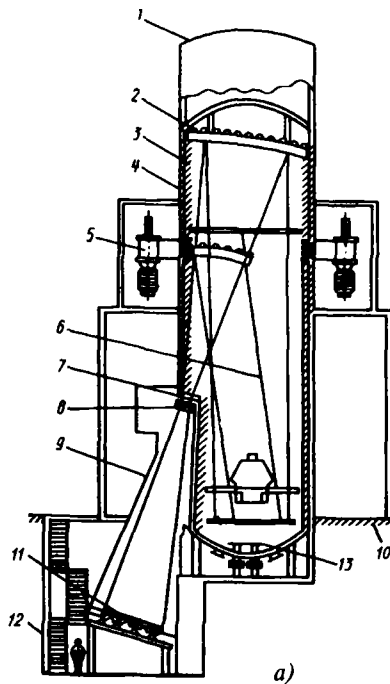


Рис. 16.14. Имитаторы Солнца: а — схема имитатора типа IPL (США): 1 — кожух, 2 — первичный коллимирующий отражатель, 3 — внутренняя оболочка, 4 — вакуумный баллон, 5 — диффузионный насос, 6 — солнечный пучок в испытательной зоне, 7 — преобразовательная линза, 8 — две интегрирующие линзы, 9 — солнечный экран, 10 — уровень Земли, 11 — комплект ксеноновых ламп, 12 — цокольный экран, 13 — вибростенд; б — общий вид имитатора Солнца (Россия) в камере вертикальных испытаний (КВИ)

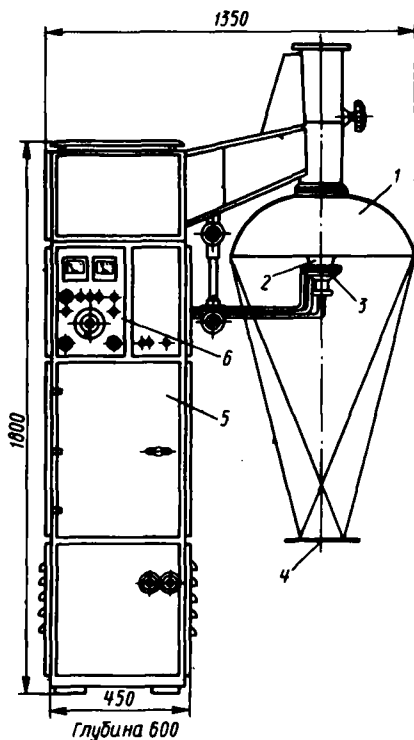


Рис. 16.15. Установка «Уран-1»: 1 — концентратор; 2 — источник излучения; 3 — контротражатель; 4 — нагреваемый объект; 5 — источник питания; 6 — шкаф управления

нагрева: бесконтактность, возможность термообработки независимо от электрических и магнитных свойств материала, отсутствие механического воздействия на нагреваемый объект и др.

В качестве примера представим установку «Уран-1» (рис. 16.15). Она состоит из источника излучения, концентратора, источника питания с регулированием мощности. Источником излучения служит ксеноновая лампа ДКСР-10000. Из 10 кВт потребляемой мощности 3 кВт составляют потери на электродах, 1,5 кВт — тепловые потери и 5,5 кВт излучаются, из них 10% — в УФ, 35% — в видимой и 55% — в ИК-части спектра. Концентратором в установке является стеклянный эллиптический отражатель диаметром 600 мм с межфокусным расстоянием 1000 мм и углом охвата 195°. Во втором фокусе зеркала мощность потока излучения составляет 2,5–3 кВт. Плотность потока излучения можно регулировать в пределах 150–1000 Вт/см² путем плавного изменения тока лампы.

В последнее время все чаще появляется информация о применении так называемого гибридного светолазерного метода сварки, при котором для нагрева материалов и последующей сварки или наплавки наряду с когерентным источником нагрева (лазером) используется энергия некогерентного излучения газоразрядного источника света, имеющего специальную оптическую фокусирующую систему, рис. 16.16.

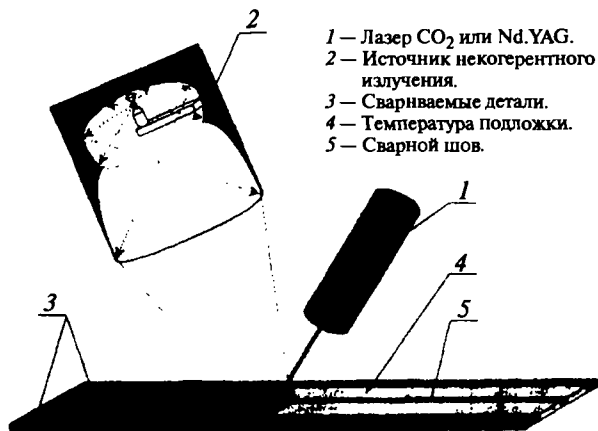


Рис. 16.16. Схема установки лазерной сварки при использовании Nd:YFG или CO₂ лазеров в комбинации с мощными некогерентными источниками энергии

Применение комбинированного воздействия гибридных источников тепла (лазерного и дугового) не только повышает качество обработки металлов, ускоряет технологические процессы, позволяет программировать температуру обработки по заданному термциклу и т.п., но и позволяет существенно снизить расход электроэнергии из-за неаддитивности совместного действия когерентного и некогерентного облучения [16.16].

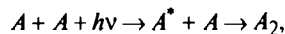
16.3. УСТАНОВКИ ФОТОХИМИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ [77, 84, 16.(1, 21–36)]

Процесс фотохимического действия излучения можно разделить на три стадии: 1) акт поглощения, при котором появляется молекула в электронно-возбужденном состоянии; 2) первичные фотохимические процессы и 3) вторичные или «темновые» реакции, протекающие с продуктами первичных процессов. Молекулы, находящиеся в электронно-возбужденном состоянии, могут претерпеть в дальнейшем одно из следующих фотохимических превращений:

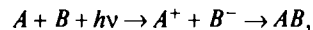
фотораспад:



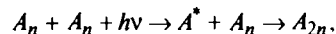
фотоприсоединение:



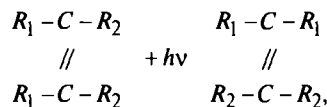
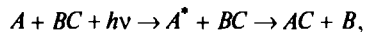
фотоперенос электрона:



фотополимеризацию:



фотоперегруппировку:



где A, B, C — атомы или молекулы простых химических соединений; AB, BC, AC — молекулы; A^+, B^- — ионы, R_1, R_2 — радикалы; A^* — молекулы или атомы в возбужденном состоянии.

Возможны фотохимические процессы, при которых возбужденная молекула (атом) передает энергию другой молекуле, претерпевающей в дальнейшем химические превращения (фотосенсибилизированные реакции).

Лишь в некоторых частных случаях конечная фотохимическая реакция приемника тождественна первичному фотопроцессу. В большинстве фотопроцессов образование продукта первичной фотореакции (возбужденные молекулы, ионы, радикалы и т.п.) лишь предшествует конечной реакции. При этом если за меру реакции приемника принять скорость образования конечного продукта, то (см. [16.22]):

$$R \approx \partial N_k / \partial t = k_1 (n^*)^m, \quad (16.9)$$

где N_k — концентрация конечного продукта реакции; n^* — концентрация продукта первичной фотореакции; m — порядок реакции; k_1 — постоянная скорости образования конечного продукта реакции.

При этом концентрация продукта первичного фотопроцесса может быть найдена из уравнения.

$$\frac{\partial n}{\partial t} = \frac{1}{n_e} \sum_{i=1}^j \iint L_{e\lambda} \lambda a_i d\lambda d\omega - k_2 n^* - k_1 m (n^*)^m, \quad (16.10)$$

где $L_{e\lambda}(\omega, t)$ — спектральная плотность энергетической яркости поля ОИ в зоне протекания фотореакции, зависящая от направления в пределах телесного угла ω и времени t ; a_i — коэффициент поглощения излучения в процессе первичной фотореакции с образованием n^* для i -го приемника, k_2 — постоянная скорости процесса дезактивации.

Решая совместно (16.9) и (16.10), можно, в принципе, получить N_k .

В том случае, когда a_i, k_2 и k_1 не зависят от условий облучения, мы имеем дело с нефотоадаптирующимися приемниками ОИ. К таковым относятся фотохимические приемники ОИ.

Для нефотоадаптирующегося приемника оптические характеристики (молекулярный коэффициент поглощения, концентрация молекул, толщина оптического слоя) позволяют охарактеризовать приемник излучения.

Для этих приемников в пределах линейной зависимости N_k от облученности (энергетической яркости) возможна характеристика приемника типа:

$$N_k = k_1 \int g(\lambda) \Phi_{e\lambda}(\lambda) d\lambda, \quad (16.11)$$

где $g(\lambda)$ — спектральная чувствительность нефотоадаптирующегося приемника, $\Phi_{e\lambda}$ — поглощенный поток излучения.

В случае, когда заранее не известно, какое возбужденное состояние молекулы (атома) предшествует последующим вторичным реакциям, спектральную чувствительность нефотоадаптирующегося приемника $g(\lambda)$ можно однозначно получить из световых кривых $N_k(\lambda) = f(\Phi_{e\lambda})$, выявленных в специальных экспериментах для каждой λ , или в пределах узких участков $\Delta\lambda$. Возможно также использование специально разработанных квазимонохроматических источников света [77].

ОСУ фотохимического действия подразделяются на две большие группы: для объемных процессов и поверхностных процессов (толщина приемника много меньше его длины и ширины). На рис. 16.17 представлена классификация рассматриваемых ОСУ.

16.3.1. Установки объемного фотохимического действия [77, 84, 16.(23–29)]

Объемные фотохимические процессы охватывают производство по получению (синтезу) химических продуктов, а также утилизацию отходов производств. Среди них можно назвать фотохимические методы мелко-масштабного синтеза (витамины, лекарственные препараты, душистые вещества, полимеры и др.) и крупнотоннажные производства органических соединений методом фотогалогенирования, сульфокисления, фотонитрирования и др. Примером крупнотоннажного производства может служить фотонитрирование циклогексана, которое является ключевой стадией для промышленного получения ϵ -капролактама, используемого при производстве нейлона. В Японии такое производство общей мощностью 160000 т/год организовано на двух заводах фирмы Toyo Industries Inc.. Крупнотоннажное фотохимическое производство алкансульфонатов (50000 т/год) имеется на фирме Farbwerke Hoechst (Германия).

Самое большое в мире производство витамина D₃ фотохимическим способом осуществляется фирмой Solvay Duphar в Нидерландах с РЛВД мощностью 40 кВт.

Облучательные светотехнические установки фотохимического действия

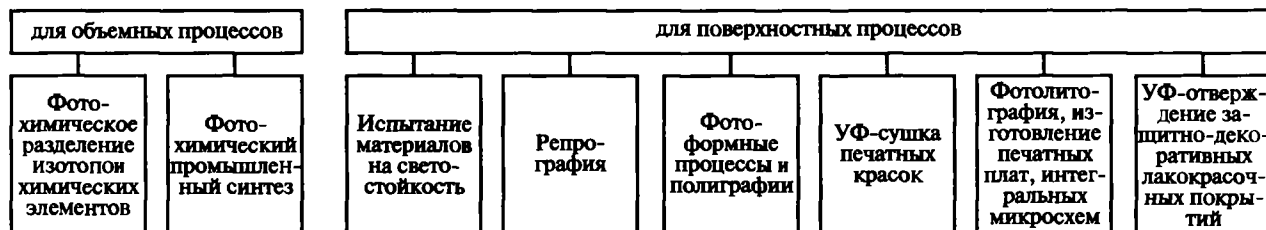


Рис. 16.17. Две группы ОСУ фотохимического действия

Так как в фотохимическом производстве энергия излучения является одним из основных технологических параметров, его рентабельность во многом определяется экономичной генерацией излучения нужной области спектра, его рациональным распределением и преобразованием в реакционной зоне.

На рис. 16.18 представлена схема построения облучательных систем в фотохимических процессах. Конструкция облучателей для объемных фотохимических процессов (рис. 16.19) предусматривает работу лампы в жидкой или газообразной среде и охлаждение лампы для исключения влияния ее тепловыделения.

Расчет установки объемного фотохимического действия с источниками излучения погружного типа предусматривает определение оптимального расстояния между источниками, при котором обеспечивалось бы наиболее эффективное использование потока излучения.

Оптимальную толщину реакционного слоя и концентрацию поглощающего агента можно определить

путем решения уравнения баланса активного агента в растворе, непрерывно поступающего в реактор и одновременно подвергающегося действию излучения, что приводит к диссоциации его молекул:

$$\alpha E_e(1 - e^{-kcx}) = \gamma(1 - cv / c_\infty), \quad (16.12)$$

где γ — коэффициент, характеризующий качество барботирующего устройства, c — концентрация активного поглощающего агента в растворе в данный момент времени; c_∞ — предельная концентрация активного поглощающего агента в растворе (зависит от температуры раствора); v — скорость подачи поглощающего агента; x — толщина реакционного слоя; α — постоянная скорости образования конечного продукта; k — показатель поглощения агента.

Решение данного уравнения графическим методом дает возможность определить равновесную концентрацию c_p , которая установится в реакторе при заданных внешних условиях, а также КПД использования потока излучения в зависимости от толщины реакционного слоя, что позволяет выбрать оптимальное расстояние между облучателями.

Потребное количество облучателей N определяют по заданному объему производства Q и энергоёмкости процесса W , зависящей от полезной облученности:

$$N = QW / P\tau, \quad (16.13)$$

где P — мощность облучателя, кВт; τ — время использования облучения в год; W — удельный расход электроэнергии на единицу конечного продукта, кВт·ч/кг.

Как правило, в промышленных установках фотохимического синтеза используются мощные ртутные и металлогалогенные лампы высокого давления. Так, при производстве капролактама применяются лампы мощностью до 50 кВт. В табл. 16.7 даны некоторые типичные характеристики источников излучения погружного типа для фотохимических процессов.

Крупнотоннажное химическое производство предъявляет повышенные требования к эффективности фотохимических процессов, поскольку энергетические расходы здесь могут составлять значительную часть его полной стоимости. Наиболее эффективными являются при этом ценные фотохимические реакции, к числу которых относятся, например, сульфохлорирование парафинов, фотохлорирование бензола.

Реакция фотонитрирования хлористым нитрозилом циклоалканов — углеводородов с числом углеродных атомов от 4 до 12 — лежит в основе фотохимического способа получения лактамов (капролактама, додекалактама и др.):

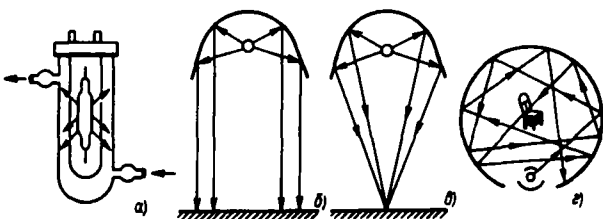


Рис. 16.18. Схемы построения облучательных систем: а — погружного типа; б — распределяющая излучение по поверхности; в — концентрирующая излучение по поверхности; г — распределяющая излучение в объеме

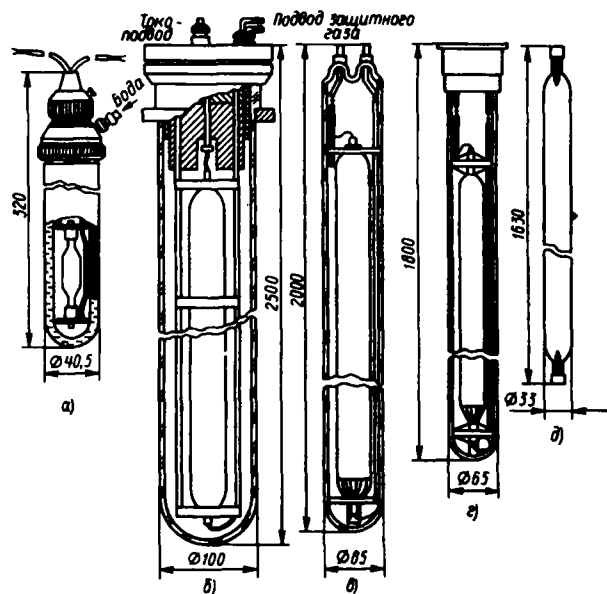


Рис. 16.19. Облучатели погружного типа для объемных фотохимических процессов: а — облучатель для препаративной фотохимии разборного типа; б — промышленный облучатель разборного типа; в, г — промышленные облучатели запаянного типа; д — ртутно-кварцевая горелка

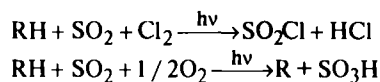
Фотонитрирование		Изомеризация	
	$h\nu$		
$(CH_2)_n$	$CH \rightarrow (CH_2)_n$	$C=NOH$	CO
	$NOCl, NCl$	$NCl \rightarrow (CH_2)_n$	NH
Циклоалкан	Оксим		Лактам

Типы источников излучения для объемных фотохимических процессов

Тип источника излучения	Мощность, Вт	Напряжение питания, В	Спектральный диапазон излучения, нм	Габаритная длина, мм	Область применения
РЛВД	230–1000	220	240–380	160–230	Фотохимия препаративная
РЛВД	2500–40000	1500–3000	350–450	1200–1800	Фотосинтез промышленный
МГЛ	10000–50000	2500–3000	350–600	1300–2300	—>—

Квантовый выход реакции фотонитрирования циклоалканов невелик (около 1), в связи с чем особенно важно создание эффективного источника излучения.

Процессы сульфохлорирования и сульфокисления парафинов используются в производстве алкилсульфонатов, на основе которых выпускаются биоразлагаемые мощные средства, латексные каучуки и эмульгаторы. Под действием излучения происходит возбуждение молекулы сернистого ангидрида с последующим образованием алкильного радикала:



Фотохимическое введение хлора в бензол применяется в крупномасштабном производстве γ — гексахлорциклогексана (линдана, сильного инсектицида), известен процесс фотосинтеза метилфенилдихлорсилана (кремнийорганического соединения) из хлорбензола.

Что касается тонкого химического синтеза, то использование света совсем немного удорожает производство, при этом не существует никаких особых ограничений на применение фотохимических процессов. В качестве продуктов тонкого органического синтеза можно привести витамин А (пригодный в области фармацевтики и кормовых средств) и D₃ (добавляемый в пищу животным), простагландины (гормоны, применяющиеся в химиотерапии), оксиды розового масла (используемые в парфюмерии) и др.

Синтез витамина D₃ является одним из хорошо изученных и известных процессов получения лекарственных препаратов в промышленном масштабе. Исходным веществом фотохимического синтеза витамина D₃ является 7-дегидрохолестерин. Под действием коротковолнового УФ-излучения происходит разрыв кольца — образуется сначала превитамин D₃. При нагревании до 50–80° из него при смещении водорода получается термодинамически стабильный витамин D₃.

В основе синтеза лекарственного препарата α -триклоновой кислоты лежит реакция фотодимеризации коричной кислоты. Эта реакция имеет большое практическое значение для получения важного медицинского препарата — аналога яда «кураре», обладающего способностью парализовывать мышечную деятельность и применяющегося в хирургической практике.

Объемные фотохимические процессы используются также для обеззараживания воды (см. 16.4.4) и для фотохимической очистки воздуха от промышленных выбросов с

использованием фотокаталитических процессов на аэрозолях.

Следует заметить, что по сравнению с традиционными химическими методами, фотохимические методы синтеза имеют более ограниченное применение: они требуют дорогостоящих предварительных исследований и создания специальной аппаратуры; применение целесообразно только в тех случаях, когда их эффективность высока. Тем не менее симптоматично, что после долгого перерыва в развитие экспериментальной базы радиационно-химических исследований вновь вкладываются значительные средства. Объемы применения радиационно-химических технологий в большинстве стран снова возрастают, причем они все чаще рассматриваются в качестве «экологически предпочтительных» (по сравнению с традиционными технологиями).

16.3.2. Установки для поверхностных фотохимических процессов [16.(30–36)]

Поверхностный фотохимический процесс происходит в тонком слое у поверхности среды, например УФ-отверждение слоя лакокрасочного покрытия, образование скрытого фотографического изображения в светочувствительном слое и т.п. Последний процесс применяется в фотографии, репрографии, фотолитографии, полиграфии, в оптической и информационной технологиях. В средствах репрографии используются также внутренний фотоэффект (электрофотография) и ИК-нагрев (термография). Спектральная чувствительность указанных поверхностных фотохимических процессов максимальна в области ближнего УФ- и коротковолнового видимого излучения. В табл. 16.8 представлены некоторые характеристики наиболее распространенных в настоящее время процессов.

Большинство процессов фотополимеризации имеет нелинейную зависимость скорости фотохимического процесса от облученности. Так, в процессах фотоструктурирования (например, в процессе сшивания циклокаучука при изготовлении фоторезистов) показатель нелинейности может достигать нескольких единиц и даже десятков.

Источники излучения для указанных процессов — это РЛВД и МГЛ, излучающие в синеволетовой и УФ-областях спектра. В качестве добавок в МГЛ используются галогениды галлия, свинца, индия, железа, кобальта. Конструктивно лампы состоят либо из самостоятельной горелки (см. раздел 3), либо из горелки, смонтированной в колбе из термостойкого стекла. В табл. 16.9 и на рис. 16.20–16.22 представлены типы

Некоторые характеристики приемников излучения в поверхностных фотохимических процессах

Тип процесса	Светочувствительный материал	Область спектр. чувствительности (макс.), нм	Область применения
Диазография	Диазотипные материалы Светочувствительные полимеры (позитивные) Светочувствительные полимеры (негативные)	300–500 (370–420) (420) (300)	Репрография (копирование) Фотоформные процессы в полиграфии
Фотолитография, фотофрезерование	Фоторезисты (фотополимеризующиеся, фотосшивающиеся, фотодеструктурирующие полимерные слои)	300–420 300–400	Изготовление печатных плат, интегральных схем То же
Стереолитография	Фотополимеризующиеся слои	300–400	Изготовление трехмерных пластмассовых изделий с последующей сборкой
Оптическая фототехнология	Фотополимеризующиеся слои Светочувствительные материалы	300–400	Изготовление пластиковых линз, голографических дифракционных решеток, видео- и компакт-дисков
Информационная технология	Светочувствительные регистрирующие среды	400–680	Устройства записи, отображения и хранения информации Оптические диски
Фотополимеризация (в промышленности и медицинской фотохимии)	Светочувствительные полимеры	300–400 330–450 300–400	УФ-отверждение защитно-декоративных покрытий, печатных красок. УФ-лакирование бумаги УФ-отверждение покрытий оболочек кабеля Пломбирование в стоматологии

Таблица 16.9

Типы и основные параметры источников излучения для поверхностных фотохимических процессов

Тип источника излучения	Мощность, Вт	Спектральный диапазон излучения, нм	Габаритная длина, мм	Область применения
ЛЛ	15–80	300–450	450–1200	Светокопирование, электрография
РЛВД	230–12000	240–400	190–1560	УФ-сушка лаков и красок УФ-маркировка
МГЛ (ртутно-галлиевые)	400–3000	350–450	160–230	Картография, фотоформные процессы в полиграфии
МГЛ (с йодидами свинца, железа, кобальта)	1000–2000	300–340	230	Фотолитография
СВЧ б/эл	3000	300–340	257	Производство опτικο-волоконных кабелей

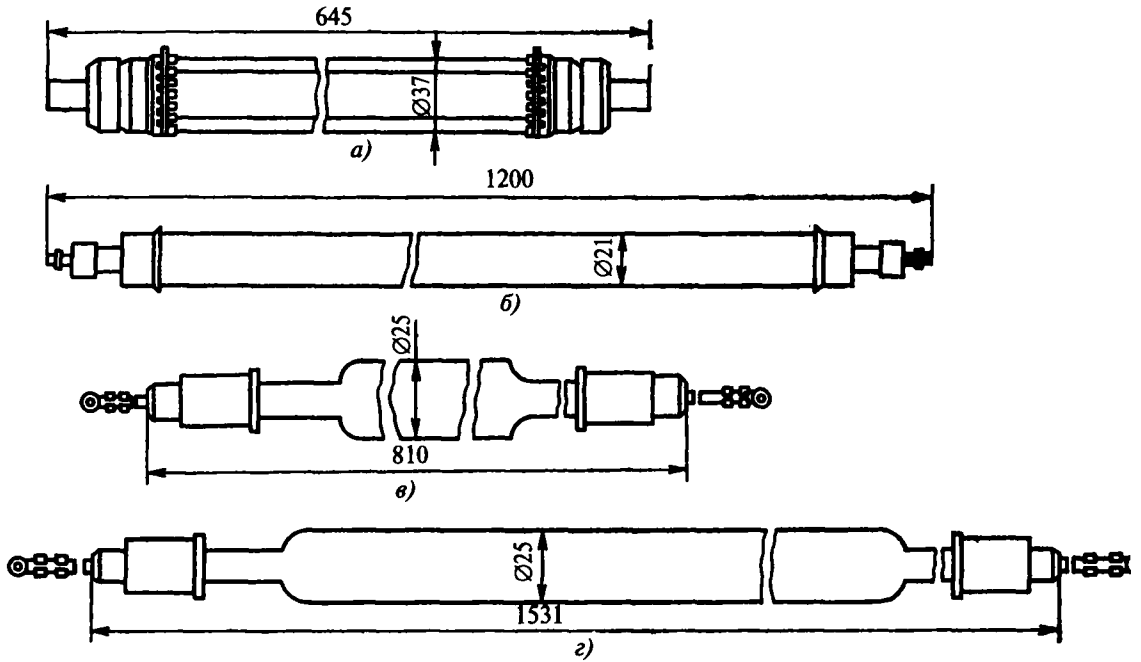


Рис. 16.20. Ртутные лампы высокого давления для светокопировальных аппаратов и УФ-отверждения: а — ДРТ 1000-5; б — ДРТ 2500; в — ДРТ 6000-1; г — ДРТ 12000-1

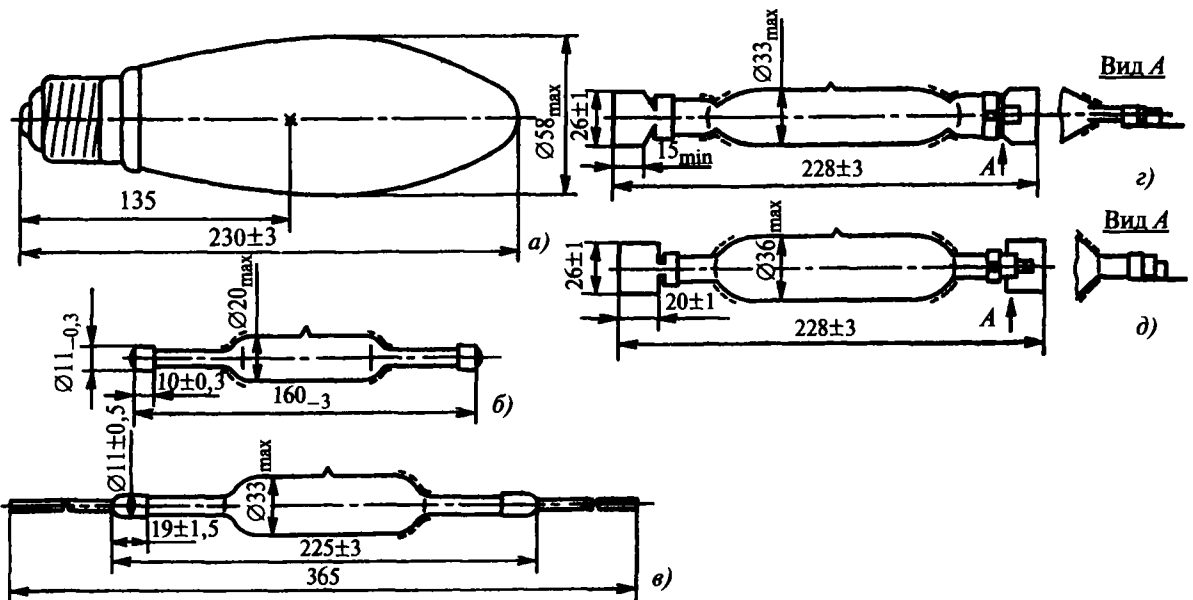


Рис. 16.21. Металлогалогенные лампы для репрографии, полиграфии, фотолитографии: а — ДРИ 250-2; б — ДРИ 400; в — ДРИ 1000; г — ДРИ 2000; д — ДРИ 3000 и ДРИ 3000-1

источников излучения для поверхностных фотохимических процессов.

В таких репрографических процессах, как ксерография или термография, применяются трубчатые и миниатюрные ЛН с галогенным циклом типов КГ и КГМ. В зависимости от $T_{\text{цв}}$ максимум спектральной плотно-

сти излучения у них сдвинут в сторону меньших или больших длин волн относительно $\lambda = 1000$ нм (см. раздел 3).

Специальные ЛЛ применяются в репрографии и установках для изготовления светокопий на диазобумаге, а также в электрофотографических аппаратах для изго-

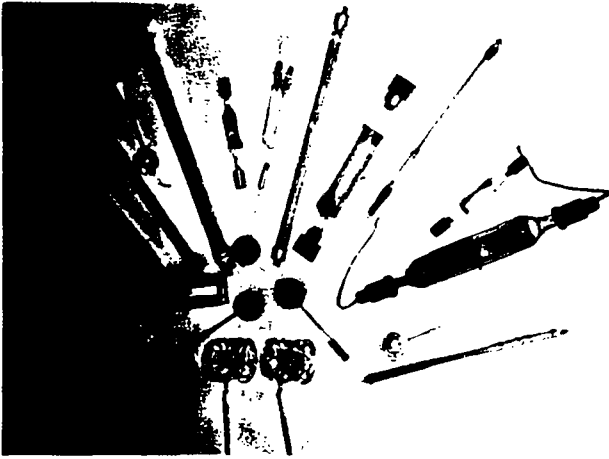


Рис. 16.22. Типовые источники излучения для поверхностных технологических процессов

товления ксерокопий на простой бумаге. В полиграфии ЛЛ применяются для изготовления печатных форм (табл. 16.9).

Широкое распространение в полиграфии для копировальных рам и контактно-копировальных станков получили МГЛ с добавкой йодида галлия. Облучатель с лампой может быть либо подвешен над копировальной рамой, либо смонтирован на подвижном штативе для работы с поворотной рамой (рис. 16.23).

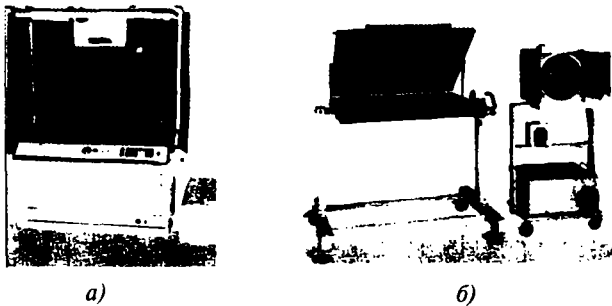


Рис. 16.23. Копировальные рамы для офсетной печати: а — рама с автоматически открывающимся и закрывающимся занавесом и сушильным шкафом для форм; б — поворотная рама оснащена осветителем различной мощности, смонтированным на подвижном штативе

Фотолитография и фотофрезерование представляют собой виды фотохимического способа печати. Фотолитография, позволяющая получить детали сложной формы и высокой точности, нашла широкое применение в производстве полупроводниковых приборов и интегральных схем, печатных плат, шкал, сеток и других изделий с минимальными размерами элементов до 1 мкм. Спектральный состав источников излучения для фотолитографии должен быть согласован со спектральной чувствительностью фоторезистов, светочувствительных диазо- и полимерных смол, используемых при производстве фотошаблонов и получении защитных микро-рельефов. Наиболее эффективны УФ МГЛ (ртутно-гал-

лиевые, ртутно-свинцовые, ртутно-железо-кобальтовые). Спектральное распределение потока излучения МГЛ для фотолитографии и полиграфии представлены на рис. 16.24.

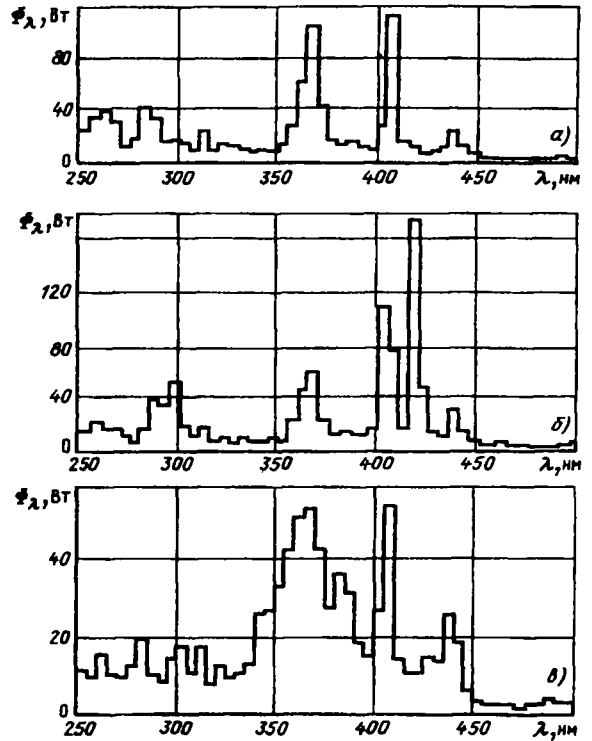


Рис. 16.24. Спектральное распределение потока излучения МГЛ для фотолитографии и полиграфии: а — ДРТИ 3000; б — ДРТИ 3000-1; в — ДРТИ 2000

Примером фотолитографических установок являются установки двухстороннего экспонирования печатных плат ТЭМП-1 (рис. 16.25) и ТЭМП-2, в которых

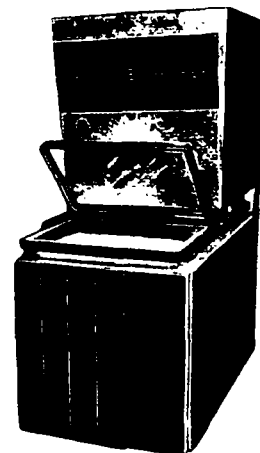


Рис. 16.25. Установка двухстороннего экспонирования ТЭМП-1

Таблица 16.10

Параметры облучателей УФ-отверждения (см. рис. 16.26)

Параметр, ед. изм.	Тип облучателя	
	РВП101-6000-002УХЛ4	РВП102-12000-002УХЛ4
Габаритная длина, L , мм	810	1557
Ширина, B , мм	230	230
Высота, H , мм	80	80
Расход воздуха на один облучатель, м ³ /ч	300	600
Масса, кг, не более	4,4	8
Степень защиты	IP20	IP20

используются УФ МГЛ мощностью 3000 Вт и 2000 Вт, (типа ДРТИ 3000 и ДРТИ 2000), работающие в двух режимах: дежурном (половина мощности) и номинальном (на время экспонирования).

В последние годы в микрофотолитографии высоко-го разрешения начали использоваться СВЧ-источники излучения с компактным телом излучения мощностью до 1,5 кВт и лазеры.

Отверждение фотополимеров под действием УФ-излучения (УФ-отверждение) используется для изготовления защитно-декоративных лакокрасочных и эмалевых покрытий на дереве, бумаге, стекле в мебельной, деревообрабатывающей, радиотехнической, кабельной (УФ-отверждение покрытий волоконной оптики) промышленности; для УФ-сушки печатных красок на бумаге, жести, поливинилхлоридных покрытиях в полиграфической, пищевой и легкой промышленности, для формирования деталей из стеклопластиков и т.д. Широкое распространение процессы УФ-отверждения получили также в производстве печатных плат: для отверждения под действием УФ-излучения лака-ограничителя зоны пайки, обеспечивающего четкость контуров печатного изображения и отсутствие просачивания; для сушки маркировочных красок; для УФ-отверждения изоляционных лаков на тончайших проводах и элементах, которые должны быть хорошо защищены видимой изоляцией; для УФ-отверждения прозрачных клеев при монтаже печатных плат, который производится не соединением проводов, а склеиванием мелких компонентов, отверждаемых УФ-излучением, в производстве CD/DVD.

Фотохимическое УФ-отверждение обладает рядом преимуществ перед традиционными конвективной и термической сушкой. К ним относятся интенсификация процессов отделки (сокращение продолжительности процесса сушки в 100 и более раз), снижение энергетических и капитальных затрат, сокращение числа трудоемких операций (например, шлифования), улучшение экологии и условий труда.

Для целей УФ-отверждения выпускаются комплекты светотехнического оборудования, состоящие из облучателей РВП01-6000-002УХЛ4, РВП02-12000-002УХЛ4 (табл. 16.10) с лампами мощностью 6 и 12 кВт (рис. 16.26 и 16.27). В комплект облучателей входят специальные высоковольтные ПРА типа 1К6000Н26-001МУХЛ4. Лампы имеют удельную мощность в пределах 80–100 Вт/см, при этом типоразмеры ламп согласованы с размерами облучаемых поверхностей, например, с шириной мебельных щитов или шириной типографской бумаги.

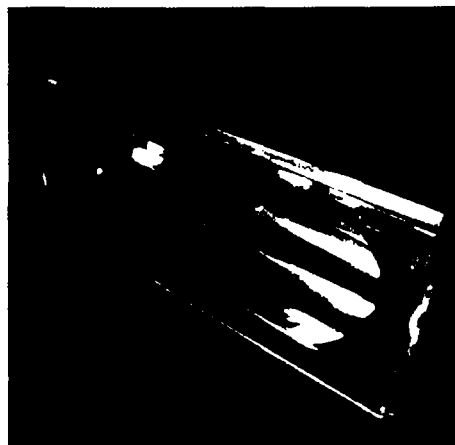


Рис. 16.26. Облучатель РВП02-12000-001 (общий вид)

Указанными облучателями укомплектованы камеры УФ-сушки в автоматических линиях по производству мебельных щитов с нанесенным рисунком текстуры, имитирующим ценные породы, а именно камеры МИЛ-2 (рис. 16.28), Суперфиши, Лигнакон. УФ-отверждение может быть ускорено при использовании РЛВД в импульсном (пульсирующем) режиме горения.

Облучательное оборудование УФ-отверждения с РЛВД мощностью от 2 до 15 кВт используется при изготовлении этикеток и финальной отделки печатной продукции в полиграфии. На рис. 16.29 представлено устройство финальной УФ-сушки печатных красок и лакирования бумаги, устанавливаемое на печатные полиграфические машины. Отвод тепла от отражателя осуществляется с помощью водяного охлаждения, но существуют модели с воздушным охлаждением.

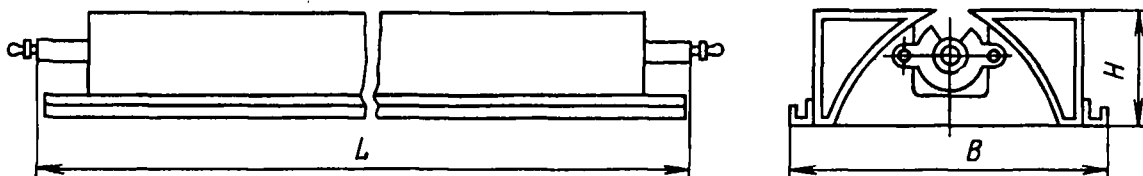


Рис. 16.27. Облучатели серии РВП для УФ-отверждения лакокрасочных покрытий и оттисков

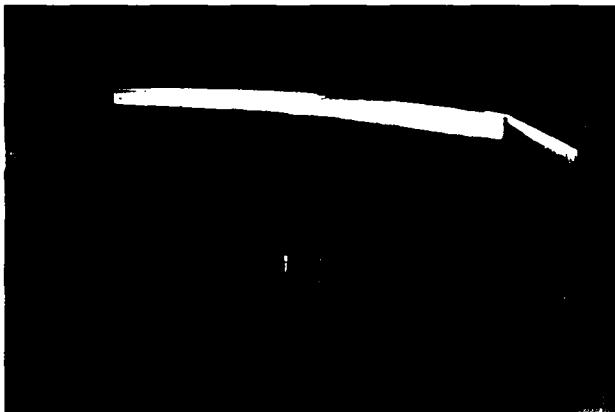


Рис. 16.28. Линия отделки мебельных щитов МИЛ-2

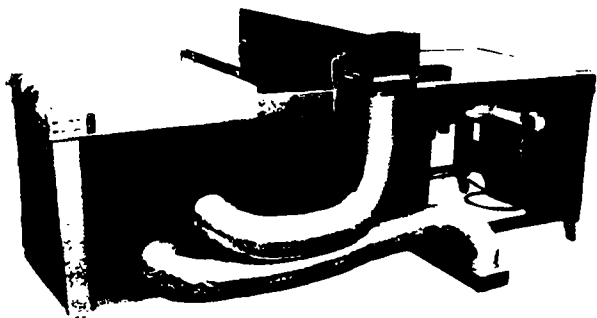


Рис. 16.29. Установка лакирования бумаги в полиграфии

В производстве оптико-волоконных кабелей используются безэлектродные лампы РЛВД и МГЛ. Система облучения состоит из нескольких вертикально расположенных эллипсоцилиндрических зеркальных отражателей с лампами. Каждая лампа установлена на фокальной линии отражателей, а волоконный световод — на второй фокальной линии (рис. 16.30).

Ручные УФ-облучатели находят широкое применение в промышленности для различных целей: закрепления проводов и электронных приборов при монтаже, крепления линз в оптических устройствах, сращивания волоконных световодов и т.д.

К числу фотохимических процессов может быть отнесено старение и обесцвечивание цветных тканей и других материалов под действием света [16.35]. Эти процессы вызывают особый интерес из-за высоких уровней облученности, применяемых в настоящее время в торговых залах, музеях и т.п. Облученность и время экспозиции являются двумя наиболее важными факторами, однако спектральное распределение источника излучения также влияет на скорость процесса. Незначительное присутствие УФ вызывает очень быстрое старение материала и другие формы деструкции. Большинство источников содержит УФА-излучение, и эта спектральная область производит большее старение на единицу энергии излучения, чем равное количество излучения в видимой области. Применение фильтров,

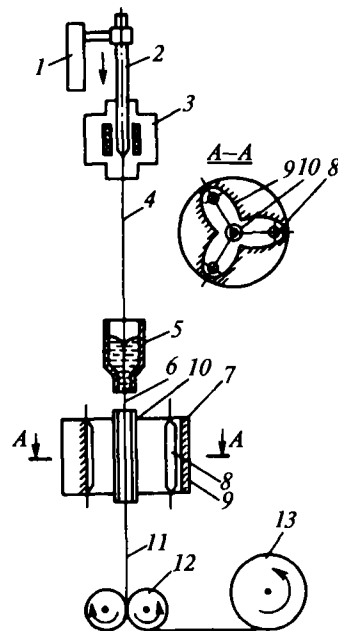


Рис. 16.30. Упрощенная схема установки для вытяжки волоконных световодов и нанесения на них первичных защитных покрытий: 1 — подающий механизм; 2 — заготовка; 3 — графитовая печь; 4 — кварцевое стекловолокно; 5 — фильтрующее устройство; 6 — кварцевое волокно с нанесенным покрытием; 7 — УФ-отражатель; 8 — лампа; 9 — эллипсоцилиндрический отражатель; 10 — кварцевая трубка; 11 — волокно с отвержденным покрытием; 12 — тянущие ролики; 13 — барабан-накопитель

поглощающих УФА, но пропускающих видимое излучение, не решает полностью вопроса, т.к. процесс старения происходит под действием излучения короче 600 нм. Дневной естественный свет производит большее старение, чем излучение от ЛН и ЛЛ, поскольку имеет большую долю излучения в коротковолновой области спектра.

Бактерицидные лампы с $\lambda = 253,7$ нм (БЛ) иногда используются в ускоренных испытаниях на светостойкость, хотя не выведено соотношение между процессом старения под действием БЛ и солнечного света или обычно применяемых искусственных источников света. Старение появляется благодаря фотохимическому процессу с участием кислорода и значительно уменьшается в вакууме. Влажность и высокая температура также ускоряют процесс старения.

В некоторых случаях к осветительной установке предъявляются дополнительные требования, связанные со специфическим воздействием ОИ. Примером таких установок являются экспозиционные музейные ОУ, в которых вводятся ограничения по облученности музейных объектов и спектральному составу облучения. Так, в [16.36] зависимость деструктивного (вредящего) действия излучения от длины волны представлена в виде:

$$S(\lambda)_{\text{вд}} = e^{b(300-\lambda)}. \quad (16.14)$$

Таблица 16.11 (а)

Пороговые дозы облучения

Материал	Пороговая доза облученности, Вт·ч/м ²	Коэффициент <i>b</i> в формуле (16.14)
Газетная бумага	5	0,038
Акварельные краски на бумаге	175	0,012
Текстиль	290	0,012
Масляные краски на холсте	850	0,012
Бумага высших сортов	1200	0,012

Таблица 16.11 (б)

Условия освещения музейных экспонатов

Характеристика объектов освещения	Требования к освещению
Объекты, малочувствительные к свету (металл, керамика, минералы, стекло, эмаль, скульптура, ювелирные изделия)	Освещенность до 300 лк, лишь в исключительных случаях выше
Большинство музейных экспонатов (масляная живопись, темпера, натуральная кожа, лаки, дерево, рог, слоновая кость)	Рекомендуемая освещенность — 150–180 лк, максимум — 300 лк
Особо светочувствительные экспонаты (акварель, текстиль, ковры, костюмы, графика, газеты, почтовые марки, гравюры, манускрипты, крашенная кожа, настенная живопись, объекты естественной истории)	Максимальная освещенность — 50 лк, по возможности ниже, строгое соблюдение времени экспозиции

где $b=0,012$ — для акварели, текстиля, масляной живописи на полотне, бумаги высших сортов; $b=0,038$ — для газетной бумаги.

Пороговые дозы облучения для различных материалов представлены в табл. 16.11 (а), а рекомендуемые уровни освещения в табл. 16.11 (б).

Зная спектральное распределение энергии излучения светильников и учитывая выражение (16.14) и данные табл. 16.11 (а, б), можно определить максимальное время экспозиции музейных экспонатов. Снижение этого времени должно проводиться путем фильтрации излучения, снижения освещенности, подбора более эффективных ИС и светильников.

Также при проектировании освещения для музеев основное внимание должно быть уделено защите экспонатов от вредящего действия излучения, т.е. ослаблению коротковолнового излучения.

16.4. УСТАНОВКИ ФОТОБИОЛОГИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ [51, 52, 77, 84, 86, 16.(22, 37–99)]

Облучательные установки фотобиологического действия предназначены для воздействия на биологические системы различной сложности, начиная от микроорганизмов и кончая человеческим организмом. Фотобиологические реакции, независимо от того, в каком объекте они протекают, разделяются на две группы: функционально-физиологические и деструктивно-модифицирующие.

Фотобиологический приемник излучения относится к числу фотоадаптирующихся приемников, т.е. таких, которые «приспосабливаются» к световым условиям. Более того, это свойство адаптации к изменяющимся внешним условиям является самой характерной, самой важной особенностью этих приемников,

позволяющих фотобиологическому объекту выжить и репродуцировать. Примером «неоднозначности» воздействия излучения на фотобиологический приемник являются процессы фотореактивации и фотопротекции генетического аппарата живых клеток. В этих процессах интенсивность первичного деструктивного воздействия зависит от интенсивности и времени последующего или предшествовавшего облучения приемника более длинноволновым излучением. Явление фотореактивации характерно, например, для эритемного действия: если вслед за «эритемным» облучением кожи подвергнуть ее облучению с длиной волны 315–500 нм, то можно наблюдать уменьшение эритемного эффекта.

Поиск некоей функции, выражающей зависимость реакции фотоадаптирующегося приемника излучения от параметров светового поля — это задача специфическая для отдельных видов приемника. Однако следует иметь в виду некоторые общие их особенности.

Во-первых, реакция такого приемника начинается с некоторого «порогового» воздействия. Во-вторых, на кривых зависимости поведения фотоадаптирующегося приемника от уровня воздействия имеется участок роста, его замедление и плато (максимум). В-третьих, в реакции такого приемника рано или поздно наступает не только «насыщение», но и замедление, «спад» реакции от избытка воздействия. Нам представляется, что такой характер реакции живого организма является едва ли не универсальным (перегрев, переоблучение и т.п.), что в еще большей степени укрепляет в мысли о реальной возможности поиска указанной аппроксимирующей функции. Такие кривые хорошо аппроксимируются функцией:

$$N_k = a(E_e - E_{e0})^{-b} [1 - e^{-c(E_e - E_{e0})}], \quad (16.15)$$

Облучательные светотехнические установки фотобиологического действия

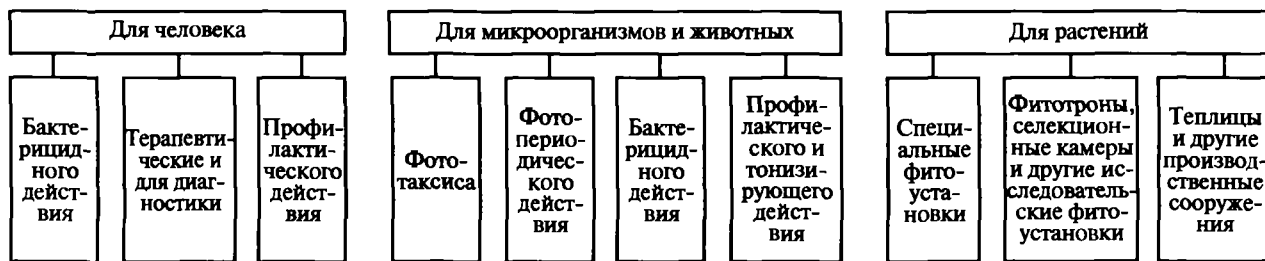


Рис. 16.31. Виды ОСУ фотобиологического действия

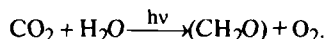
где E_e – облученность приемника, E_{e0} – пороговое значение облученности. При этом коэффициенты a , b , c , а также E_e являются функцией спектрального состава излучения.

В каждом конкретном случае исследователи и инженеры должны накапливать и использовать полученные знания для оптимальной реализации ОСУ.

Здесь рассмотрены три обобщенные группы ОСУ: установки для растений (светокультура растений), установки для животных и микроорганизмов, приборы и установки для человека (рис. 16.31).

16.4.1. Установки для растений [77, 84, 86, 16.(37–54)]

Фотосинтез является наиболее распространенной в природе фотобиологической реакцией. При фотосинтезе световая энергия трансформируется в химическую энергию органических молекул растений и микроорганизмов путем восстановления углекислого газа до углеводов, причем в большинстве случаев источник водорода при синтезе органических молекул служит вода:



Выделяющийся в результате фотолиза воды кислород – основной, если не единственный, фактор формирования земной атмосферы и поддержания в ней кислородного баланса. Фотосинтез начинается с

поглощения кванта света специализированными хромосомами, которые можно подразделить на три основные группы: хлорофиллы, каротиноиды и фикобилины. Комбинации пигментов в различных растениях и простейших организмах весьма различны. Однако во всех случаях обязательно присутствие хлорофилла (или бактериохлорофилла) – основного пигмента фотосинтезирующего организма, через который реализуется первичное фотохимическое действие света.

Облучательные установки для высших растений применяются в оранжереях и тепличных комбинатах, при ускоренном выведении новых сортов сельскохозяйственных культур и размножении ценного посевного материала в селекционных центрах, а также при теоретических исследованиях в области физиологии растений, биофизики, генетики.

В табл. 16.12 представлены основные области применения ОИ в растениеводстве.

В условиях светокультуры энергия ОИ, наряду с питанием, наличием диоксида углерода, влажностью и температурой воздуха является важнейшим фактором, оказывающим влияние на рост и развитие растений. Наиболее важны четыре основные характеристики излучения: спектральный состав, облученность, продолжительность суточного облучения (фотопериод) и пространственная структура светового поля.

Таблица 16.12

Основные области применения ОИ в растениеводстве

Виды фотоустановок, сооружения в светокультуре растений	Области применения
Теплицы и другие производственные сооружения	Фотосинтез (дополнительное облучение) Фотопериодизм (регулирование продолжительности светового дня) Облучение при отсутствии естественного света Облучение одноклеточных водорослей
Фитотроны, селекционные камеры, стеллажи и другие исследовательские установки	Селекционно-генетические исследования Физиологические исследования Фитопатологические исследования Исследования фотомутагенеза Фоторегуляция метаболизма Облучение культуры тканей
Специальные установки	Облучение семян, плодов Облучение растений в замкнутых экологических системах Фотоводородные установки

По современным представлениям, диапазон оптического излучения, имеющий у растений основное субстратно-регуляторное значение, находится в границах 280–750 нм. Внутри этих границ выделены спектральные диапазоны со следующими физиологически характеристиками:

- 280–320 нм — оказывает, как правило, вредное воздействие на рост и развитие растений;
- 320–400 нм — играет регуляторную роль в развитии растений, поэтому целесообразно присутствие этого излучения в небольших количествах (несколько процентов) в общем лучистом потоке;
- 400–500 нм («синий») — обладает как субстратным, так и регуляторным воздействием, должен входить в состав спектра фотосинтетически активной радиации (ФАР) для выращивания растений;
- 500–600 нм («зеленый») — не является абсолютно необходимым для обеспечения фотосинтеза растений, но благодаря своей высокой проникающей способности полезен для обеспечения фотосинтеза оптически плотных листьев и густых посевов растений;
- 600–700 нм («красный») — обладает ярко выраженным субстратным и регуляторным воздействием. Должен входить в состав общего излучения для обеспечения высокого фотосинтеза. Но монохроматический (однородный) красный свет может приводить к аномальному росту и развитию, а в ряде случаев и к гибели некоторых видов растений;
- 700–750 нм («дальний красный») — обладает ярко выраженным регуляторным действием. В небольших количествах (несколько процентов) должен входить в состав общего излучения;
- более 1000 нм — только тепловое воздействие, учитывающееся при проектировании ОСУ.

Фитофотометрическая оценка излучения основана либо на энергетической, либо на эффективной системе величин, оценивающей излучение с помощью селективной функции фотосинтезной эффективности (см. рис. 16.32). Последняя обладает рядом преимуществ, свойственных системам эффективных величин, однако ее практическую ценность для светокультуры существенно снижает отсутствие в ряде случаев прямой корреляции между интенсивностью фотосинтеза и продуктивностью растений.

Энергетическая система оценки излучения приписывает равнозначное действие излучению любого спектрального диапазона в пределах спектральной области ФАР от 380 до 710 нм.

Эта система оценки близка к тому, что «белый» солнечный свет является лучшим для растений, поскольку филогенетическое развитие растений происходило при нем. Близкое к равноэнергетическому распределение энергии в солнечном излучении, скорее всего, признается как наиболее универсальное для энергетического обеспечения различных видов растений. Однако принцип универсализации не соответствует принципу максимальной эффективности и поэтому «белый» свет не признан максимально эффективным по своему спектральному составу для обеспечения наивысшей продукционной деятельности любых растений.

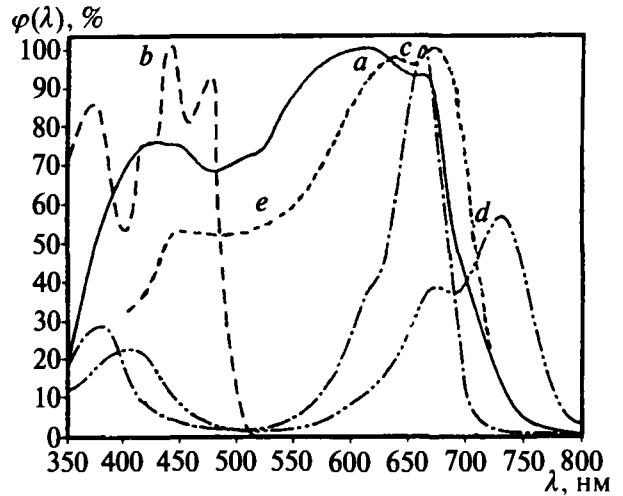


Рис. 16.32. Относительные спектральные кривые воздействия оптического излучения на растения: *a* — поглощение фоторецепторами растений; *b* — поглощение коротковолнового фотопигмента; *c* — поглощение красной формы фотохрома; *d* — поглощение дальней красной формы фотохрома; *e* — эффективность фотосинтеза растений

Специальные исследования показали, что поиск функций спектральной чувствительности для каждого вида растений, по-видимому, не имеет смысла, так как многие виды растений имеют близкие требования к спектру и интенсивности ФАР. В этой связи важно выбрать критерий классификации растений. В качестве такого критерия может быть принята чувствительность к красному свету. В этом случае виды растений, выращиваемых в условиях светокультуры, можно условно разделить на три группы: 1) растения, погибающие при длительном воздействии красного света (например, огурец), в связи с чем необходимо ограничение доли красных лучей; 2) растения, активно растущие и плодоносящие в красных лучах (например, томат); 3) растения, наиболее активно растущие при облучении их белым светом.

Такая классификация растений дает основания говорить, по крайней мере, о трех типах эффективных потоков с ограниченным содержанием красных лучей: первый — до 50% в области ФАР, второй — до 75% в области ФАР, третий — равноэнергетическое излучение в области ФАР.

Было показано, например, что для огурца допустимое соотношение в области ФАР синего (400–500 нм), зеленого (500–600 нм) и красного (600–700 нм) излучения составляет 20:40:40%, а для томата — 20:15:65%. При этом особое значение нужно придавать «красной» составляющей; так, для огурца увеличение красной составляющей более 40% может привести к гибели растений.

Исследование также показало предпочтительность нелинейчатого спектра излучения, т.к. наличие мощных спектральных линий может выводить фотопроцесс на нелинейный и даже деструктивный уровень.

Что касается влияния ИК на формирование урожая, то ряд экспериментов позволяет говорить о несущественной роли ИК в области длин волн (750–1200 нм) из-за слабого их поглощения водой и тканями растений. Для $\lambda > 1200$ нм ситуация более сложная и требует уточнения. Тем не менее, в общем излучении ОСУ, используемых в теплицах, по-видимому, целесообразно соблюдать соотношение ФАР/ИК на уровне, близком к 1:1 [16.40].

Источники ОИ, которые находят различное применение в светокультуре растений, приведены в табл. 16.13 и 16.14.

Люминесцентные лампы нашли применение для облучения растений на стеллажах и лотках, в боксах и камерах, а также при выращивании рассады или цветочных культур в офисных и домашних оранжереях, в аквариумах с использованием водных растений. Они имеют КПД ФАР до 28%, дешвы, долговечны, доступны; однако для них характерна низкая концентрация мощности, что не позволяет создать в фитоустановке высокие уровни облученности. Специальные люминофоры, используемые для повышения эффективности излучения этих ламп (см. рис. 16.33), существенно расширяют область их использования.

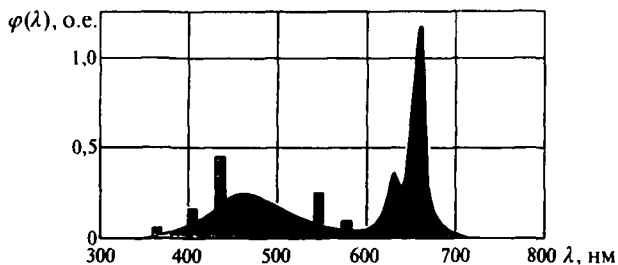


Рис. 16.33. Спектр ЛЛ для облучения растений

Значительное применение в промышленных и селекционных теплицах получили специальные ртутные лампы высокого давления с исправленной цветностью в эллипсоидной колбе, внутренняя поверхность верхней (к цоколю) половины которой покрыта люминофором с преимущественной красной люминесценцией. Рабочее положение этой лампы вертикальное (для освещения-облучения горизонтальной поверхности растений) и горизонтальное для облучения вертикальной поверхности.

Элементарные кривые освещенности, создаваемой этой лампой-светильником в облучателе ОТ-400 при

Таблица 16.13

Источники излучения для светокультуры растений

Вид источника ОИ	Мощность, Вт	Напряжение сети, В	Габариты (диаметр × длина), мм	КПД ФАР, %	Средняя продолжительность горения, ч
Люминесцентные лампы	18	220	26 × 590	19	12000
	36	220	26 × 1199	23	15000
	58	220	26 × 1525	28	15000
Ртутные лампы ВД с исправленной цветностью	125	220	91 × 184	10	12000
	400	220	152 × 368	12	7000
Ксеноновые трубчатые лампы	10000	220	26 × 1190	12	800
Натриевые лампы высокого давления	250	220	48 × 250	28	15000
	400	220	48 × 278	33	20000
	600	220	48 × 278	36	20000
	1000	220	65 × 400	31	10000
Металлогалогенные лампы	400	220	227 × 91	24	10000
	1000	220	208 × 342	20	2000
	1000	380	208 × 342	30	3000
	2000	380	100 × 420	30	2000
	3000	380	190 × 470	24	1500
	3500	380	100 × 460	30	1500

Таблица 16.14

Параметры серии селективных МГЛ для фитофизиологических исследований

Тип лампы	Мощность, Вт	Напряжение сети, В	Спектральный диапазон излучения Δλ, Вт	Ноток излучения в спектральном диапазоне Δλ, Вт	Ф _{Δλ} /Ф _{ФАР} , %	Габариты (диаметр × длина), мм
ДРТИ1000	1000	220	400–420	130	84,0	32 × 200
ДРТИ1000-1	1000	220	400–450	130	84,5	32 × 200
ДРТИ1000-2	1000	220	530–580	120	84,5	32 × 200

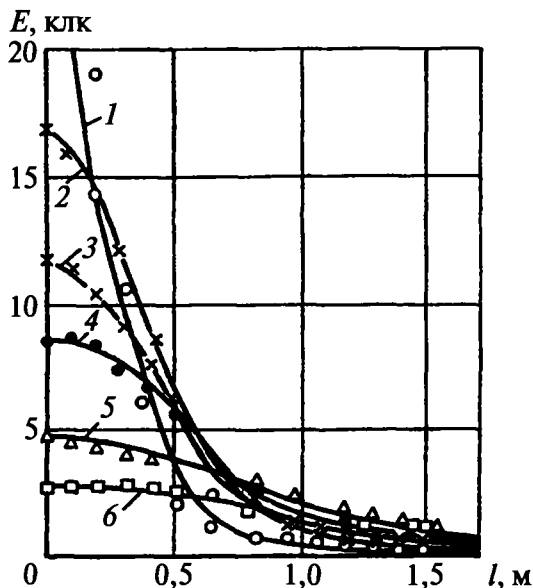


Рис. 16.34. Кривые освещенности для лампы-светильника типа ДРЛФ400 при высоте подвеса, м: 1 — 0,2; 2 — 0,3; 3 — 0,4; 4 — 0,5; 5 — 0,75; 6 — 1

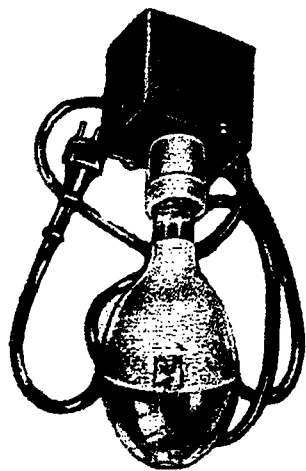


Рис. 16.35. Облучатель ОТ-400 с лампой ДРЛФ400

высотах подвеса 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,75 и 1 м представлены на рис. 16.34, а сама лампа в облучателе ОТ-400 показана на рис. 16.35. На этих высотах, как правило, такого типа облучатели используются в теплицах, шкафах и камерах. Поэтому в программах расчета облучательной установки должны быть использованы элементарные кривые освещенности — эпюры освещенности, а не КСС, которая формируется на высотах подвеса этих ламп более 1 м от облучаемой поверхности. Их достоинство — большая концентрация мощности, высокий срок службы и низкая стоимость. Основной недостаток ламп — повышенное излучение в ближней ультрафиолетовой части спектра и низкий КПД ФАР. В современных теплицах эти лампы вытесняются НЛВД и МГЛ.

Ксенонные трубчатые лампы типа ДКСТЛ, благодаря большой мощности, обеспечивают высокие облу-

ченности ФАР. К достоинству этих ламп относится их экологическая чистота, а к недостаткам — низкая средняя продолжительность горения (менее 1000 ч), большие габариты, а также небольшое значение КПД ФАР (~12%). В теплицах эти лампы используются редко.

Натриевые лампы высокого давления и МГЛ имеют наиболее высокий КПД ФАР, повышенный срок службы, благоприятный спектр, что обеспечивает им расширяющиеся масштабы использования в светокультуре растений. КПД ФАР натриевых ламп достигает ~(25–35)%. Благодаря этому параметру, а также большой средней продолжительности горения, НЛВД получили широкое применение в теплицах, в основном, в период недостаточного солнечного (естественного) излучения. Основным недостатком натриевых ламп — малое излучение в синей части спектра, не превышающее 8%.

Металлогалогенные лампы лишены этого недостатка. Так, на рис. 16.36 приведено спектральное распределение излучения МГЛ с йодидами Sc и Na. В спектре содержится излучение натрия (желто-оранжевая часть спектра), скандия (синее, красное) и ртуть (синее, зеленое и желтое). Широкий спектр излучения МГЛ, регулируемый соответствующими светящимися добавками, высокий КПД ФАР (25–30%), большой диапазон мощностей (от 250 Вт до 3,5–4 кВт) позволяют эффективно использовать их при крупномасштабном выращивании овощной, цветочной и другой сельскохозяйственной продукции, а также в селекционно-генетических исследованиях.

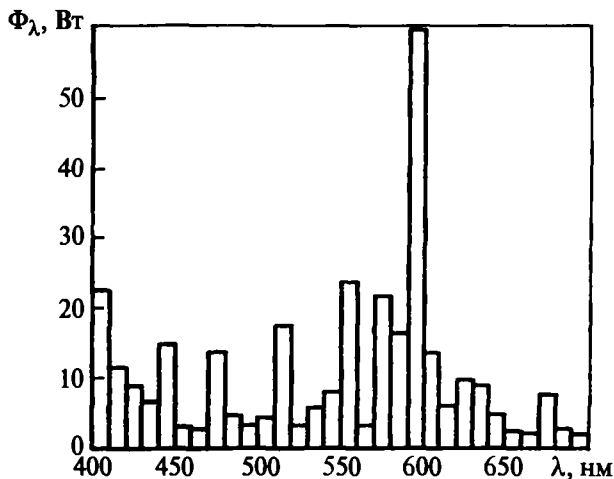


Рис. 16.36. Излучение МГЛ с йодидами натрия, скандия ($P_{л} = 1000$ Вт)

Первые облучатели для рассады представляли собой сочленение разрядной рефлекторной лампы с ПРА. Такой облучатель, обладая диффузной кривой силы излучения, обеспечивал равномерное облучение рассады. Иногда для защиты лампы от капель конструкция такого облучателя дополняется козырьком, а если учесть, что до 30% потока излучения рефлекторных ламп уходит в верхнюю полусферу и не попадает на рассаду, це-



Рис. 16.37. Облучательная установка на основе облучателя ОТ 400

лесообразно козырек делать в виде отражателя с углом охвата не менее 180° . В облучателе ОТ-1000-МИ-049 изменен профиль рефлектора лампы, а дроссель сделан автономным. На рис. 16.37 представлена облучательная установка с ОТ-400 для выращивания рассады огурцов, обеспечивающая облученность $E_e = 10 \text{ Вт (ФАР)/м}^2$ с продолжительностью облучения 35 суток.

Новое поколение облучателей с НЛВД имеет специально рассчитанную для тепличной технологии и архитектуры плодоносящих растений оптическую систему. В одном из наиболее распространенных решений лампы располагаются непосредственно под блоком ПРА, оптическая система изготовлена в виде простейшего цилиндрического отражателя (рис. 16.38). В облучательной установке с НЛВД для выращивания рассады огурцов при той же облученности продолжительность облучения снижается до 25 суток. При необходимости замены отражателя в облучателях предусмотрена

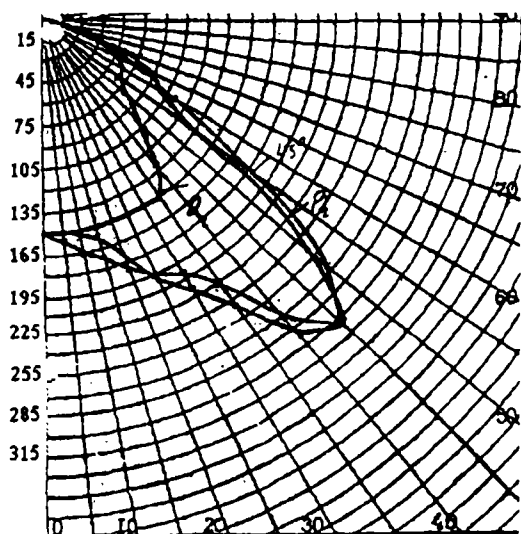


Рис. 16.38. Фрагмент теплицы с лампами типа НЛВД, располагаемыми под блоком ПРА

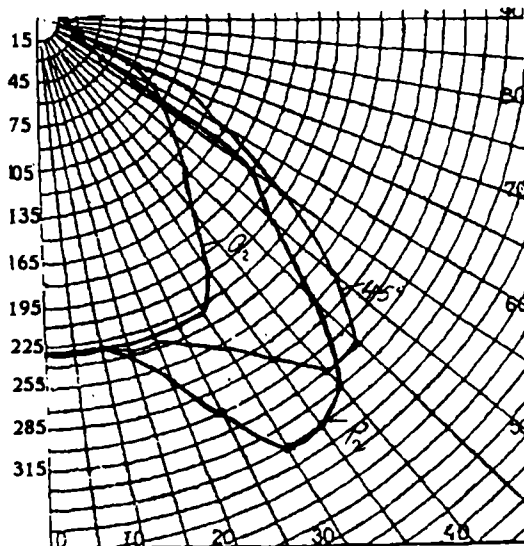
простая возможность съема-установки. КПД такой конструкции облучателя с ячеистым зеркальным отражателем находится на уровне $85 \pm 5\%$, что достигается за счет неглубокого расположения лампы в полости отражателя. Характерные кривые силы света представлены на рис. 16.39.

Более прогрессивна комбинированная конструкция отражателя, обеспечивающая шадящий тепловой режим горизонтально расположенных ламп за счет конвективной циркуляции воздуха (рис. 16.40). Такая конструкция облучателя приобретает особую актуальность при переходе на мощные ДНаТ (600 Вт и более) и МГЛ (свыше 1000 Вт). Типичные кривые силы света — на рис. 16.41.

В последнее десятилетие в отечественной светоделикультуре получили распространение ОСУ на базе зеркальных НЛВД. В этой лампе-светильнике перераспределение излучения натриевой горелки осуществляется



а)



б)

Рис. 16.39. Характерные кривые силы света тепличных облучателей с НЛВД мощностью 400 Вт (а) и 600 Вт (б) в относительных единицах.

Обозначения: P_1 — главная продольная плоскость; P_2 — главная поперечная плоскость; 45° — меридиональная плоскость

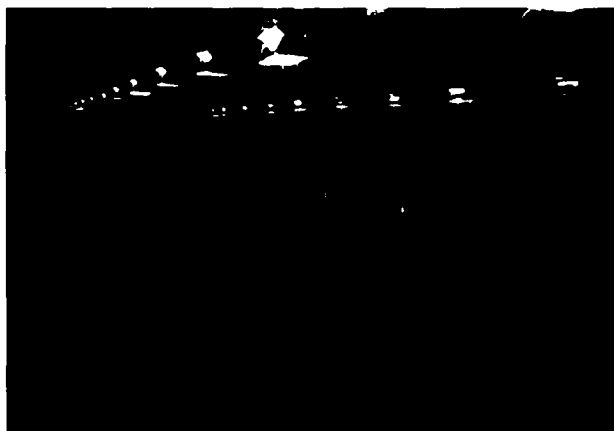


Рис. 16.40. Облучатель с конвективной циркуляцией воздуха и облучательная установка с ним

внутренним (нанесенным на колбу лампы) рефлекторным слоем. Рефлектор имеет расчетный профиль. Эта оригинальная конструкция обуславливает компактное исполнение облучательного прибора и длительный ресурс отражающей поверхности. В табл. 16.15 даны некоторые характеристики ламп-светильников серии Рефлакс типа ДНаЗ. На рис. 16.42 дан общий вид тепличного облучателя с лампой ДНаЗ. Облучательная установка с указанными лампами представлена на рис. 16.43.

Для облучения растений в небольших теплицах, домашних оранжереях и комнатных цветов существуют облучатели малой мощности с лампами ДРЛ125 и ДНаТ100 (рис. 16.44). ПРА этого облучателя встроены в цилиндрический корпус, к которому крепятся патроны лампы и отражатель с двумя световыми отверстиями —

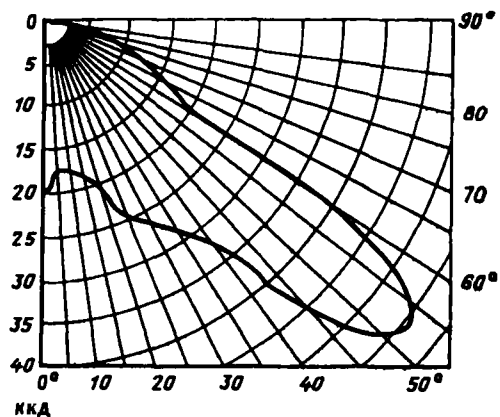


Рис. 16.41. КСС облучателя с МГЛ мощностью 2000 Вт и конвективной циркуляцией воздуха

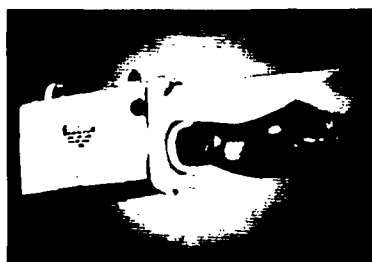


Рис. 16.42. Облучатель с лампой ДНаЗ



Рис. 16.43. Облучательная установка с лампами-светильниками ДНаЗ

Таблица 16.15

Технические характеристики ламп-светильников серии Рефлакс

Тип лампы	ДНаЗ/Рефлакс Н 350	ДНаЗ/Рефлакс 400	ДНаЗ супер/Рефлакс S 400	ДНаЗ супер/Рефлакс S 600
Мощность, Вт	350	400	400	600
Поток излучения, лм	38000	48000	55000	90000
КПД	0,95	0,95	0,95	0,95

Таблица 16.16

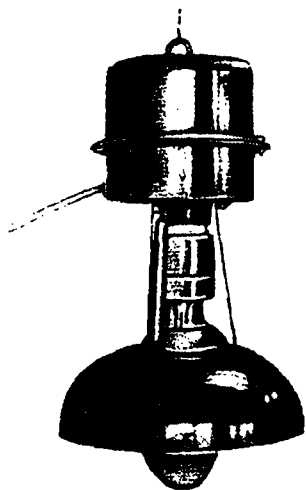


Рис. 16.44. Облучатель с лампой РЛВД 125, НЛВД 100 для домашних оранжерей и теплиц

нижним и верхним. В верхнюю полусферу выходит небольшая часть потока ИИ, которая выполняет декоративную функцию подсветки растений.

Для искусственного регулирования светового дня и управления процессом цветения чаще всего используют либо зеркальные лампы накаливания, либо компактные люминесцентные лампы*.

Одним из вариантов решения пространственного перераспределения потока ламп являются облучательные протяженные комплексы. В этих облучательных установках лампы размещаются вдоль оптической системы, состоящей из совокупности протяженных поворотных отражателей, которые обеспечивают направление лучистых потоков ламп на облучаемую поверхность растений. Эти комплексы позволяют осуществлять дополнительное облучение растений, обогрев верхнего остекления теплицы зимой, а также частичное затенение при избытке облученности.

Наиболее массовыми тепличными культурами являются огурцы и томаты, рассада которых в период января-декабря выращивается при дополнительном искусственном облучении (досвечивании). Было показано, что минимальная энергетическая экспозиция при выращивании рассады огурцов составляет 3930 Дж/см² при суточной продолжительности облучения 11,7 ч; при выращивании томатов — 9200 Дж/см² при продолжительности 12,5 ч. Эти данные были взяты в качестве исходных при создании отраслевых норм для облучателей типа ОТ-400. В табл. 16.16 представлены уточненные нормы дополнительного облучения рассады огурцов и томатов в различных световых зонах их выращивания при ежесуточном облучении в течение 10 ч.

С учетом большой роли интенсивной светокультуры в решении продовольственной проблемы на Крайнем Севере и в восточных районах страны, было изучено поведение ряда культур при полностью искусственном облучении и при вариации спектрального состава и облученности.

Нормирование ОСУ для облучения рассады огурцов и томатов

Вид рассады	Облученность, Вт/м ² (ФАР), для световых зон северной широты						
	0 66°– 69°	I 59°– 66°	II 56°– 59°	III 52°– 56°	IV 51°– 52°	V 45°– 51°	VI 42°– 45°
Рассада огурцов	40		30		20	15	10
Рассада томатов	60		50		40	35	35

В табл. 16.17 представлены предпочтительные уровни облучения для ряда культур при выращивании их без использования естественного света.

Таблица 16.17

Предпочтительные уровни облучения при интенсивной светокультуре

Культура	Облученность **, E _{ФАР} , Вт/м ²	Относительное распределение ОИ по спектру — синий/зеленый/красный
Томаты	100–160	0,2/0,2/0,6
Огурцы	80–120	0,2/0,4/0,4
Рис	280–300	0,33/0,33/0,33
Пшеница	160–200	0,25/0,35/0,4
Хлопчатник	300–400	0,33/0,33/0,33
Корнеплоды	160–180	—
Чай, субтропические культуры	240–300	—

** В [77] приведены данные, свидетельствующие о том, что в УФ-области спектра (300–400 нм) целесообразно иметь облученность не более 4% E_{ФАР}, в ИК-области: при 0,7–1,2 мкм не более 100–120% E_{ФАР}; при 1,2–3 мкм менее 25% E_{ФАР}; при 3–40 мкм менее 25% E_{ФАР}.

Приведенные в этой таблице сведения могут быть использованы при проектировании камер искусственного климата.

Регулирование продолжительности светового дня (фотопериодизм) особенно большую роль играет в цветоводстве. В табл. 16.18 даны некоторые сведения по регулированию световых характеристик помещений при выращивании ряда цветочных культур. Работа по созданию оптимальных норм облучения в различных сферах светокультуры не закончена. Ее продолжают исследователи разных стран, пользуясь различными подходами и критериями. Поэтому разработка единого метода, позволяющего сравнивать результаты исследований, — чрезвычайно актуальная задача. Расчет светотехнических характеристик ОСУ в подавляющем боль-

* В последние годы появились сообщения об экспериментальных ОСУ для растениеводства на базе светодиодов.

Условия облучения различных видов цветочных культур

Культура	Облученность, мВт/м ² (ФАР)	Годовой период облучения	Продолжительность облучения в сутки, ч	Примечание
Астры	23000	По требованию	Непрерывно в течение 3 сут	Подготовка саженцев в теплицах
Тюльпаны	3000–5000	Декабрь – февраль	12 (без естественного освещения)	Выгонка цветов
Хризантемы	900	Зимой	Удлинение светового дня до 16 ч	Круглогодичная культура (для предотвращения почкообразования зимой)
Орхидеи	9000	Сентябрь – апрель	Удлинение светового дня до 16 ч	Наиболее интенсивный рост, лучшая выживаемость, непрерывное цветение
Георгины	4000	Зимой	2 (ночной перерыв)	Ускорение цветения на 4–8 недель
Гвоздики	1300 3500	Август – апрель Октябрь – февраль	6–12 (ночью) Удлинение светового дня до 10 ч	Удлинение времени цветения Улучшение вегетативного роста
Гортензии	1500–2400	С декабря и далее	Удлинение светового дня на 5–8 ч	Более темная листва и красивые цветы
Лилии	7500	С ноября и далее	Постоянно в течение 7 сут.	Увеличение времени цветения
Флоксы	23000	По требованию	Постоянно в течение 7 сут.	Подготовка в теплицах
Розы	20000–30000 6500–10000	Октябрь – март Август – май	18–24 ч в зависимости от облученности Непрерывно	Увеличение урожайности Облучение осуществляется ЛЛ, вертикально расположенными между розами

шинстве случаев проводится известными методами (см. разделы 8, 9 настоящего издания). Упрощенное выражение для определения числа ламп N в вегетационном сооружении площадью S при уровне облучения E_e :

$$N = E_e S \frac{\gamma K}{\rho \epsilon U} \frac{\tau}{\tau_H}, \quad (16.16)$$

где ϵ — лучистая отдача лампы (для НЛВД $\epsilon = 0,33$, МГЛ — 0,3), $U = 0,6–0,7$ — коэффициент использования потока ламп установки; $\gamma = 1,3$ и $K = 1,2$ — коэффициенты запаса и неравномерности облучения; τ и τ_H — время облучения и нормируемое время облучения соответственно.

16.4.2. ОСУ и приборы медицинского назначения [77, 84, 86, 16.(55–72)]

Оптическое излучение, являясь одним из важнейших факторов внешней среды обитания человека, оказывает на него весьма разнообразное воздействие (см. табл. 16.19).

Прежде, чем перейти к описанию приборов и установок медицинского назначения, укажем на достаточно изученные неблагоприятные воздействия ОИ на человека и условия, в которых они проявляются (см. также раздел 19).

Как известно, УФ-излучение обычно не воспринимается зрительным рецептором в сетчатке глаза из-за поглощения остальными его средами: роговицей, водянистой влагой в камере глаза, хрусталиком, стекловидным телом. Поэтому УФ-излучение может привести к серьезным повреждениям зрительного аппарата, поскольку реципиент зрительно не ощущает его присутствия.

Фотокератит представляет собой воспаление роговицы, т.е. прозрачной части глаза перед зрачком, в результате УФ-персоболучения при длинах волн от 230 нм до 320 нм. Пороговая доза для $\lambda = 288$ нм равна 100 Дж/м² [16.67].

Фотоконъюнктивит — это болезненное воспаление конъюнктивы, возникающее под воздействием УФ-излучения при длинах волн от 220 нм до 290 нм. В качестве пороговой дозы принято значение 50 Дж/м² при $\lambda = 260$ нм.

Длительное и интенсивное воздействие УФ-излучения может привести к необратимому изменению (помутнению) хрусталика глаза — *катаракте*. Пороговая экспозиция при стойких нарушениях хрусталика составляет для $\lambda = 295$ нм около 4–5 тыс. Дж/м², при $\lambda = 315$ нм не более 30 тыс. Дж/м². Катаракта может возникать при меньших дозах при применении фотосенсибилизаторов типа псоралена.

Другим фоторецептором является кожа, поверхностный слой которой в разной степени пропускает излучение (рис. 16.45).

Эритема (покраснение кожи) и загар являются видимыми признаками УФ-воздействия на кожу.

Эритемное воздействие сравнительно легко определяется в функции длины волны и дозы, находится в прямой связи с реакцией всего организма к УФ-излучению и достаточно часто используется в практике проектирования ОСУ.

Последние сообщения МКО усреднили эритемную кривую (рис. 16.46). Пороговая эритемная доза для $\lambda = 300$ нм принята равной 156 Дж/м².

Хроническое (систематическое) УФ-облучение кожи может приводить к возникновению так называемых

Физиологическое воздействие и применение УФ, видимого и ИК-излучения

Объект применения	УФ-излучение $\lambda = 100-400$ нм	Видимое и ближнее ИК-излучение $\lambda = 380-1400$ нм	ИК-излучение $\lambda > 1400$ нм
Кожа	Эритема (актиничная; замедленная) Канцерогенез Быстрое старение кожи Лекарственная фоточувствительность Меланогенез (возникновение меланомных процессов) Образование меланомы ⁽¹⁾	Ожоги; Эритема (тепловая, немедленная); Фоточувствительность к лекарственным препаратам	Ожоги; Эритема (тепловая, внезапная)
Глаз Роговица Хрусталик Сетчатка	Фотокоъюнктивит Фотократит Катаракта (немедленная, долгосрочная) Изменение окраски, склероз Изменение ткани сетчатки ⁽²⁾	Катаракта в результате воздействия ближнего ИК-излучения Тепловое повреждение, ударное повреждение волной излучения, фотохимическое повреждение, дегенерация ⁽¹⁾	Ожоги, ударное действие волны излучения Инфракрасная катаракта
Фототерапия	Псориаз Герпес Зубочелюстная Витилиго, фотохимотерапия, экзема, фунгиоидная гранулема (болезнь, вызываемая паразитическими грибами)	Отслоение сетчатки, диабетическая ретинопатия, билирубиния, глаукома, удаление винных пятен и татуировок, фотодинамическая терапия, хирургия; зимняя депрессия, сменная работа, нарушение суточного ритма, поддержание длительной работоспособности (> 8 ч.), терапия лазерами с низким уровнем излучения ⁽¹⁾	
Полезные свойства	Образование витамина D Образование защитной пигментации кожи	Восстановление биологических ритмов и гормональной активности	Лучевое отопление помещений

(1) обусловленное воздействие (излучения), степень воздействия не установлена;

(2) восприимчивость зрительной системы к УФ-излучению (вызванная дегенерацией сетчатки) возрастает после удаления хрусталика, если при этом не был имплантирован искусственный хрусталик.

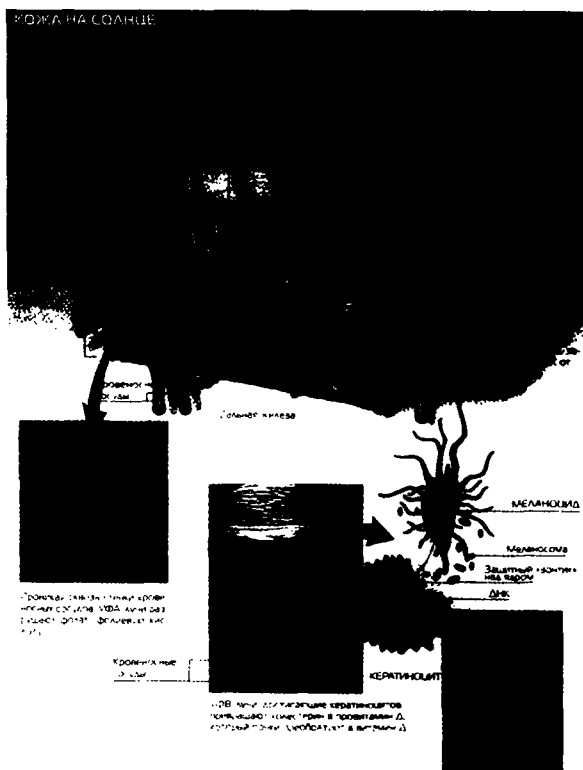


Рис. 16.45. Проникновение УФ-излучения в кожу человека

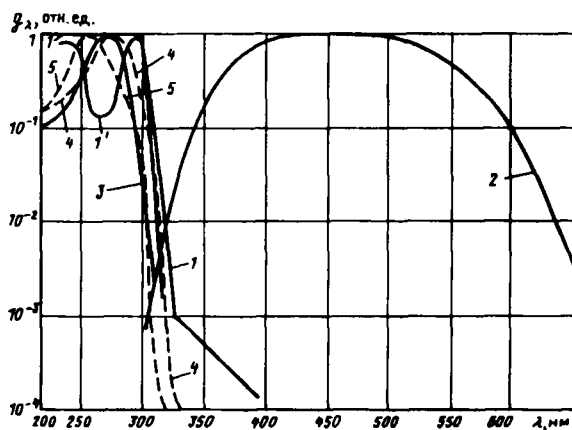


Рис. 16.46. Спектральная чувствительность фотобиологических реакций: 1 — образование эритемы (МКО); 1' — эритема по МКО (1935 г.); 2 — прямое пигментирование; 3 — допустимая доза УФ-излучения; 4 — образование витамина D; 5 — бактерицидное действие

мых актиничных каратозов, способных к перерождению в злокачественные опухоли — саркому и карциному. Различные авторы, работающие с разными животными, приписывают максимальную канцерогенную активность нескольким варьирующимся спектральным участкам (от 260 до 300 нм), хотя длинноволновая граница спектров действия у всех авторов локализуется вблизи 320–340 нм.

Живые организмы на Земле, развившиеся в условиях солнечного освещения, выработали целый комплекс фотобиологических реакций, благотворно влияющих на их жизнедеятельность (подробно в [16.55], а также в разделе 19).

В странах, крупные группы населения которых живут в арктических условиях, в настоящее время общепризнано, что длительная недостаточность УФ-излучения может иметь неблагоприятные последствия для человеческого организма. Многочисленные исследования указывают на то, что отсутствие солнечной радиации может привести к развитию патологического состояния, известного как «недостаточность УФИ» или «световое голодание». Наиболее частым проявлением этого заболевания является нарушение минерального обмена веществ и развитие недостаточности витамина D и рахита у детей, что сопровождается резким снижением сопротивляемости организма, делая его восприимчивым к неблагоприятным условиям окружающей среды.

Развитие недостаточности УФИ подтверждается данными исследования, проведенного в основном среди детей в разных светоклиматических зонах СССР, и обследований экипажей кораблей, совершающих регулярные рейсы в районах Севера. Последствия недостаточности УФ-излучения рассматриваются рядом авторов как болезнь цивилизации.

В настоящее время в качестве определяющей функции благотворного действия взята кривая спектральной чувствительности фотореакции образования витамина D (рис. 16.46). С учетом того, что спектральная кривая фотообразования витамина расположена в той же зоне спектра, что и длинноволновая ветвь кривой эритемного действия, было предложено [16.58] оценивать спектральную эффективность тонизирующего и терапевтического действия излучения по значениям эритемной эффективности длинноволнового УФ-излучения с длиной волны $\lambda > 280$ нм.

Следует заметить, что избыточное количество солнечного света не вызывает интоксикации организма витамином D, в то время как интоксикация возможна при употреблении избыточного витамина D с пищей.

Следует особо отметить роль витамина D в укреплении здоровья, поскольку он обладает сильным биологическим воздействием на человеческий организм. Реценты витамина D присутствуют не только в костях, но также в большинстве тканей и клеток организма (в мозге, сердце, поджелудочной железе, в коже, молочных железах, толстой кишке, в предстательной железе и в клетках иммунной системы). Витамин D является эффективным модулятором иммунной системы, а также регулирует образование в почках гормона ренина, который контролирует кровяное давление. С недостатком витамина D в организме также связывают развитие сердечно-сосудистых заболеваний и гипертонии. Полученные в последнее время данные подтвердили предположение о том, что уровень содержания витамина D в крови прямо ассоциируется с плотностью минерализации костной ткани у мужчин и женщин любой расы [16.63].

В [60] приводятся указания по проектированию и эксплуатации установок профилактического облучения для контингентов населения, которые в силу географических условий или по характеру и условиям работы полностью или частично лишены естественного света. В соответствии с этими указаниями могут быть осуществлены установки длительного и кратковременного действия. Методы их проектирования и расчета основываются на общих для светотехники принципах.

Установки длительного действия предусматриваются в помещениях с постоянным пребыванием людей в количестве не менее 10 чел.; высота помещения рекомендована не более 6 и не менее 3 м. Нормы эритемности облученности в горизонтальной плоскости на уровне 1 м от пола, а также дозы облучения должны соответствовать данным табл. 16.20.

В установках профилактического непрерывного действия облучатели располагаются, как правило, на одной высоте с обычными светильниками, размещаются равномерно или локализованно, но включаются самостоятельно. Необходимо, чтобы облучатели прямого света были закрыты снизу экранирующей решеткой с защитными углами не менее 25° в поперечной и продольной плоскостях. Высота подвеса облучателей рекомендуется не менее 3 и не более 5,5 м от пола.

Установки включают в течение осенне-зимнего и раннего весеннего периодов года с учетом светоклиматических особенностей местности (географической широты): для районов севернее 60° с.ш. с 1 ноября по 1 апреля, для средней полосы ($50-60^\circ$ с.ш.) с 1 ноября по 1 марта, южнее ($50-45^\circ$ с.ш.) с 1 декабря по 1 марта.

На рис. 16.47, а, б показан пример реализации ОСУ профилактического действия; даны общие виды облучателей профилактического действия с эритемными лампами ЛЭР40 и ЛЭ15. Особенностью эритемного облучателя является специфическая конструкция, исклю-

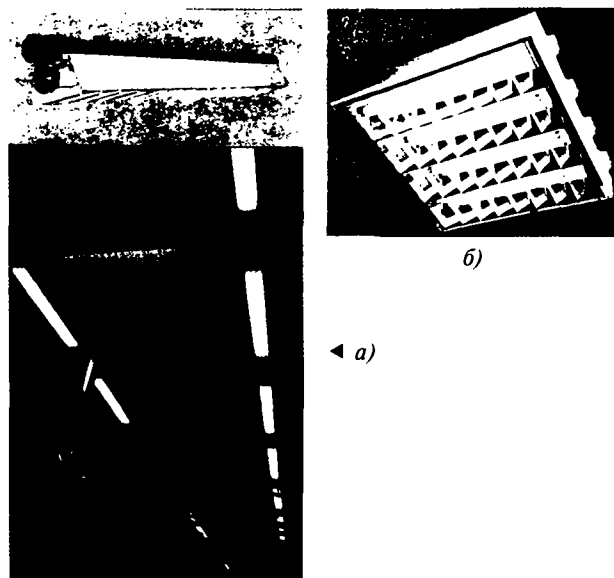


Рис. 16.47. ОСУ профилактического действия: а — эритемный ультрафиолетовый облучатель ЭСП 24 ДР 1×40; б — эритемный облучатель с лампой ЛЭ15

Таблица 16.20

Нормы УФ-облучения от эритемных ЛЛ в помещениях* и фотариях** в эффективных и энергетических единицах [60]

Вид помещения, объект	Продолжительность облучения, ч/сут***	Облученность				Доза за сутки			
		Ед. изм.	Минимальная	Максимальная	Рекомендуемая	Ед. изм.	Минимальная	Максимальная	Рекомендуемая
Рабочие помещения промышленных и общественных зданий	8	мэр/м ² мВт/м ²	1,5 9	7,5 45	5 30	мэр·ч/м ² Дж/м ²	12 260	60 1300	40 860
Групповые помещения детских учреждений, классы и кабинеты школ, палаты больниц, санаториев	4–6	мэр/м ² мВт/м ²	1,5 9	7,5 45	5 30	мэр·ч/м ² Дж/м ²	6–9 130 195	30–45 650 975	20–30 430–650
Фотарии: взрослые	—	мэр/м ² мВт/м ²	200 1,2	1200 7,2	800 4,8	мэр·ч/м ² Дж/м ²	10 215	60 1300	40 860
дети (от 2 до 14 лет)	—	мэр/м ² мВт/м ²	200 1,2	800 4,8	320 1,9	мэр·ч/м ² Дж/м ²	10 215	40 860	16 340

* В горизонтальной плоскости, на уровне 1 м от пола, в детских учреждениях — на уровне 0,8 м от пола.

** В вертикальной плоскости, по линии прохода, на уровне 1 м от пола.

*** При иной продолжительности облучения интенсивность УФ-облучения рассчитывается с учетом необходимости соблюдения установленной дозы.

чающая непосредственно воздействие УФ-излучения на глаза. Это позволяет работать в области длин волн 280–320 нм, не превышая уровни облученности, допустимые для глаза.

Фотарии являются установками кратковременного действия. Они предусматриваются на тех предприятиях, где установки длительного действия по техническим, производственным, технико-экономическим и гигиеническим условиям устраивать непосредственно в рабочих помещениях нецелесообразно или недопустимо. Фотарии предусматриваются для работающих на подземных работах, для рабочих, не имеющих постоянных рабочих мест и фиксированных зон обслуживания и т.п. Во всех случаях фотарии функционируют в те же сезонные периоды, что и установки длительного действия, но облучение проводится по 2–3 мин ежедневно (табл. 16.20).

Фотарий представляет собой коридор шириной 1,2–1,4 м, по которому облучаемые проходят друг за другом между установленными с обеих сторон облучателями. Вместо одного длинного коридора часто устраивают несколько смежных, более коротких, — **фотарий-лабиринт**. В фотариях профилактического назначения используются преимущественно эритемные лампы или специальные газоразрядные лампы ВД с легированным кварцем. Они сочетаются с ЛН, улучшающими микроклимат в помещениях и несколько приближающими облучение по спектральному составу к солнечному. В фотариях-коридорах лампы наиболее выгодно располагать непрерывными горизонтальными или вертикальными рядами.

Переборки в фотариях, как правило, непрозрачны для излучения ламп, установленных в соседних проходах. Для увеличения коэффициента использования установки за лампами, расположенными на стенах фотария, иногда устанавливают плоские алюминиевые от-

ражатели. Применение отражателей дает возможность увеличить облученность на 30–40%, что в свою очередь позволяет уменьшить число рядов ламп при проектировании фотария.

Фотарии-кабины отличаются от фотарий-коридоров тем, что принимающий процедуру находится в окружении эритемных ламп и стоит на одном месте; каждая кабина рассчитана на одного человека, но фотарий может состоять из нескольких смежных кабин. В этом случае, как и в фотарии-лабиринте, лампы, установленные на разделяющих кабинах переборках, светят в обе стороны.

При расчете профилактических установок для облучения не учитывается коэффициент запаса. Вместо этого при расчете фотария задаются значениями облученности, средними между рекомендуемыми и максимально допустимыми, а поддержание в процессе эксплуатации нужных экспозиций регулируется временем облучения.

Отметим здесь необходимость существенного расширения областей и времени применения установок профилактического действия. Основным доводом при этом является не только то, что современные окна не пропускают нужную для профилактического облучения область УФ-спектра (рис. 16.48), но и сильное загрязнение воздуха, особенно в крупных городах. Москва, например, практически круглый год лишена УФ-облучения, и введение ОСУ профилактического действия является назревшей проблемой (особенно в школах, техникумах, детских садах и т.п.).

Отметим также необходимость профилактического УФ-облучения в качестве превентивной меры тем лицам, контингентам и т.д., которые попадают (направляются) в несвойственные для них условия с повышенной солнечной радиацией (в том числе УФ). Такая мера в любом случае более естественна и полезна по сравнению с

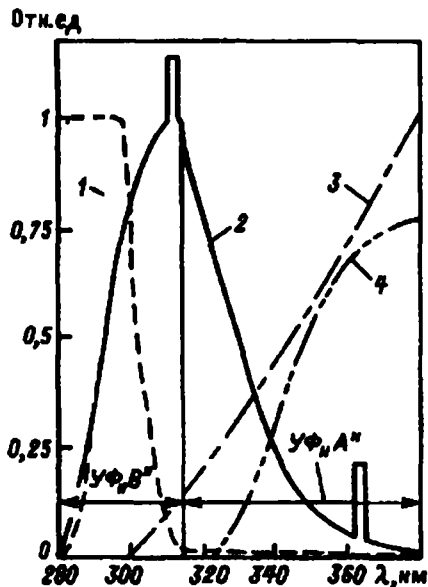


Рис. 16.48. Относительные спектральные характеристики: 1 — эритемная эффективность УФ-излучения; 2 — излучение эритемной лампы типа ЛЭР40; 3 — излучение Солнца (Москва, июнь, полдень); 4 — коэффициент пропускания УФ-излучения оконным стеклом

широко рекламируемыми кремами, так как применение последних лишает организм естественных защитных реакций, включая такие специфические, как иммунные.

Важность оптимизации облучения ближним и средним УФ следует подчеркнуть еще и потому, что в настоящее время резко возросло число любителей загорать при искусственном облучении. В **соляриях** (см. рис. 16.49, а) должно использоваться в основном излучение с $\lambda > 315$ нм*. Это излучение не приводит к образованию витамина D, но способствует быстрому изменению пигментации кожи, подъему настроения, снятию стресса и т.п. [16.64]. Область длин волн, используемых в соляриях, не должна подпадать под ограничения норм (см. табл. 16.21).

В стандарте МКО [16.61] указано, что при облучении с $\lambda = 315-400$ нм для незащищенной кожи и глаз при времени облучения более 1000 с облученность не должна превышать 10 Вт/м², а для времени облучения 1000 с и меньше удельная экспозиция не должна превышать 10000 Дж/м². Заметим, что данный стандарт, ограничивающий дозу облучения одновременно во всех УФ-областях спектра (УФС, УФВ, УФА) относится только к осветительным системам (установкам), о чем есть специальная ссылка в стандарте. Тем не менее данный стандарт требует дальнейших исследований и доработки, о чем указано в ряде работ [16.62, 16.66].

Заметим, что первые успехи **лечения кожных заболеваний** относятся к началу XX столетия: с помощью

Допустимая 8-часовая доза и относительная эффективность некоторых монохроматических излучений [16.67]

Длина волны, нм	Допустимая доза, Дж/м ²	Относительная спектральная эффективность
200	1000	0,03
210	400	0,075
220	250	0,12
230	160	0,19
240	100	0,30
250	70	0,43
254	60	0,50
260	46	0,65
270	30	1,00
280	34	0,88
290	47	0,64
300	100	0,30
305	500	0,06
310	2000	0,015
315	10000	0,003

солнца, а затем и угольной дуги излечивалась волчанка (vitiligo) и некоторые виды экземы.

В настоящее время с помощью УФ лечится **псориаз, экзема, угри** и др.

В качестве ИС предпочтение отдается ЛЛ и МГЛ с корректирующими светофильтрами. Рабочая область спектра 320–400 нм, уровни облучения в пределах 5–10 мВт/см².

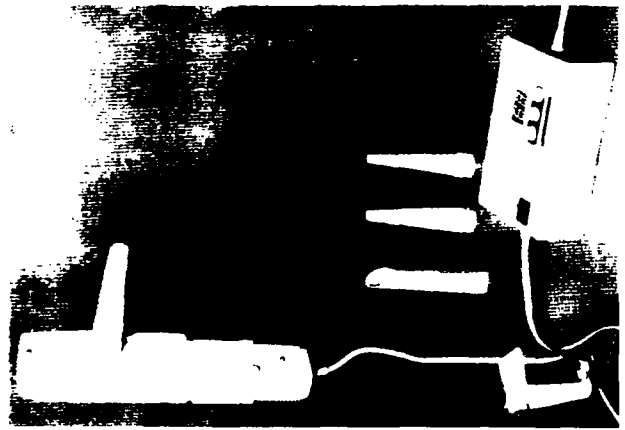
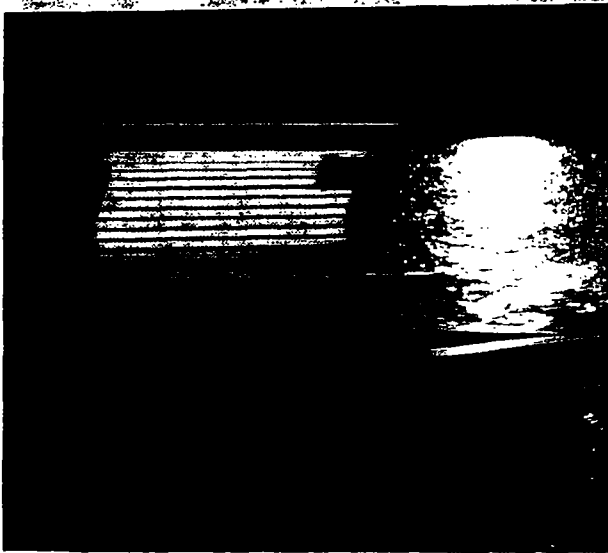
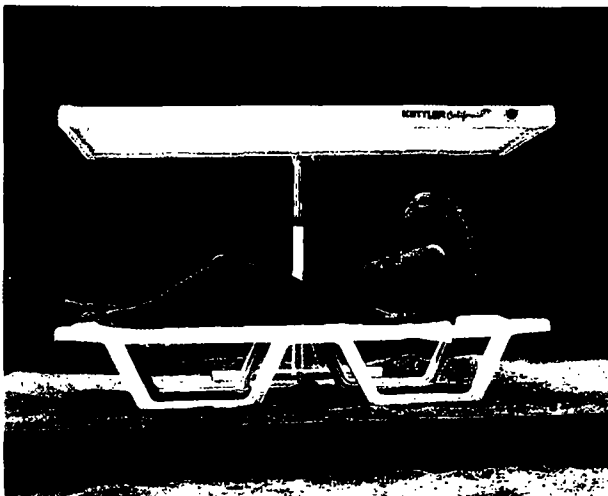
Процессы фототерапии кожных болезней ускоряются при применении одновременно с облучением лекарственных препаратов. Этот метод получил название **фотохимиотерапии** и обычно фигурирует в специальной литературе под аббревиатурой **PUVA** (т.е. псорален + UV-A). Он доказал свою эффективность при лечении многих болезней.

В последнее время для лечения псориаза используется излучение УФВ, являющееся альтернативой методу PUVA. Новый метод SUP использует только лампы со спектром излучения в области 300–315 нм без применения медикаментозных средств, часто вызывающих аллергию, что является недостатком метода PUVA. Доза облучения составляет 1 МЭД [16.65].

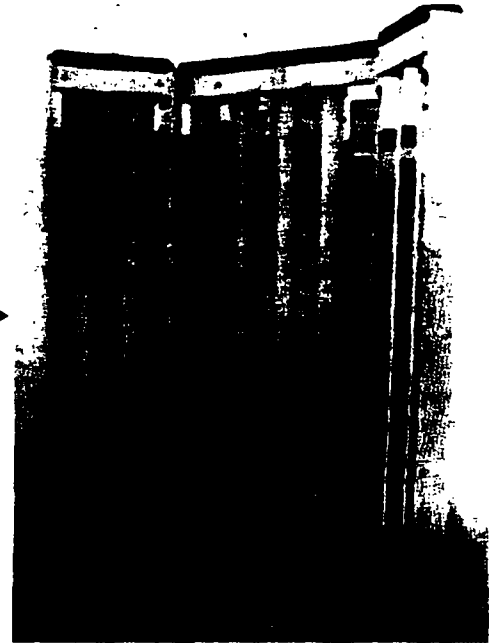
На рис. 16.49, б, в представлены лечебные УФ-установки. Прибор на рис. 16.49, б предназначен для фототерапии различных заболеваний полости рта, уха и носа взрослых и детей. Источник излучения — безозонная бактерицидная лампа мощностью 9 Вт. Величина облученности на торце тубуса — 2 Вт/м². Облучатель снабжен электронным таймером, обеспечивающим установку необходимой длительности процедуры и отключающим облучатель по истечении заданного времени. Имеется звуковая сигнализация окончания процедуры. Используется в физиотерапевтических отделениях и санаторно-курортных учреждениях.

*

Нужно обратить внимание на недопустимость применения ламп с излучающей добавкой в виде железа. Железо входит в со-



▲ б)



в) ▶

◀ а)

Рис. 16.49. Облучатели медицинского назначения: а — виды солириев; б — УФ-облучение носоглотки; в — установка для УФ-лечения дерматозов

Неонатальная гипербилирубиния (желтуха) встречается более чем у 50% родившихся детей; при этом в 7–10% — в тяжелой форме, требующей лечения. Для лечения в настоящее время используется три типа ОСУ:

- подвесные системы, оснащенные люминесцентными лампами;
- подвесные системы с ГЛН (в последнее время МГЛ);
- так называемые оптоволоконные подушечки.

Источники света, как правило, оснащаются светофильтрами, исключающими попадание УФ и ИК-излучения на новорожденного. Рабочей областью спектра является $\Delta\lambda=420-480$ нм. Подвесные системы либо портативны и мобильны, либо встраиваются в инкубаторы (боксы), глубокие детские коляски (рис. 16.50). Облучательные приборы размещаются на расстоянии

25–50 см от новорожденного (по решению врача). Ряд очевидных недостатков использования глазных накладок (сползание, потеря контакта с родителями, возможность нарушения циркадных ритмов) привели к созданию оптоволоконных подушечек, в которые с помощью волоконной оптики вводится излучение от ГЛН. Подушечка излучает со всех сторон поверхности и оборачивается по телу больного ребенка.

Рекомендуемый уровень облучения в указанной выше области спектра 4 мВт/см^2 , возможны вариации от 6 до 12 мВт/см^2 и даже выше при повышенной концентрации билирубина в крови (более 15–20 мг/л).

Указанные процедуры могут проводиться в домашних условиях, но обязательно под наблюдением врачей, имеющих соответствующую практику.

При фотолекарственном терапевтическом лечении опухолей (**фотодинамическая терапия**) применяется ви-

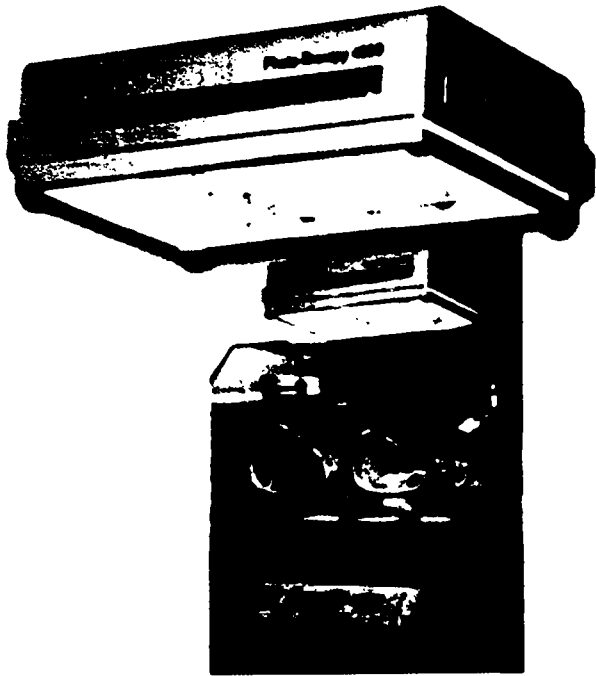


Рис. 16.50. Установка для лечения желтухи новорожденных

димое излучение в качестве катализатора реакции фоторазрушения опухолевых клеток (600–800 нм). При введении в кровь препарат гематопорфирин обнаруживает точное местонахождение опухоли, а затем присоединяется к ним. При облучении злокачественного образования высвобождается активная форма кислорода, который разрушает опухолевые клетки. В качестве источников излучения используются ГЛН, ксенонные лампы со специальным светофильтром ($\lambda > 650$ нм), либо аргоновый лазер в сочетании с эндоскопом и волоконной оптикой.

В некоторых случаях фоторактивные свойства гематопорфирина могут быть использованы также для диагностики (обнаружения и определения местонахождения опухоли), т.к. гематопорфирин светится при облучении с $\lambda = 400$ нм.

Наряду с терапевтическим действием УФ- и видимого излучения следует особо отметить воздействие ИК-излучения на живой организм. Коротковолновая область ИК-излучения имеет преимущество при обогреве и лучистой терапии. Излучения с длиной волны короче 1,4 мкм проникают сквозь область, в которой возникает болевое ощущение, в более глубокие слои ткани, где их энергии достаточно, чтобы вызвать физическое (тепловое) и химическое действия. Поглощенное излучение усиливает кровоток в подсосочковых слоях кожи, увеличивает обмен между кровью и тканями, ускоряет выделение токсинов и вызывает образование пигментов, играющих в организме защитную роль. Проникающее ИК-излучение посредством реакций крови и нервной системы воздействует на функции желез и общий обмен веществ. В связи с этим ИК-облучение успешно применяется для лечения заболеваний

лимфатической системы, суставных заболеваний, невралгий, фурункулов, абсцессов, экзем и кожных сыпей, а также разнообразных травматических повреждений.

На рис. 16.51 даны примеры приборов, предназначенных для ИК-обогрева пациентов, см. также раздел 16.4.3.

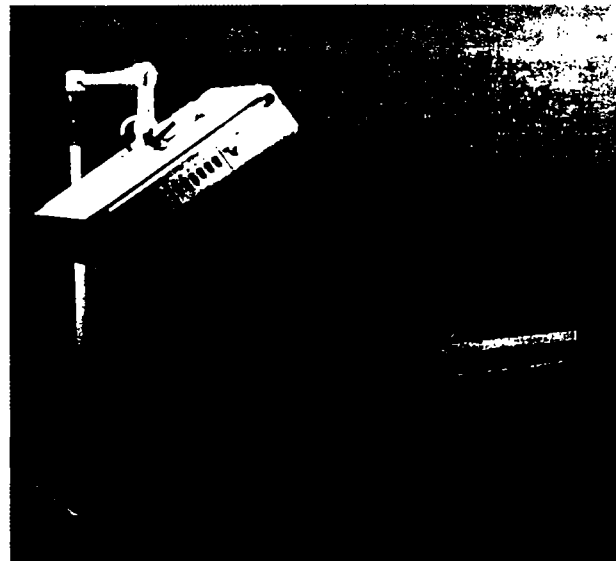
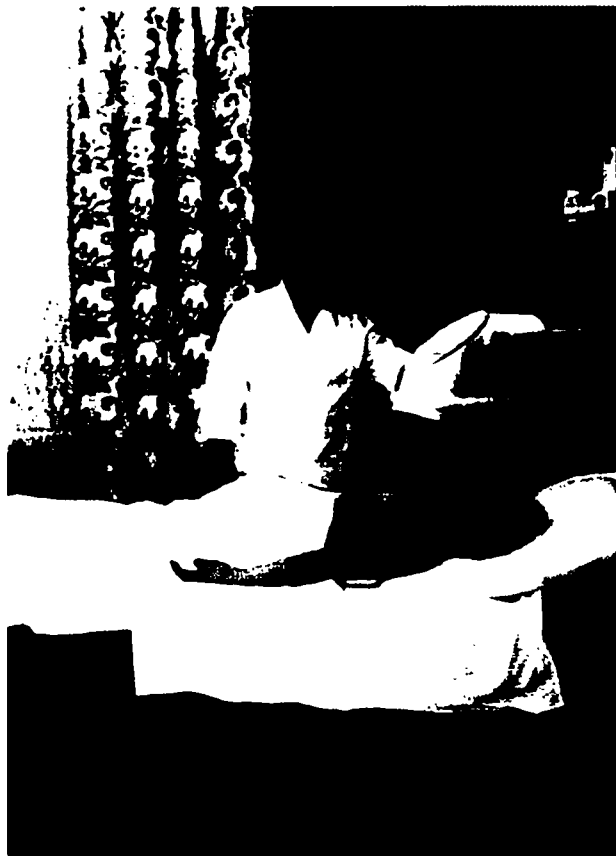


Рис. 16.51. Примеры приборов для ИК-обогрева пациентов

Наряду с приборами прямого фотодействия, в медицинских целях используют фундаментальные реакции живых организмов, возникающие при воздействии света. Остановимся более подробно на одной из этих реакций — **фотопериодизме**.

Солнечный свет оказывает важное стимулирующее воздействие на живые организмы. Именно благодаря воздействию солнечного света обеспечивается согласованность в работе циркадной системы млекопитающих (ритмы суточного режима) [16.65]. Существует множество измеряемых параметров физиологического состояния человека, которые изменяются в течение суток. Так, температура тела человека достигает максимальных значений к полудню и понижается в течение ночи. Уровень концентрации различных гормонов (например, мелатонина) изменяется регулярно в течение дня. Другие параметры, такие как кровяное давление, сила сжатия руки, состояние настроженности, познавательная активность и визуальная чувствительность, также проявляют циркадную ритмичность.

Различные **циркадные ритмы** синхронизированы посредством работы внутренних биологических часов, функционирование которых, в свою очередь, согласовано с внешним суточным циклом. Нарушение синхронизации с ритмами внешней среды вызывает появление ощущения дискомфорта, именуемое синдромом нарушения суточного ритма [16.72].

Аналогичные эмоциональные расстройства характерны для состояния осенне-зимней депрессии. Когда дни становятся короче, люди, страдающие зимним синдромом, испытывают резкое снижение физической активности и выносливости.

В лечении сезонных расстройств, при нарушении суточных ритмов, а также для поддержания длительной и более эффективной работоспособности организма все более широкое применение находит светотерапия. Во всех этих случаях в основе — коррекция или восстановление внутренних биоритмов человека.

Так, уже в 60–70-х годах были описаны и внесены в медицинские (диагностические) пособия признаки осенне-зимней депрессии (сезонные эмоциональные расстройства — SAO) с тяжелыми последствиями. Было обнаружено также, что с помощью ежедневных сеансов светотерапии существенно снижаются проявления указанных расстройств (рис. 16.52).

В этой связи следует особо остановиться на новых **психотерапевтических методах светотерапии**.

Суть светотерапии заключалась в освещении пациента светящимся экраном, создающим на уровне глаз освещенность $E = 2500$ лк в течение 2–4 ч. При этом пациент может читать, работать на компьютере и т.п., бросая изредка взгляд на светящийся экран. В других случаях уровень освещенности поднимался до 10000 лк при длительности сеанса до 30 мин. (рис. 16.53).

Во всех случаях было констатировано, что механизм действия света распространяется через глазной репетор, а не через кожу.

Уровни освещенности, спектральный состав излучения, динамика света (например, рассвет), время се-



Рис. 16.52. Светотерапия осенне-зимней депрессии

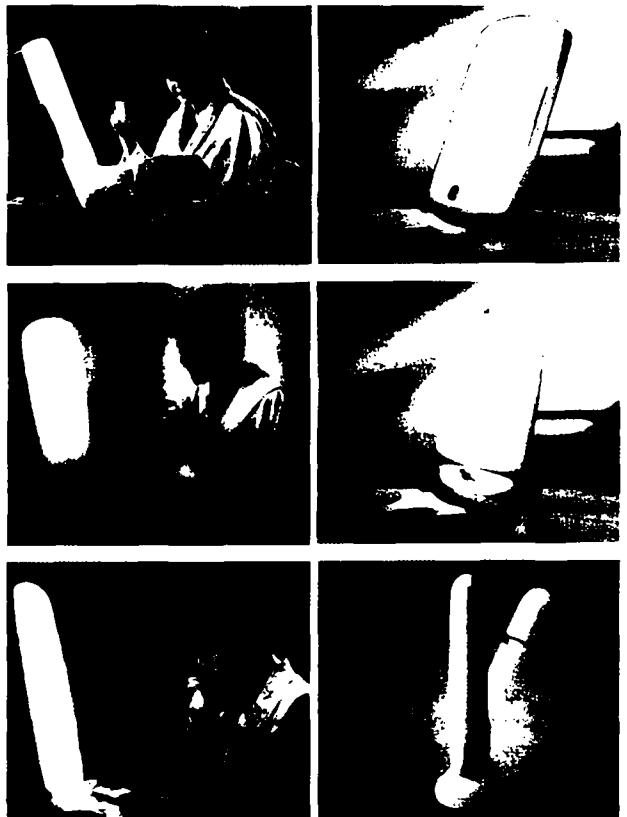


Рис. 16.53. Светотерапия сезонных и суточных расстройств

ансов светотерапии находятся в стадии тщательного изучения.

Как следует из вышеизложенного, условия окружающей среды могут находиться в согласии с внутренними биологическими ритмами человека, но могут и нарушать работу биологических часов. Так, при быстром пересечении временных поясов возникают сбои суточного ритма; при этом нормальная работа организма восстанавливается через 3–7 дней, и в большинстве случаев человек испытывает нарушения сна, желудочно-кишечные расстройства, депрессию и т.п. Светотерапия в таких случаях восстанавливает нормальное состояние человека. Исследования по разработке точных предписаний, средств и методик светотерапии продолжаются.

Аналогичные расстройства возникают при сменной работе; она, в большинстве своем, ассоциируется со снижением производительности труда и ростом жалоб на дискомфорт и плохое состояние здоровья. Светостимуляция оказывается эффективной и в этом случае: у ночных рабочих лучше проходит циркадная адаптация организма, если они работают в условиях повышенной освещенности рабочих помещений (1500–3000 лк).

Исследования соответствующих ведомств показали, что у военных, выполнявших свои обязанности при повышенных освещенностях (3000–5000 лк), наблюдался повышенный уровень умственной и физической работоспособности.

Исследования последнего времени [16.70] говорят о том, что в сетчатке млекопитающих, помимо палочек и колбочек, имеются фоторецепторы третьего типа, отвечающие за биологическое воздействие света на организм. Имея свои «собственные» нервные связи с супрахиазматическими клетками мозга (SCN) и с шишковидной железой, эти фоторецепторы управляют циркадными ритмами и концентрацией гормонов. Имеются указания на характер спектральной кривой биологического действия (максимум чувствительности приходится на $\lambda = 465$ нм) и на невыполнение закона аддитивности при воздействии монохроматического излучения.

16.4.3. ОСУ в сельскохозяйственных животноводческих помещениях [77, 84, 86, 16.(73–81)]

В животноводческих помещениях ОСУ предназначаются для физиологического (в частности, фотопериодического) освещения в видимом диапазоне спектра, терапевтического, включающего профилактическое и лечебное воздействие, обеззараживающего воздействия в УФ-диапазоне и для лучистого обогрева в ИК-диапазоне.

Свет очень важен для регуляции основных жизненных функций. Воздействие его вызывает в организме животных значительные биохимические и физиологические изменения. Под действием видимого излучения в крови увеличивается содержание гемоглобина и эритроцитов, повышается активность окислительных ферментов, усиливается газообмен, баланс азота становится положительным. Недостаточная освещенность по-

мещений приводит к возникновению у животных анемии, остеомалации и других заболеваний.

Свет влияет на функции эндокринных желез, центральной нервной системы, а через нее рефлекторно на другие органы.

Основными параметрами видимого излучения, действующими на зрение животных, являются периодичность освещения, уровень освещенности и спектральный состав.

Периодичность освещения влияет на половое созревание животных — короткий световой день его задерживает, а длинный ускоряет. Исследованиями установлено, что для ускорения охоты у овец оптимальна продолжительность светового дня 8–11 ч. В зависимости от периодичности освещения и уровня освещенности изменяется продуктивность животных. Например, у коров наибольшая продуктивность наблюдается при световом дне 14–16 ч, у подсвинок 12 ч.

В нашей стране разработаны многодневные графики световых режимов для птицы. Применение дифференцированного в зависимости от возраста птицы светового дня по сравнению с естественным (13–15 ч) может увеличивать общую продуктивность кур на 10%.

На продуктивность также влияет уровень освещенности. Так, содержание свиноматок при освещенности 100 лк способствовало повышению белково-минерального обмена и резистентности организма, росту плодовитости на 5,8%, увеличению средней массы поросят при рождении на 4,5–16% по сравнению с животными, находившимися в помещении с освещенностью 6–10 лк.

В табл. 16.22 представлены нормы освещенности в животноводческих помещениях.

Как и в случае фотобиологических реакций человека, в организме животных и птиц происходят многочисленные фотопроцессы под воздействием УФ-излучения. Наряду с образованием витамина D₃, под влиянием УФ-облучения в коже образуются другие биологически активные фотопродукты: ацетиlxолин, гистамин, свободные радикалы, продукты перекисного окисления жирных кислот, простогландины. Указанные вещества, попадая в кровоток, путем сложных нейроэндокринных реакций генерализируют эффект УФ-облучения на весь организм. Ведущая роль в этих реакциях принадлежит центральной нервной системе и ее рефлекторным механизмам. Так, малые и средние дозы УФ-облучения ускоряют выработку условных рефлексов.

Под влиянием уривку излучения изменяется функциональная активность вегетативной нервной системы: малые и средние дозы стимулируют симпатический отдел нервной системы, большие оказывают преимущественно ваготропное влияние.

УФ-излучение видоизменяет и гормональный статус у облученных животных. Усиливается деятельность гипофиза, надпочечников, щитовидной, поджелудочной и половых желез.

Как следствие функциональных сдвигов в вегетативной нервной системе и железах внутренней секреции изменяется работа почти всех жизненно важных

Таблица 16.22

Нормы освещенности, лк, в животноводческих помещениях

Наименование помещения	Освещенность, лк по [16.73, 16.74]		Освещенность, лк по [16.77]	Освещенность, лк по [16.76]
	Разрядные ИИ	Лампы накаливания		
Крупный рогатый скот молочного направления				
Помещения для содержания коров и ремонтного молодняка: зона кормления стойла, секции, боксы	75 50	30 20	80–120 80–120	
Помещения для содержания быков-производителей	75	30		30
Помещения родильного отделения: для отела коров для санитарной обработки коров профилакторий, помещения для содержания телят	150 75 100	100 30 50	80–100 70–100	
Телятники	100	50	80–100	
Крупный рогатый скот мясного направления				
Денники и секции для коров-кормилиц с телятами	75	30	80–120	
Помещения для дорашивания молодняка	50	20		
Помещения для откорма молодняка (стойла, секции, боксы)	50	20	30–40	
Помещения для санитарной обработки, сушки, взвешивания молодняка	100	50		
Свиньи				
Помещения для хряков-производителей, свиноматок, поросят-сосунков	75	30	80–100	60
Помещения для содержания отъемышей и молодняка	75	30	80–100	
Помещения для содержания откормочного поголовья	50	20	30	60
Овцы				
Помещения для содержания маток, баранов		30	80–100	
Тепляк с родильным отделением	100	30	80–100	
Лошади				
Помещения для содержания племенных лошадей	75	30		60
Помещения для содержания рабочих лошадей	50	20		60
Помещения для содержания молодняка	75	30		
Птица				
Помещения для напольного содержания кур промышленного стада	75	30	20–40	
Помещения для клеточного содержания кур, бройлеров-индеек, гусят, утят	75	30	15	15
Помещения для содержания родительского стада кур	75	30		
Помещения для сортировки и обработки цыплят	300	200		
Инкубаторий (инкубаторный зал)	75	30		
Звери и кролики				
Помещения закрытого типа для содержания кроликов	75	50		60
Шеды всех видов	75	50		
Вольер для молодняка	10	10		
Манеж, пункт искусственного осеменения животных	200	150		
Помещения со стойлами для перддержки животных после осеменения	75	30		
Преддоильные и последоильные площадки	50	20		
Доильные залы и площадки	200	150		

органов и систем, что выражается в улучшении обмена веществ, физиологического состояния, в частности, повышении резистентности организма, увеличении продуктивности животных.

Многочисленные эксперименты показали, что применение УФ-излучения при прочих равных условиях (питание, микроклимат, уход за животными) приводит к росту продуктивности на 10–20% (повышение уоев, перевесы телят, повышение яйценоскости и др.).

До настоящего времени для животных не предложено стандартных спектров действия излучения, и при оценке воздействия УФ-излучения пользуются эритемной кривой, принятой для человека, с учетом коэффициента пропускания волосяного покрова животного. В табл. 16.23 (а) приведены режимы УФ-облучения, определенных по начальному образованию эритемы кожи у крупного рогатого скота и свиней [16.75, 16.77]. Отечественные нормативные документы [16.78] указывают примерно такие же дозы УФ-облучения в сутки, табл. 16.23 (б).

При определении облученности или времени облучения в [16.78] рекомендуется пользоваться законом взаимозаменяемости, но при этом не оговариваются предпочтительные уровни облученности. Практика и рекомендации по применению конкретных ОП свидетельствуют, что время облучения может варьироваться от нескольких минут до часов в зависимости от вида и состояния животных. Имеется указание на то, что к полной суточной дозе (особенно при облучении молодняка) нужно подходить постепенно с перерывами в несколько суток в течение 10–15 дней после первого сеанса.

В последнее время делаются попытки повысить эффективность ОУ за счет излучения с $\lambda \leq 290$ нм в качестве эритемного воздействия при низком уровне фона — освещенности. Однако в любом случае нужно помнить не только о деструктивном воздействии такого излучения на объект, но и о возможных отрицательных воздействиях на обслуживающий персонал.

Опосредованным действием коротковолнового УФ-облучения, приводящим к улучшению микроклимата, является также образование озона — сильного окислителя, приводящего к уменьшению концентрации аммиака и к снижению запыленности воздуха. Подробнее о бактерицидных установках — в разделе 16.4.4.

Инфракрасное излучение нашло широкое применение для обогрева молодняка животных и птицы в начальный период выращивания, особенно в период новорожденности, так как в первые дни жизни механизм терморегуляции молодняка несовершенен. Поросята, например, рождаются без волосяного покрова и подкожного жира, через 30 мин после рождения температура их тела понижается на 2–3°C. Физиологическая терморегуляция у новорожденных ягнят вступает в действие только через 10–15 дней после рождения, а при содержании в сырых и холодных помещениях — даже позднее. У только что вылупившихся цыплят наблюдаются колебания температуры тела при изменении температуры воздуха всего на 0,03°C, а при снижении ее до 14–15°C температура их тела резко понижается. С воз-

растом устойчивость к колебаниям окружающей температуры повышается, а к двум неделям температура тела цыплят достигает постоянного уровня, характерного для взрослой птицы.

Для создания необходимого температурного режима при выращивании молодняка целесообразно применять комбинированный обогрев. Создание повышенной температуры в ограниченной зоне позволяет экономить электроэнергию в сельскохозяйственном производстве.

Наиболее перспективно для локального обогрева ИК-излучение с областью спектра от 760 до 4200 нм, которое характеризуется значительным тепловым и специфическим благотворным действием на организм животных.

Вследствие разной глубины проникновения, механизм действия длинноволнового (от 1400 нм) и коротковолнового (от 760 до 1400 нм) ИК-излучения различен. Так, первое вызывает лишь тепловую эритему поверхностных слоев кожи. При этом кровеносные сосуды значительно расширяются, увеличивая скорость кровотока. Коротковолновое ИК-излучение проникает на глубину 2,5–4 см, достигая подкожного жирового слоя и даже расположенных под ним органов.

Энергия излучения поглощается тканями и преобразуется в тепловую, в результате чего обеспечивается предупреждение переохлаждения глуболежащих органов и тканей. Повышение температуры в облученных тканях способствует ускорению химических реакций и происходящих в них биологических процессов. Усиливая ток крови в сосудах, ИК-излучение способствует улучшению обмена между кровью и тканями. При этом в крови появляются активные продукты распада белков, которые воздействуют на организм, повышая обмен веществ.

Специфичность действия позволяет использовать ИК-облучение в лечебных целях; вызываемая им активная гиперемия (тепловая эритема) способствует улучшению питания тканей и ускорению рассасывания патологических процессов.

Основным параметром, характеризующим необходимый режим ОСУ обогрева, является облученность животного E_e . В общем случае E_e можно найти из уравнения теплового баланса тела животного. Однако из-за трудностей определения температуры поверхности тела животного при локальном обогреве (образование теплового слоя воздуха — «воздушная рубашка») пользуются понятием «ощущаемой температуры». На рис. 16.54 приведены зависимости облученности в функции температуры воздуха в помещении для разных групп животных и птиц. Пользуясь этими графиками, можно определить облученность, которую необходимо реализовать с помощью ИК-установки.

Для освещения и облучения в животноводческих помещениях используется весьма широкий ассортимент **источников света**: ЛН, РЛНД, РЛВД, НЛВД.

Что касается **облучательных приборов**, то их характерное отличие заключается в особых требованиях к защите от агрессивной внешней среды. В связи с этим некоторые типы светильников, которые применяются

Таблица 16.23 (а)

Доза УФ-облучения и режим облучения для крупного рогатого скота и свиней

Вид животного, возраст	Облучение (доза) в сутки, Дж/м ²	Режим облучения	Показатель влияния на продуктивность
Молочный теленок	430–540	Только 3 суток (на 5–7-й день после рождения)	Повышение привесов на 15% и сохранности на 10%
Теленок, 6 недель	540–650	Через 14 дней после помещения в хлев 2 раза по 7 дней с семидневным перерывом	
Теленок, 6–12 недель	540–650	В возрасте 9 недель 2 периода облучения по 7 дней с семидневным перерывом	
Молодняк (без выгона на пастбище)	650–720	Каждые 3 месяца 2 периода облучения по 7 дней	
Молодняк и телки с выгоном па пастбище	650–900	Через 4 недели после помещения в хлев осенью или после окончания периода зеленого корма 4 периода облучения по 7 дней с семидневным перерывом	
Коровы	900–1300	Слабые телки при круглогодичном содержании в хлеву могут облучаться в летний период также в течение 4 периодов	Повышение удоев на 9%
Поросята молочные	90–130	Через неделю после рождения 2 периода облучения по 7 дней с семидневным перерывом	Увеличение сохранности на 15%
Поросята, отлученные от матки, до 100-дневного возраста	130–180, до 250	Через 10–14 дней после помещения в хлев 2 периода облучения по 7 дней с семидневным перерывом	Увеличение привесов на 20% и сохранности на 15%
Молодые свиньи	320–360	2–3 периода облучения по 7 дней с семидневным перерывом в зависимости от наступления половой зрелости	
Старые свиньи	360–650	После отлучения поросят 2–3 периода облучения по 7 дней с семидневным перерывом и 2 облучения во время беременности (по 7 дней)	
Свиньи на откорм	250–540	Максимум 3 периода облучения по 7 дней, распределенных на время откорма	
Хряки	360–720	В зимнее время без движения на воздухе 2–3 периода облучения по 7 дней с семидневными перерывами	

Таблица 16.23 (б)

Доза облучения для разных видов животных и птицы

Вид и возрастная группа животных	Доза облучения в сутки, мэ·ч/м ² *
Телята до 6 месяцев	120–140
Телята старше 6 месяцев	160–180
Телки и нетели	180–210
Коровы и быки	270–290
Поросята-сосуны	20–25
Поросята-отъемыши	60–80
Поросята на откорме и свиноматки	80–90
Ягнята 3-дневного возраста до отбивки	220–240
Овцематки	245–260
Цыплята при содержании па полу	15–20
Цыплята при содержании в клетках с решетчатыми передними стенками	20–25
То же, со штампованными передними стенками	40–50
Куры-несушки при содержании на полу	20–25
Куры-несушки при клеточном содержании	40–50

* Эффективная доза облучения (с учетом кривой эритемного действия излучения) может быть выражена в Дж/м², 1 Дж (эф)/м² = 3,6 мэ·ч/м².

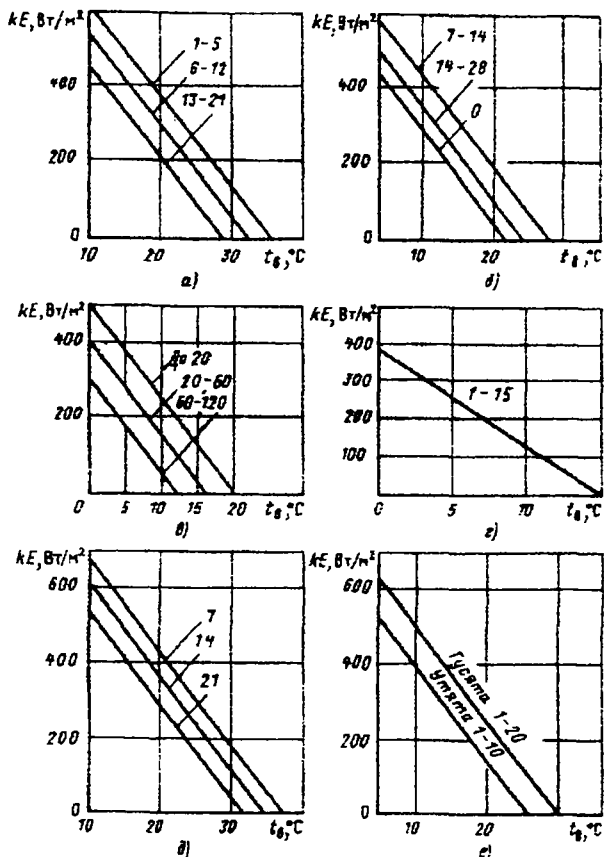


Рис. 16.54. Определение ИК-облученности при различной температуре окружающего воздуха: а — для цыплят; б — для поросят (о — отъемыши); в — для телят; г — для ягнят; д — для индюшат; е — для гусят и утят (цифры на кривых обозначают возраст молодняка в сутках)

для освещения в промышленности, нашли применение в животноводческих комплексах. Однако следует иметь в виду, что кроме агрессивной среды (пары аммиака, сероводород, пары воды, перепады температур, дезинфицирующие растворы) животноводческие помещения имеют специфичную архитектуру (преимущественно арочного типа), внутреннюю отделку, высокую степень запыленности. Кроме того, свет в таких помещениях служит не столько для обеспечения зрительных работ персонала, сколько для воздействия на биологический объект. В табл. 16.24 представлены характеристики облучательных приборов для животноводческих помещений. На рис. 16.55 представлены типичные приборы для животноводческих помещений.

Примером осветительной установки в коровнике может служить установка, выполненная со светильниками типа 1 (рис. 16.55, а). Светильники расположены в две линии на высоте 2,3 м. При коэффициенте отражения стен и потолка 0,5–0,6 и пола 0,2–0,3 освещенность составила под одной линией 75 лк, под другой — около 150 лк (в начале эксплуатации — соответственно

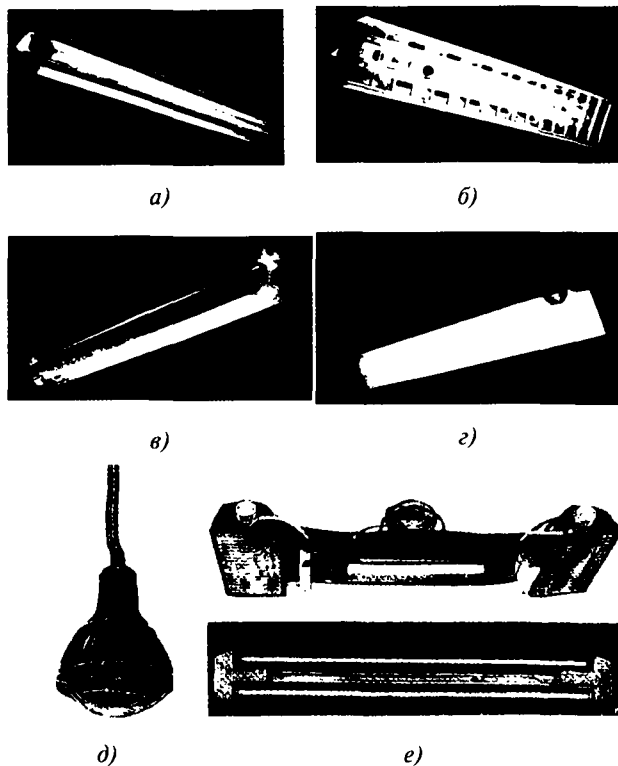


Рис. 16.55. Светильники и облучатели для освещения животноводческих помещений: а — тип 1; б — комбинированный светильник-облучатель тип 2; в — облучатель эритемный для с/х помещений тип 3; г — облучатель бактерицидный для обеззараживания с/х помещений тип 4; д — ИК-облучатель для обогрева животных и птиц тип 5; е — комбинированный ИК- и УФ-облучатель тип 6

около 90 и 175 лк). Коэффициент равномерности освещенности достаточно высок — около 0,65.

Молочная продуктивность животных после создания этой установки повысилась почти на 8%.

Если вместо светильника применить облучатель-светильник, например типа 2 (рис. 16.55, б), в котором наряду с осветительной ЛЛ используется эритемная лампа низкого давления, то ОСУ приобретет комплексный характер. Это позволяет решить по крайней мере две светотехнические задачи — освещения и УФ-облучения.

Подобные комбинированные светильники с одной лампой ЛБ30 и эритемной лампой ЛЭ30-1 используются в телятниках, освещенность составляет около 100 лк, эритемная облученность 20–24 мВт/м². Использование такой установки снизило падеж молодняка и повысило среднесуточный привес телят до 10%. Установка может работать при температуре 8–16°C, относительной влажности до 90% и отклонениях напряжения 5–7,5% [16.79].

В сельском хозяйстве наряду с УФ эритемными облучателями типа 3 (рис. 16.55, в) применяются также

Таблица 16.24

Обобщенные характеристики облучателей для животноводства

№ п/п	Вид с/х производ-ства	Освещен-ность, лк	Облучательные прибо-ры, требования	Источники света	УФ-облучение в сутки, Дж/м ²	Источники УФ-излучения	ИК-облуче-ние, Вт/м ²	Нормируемая температура, макс, °С
I	Молочно-товар-ные фермы: Молочное стадо	150	Светораспределение Н,Р КСС (КСИ) — Д, Л; Защита от поражения электр. током — I; Степень защиты IP-54;	ЛЛ КЛЛ ДРЛ НЛВД	1100 ± 200	ДРТ ДБ ЛЭ	—	—
	Телятник	150		КЛЛ ЛЛ НЛВД	500 ± 50	ЛЭ	500–25I _н	20
II	Свиноводческие фермы:	100	Степень жесткости мех. факторов, воздействующих на при-боры — I; Климатическое испол-нение — У; Категория размеще-ния — 5; КПД изделия — 0,7 ± 0,1	КЛЛ ЛЛ	360 ± 40	ДРТ ДБ ЛЭ	—	—
	Поросята	80		КЛЛ ЛЛ	110 ± 20	ЛЭ	750–25I _н	30
III	Птицефабрики:	75		КЛЛ ЛЛ	40–50	ЛЭ	—	—
	Цыплята	75		КЛЛ ЛЛ	15–20	ЛЭ	875–25I _н	35

УФ бактерицидные облучатели типа 4 (рис. 16.55, з) для обеззараживания сельскохозяйственных помеще-ний.

В опытной ОУ, разработанной Горьковским сель-скохозяйственным институтом и ВНИСИ, были при-менены светильники с НЛВД мощностью 100 Вт. Было установлено, что при освещенности 80–110 лк и фото-периоде 14–16 ч можно получить привес молодняка крупного рогатого скота и его сохранность не хуже, чем в помещениях с ЛЛ. При этом отмечены дополнитель-ная экономии электроэнергии и снижение затрат на обслуживание ОСУ.

Для ИК-обогрева молодняка широко используются облучатели типа 5 и 6 (рис. 16.55, д, е). На рис. 16.56, а, б даны примеры использования комбинированного ос-вещения телят и поросят. Использован облучатель типа ИКУФ-1.

Освещение птицы при клеточном содержании по-казано на рис. 16.56, в, при напольном — на рис. 16.56, г. В первом случае использован облучатель типа 2, во втором — типа 1.

Пример осветительно-эритемной установки дан на рис. 16.56, д.

Применение ОИ в сельском хозяйстве не ограничи-вается только облучением и освещением растений, жи-вотных и птицы.

Известно множество технологий обработки первич-ных продуктов сельскохозяйственного производства, в которых весьма эффективно используется ОИ. Среди них нужно отметить ИК и УФ-пастеризацию молока, причем последняя предпочтительнее, так как не приво-дит к разрушению ферментов и денатурации белка и

выпадению минеральных солей, дезинсекцию зерна, сортировку, разбраковку и хранение фруктов и овощей. Проводятся исследования по УФ-обработке хлопко-сырца, освещения червоуден для тутового шелко-пряда.

Уничтожение насекомых па животноводческих комплексах, птицефермах, в плодовых садах осущест-вляется с помощью светолушек. Эти приборы основа-ны на явлении фотоиндуцирования направленного движения свободных биологических объектов (насеко-мых, рыб и др.) — **фототаксисе**. Главными элементами светолушек являются источник оптического излуче-ния (аттрактант) и устройство уничтожения насекомых механического, химического или электрошокового действия.

Основными требованиями к световым характери-стике светолушек являются: соотношение интен-сивностей (силы излучения) в максимумах аттрактант-ного действия на длинах волн 360:440:580 нм должно составлять 15:30:50%; предпочтительная частота пуль-сации излучения — 50 Гц или выше 300 Гц; яркость ИИ — от 20000 до 500000 кд/м².

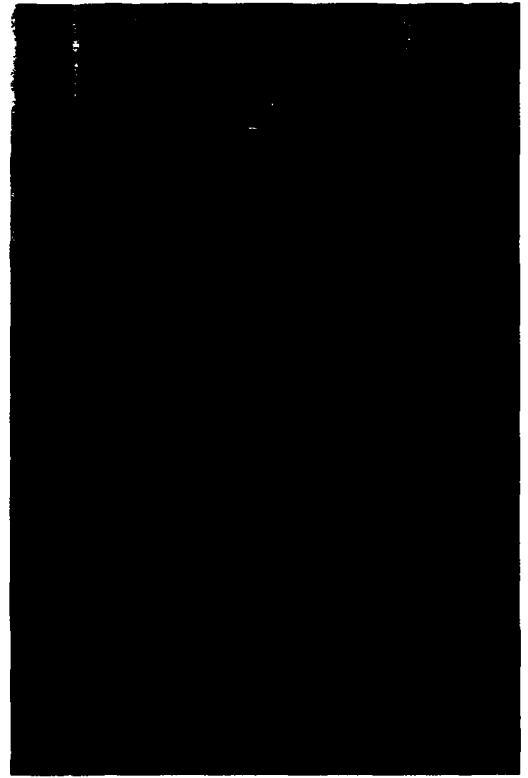
Светолушки работают от аккумуляторов с напря-жением 12/24/36 В. Напряжение на электродах элек-трошокового действия ловушки составляет 3–8 кВ.

На рис. 16.57 представлен один из вариантов реше-ния светолушки с безэлектродной лампой, на рис. 16.58 представлена спектральная кривая фотобио-логической чувствительности яблоневого плодожорки.

Другие примеры применения фототаксиса см. в [16.81].



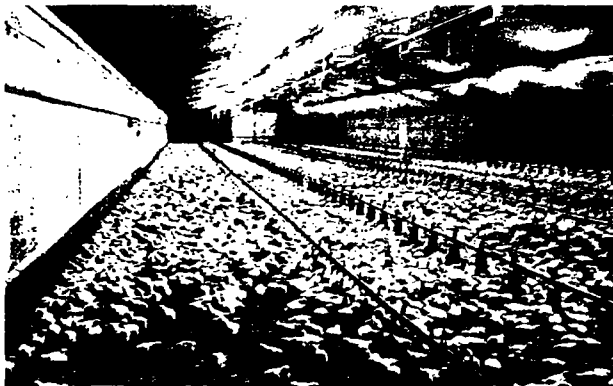
a)



б)



в)



г)



д)

Рис. 16.56. Облучение животных: *a* — облучение телят комбинированным светом; *б* — освещение и облучение порося; *в* — клеточное содержание птицы; *г* — напольное содержание цыплят; *д* — осветительно-эритемная облучательная установка с лампами ЛБ40 и ЛЭ30-1

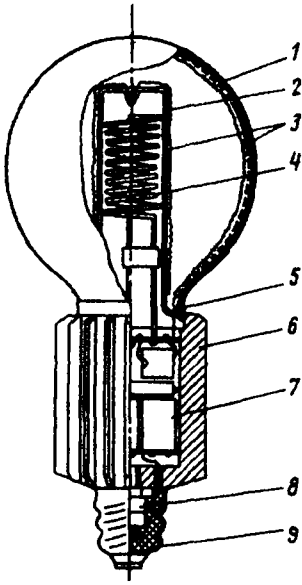


Рис. 16.57. Конструкция безэлектродной люминесцентной лампы для светолоушки: 1 — колба лампы; 2 — цилиндрическая полость; 3 — люминофорный слой; 4 — индуктор соленоидальный; 5 — цоколь лампы; 6 — радиатор цилиндрический; 7 — элементы схемы; 8 — транзистор; 9 — цоколь

16.4.4. Установки бактерицидного действия

[77, 84, 86, 16.(82–99)]

Коротковолновое УФ-излучение приводит к деструктивно-модифицирующим фотореакциям в живых организмах с летальным исходом (**бактерицидное действие**). Как правило, спектры действия летального эффекта имеют выраженный нуклеиновый максимум при $\Delta\lambda = 200\text{--}265$ нм. Однако для отдельных организмов описаны как чисто «белковые» (с максимумом при $\lambda = 280$ нм), так и смешанные (с максимумами при $\lambda = 260$ нм и $\lambda = 280$ нм) спектры летального эффекта. Слабым инактивирующим действием на клетки обладает и ближнее УФ-излучение ($\lambda > 320$ нм), однако необходимые дозы при этом увеличиваются на несколько порядков.

Эффективность бактерицидного действия ОИ характеризуется кривой относительной спектральной бактерицидной эффективности, которая практически одинакова для различных видов микроорганизмов (бактерий, вирусов, грибов и простейших одноклеточных) (рис. 16.59).

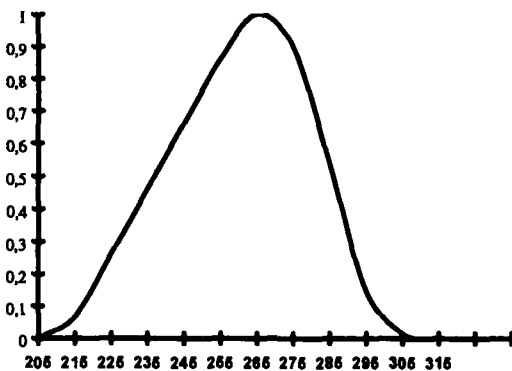


Рис. 16.59. Кривая относительной спектральной бактерицидной эффективности УФ-излучения

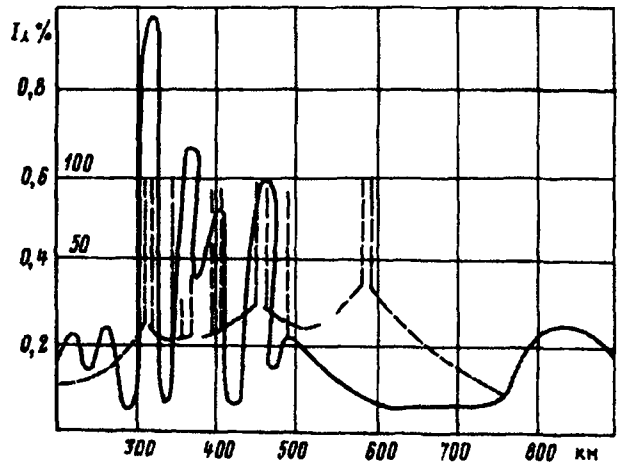


Рис. 16.58. Зависимость реакции яблоневой плодовой гни от длины волны: — — — спектр излучения безэлектродной люминесцентной лампы

При УФ-облучении микроорганизмов наблюдается экспоненциальная зависимость между числом выживших микроорганизмов и значением дозы облучения: $N_b = N_0 \exp(-kH)$, где N_b — число выживших микроорганизмов после облучения; N_0 — начальное число микроорганизмов; k — константа, характеризующая степень чувствительности данного вида микроорганизмов к облучению. Значения бактерицидных доз, необходимых для обеспечения определенных степеней обеззараживания, экспериментально установлены для многих видов микроорганизмов. Последние обобщения МКО представлены в табл. 16.25. Как видно, сопротивляемость различных типов микроорганизмов к УФ-излучению существенно отличается. Так, ориентировочные значения доз УФ-излучения с длиной волны 253,7 нм при бактерицидной эффективности 90%, полученные в лабораторных условиях для воздушной среды, составляют 20–150 Дж/м² для бактерий и вирусов, 200–1500 для грибов, 500–1800 для спор и плесени. Достаточно чувствительны (до 250–800 Дж/м²) к бактерицидному излучению организмы группы простейших, например, цисты лямблий и оцисты криптоспоридий; положительные результаты получены при инактивации гельминтов и их яиц, однако для этого необходимы более высокие дозы (до 4000–6000 Дж/м²). Различие в чувствительности определяется различными типами строения микроорганизмов, их размерами и пигментацией, наличием в их структуре оболочек, стенок и других элементов, защищающих структуру ДНК от воздействия УФ-излучения.

Существенное влияние на устойчивость организмов к УФ-облучению могут оказать внешние факторы. Прежде всего, это белковая среда, окружающая микроорганизмы и обеспечивающая их существование в реальных условиях. Такая белковая оболочка является своеобразным УФ-протектором, ослабляющим бактерицидное действие УФ-излучения. Повышенная влажность среды существенно увеличивает устойчивость

Таблица 16.25

Активная доза облучения с $\lambda = 253,7$ нм, необходимая для подавления 90% организмов в колонии [16.83]

Микроорганизм	Поверхностная доза облучения, Дж·м ⁻²	Постоянная инактивации микроорганизмов, м ² ·Дж ⁻¹	Литература	Тип	Испытуемая среда	
Bacillus anthracis (vegetative)	45,2	0,05	Sharp, 1938	Bacteria	Air	
Bacillus anthracis (spores)		0,0031	Knudson, 1986	Bacteria	Plates	
S. enteritidis	40,0	0,058	Dreyer et al., 1936	Bacteria	Plates	
B. megatherium sp.	37,5	0,061	Hercik, 1937	Bacteria	Plates	
B. megatherium sp. (spores)	28,0	0,082	Hercik, 1937	Bacteria	Plates	
B. paratyphosus	32,0	0,072	Dreyer et al., 1936	Bacteria	Plates	
B. subtilis (mixed)	71,0	0,032	Rentschler et al., 1941	Bacteria	Air	
	60,0	0,038	Koller, 1939	Bacteria	Air	
B. subtilis spores	120,0	0,019	Rentschler et al., 1941	Bacteria	Air	
Corynebacterium diphtheriae	34,0	0,068	Sharp, 1938	Bacteria	Air	
		0,0701	Sharp, 1939	Bacteria	Plates	
Eberthella typhosa	21,4	0,108	Sharp, 1938	Bacteria	Air	
Micrococcus candidus	60,5	0,038	Ehrismann et al., 1932	Bacteria	Plates	
Micrococcus piltonensis	81,0	0,028	Rentschler et al., 1941	Bacteria	Air	
Micrococcus sphacroides	100,0	0,023	Rentschler et al., 1941	Bacteria	Air	
Neisseria catarrhalis	44,0	0,052	Rentschler et al., 1941	Bacteria	Air	
Phytomonas tumefaciens	44,0	0,052	Rentschler et al., 1941	Bacteria	Air	
Proteus vulgaris	27,0	0,085	Rentschler et al., 1941	Bacteria	Air	
Pseudomonas aeruginosa		0,2375	Collins, 1971	Bacteria	Air	
		0,5721	Sham, 1940	Bacteria	Air	
		55,0	0,042	Ehrismann et al., 1932	Bacteria	Plates
Pseudomonas fluorescens	35,0	0,066	Ehrismann et al., 1932	Bacteria	Plates	
S. typhimurium	80,0	0,029	Dreyer et al., 1936	Bacteria	Plates	
Sarcina lutea	197,0	0,012	Rentschler et al., 1941	Bacteria	Air	
Serratia marcescens		24,2	0,095	Rentschler et al., 1941	Bacteria	Air
		22,0	0,105	Sham, 1938	Bacteria	Air
		8,3	0,277	Ehrismann et al., 1932	Bacteria	Plates
			0,2208	Collins, 1971	Bacteria	Air
			0,2140	Riley, 1976	Bacteria	Air
			0,4449	Sharp, 1940	Bacteria	Air
Dysentery bacilli	22,0	0,105	Dreyer et al., 1936	Bacteria	Plates	
Shigella paradysenteriac	16,8	0,137	Sham, 1938	Bacteria	Air	
Spirillum rubrum	44,0	0,052	Rentschler et al., 1941	Bacteria	Air	
Staphylococcus albus		18,4	0,125	Sharp, 1938	Bacteria	Air
		33,0	0,070	Rentschler et al., 1941	Bacteria	Air
		18,4	0,125	Rentschler et al., 1941	Bacteria	Air

Продолжение табл. 16.25

Микроорганизм	Поверхностная доза облучения, Дж·м ⁻²	Постоянная инактивации микроорганизмов, м ² ·Дж ⁻¹	Литература	Тип	Испытуемая среда
Staphylococcus aureus	21,8	0,106	Gates, 1929/1930	Bacteria	Plates
	49,5	0,047	Ehrismann et al., 1932	Bacteria	Plates
	30	0,0886	Sharp, 1939	Bacteria	Plates
	6,76	0,3476	Sharp, 1940	Bacteria	Air
	55	0,0419	Abshire, 1981	Bacteria	Plates
	0,02	0,9602	Luckiesh, 1946	Bacteria	Air
Streptococcus haemolyticus	26,0	0,089	Sharp, 1938/39	Bacteria	Air/Plate
	21,6	0,107	Sharp, 1938	Bacteria	Air
Streptococcus lactis	61,5	0,037	Rentschler et al., 1941	Bacteria	Air
Streptococcus viridians	20,0	0,115	Sharp, 1938	Bacteria	Air
Clostridium tetani	49,0	0,047	Sharp, 1939	Bacteria	Plates
Streptococcus pyogenes	21,6	0,107	Sharp, 1939	Bacteria	Plates
		0,6161	Lidwell, 1950	Bacteria	Plates
		0,1066	Misterlich, 1984	Bacteria	Air
Streptococcus salivarius	20,0	0,115	Sharp, 1939	Bacteria	Plates
Streptococcus albus	18,4	0,125	Sharp, 1939	Bacteria	Plates
B. prodigiosus	8,3	0,329	Ehrismann et al., 1932	Bacteria	Plates
B. pyocyaneus	55,0	0,052	Ehrismann et al., 1932	Bacteria	Plates
Mycobacterium tuberculosis (Tubercle bacilli)		0,0987	David, 1973	Bacteria	Air
		0,4721	Riley, 1976	Bacteria	Air
		0,2132	Collins, 1971	Bacteria	Air
	100,0	0,023	Philips, 1972	Bacteria	Plates
Mycobacterium kansasii		0,0364	David, 1973	Bacteria	Air
Mycobacterium avium-intra		0,0406	David, 1973	Bacteria	Air
Escherichia coli		0,0927	Sharp, 1939	Bacteria	Plates
		0,3759	Sharp, 1940	Bacteria	Air
Haemophilus influenzae		0,0599	Mongold, 1992	Bacteria	Plates
Adenovirus		0,0546	Jensen, 1964	Virus	Air
		0,0047	Rainbow, 1973	Virus	Plates
Vaccinia		0,1528	Jensen, 1964	Virus	Air
Vaccina		0,1542	Gafasso, 1965	Virus	Plates
Coxsackievirus		0,1108	Jensen, 1964	Virus	Air
Influenza A		0,1187	Jensen, 1964	Virus	Air
Cryptococcus neoformans		0,0102	Wang, 1994	Fungal spores	Plates
Fusarium oxysporum		0,0112	Asthana, 1992	Fungal spores	Plates
Fusarium solani		0,00706	Asthana, 1992	Fungal spores	Plates
Penicillium italicum		0,01259	Asthana, 1992	Fungal spores	Plates

Микроорганизм	Поверхностная доза облучения, Дж·м ⁻²	Постоянная инактивации микроорганизмов, м ² ·Дж ⁻¹	Литература	Тип	Испытуемая среда
<i>Penicillium digitatum</i>		0,00718	Asthana, 1992	Fungal spores	Plates
<i>Rhizopus nigricans</i> spores		0,00861	Luckiesh, 1946	Fungal spores	Air
<i>Cladosporium lerbarum</i>		0,00370	Luckiesh, 1946	Fungal spores	Air
<i>Scopuianopsis brevicaulis</i>		0,00344	Luckiesh, 1946	Fungal	Air
<i>Mucor mucedo</i>		0,00399	Luckiesh, 1946	Fungal spores	Air
<i>Penicillium chrysogenum</i>		0,00434	Luckiesh, 1946	Fungal spores	Air
<i>Aspergillus amstclodami</i>		0,00344	Luckiesh, 1946	Fungal spores	Air
<i>Fusarium oxysporum</i>		0,0112	Asthana, 1992	Fungal spores	Plates
<i>Fusarium solani</i>		0,00706	Asthana, 1992	Fungal spores	Plates
<i>Penicillium italicum</i>		0,01259	Asthana, 1992	Fungal spores	Plates
<i>Penicillium digitatum</i>		0,00718	Asthana, 1992	Fungal spores	Plates

бактерий *Staphylococcus epidermidis*, *Serratia marcescens* и *Mycobacterium bovis*, а для споровых форм, например, *Bacillus subtilis*, и плесени может наблюдаться обратная зависимость. Влияет на эффективность инактивации также вид поверхности, на которой находятся микроорганизмы (в частности, отражательная способность материала в бактерицидной области, его шероховатость и т.п.).

Вода поглощает УФ-излучение, что приводит к уменьшению его интенсивности. Основное влияние на поглощение УФ-излучения в воде и на эффективность обеззараживания оказывают цветность, мутность, окисляемость и содержание солей железа. При обработке воды в установках УФ-обеззараживания для обеспечения бактерицидной эффективности 99,9% для общих и термотолерантных колиформных бактерий, *E. Coli*, стафилококков, а также возбудителей брюшного тифа, вирусного гепатита и других инфекционных заболеваний определена доза не менее 160 Дж/м² с учетом поглощения в воде. Доза УФ-облучения регламентируется также в ряде стран (Германия и другие страны ЕС, США и др.). В каждом конкретном случае необходимая доза определяется концентрацией микроорганизмов и их типом. При обработке питьевой воды зарубежные требования определяют, что УФ-система должна обеспечивать дозу не менее 400 Дж/м².

Помимо указанных факторов, приводящих к существенным вариациям в требуемых дозах бактерицидного облучения, указываются механизмы фотопротекции и фоторепарации, т.е. восстановления процесса деления и формирования колоний под воздействием длинноволнового УФ и видимого (синего) излучения (от 330 до 420 нм). Этот механизм подавляется (компенсируется) посредством увеличения дозы УФ-облучения.

Эффективный источник бактерицидного излучения должен излучать преимущественно в бактерицидном диапазоне или, по крайней мере, обладать высоким КПД преобразования электрической энергии в излуче-

ние бактерицидного диапазона. В настоящее время наиболее эффективными общепринятыми источниками бактерицидного УФ-излучения являются разнообразные, содержащие ртуть газоразрядные лампы, в которых основным излучающим элементом является атом ртути. Длина волны резонансной линии излучения атома ртути 253,7 нм близка к длине волны максимума кривой бактерицидного действия УФ-излучения, что и обуславливает высокий бактерицидный эффект ртутного разряда. РЛНД обладают высоким КПД преобразования входной электрической мощности в УФ-излучение (30% на линии 253,7 нм) и большим сроком службы (~10000 час), однако имеют сравнительно низкую удельную мощность УФ-излучения (<1 Вт/см). РЛВД имеют погонную электрическую мощность около 100 Вт/см, однако КПД преобразования электрической энергии в бактерицидное излучение составляет 8 ± 12%, и их срок службы составляет 1 ÷ 3 тысячи часов. Разработанные в последнее время амальгамные бактерицидные лампы низкого давления (рис. 16.60) сочетают вы-

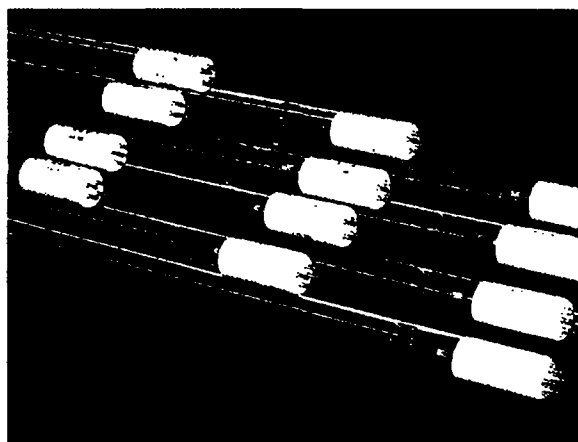


Рис. 16.60. Амальгамные бактерицидные лампы типа ALC

сокий КПД и длительный срок службы с увеличенной по сравнению с РЛНД в 3+5 раз удельной мощностью разряда. Они менее опасны с экологической точки зрения, так как практически не содержат металлическую ртуть или пары ртути при комнатных температурах. Кварцевая (легированная) оболочка таких ламп не пропускает УФ-линию 184,8 нм, и их спектр излучения, в отличие от РЛВД и импульсных ксеноновых ламп, состоит, практически, из одной линии с длиной волны 253,7 нм, поэтому при их использовании не наблюдается фотолиз воды или другие побочные действия, а также образование озона в воздухе. Наличие озона высоких концентраций в воздушной среде может привести к опасным последствиям для здоровья человека, вплоть до отравления со смертельным исходом.

Ведутся разработки и экспериментальное апробирование других источников излучения: высокочастотных, сверхвысокочастотных и импульсных ламп.

При использовании ксеноновых импульсных ламп, например, механизмы дезинтеграции микробов будут зависеть от импульсной мощности УФ-излучения. При пиковой плотности излучения $1-10 \text{ кВт/м}^2$ дезинтеграция микробов обусловлена их тепловым нагревом импульсным излучением. Чувствительность большинства патогенных микроорганизмов к импульсному облучению не определена, поэтому этот метод пока находится в стадии лабораторных исследований. При низких пиковых мощностях воздействие импульсного УФ-излучения такое же, как постоянного действия.

Что касается ВЧ- и СВЧ-источников, то они обладают повышенным КПД выхода резонансного излучения из разряда в силу скин-эффекта (особенно СВЧ) и повышенным сроком службы (безэлектродные системы). Кроме того, возможно синергическое воздействие СВЧ и УФ-излучения на микроорганизмы (рис. 16.61).



Рис. 16.61. УФ-С-облучатель типа ОБУ 600 с СВЧ БЭЛ

В зависимости от конкретной задачи источники бактерицидного излучения используются в специальных облучателях, обеспечивающих эффективную работу лампы и адекватное перераспределение бактерицидного потока в пространстве.

Так, в случае обеззараживания воздуха облучатель может работать в верхней приточной зоне помещения или быть вмонтирован в приточно-вытяжную систему вентиляции воздуха. Возможно применение напольного облучателя открытого типа для работы в отсутствие людей. Возможен также вариант индивидуального (для данного помещения) устройства (рециркулятора), в который встроены источник бактерицидного излучения, обеззараживающий проходящий через рециркулятор воздух.

Облучатели для обеззараживания воды, как правило погружного типа (см. раздел 16.3) в зависимости от масштаба задачи, имеют соответствующее техническое сопровождение (блоки питания, контроля, предварительной очистки воды и т.п.). По аналогии с этими облучательными системами проектируются регенерационные (очистительные) системы сточных и других технологических сбросов.

В результате расчета УФ-установки необходимо получить распределение облученности в объеме облучаемого объекта, либо на его поверхности.

В подавляющем большинстве случаев задача сводится к определению такой точки облучаемого пространства, которая получает минимальную дозу бактерицидного облучения E_{\min} . Естественно, что все другие точки рабочего пространства получают избыточную дозу облучения, это своеобразная плата за 100% решение задачи.

Указанная доза обеззараживания достигается путем увеличения облученности или времени экспозиции t :

$$D = D_{\text{реком}} = E_{\min} t, \quad (16.17)$$

где $D_{\text{реком}}$ — из табл. 16.25.

Для воды или воздуха в случае развитого турбулентного движения используют модель полного перемешивания, которая предполагает, что любой объем воды (воздуха) при движении через установку успеет побыть во всех ее частях. В этом случае, в предположении полного вытеснения обрабатываемой жидкости получаемая доза будет равна $D = \langle E \rangle t$, где $\langle E \rangle$ — средняя облученность в установке $\langle E \rangle = \frac{1}{V} \iiint E dV$, V — объем

бактерицидной установки, t — среднее время прохождения воды через установку.

В многоламповых установках расчет средней облученности учитывает также перекрытие одних ламп другими. Эффективное время нахождения воды в установке можно найти по производительности установки Q и эффективному объему установки $t = V_a / Q = (V - V_2 - V_1) / Q$, где V_1 — объем кварцевых чехлов, окружающих лампы, V_2 — объем застойных зон, который зависит от конструкции установки и линий тока и может составлять 5–7 и даже 10%. Реальное время облучения следует определять экспериментально, например трассерным методом, либо рассчитывать поле скоростей течения воды.

При расчете необходимо учитывать факторы, уменьшающие бактерицидный эффект установки: поглощение УФ-излучения при прохождении воды или воздуха, снижение бактерицидного потока ламп по

мере выработки их ресурса (15–50% в зависимости от типа лампы), колебание температуры среды у стенки лампы или чехла, загрязнение чехлов и отражающих поверхностей, влияние колебаний сетевого напряжения и т.п. Окончательная оценка микробиологической эффективности бактерицидной установки определяется только на натуральных испытаниях службами Госсанэпиднадзора.

Замтим, что метод УФ-обеззараживания, являясь физическим, безреагентным методом обработки сред, лишен главных недостатков химических методов дезинфекции: неизбежное остаточное содержание реагентов в обрабатываемых средах и невозможность непрерывного применения для обработки помещений, объектов, оборудования в присутствии людей, когда и происходит процесс передачи инфекции. УФ-метод не оказывает остаточного воздействия на воду или воздух и не приводит к образованию вредных веществ или других потенциально опасных продуктов, не образуются запахи или привкусы. В случае передозировки (например, в воде или в воздухе) отсутствуют отрицательные или нежелательные эффекты. УФ-метод эффективен, прост и экономичен, он позволяет уничтожать вирусы, грибы и яйца гельминтов, на которые не действуют традиционные химические методы, в частности, хлорирование. Метод фильтрации, широко применяемый для удаления примесей из воздуха и воды, весьма дорог и в настоящее время, как правило, сочетается с обеззараживанием УФ-технологиями. Названные выше преимущества и экономическая целесообразность позволяют все шире внедрять технологии УФ-дезинфекции в системах воздухоподготовки медицинских учреждений, в школьных и дошкольных учреждениях, крупных торговых центрах, на транспорте, на спортивных и развлекательных объектах, в пищевом производстве и т.д.

Бактерицидные облучатели для обеззараживания воздуха подразделяют на три группы — открытые (потолочные, настенные и напольные), комбинированные (настенные) и закрытые. У открытых облучателей прямой бактерицидный поток от лампы и отражателя (или без него) охватывает широкую зону в пространстве вплоть до телесного угла 4π (рис. 16.62, а). В открытых комбинированных облучателях имеется поворотный экран или жестко закрепленный козырек-отражатель, который направляет поток излучения в нужную зону пространства (рис. 16.62, б). Обеззараживание осуществляется под воздействием прямого и отраженного УФ-излучения.

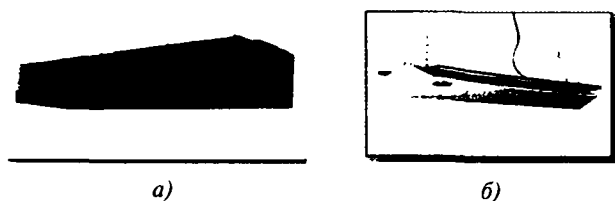


Рис. 16.62. Примеры устройств для обеззараживания воздуха и поверхностей (а, б)

В помещениях группы А [16.94] для обеззараживания воздуха необходимо применять ультрафиолетовые бактерицидные установки с закрытыми облучателями, исключающие возможность облучения УФ-излучением людей, находящихся в этом помещении. В помещениях группы Б обеззараживание воздуха можно осуществлять УФ бактерицидными установками с открытыми облучателями или комбинированными.

В закрытых облучателях (рециркуляторах) (рис. 16.63, 16.64) бактерицидный поток от ламп распределяется в ограниченном замкнутом пространстве и не имеет выхода наружу, при этом обеззараживание воздуха осуществляется в процессе его прокачки через рециркулятор.

Рис. 16.63. Общий вид рециркулятора серии Дезар

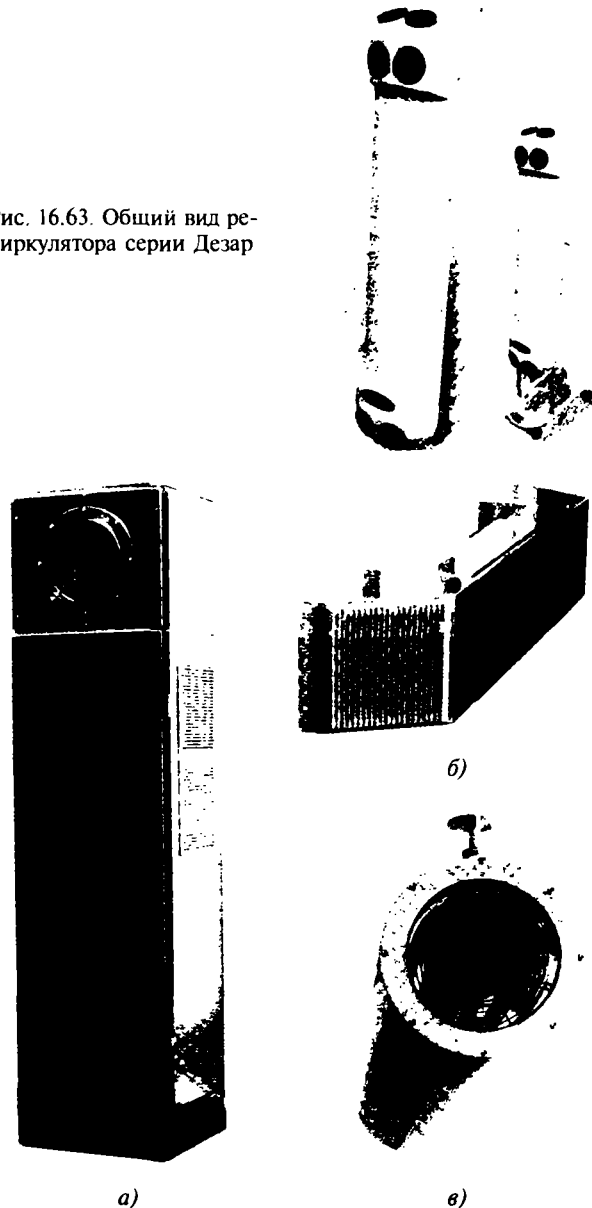


Рис. 16.64. Рециркуляторы воздуха AR-UV и R-UV: а — напольное исполнение; б — настенное исполнение; в — потолочное исполнение

Направление движения
воздуха

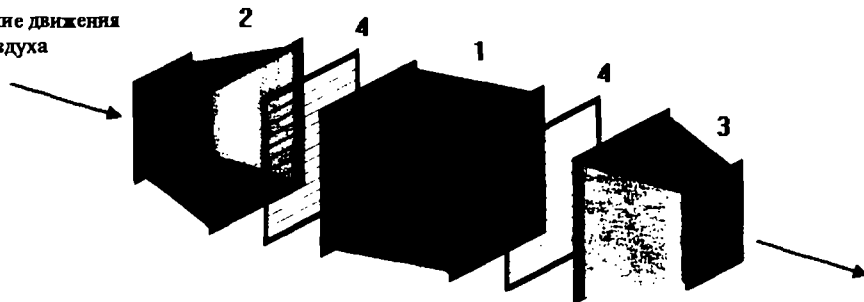


Рис. 16.65. Общий вид УФ-модуля с элементами подсоединения к воздуховоду

Закрытые облучатели (рециркуляторы) предназначены для обеззараживания воздуха производственных помещений, помещений общественного питания и торговли, в лечебно-профилактических учреждениях и в других местах общественного пользования, где требуется поддержание чистоты воздушной среды. Принцип работы рециркулятора заключается в следующем: воздух из окружающей среды засасывается через входное вентиляционное отверстие, обеззараживается УФ-излучением внутри облучателя и удаляется через выходное вентиляционное отверстие. Движение воздуха внутри рециркулятора может обеспечиваться путем естественной конвекции или принудительным прогоном воздуха с помощью вентилятора. Конструктивное решение рециркуляторов полностью исключает выход УФ-излучения за пределы корпуса, поэтому рециркуляторы могут эксплуатироваться в присутствии людей. Рециркуляторы типа AR-UV 170 содержат одну или две лампы ALC-170 при расходе воздуха 200 или 400 м³/час (см. рис. 16.64). Расход определен для *Staphylococcus Aureus* при бактерицидной эффективности 99,9% и антимикробной поверхностной бактерицидной дозе 66 Дж/м² согласно РУ 3.1.683-98 Минздрава РФ «Использование ультрафиолетового бактерицидного излучения для обеззараживания воздуха и поверхностей в помещениях». К этому же типу облучателей относятся и камеры с блоком бактерицидных ламп, устанавливаемые после пылеуловительных фильтров в воздуховодах приточной вентиляции. УФ-модуль представляет собой корпус из нержавеющей или оцинкованной стали, подсоединенный через переходные элементы к воздуховодам. Между стенками внутри корпуса установлены лампы, помещенные в защитные челы, закрепленные в отверстиях стенок корпуса. Общий вид УФ-модуля с элементами подсоединения к воздуховоду представлен на рис. 16.65. Воздух подается в УФ-модуль (1) через входной диффузор (2), проходит между кварцевыми челами, под воздействием УФ-излучения расположенных в них ламп обеззараживается. Обработанный воздух выходит из УФ-модуля через коффузор (3). На фланцах УФ-модуля установлены защитные сепки (4) для предотвращения попадания посторонних предметов в ламповую зону. Обшивка секции УФ-ламп алюминием повышает эффективность работы, поскольку у алюминия самый высокий коэффициент отражения бактерицидного УФ-излучения. Фотография блока УФ-ламп в рециркуляторе дана на рис. 16.66.

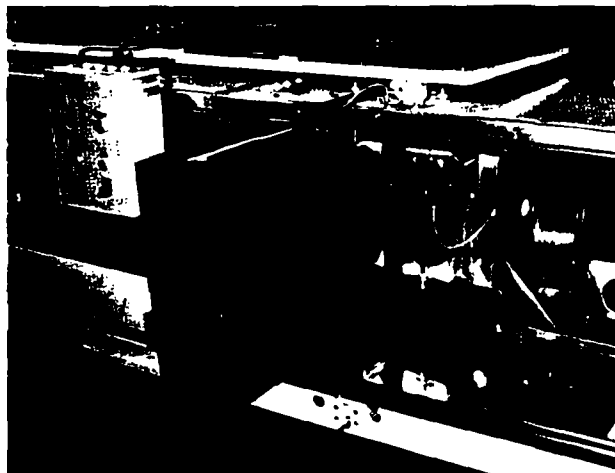


Рис. 16.66. Блок УФ-ламп в рециркуляторе

Наиболее обширный и убедительный опыт применения УФ-излучения накоплен при применении **УФ-технологий для обеззараживания воды**. Обеззараживанию подвергается питьевая, техническая, оборотная, морская вода, воды бассейнов, очищенных и доочистленных сточных вод, в том числе па крупнейших в Европе очистных сооружениях водопровода и канализации в г. Тольятти производительностью 405000 м³/сутки и 290000 м³/сутки соответственно, и па самой большой в мире станции по обеззараживанию питьевой воды в г. Санкт-Петербурге с суточной производительностью 860000 м³. Принципиальная схема корпусной УФ-установки приведена на рис. 16.67. Установки для обеззараживания питьевой воды имеют производительность от 1 до 3600 м³/ч и могут быть рассчитаны на рабочее давление до 10–15 атм. Для обеззараживания сточных вод, прошедших полную биологическую очистку, изготавливаются установки производительностью от 5 до 2500 м³/ч как в безнапорном (погружные лотковые модули), так и в папорном исполнении (рабочее давление до 10 атм). Единичное оборудование при необходимости может соединяться последовательно или параллельно для реализации конкретных компоновочных решений, что позволяет комплектовать УФ-станции производительностью от единиц до миллионов кубических метров в сутки. Классификация УФ-установок возможна по различным признакам: по конструк-

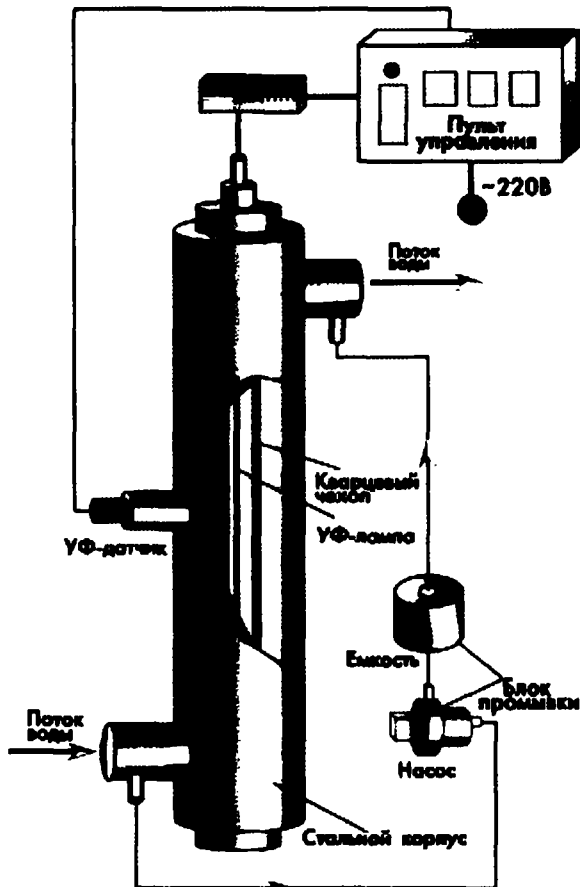


Рис. 16.67. Схема корпусной УФ-установки для обеззараживания воды. Состоит из камеры обеззараживания с УФ-лампой в дополнительном кварцевом чехле, пульта управления с блоком ПРА, блока промывки

тивному исполнению — корпусные и лотковые установки; по производительности — установки малой производительности (от 0,5 до 5 м³/час), установки средней производительности (от 5 до 500 м³/час) и установки большой производительности (от 500 до 5000 м³/час); по характеру движения воды в ламповой зоне — установки продольного и поперечного обтекания ламп; по способу очистки кварцевых чехлов — установки с механической, химической и комбинированной очисткой.

Корпусные установки типа УДВ1/1 производительностью 1 м³/час потребляют мощность 25 Вт и имеют массу 4,5 кг; типа УДВ216 имеют производительность 3600 м³/час при дозе 250 Дж/м² в воде с прозрачностью 70% на линии 253,7 нм, содержат 216 амальгамных ламп, потребляют мощность 59 кВт и имеют массу 2500 кг. На рис. 16.68 представлен внешний вид УФ-установок УДВ216 на очистных сооружениях питьевой воды в г. Уфе общей производительностью 200000 м³/сутки. Вид лотковой станции обеззараживания сточных вод производительностью 20000 м³/сутки в г. Чилкок-Янгмок в Южной Корее представлен на рис. 16.69.

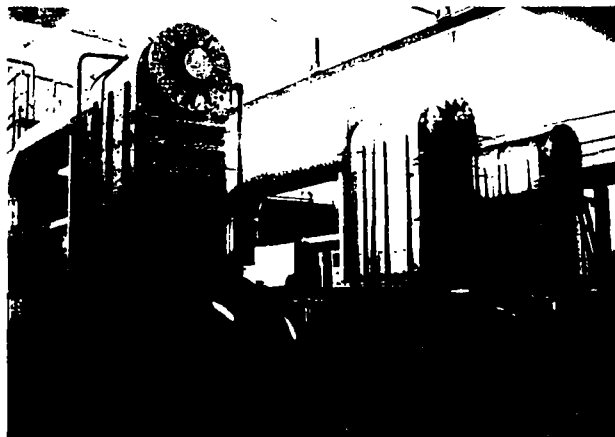


Рис. 16.68. Станция обеззараживания питьевой воды в г. Уфе производительностью 200000 м³/сутки на УФ-модулях УДВ216

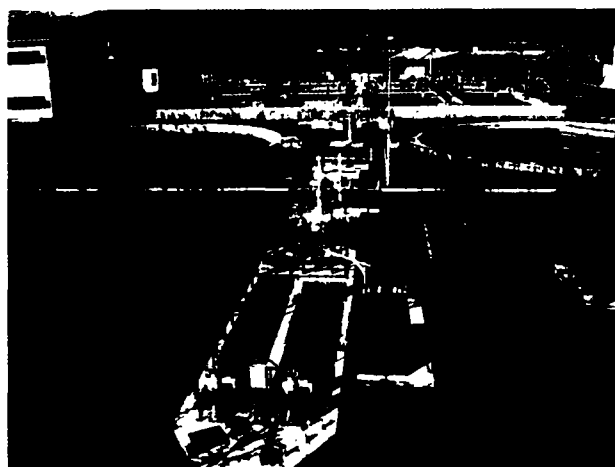


Рис. 16.69. Лотковая станция обеззараживания сточных вод (УФ-модуль на переднем плане) производительностью 20000 м³/сутки на очистных сооружениях в г. Чилкок-Янгмок в Южной Корее

В мировой практике существуют примеры успешного применения УФ-излучения для обработки жидкостей, отличных от воды. Это, прежде всего, дезинфекция вакцин, сывороток, крови в медицинской промышленности, соков, сиропов в пищевой промышленности с целью «холодной пастеризации».

В пищевой промышленности и сельском хозяйстве есть опыт применения УФ-облучения для обеззараживания сыпучих продуктов, например, специй, приправ, сахарного песка, кормовых добавок и т.п. В этом случае для эффективного обеззараживания необходимо обеспечить тщательное перемешивание продукта в зоне УФ-обработки и повышенный уровень облученности (до 500 Вт/м²).

Обеззараживание поверхностей твердых материалов УФ-излучением в настоящее время широко внедряется в пищевой, фармацевтической, косметической промышленности. Метод удачно подошел к высокопроиз-

водительному современному производству, где применяются конвейерные линии, для дезинфекции упаковочного материала, а также емкостей, контейнеров, пробок, транспортировочных лент и пр.

При помощи УФ-излучения удастся обеспечить асептические условия в зонах фасовки и упаковки полуфабрикатов, продлить сроки хранения и реализации хлебобулочных, мясных, молочных и других продуктов питания.

Комплексным образом проблема обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия на транспорте может быть решена при помощи УФ-технологий.

Эффективно зарекомендовало себя УФ-обеззараживание внутренних поверхностей вагонов метрополитена переносными УФ-облучателями. Двукратная 30-минутная обработка в течение суток поверхностей поручней эскалаторов УФ-дозой 4000 Дж/м² существенно снижает риск микробного и гельминтного заражения среди пассажиров метро. Обеззараживание воздуха подземных переходов метрополитена рециркуляторами, в условиях постоянной загруженности и плотных пассажиропотоков, позволяет снизить опасность возникновения эпидемических ситуаций, предотвращая воздушно-капельное распространение инфекций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 16.1. *Meйер А., Зейтц Э.* Ультрафиолетовое излучение. М., ИЛ, 1952.
- 16.2. *Brainard G.C.* Effects of light on physiology and behaviour. Proceedings CIE session. New Delhi, 1996.
- 16.3. *В. ван Боммель, Дж. ван Белд, ван Дойен.* Промышленное освещение и производительность труда, Светотехника № 1, 2003, с. 8.
- 16.4. *Дж. Ван ден Белд.* Свет и здоровье // Светотехника № 1, 2003.
- 16.5. *Ашурков С.Г., Кондратьев К.Я., Сарычев Г.С., Федченко П.П.* Тонкая структура солнечного спектра и экологические проблемы светотехники. Светотехника, № 1, 1993.
- 16.6. *Сарычев Г.С.* Эколого-энергетические проблемы светотехники. Светотехника № 6, 1999.
- 16.7. *Михеев М.А., Михеева И.М.* Основы теплопередачи. М., «Энергия», 1977.
- 16.8. *Зигель Р., Хауэлл Дж.* Теплообмен излучением. М.: Мир, 1975.
- 16.9. *Левитин И.Б.* Применение инфракрасной техники в народном хозяйстве. М.-Л.: Энергия, 1980.
- 16.10. *Иванов А.П.* Электрические источники света. Госэнергоиздат, 1955.
- 16.11. *Ицксон Б.С., Денисов Б.Л.* Инфракрасные газы облучатели. М.: Недра, 1969.
- 16.12. *Борхет Р., Юбиц В.* Техника инфракрасного нагрева, М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963.
- 16.13. *Зворыкин А.Б., Прохоров Ю.И.* Применение лучистого инфракрасного нагрева в электронной промышленности. М.: Энергия, 1980.
- 16.14. *Никифоров Г.Д., Опарин М.И., Лопатина Г.Г.* Применение лучистого нагрева для сварки, пайки и плавки различных материалов // Исследование материалов в условиях лучистого нагрева. Киев: Наукова думка. 1975.
- 16.15. *Сасоров В.Н.* Установка радиационного высокотемпературного нагрева УРАН-1. Электровакуумная техника. 1967. № 42.
- 16.16. *Алексеев Г.М.* Светлазерные технологии и оборудование — новое направление в сварке и пайке деталей. По итогам 3-й Международной автомобильной технологической конференции «Прогрессивные технологические процессы и новые материалы в автомобилестроении», Москва, 21–25 августа 2002 г., ИТО-Новости, № 6, 2002 г.
- 16.17. *Мудрак Е.И., Сарычев Г.С., Уткин В.Н.* Унифицированная серия приборов для лучистого обогрева помещений. Светотехника, 1997, № 3.
- 16.18. *Barbers R.E., Rise H.N., Miller C.G.* Solar simulators at the jet propulsion laboratory, Applied Optics. Vol. 9, № 5, 1979.
- 16.19. *Рымов А.И.* Имитатор солнечного излучения. Светотехника. 1989. № 9.
- 16.20. *Тельный А.А.* Имитация солнечного излучения в лабораторных условиях. Оптико-механическая промышленность. 1975. № 5.
- 16.21. *Калверт Д., Питтс Д.* Фотохимия. М.: Мир, 1968.
- 16.22. *Сарычев Г.С.* К оценке приемника оптического излучения. Светотехника, 1984, № 9.
- 16.23. *Fischer M.* Photochemische Synthesen in technischen Masstab, Angewandte Chemie. 1978. Vol. 90.
- 16.24. *Барачевский В.А.* Прикладные направления органической фотохимии. Химия высоких энергий, 2003, том 37, № 1.
- 16.25. *Mattay J., Griesbeck A.* // Photochemical Key Steps in Organic Synthesis. VCH, 1992.
- 16.26. *Кано Тадао, Мицуки Ионтиро.* Технологическое применение новых источников излучения. Дзидока Гидзюцу. Mech. Automat. 1981, Т. 13, № 8.
- 16.27. *Боженев Ю.П., Гаврилкина Г.Н., Розовский Е.И., Сарычев Г.С.* К расчету коэффициента использования потока излучения погружных источников света в фотохимических установках. Светотехника, 1979, № 12.
- 16.28. *Choi W., Ko J.Y., Park H., Chung J.S.* // Appl. Catalysis B — Environmental, 2001, V. 31.
- 16.29. *Фельдман В.И.* Современное состояние и перспективы радиационно-химических исследований в свете международных научных конференций 1998–2002 гг. Химия высоких энергий, 2003, том 37, № 6.
- 16.30. *Светочувствительные полимерные материалы.* Под ред. Ельцова А.В. Л.: Химия, 1985.
- 16.31. *Алфимов М.В., Якушева О.Б.* Фотохимические способы записи информации. Первичные фотопроцессы. Успехи научной фотохимии. 1978. т. 19.
- 16.32. *Хасэгава Такэхико.* Развитие новой сушильной техники и примеры ее применения. Оборудование для сушики УФ-излучением. Ками по пурасутикку // Paper and Plastic. 1981, Т. 9, № 4.
- 16.33. *Бухтияров В.П.* Оборудование для отделки изделий из древесины. М., Лесная промышленность, 1978.
- 16.34. *Ашурков С.Г., Морозова С.С., Мхитаров М.А.* Использование импульсного режима горения ртутных ламп для фотоотверждения покрытий. Деревобрабатывающая промышленность, 1986, № 4.
- 16.35. *DeLaney W.B. and Makulec,* 1963 A review of the fading effects of modern light sources on modern fabrics, Illum. Eng. 58 (1).

- 16.36. *Праль В., Реслер Г.* Поиск и реализация путей снижения вредящего действия освещения на музейные экспонаты (на примере освещения Дома Эрнста Барлаха в Гамбурге). Светотехника, 1999, № 5.
- 16.37. *Матвеев А.Б., Лебедкова С.М., Петров В.И.* Электрические облучательные установки фотобиологического действия. Под ред. д.т.н. С.П. Решенова. — М.: МЭИ. 1989.
- 16.38. *Сарычев Г.С.* Продуктивность ценозов огурцов и томатов в функции спектральных характеристик ОСУ. Светотехника, 2001, № 2.
- 16.39. *Клейнин А.Ф.* Растение и свет. Теория и практика светокультуры растений. М.: Изд-во АН СССР, 1954.
- 16.40. *Тихомиров А.А., Шарунич В.П., Лисовский Г.М.* Светокультура растений: Биофизические и биотехнологические основы. Учебное пособие. Новосибирск. Изд. Сибирского отд. РАН. 2000.
- 16.41. *McCree K.J.* The action spectrum, absorptance and quantum yield of photosynthesis in crop plants. *Agric. Meteorol.* 9 (3/4): 191–216, 1972.
- 16.42. *Сидько Ф.Я., Лисовский Г.М., Сарычев Г.С. и др.* Действие света различной интенсивности и спектрального состава на продуктивные процессы в ценозах редиса. Красноярск: ИФ СО АН СССР, 1977.
- 16.43. *Шарунич В.П.* Реконструкция систем досвечивания отрасли защищенного грунта России. Теплицы России. Информ. сборник № 3-99. 1999, № 3.
- 16.44. *Пчелин В.М., Горяинов С.В.* Критерии оценки эффективности облучательной техники для теплиц. Теплицы России. Информационный сборник № 1-2001, 2001.
- 16.45. *Сарычев Г.С., Мудрак Е.И.* Сравнительные характеристики облучателей ЖСП36 и «Рефлекс 400» для светокультуры растений. Теплицы России. Информационный сборник № 1-2001, 2001.
- 16.46. *Прикупец Л.Б., Сарычев Г.С., Федюшкин Д.В.* Оптимизация характеристик фитооблучателей на основе фотобиологических экспериментов. Светотехника, 1978, № 5.
- 16.47. *Мальшев В.В., Мудрак Е.И., Рымов А.И., Сарычев Г.С.* Облучательные установки с протяженными отражательными поверхностями. Светотехника. 1983. № 3.
- 16.48. *Овощеводство* защищенного грунта. Под ред. д-ра с.-х. наук С.Ф. Ващенко. — М.: Колосс, 1984.
- 16.49. *Общесоюзные нормы* технологического проектирования теплиц и тепличных комбинатов для выращивания овощей и рассады. ОНТП-СХ-10-86. М.: Агропромиздат, 1985.
- 16.50. *Тихомиров А.А., Лисовский Г.М., Сидько Ф.Я.* Спектральный состав света и продуктивность растений. Новосибирск: Наука. Сиб. отд. 1991.
- 16.51. *Прикупец Л.Б., Тихомиров А.А.* Оптимизация спектра излучения при выращивании овощей в условиях интенсивной светокультуры. Светотехника 1992, № 3.
- 16.52. *Сарычев Г.С.* Светотехническое оборудование для теплиц. Теплицы России. Информационный сборник М.: 1999, № 2-99.
- 16.53. *ГОСТ 19348-82.* Изделия электротехнические сельскохозяйственного назначения. Общие технические требования. Маркировка, упаковка, транспортирование и хранение.
- 16.54. *ГОСТ 15597-82.* Светильники для производственных зданий. Общие технические условия.
- 16.55. *Конев С.В., Волоотовский.* Фотобиология. Минск: БГУ, 1979.
- 16.56. *РТМ 381-73.* Излучение ультрафиолетовое. Величины и единицы. Термины и определения.
- 16.57. *Белинский В.А., Гараджа М.П., Меженная Л.М., Незваль Е.И.* Ультрафиолетовая радиация солнца и неба. М.: Изд. МГУ, 1968.
- 16.58. *Лазарев Д.Н.* Оздоровительное облучение в системе общего освещения помещений. Светотехника. 1974, № 1.
- 16.59. *Жилов Ю.В.* Световой и ультрафиолетовый климат в помещениях для детей и подростков. М.: Медицина, 1978.
- 16.60. *Афанасьева Р.Ф., Бармин В.В., Гаврилкина Г.Н., Мудрак Е.И., Сарычев Г.С.* Об использовании профилактического ультрафиолетового облучения. Светотехника, № 1, 2000.
- 16.61. Photobiological Safety of Lamps and Lamp Systems, CIE S 009 / E : 2002.
- 16.62. *Сарычев Г.С., Гаврилкина Г.Н.* Профилактическое УФ-излучение и стандарт МКО по фотобиологической безопасности ламп и ламповых систем. Светотехника, 2003, № 1.
- 16.63. *Афанасьева Р.Ф., Гаврилкина Г.Н.* «Методика и облучательная техника компенсации «солнечного голодания» населения страны. Светотехника, 2004, № 4.
- 16.64. *Гаврилкина Г.Н.* Будем загорать, Иллюминатор. 2002, № 2.
- 16.65. CIE, Expert Symposium on Light and Health, 30 September — 2 October 2004 University of Music and Performing Arts Vienna, Austria.
- 16.66. *Sarychev G., Gavrilkina G.* Prophylactic UV radiation and CIE Standard on Photobiological Safety of Lamp and Lamp Systems. *J. Light & Vis. Env.* Vol. 28, No. 2, 2004.
- 16.67. *Гигиенические критерии* состояния окружающей среды. 160 Ультрафиолетовое излучение. Всемирная организация здравоохранения. М.: Медицина, 1995, 1984, вып. 14.
- 16.68. *Brainard G., Barker F.M., Hoffman R.J., Stetson M.H., Hanifin J.P., Podolin P.L., and Rollag M.D.* 1994. Ultraviolet regulation of neuroendocrine and circadian physiology in rodents. *Vision. Res.* 34 (11):1521–1533.
- 16.69. *Holick M.F.* 1989. 1,25-Dihydroxyvitamin D3 and the skin: A unique application for the treatment of psoriasis. *Prod. Soc. Exp. Biol. Med.* 191 (3):246–257.
- 16.70. *Berson D.M., Dunn F.A., Motoharu Takao.* Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. *Science.* February 8. 2002.
- 16.71. *Anderson T.F., Waldinger T.P., and Voorhees J.J.* 1984. UV-B phototherapy. *Arch. Dermatol.* 120 (11): 1502–1507.
- 16.72. *Lewy A.J., Sack R.L., Miller L.S., and Hoban T.M.* 1987. Antidepressant and circadian phase-shifting effects of light. *Science* 235:352–354.
- 16.73. *Юрков В.М.* Влияние света на продуктивность животных. Россельхозиздат, 1980.
- 16.74. *Методические рекомендации* по применению ОИ в животноводстве. М., ВИЭСХ, 1978.
- 16.75. *Шевель С.С., Червинский Л.С.* Рекомендации по расчету доз ультрафиолетового облучения свиней. Информ. Письмо Минсельхоз СССР, Киев, 1982.
- 16.76. *Кек Г., Каснер И.* Влияние оптического излучения в животноводстве. Сообщения CIE, 1987.
- 16.77. *Mehlhorn G.* (Editor): *Lehrbuch Tierhygiene, Tiel 1, VEB Gustav Fischer Verlag, Jena, 1979.*

16.78. *Ультрафиолетовое* облучение сельскохозяйственных животных и птиц. Рекомендации научно-технического Совета МСХ СССР, М. 1979.

16.79. *Алферова А.К., Овчукова С.А.* Способы увеличения функциональной эффективности УФ-облучательных установок. Светотехника, № 1, 2000.

16.80. *Корзнев В.В., Юшков Д.Д.* Светоловушки и безэлектродный источник света для них. Электротехника. № 4. 1988.

16.81. *Протасов В.Ф.* Поведение рыб. М.: Пищевая промышленность, 1978.

16.82. *Вассерман А.Л., Шандала М.Г., Юзбашев В.Г.* Ультрафиолетовое излучение в профилактике инфекционных заболеваний. М.: Медицина. 2003.

16.83. *CIE Technical Report. Ultraviolet air disinfection.* 2003.

16.84. *Костюченко С.В., Васильев С.А., Волков С.В. и др.* Требования к современному оборудованию для обеззараживания питьевой воды ультрафиолетовым излучением. Водоснабжение и санитарная техника. 1997. № 3.

16.85. *CDC Guidelines for Preventing the Transmission of Mycobacterium Tuberculosis in Health Care Facilities.* Centers for Disease Control (CDC), MMWR (RR-13). Atlanta, Georgia, 1994.

16.86. *Harm W.* Biological effects of ultraviolet radiation. Cambridge University Press, Cambridge (Eng.), New York. 1980. Georgia, 1994.

16.87. *David H.L., Jones, jr., W.D., and Newman C.M.* Ultraviolet light inactivation and photoreactivation in the Mycobacteria. American Society of Microbiology, 4 (3), 1971.

16.88. *Dulbecco R.* Photoreactivation. In: Hollaender A., ed. Radiation Biology. McGraw-Hill, New York, 1955.

16.89. *Aydinli S., Krochmann J.* Photobiological, photochemical, photophysical, and heat effects of solar radiation. CIE Journal, 4 (2), 1985.

16.90. *Сарычев Г.С., Ашурков С.Г., Гаврилкина Г.Н., Мудрак Е.И.* Ультрафиолетовые технологии: методы и средства облучательной техники. Труды V Международной светотехнической конференции, 2–5 сентября 2003, С-Пб.

16.91. *Переводчиков В.И., Шлиффер Э.Д.* Установка для обеззараживания жидких и твердофазных объектов комбинированным воздействием СВЧ- и УФ-излучений и озона. Труды V Международной светотехнической конференции, 2–5 сентября 2003 г., С.-Пб.

16.92. *Юшков Д.Д., Прикупец Л.Б.* Безэлектродные ВЧ-лампы низкого давления: исследования и разработка, нацеленные на практическое применение. Труды V Международной светотехнической конференции, 2–5 сентября 2003 г., С.-Пб.

16.93. *Ашурков С.Г., Геращенко О.В., Киселев Е.И., Мудрак Е.И., Петров Е.В., Сарычев Г.С.* Бактерицидный ультрафиолетовый облучатель для обеззараживания сыпучих, газовоздушных и жидкостных сред и поверхностей. Пат. на промышленный образец 3 54940. (Приор. 04.12.2002. Зарегистрир. 16.07.2004).

16.94. *Руководство Р 3.5.1904-04.* (Дезинфектология). Использование ультрафиолетового бактерицидного излучения для обеззараживания воздуха в помещениях. Минздрав России. Москва. 2004.

16.95. *СанПиН 2.1.4.1074-01.* Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества.

16.96. *Методические указания МУ 2.1.5.800-99.* Организация Госсанэпиднадзора за обеззараживанием сточных вод.

16.97. *ТИ 95120-00334600-163-00.* Технологическая инструкция по проведению обеззараживания воды при производстве напитков с использованием установок типа УДВ конструкции НПО «ЛИТ». Разработана ВНИИПБиВП (Всероссийским научно-исследовательским институтом пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности) совместно с НПО «ЛИТ».

16.98. *МУ 3.2.1757-03.* «Санитарно-паразитологическая оценка эффективности обеззараживания воды ультрафиолетовым излучением», Минздрав России, 2003.

16.99. *Санитарные нормы ультрафиолетового излучения в производственных помещениях, № 4557-88.* Минздрав СССР, утверждены 23.02.1988 г.

ОСВЕЩЕНИЕ И СВЕТОВАЯ СИГНАЛИЗАЦИЯ НА ТРАНСПОРТЕ

17.1. ОСВЕЩЕНИЕ И СВЕТОВАЯ СИГНАЛИЗАЦИЯ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

К световой среде на объектах железнодорожного транспорта предъявляются очень высокие требования. Это связано с повышенным зрительным напряжением и эмоциональной нагрузкой персонала из-за высокой ответственности за принимаемые решения, значительным объемом воспринимаемой и перерабатываемой информации, требованиями к максимальной скорости реакции, другими факторами. Поэтому оптимизация систем освещения и условий восприятия необходимой информации в производственно-технической и вспомогательной сферах железнодорожного транспорта является одним из важнейших способов повышения производительности и качества транспортных работ, безопасности движения, снижения утомления, исключения аварий и травматизма.

17.1.1. Освещение железнодорожных станций

Станции являются важнейшими объектами железной дороги. На них круглосуточно при любой погоде происходит прием, обработка, формирование и отправление поездов, обслуживание и ремонт станционных устройств и подвижного состава в условиях повышенной опасности.

По особенностям освещения территории железнодорожных станций делятся на две группы [17.1]: 1 — парки станций (сортировочных, участковых, пассажирских), где, как правило, большая часть путей занята подвижным составом; 2 — не занятые постоянно подвижным составом территории (горб и спускная часть сортировочной горки, горловины парков, стрелочные зоны, вытяжные пути, грузовые склады и т.п., а также пассажирские платформы).

На территориях 1-й группы используется децентрализованный способ освещения, при котором ОП равномерно размещаются над междупутьями. Территории 2-й группы, как правило, освещают централизованным способом, при котором ОП устанавливаются на опорах и мачтах различной высоты, находящихся на значительных расстояниях друг от друга. Для освещения территорий этой группы возможен и децентрализованный способ освещения.

Для освещения междупутей территорий 1-й группы наиболее эффективными являются прожекторы и ОП с большими максимальными силами света (100 ккд и более), имеющие широкую КСС в вертикальной плоскости с большим коэффициентом усиления и небольшим

углом излучения в горизонтальной плоскости, однако достаточным для обеспечения нормированной освещенности при установке ОП не над каждым междупутем. Наиболее пригодными для НО железнодорожных территорий являются симметричные прожекторы с двумя плоскостями симметрии с веерными пучками с лампами типов МГЛ (ДРИ), ДРЛ, НЛВД (ДНаТ). Для освещения территорий 2-й группы, кроме указанных выше ОП, применяют также уличные ОП с лампами типов ДРЛ и ДНаТ.

Ориентировочный расчет прожекторного освещения (необходимое число прожекторов и установленная мощность ОУ) производится по удельной мощности [17.2], которая рассчитывается по формуле

$$w = m E_n K, \quad (17.1)$$

где w — удельная мощность, Вт/м²; m — коэффициент, Вт/(м²·лк) (табл. 17.1); E_n — наименьшая нормированная освещенность, лк; K — коэффициент запаса.

Таблица 17.1

Значения коэффициента m

Тип ИС в прожекторе	Группа освещаемой территории	
	1	2
ДРЛ	0,3/0,2	0,15/0,1
ДРИ	0,2/0,15	0,1/0,08
ДНаТ	0,1/0,08	0,05/0,04

Примечание. Данные в числителе относятся к установке прожекторов «веером», в знаменател — «в ряд».

Уточненный расчет прожекторных установок выполняется методом изолокс [17.1, 13, 19] с учетом того, что расстояние между опорами (мачтами, поперечинами) не должно превышать 7–10-кратной высоты установки ОП [17.2].

Опорные и поддерживающие конструкции ОУ железнодорожных территорий можно подразделить на неспецифические (опоры воздушных линий до 1 кВ, мачты осветительные разной высоты, тросовая и цепная подвески ОП) и специфические (для железнодорожных станций — жесткие поперечины контактной сети, прожекторные порталы, гибкие поперечины для подвески ОП, опоры контактной сети) [17.2].

Особенностями ОУ территорий путевого развития станций являются необходимость учета наличия на путях подвижного состава (особенно для 1-й группы территорий) и ограничение мест (междупутей), в которых

могут быть размещены опорные и поддерживающие конструкции.

Для установки ОП используются опоры воздушных линий до 1 кВ (железобетонные и деревянные), опоры контактной сети (копсольные и жестких поперечин), и металлические трубчатые стойки для ОП венчающего или консольного типов. Осветительные приборы крепятся к опорам с помощью кронштейнов. Технико-экономические показатели опор и кронштейнов приведены в [17.2].

Для освещения железнодорожных территорий используются те же осветительные мачты высотой от 15 до 45 м, что и для освещения карьеров и строительных площадок.

Осветительные порталы П-образной формы высотой 15–28 м состоят из двух стоек и горизонтального ригеля, на котором рассредоточено устанавливаются прожекторы. Жесткие поперечины контактной сети, предназначенные также для размещения на них ОП, являются разновидностью осветительных порталов.

Жесткие поперечины, как правило, перекрывают 5–8 путей и реже 3–4 пути. Перильные ограждения жестких поперечин используются и для установки ОП на высоте около 12 м (рис. 17.1). Длина поперечины, перекрывающей 8 путей, равна 44,2 м.

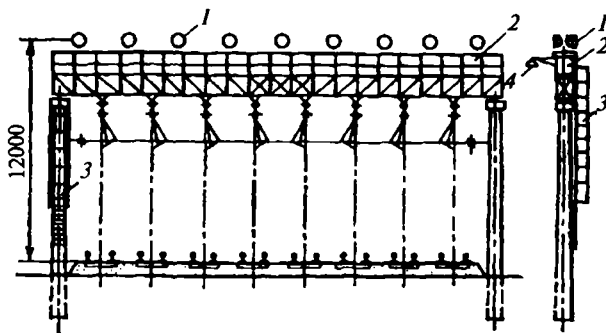


Рис. 17.1. Жесткая поперечина по типовому проекту Гипротранстроя: 1 — прожектор; 2 — ригель жесткой поперечины; 3 — лестница с ограждением; 4 — ОП

Типовые расстояния между несущими конструкциями (l) в зависимости от высоты (H) приведены в табл. 17.2.

Таблица 17.2

Типовые расстояния между несущими конструкциями

Высота несущей конструкции H , м	12	21	28
Расстояние между несущими конструкциями l , м	90	200	250

Тросовые подвески ОП используются в тех случаях, когда путевое развитие станций не позволяет установить жесткие поперечины или порталы. Тросовые подвески подразделяются на целные и простые. Целная подвеска состоит из несущего троса и горизонтального фиксирующего троса. Частным случаем цепной тросо-

вой подвески с анкерным закреплением тросов является гибкая поперечина для подвески ОП. Простая тросовая подвеска состоит из одного несущего троса. Обслуживание ОП при этом осуществляется либо с передвижных средств, либо с помощью специальных облегченных дюралюминиевых лестниц, подвешиваемых к фиксирующему тросу. Простая тросовая подвеска ОП при конструктивной простоте обладает существенными недостатками: сложностью обслуживания ОП, разной высотой установки ОП по длине пролета, что отрицательно сказывается на зрительном восприятии ОУ, кроме того, ОП подвержены раскачиванию во время ветра.

Нормы искусственного освещения. Нормы освещенности открытых производственных территорий, станционных путей и парков, а также искусственных сооружений железнодорожного транспорта регламентированы отраслевым стандартом [17.3].

В табл. 17.3 приведены выдержки из ОСТ 32.120-98. Коэффициент запаса для всех ОУ открытых территорий железнодорожного транспорта для РЛ — 1,5 с учетом четырех чисток в течение года. Максимально допустимое значение показателя ослепленности $P_{\text{доп}} = 800$. Значение P определяется по формуле

$$P = \left[\left(1 + 0,45 \frac{E_{\text{зр}}}{\theta_{\text{бн}}^2 L_{\text{ф}}} \right)^{0,5} - 1 \right] \cdot 1000, \quad (17.2)$$

где $E_{\text{зр}}$ — освещенность в вертикальной плоскости, проходящей по зрачку на уровне глаз наблюдателя, лк; $\theta_{\text{бн}}$ — угол действия блеского источника, град; $\theta_{\text{бн}} = 90^\circ - \alpha$; α — угол между вертикалью и направлением к наблюдателю; $L_{\text{ф}}$ — средняя яркость фона, кд/м².

Расчет P ведется для машиниста маневровых локомотивов в связи с ответственностью их за безопасность маневровых передвижений [17.3]. Линия зрения машиниста расположена на высоте 3,5 м над землей.

Освещенность на зрачке рассчитывают по максимальной силе света I :

$$E_{\text{зр}} = I \sin^3 \alpha / l^2, \quad (17.3)$$

где l — расстояние от осветительной мачты (или жесткой поперечины, или проекции прожектора на горизонтальную поверхность) до наблюдателя; $l = h \operatorname{tg} \alpha$ (h — высота установки прожектора (ОП) над уровнем глаз работающего, м).

Яркость фона

$$L_{\text{ф}} = E\rho/\pi, \quad (17.4)$$

где E — минимальная (или нормированная) освещенность на поверхности земли (междупутья), обеспечиваемая ОУ; ρ — коэффициент отражения поверхности земли (междупутья). При $\rho = 0,1$, $L_{\text{ф}} = 0,032E$, кд/м².

Освещение территорий путевого развития станций. В парках железнодорожных станций (1-я группа территорий), где проводится основная работа по формированию поездов, для обеспечения нормированной освещенности в каждом междупутье при любой занятости путей подвижным составом ОП в зависимости от высо-

Выдержки из норм освещенности открытых территорий, станционных путей и искусственных сооружений железнодорожного транспорта

Объекты	Наименьшая освещенность, лк
Сортировочные и крушные участковые станции: пути и горловины парков приема и отправления, сортировочные и вытяжные пути, а также транзитные парки	5 ¹⁾
пути надвига состава на горку, тормозные позиции на подгорочных путях (вагонные замедлители, башмаконакладыватели и башмакосбрасыватели) на расстоянии 250–300 м от первой разделительной стрелки, хвостовая горловина сортировочного парка, ремонтные пути	10 ¹⁾
Остальные участковые станции: пути транзитных парков	3 ¹⁾
пути и горловины приемо-отправочных и сортировочных парков, маневровые и вытяжные пути с большим объемом грузовой работы	5 ¹⁾
горловины сортировочных парков (в местах работы составительских бригад, регулировщиков скорости вагонов и дежурных стрелочных постов)	10 ¹⁾
Пути и горловины опорных промежуточных станций, имеющие погрузочно-выгрузочные сооружения и устройства*	2 ¹⁾
Пути и горловины остальных промежуточных станций, стрелочные горловины разъездов и обгонных пунктов, пути	1 ¹⁾
Пути пассажирских и технических станций	5 ¹⁾
Пути отстоя моторвагонных секций, локомотивов, вагонов и прочего подвижного состава всех назначений, туликовые пути для отстоя строительных механизмов и дорожных машин, передвижных станций и др. (при отсутствии осмотра и ремонта)	2 ¹⁾
Экипировочные устройства на открытых путях: смотровые канавы**	30 ²⁾
междупутье	20 ¹⁾
площадка для экипировки электровозов и осмотра токоприемников, крышевого оборудования и др.	50 ³⁾
площадка для экипировки тепловозов и осмотра пескораздаточных бункеров	10 ⁴⁾
служебные лестницы и сходы	3 ⁵⁾
склады и базы нефтепродуктов, резервуарные парки***	10 ¹⁾

Поверхность, на которой нормируется освещенность: 1) поверхность земли; 2) поверхность пола канавы на экипажных и ходовых частях; 3) поверхность настила площадки и на крышном оборудовании; 4) поверхность настила площадки; 5) на ступенях.

* Допускается снижение освещенности до 1 лк (кроме горловин и стрелок) по согласованию с Управлениями железных дорог в период отсутствия работы на отдельных участках железнодорожных станций и других производственных объектах.

** Должно быть предусмотрено дополнительное переносное освещение при напряжении 12 В.

*** Тип ОП принимается в соответствии с требованиями ПУЭ в зависимости от условий пожаро- и взрывоопасности среды в местах установки ОП.

ты их установки необходимо располагать на поперечине или портале по схеме рис. 17.2, а–в в соответствии с данными табл. 17.4. На том же рис. 17.2 (г и з) и в табл. 17.4 даны условия обеспечения нормируемой освещенности на спускной части горки, в горловинах парков, в стрелочной зоне (2-я группа территорий). Такое же размещение рекомендуется для освещения пу-

тей и горловин малоделятельных промежуточных станций, разъездов и обгонных пунктов.

При установке осветительных приборов для каждого прибора должны быть рассчитаны минимальные высо-

Таблица 17.4

Расположение ОП на поперечине или портале (рис. 17.2)

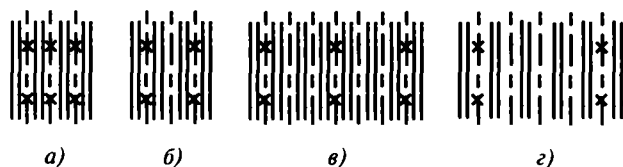


Рис. 17.2. Схемы расположения ОП на поперечинах и порталах

Группа территорий	Высота установки ОП	Расположение ОП
1	12–15 21 28	Над каждым междупутьем Через междупутье Через два междупутья
2	12–21 28	Через два междупутья Через три междупутья

ты установки, удовлетворяющие условию ограничения показателя ослепленности, по следующей формуле:

$$H_{\min} = \frac{2,5 \cos \alpha}{\theta_{\text{би}}} \sqrt{\frac{I \sin \alpha}{E}} + h', \quad (17.5)$$

где H_{\min} — минимальная допустимая высота установки светильника над уровнем земли, м; h' — высота глаза наблюдателя (машиниста) от поверхности земли, принята равной 3,5 м; E — минимальная (или нормированная) освещенность на поверхности земли (междупутья), которую обеспечивает осветительная установка, лк; I — суммарная максимальная сила света осветительных приборов, находящихся в одной точке и направленных в одном направлении, кд; $\theta_{\text{би}}$ — угол действия блескового источника, т.е. угол между горизонталью и направлением максимальной силы света в направлении глаз наблюдателя (как правило, угол наклона осевой силы света прожектора), град.; $\theta_{\text{би}} = 90^\circ - \alpha$; α — угол между вертикалью и направлением к наблюдателю, град.

Пример результатов некоторых расчетов приведен в табл. 17.5.

Для децентрализованного освещения парков станций даны расстояния между поперечинами (порталами) l , суммарная мощность ИС $\sum P_{\text{л}}$ в одной осветительной точке и углы наклона θ ОП конкретных типов для нормированных значений освещенности $E_{\text{н}}$ и типовых высот установки ОП (12, 15, 21 и 28 м) [17.1, 17.4].

Если уширенные междупутья в парках станций располагаются через 9 и более путей, то по [17.2] наиболее рациональным является применение осветительных мачт высотой 35 м с удлинненной площадкой. Если в парке отсутствуют междупутья требуемой ширины с соответствующим их расположением, то неизбежным является размещение ОП на гибких поперечинах. Для этого наиболее целесообразны уличные ОП с лампами типа ДРЛ мощностью 250 Вт и лампами типа ДНаТ мощностью 150 Вт при высоте подвеса 7 м и расстоянии между поперечинами 35 м.

Сортировочные устройства станций. Освещение путей надвига с $E_{\text{н}} = 10$ лк целесообразно выполнять прожекторами на мачтах высотой $H = 15 + 28$ м, размещенных двумя рядами по обе стороны путей в шахматном порядке с расстоянием между мачтами в ряду $D = 7H$. На участке расцепки основные объекты наблюдения

Таблица 17.5

Минимальные высоты подвеса осветительных приборов

Наименование ОП, источника света, максимальная сила света, угол $\theta_{\text{би}}$	Число ОП в одной точке	H_{\min} , м, при нормированной освещенности			
		1 лк	3 лк	5 лк	10 лк
круглосимметричный прожектор с ДРИ250 $I_{\text{max}} = 300$ ккд $\theta_{\text{би}} = 10^\circ$	1	28	18	15	11
	2		23	19	15
	3		28	22	17
	4			25	19
	5			28	21
	6				22
	7				24
	8				25
	9				26
	10				28
круглосимметричный прожектор с ДРИ400 $I_{\text{max}} = 700$ ккд $\theta_{\text{би}} = 10^\circ$	1		25	20	15
	2			27	20
	3				24
	4				27
круглосимметричный прожектор с ДРИ1000 $I_{\text{max}} = 1100$ ккд $\theta_{\text{би}} = 10^\circ$	1			24	18
	2				24
круглосимметричный прожектор с ДРИ2000 $I_{\text{max}} = 2300$ ккд $\theta_{\text{би}} = 10^\circ$	1				25

находятся в междувагонном пространстве на уровне оси автосцепки. Для обеспечения $E_{н1} = 10$ лк ОУ должна иметь геометрические параметры, удовлетворяющие следующему соотношению с геометрическими параметрами подвижного состава [17.2]:

$$lH / h = 2Bl / b = D. \quad (17.6)$$

Все обозначения в (17.6) показаны на рис. 17.3.

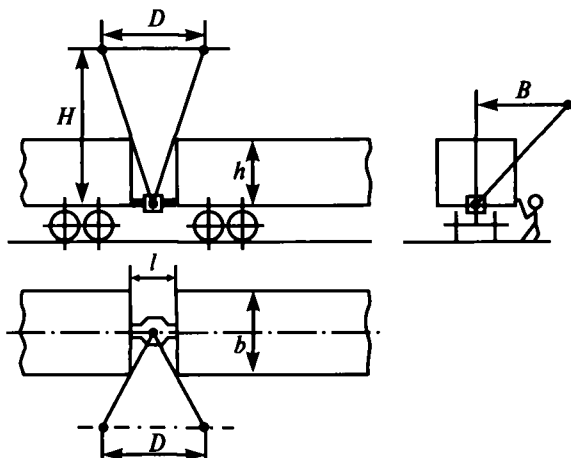


Рис. 17.3. Схема ОУ на участке расцепки пути надвига составов на горку: H — высота установки ОП над автосцепкой; h — высота вагона; B — расстояние от оси состава до ОП; b — ширина вагона; l — расстояние между вагонами; D — шаг ОП

Для участка расцепки рекомендуются круглосимметричные прожекторы с лампами типа ДРЛ мощностью 250 и 400 Вт, и уличные ОП с лампами типа ДРЛ мощностью 125 и 250 Вт [17.1].

На вершине и спускной части горки $E_{н1} = 10$ лк обеспечиваются: вертикальная — прожекторами с 15-метровых мачт, направленными от горочного поста; горизонтальная — суммарным действием круглосимметричных прожекторов с 28-метровой мачты и прожекторами на портале.

Для расчета ОУ методом изолюкс в [17.1] приведены изолюксы горизонтальной освещенности большого числа прожекторов и ОП для типовых высот установки с учетом коэффициентов запаса.

Грузовые станции и грузовое хозяйство. Кроме приемо-отправочных парков неотъемлемой частью грузовых станций являются грузовые дворы. К хозяйствам грузовых дворов относятся открытые склады и платформы, площадки для контейнеров и тяжеловесных грузов, эстакады для выгрузки насыпных грузов, платформы и площадки для выгрузки колесной техники и т.д.

Открытые склады и платформы ($E_{н1} = 20$ лк на поверхности платформы). Их рекомендуется освещать прожекторами и ОП с опор и мачт высотой 9–12 м. При ширине освещаемой площадки до 12 м опоры располагаются с одной стороны площадки, от 12 до 40 м —

с двух сторон в шахматном порядке, свыше 40 м — с двух сторон в прямоугольном порядке.

Склады тяжеловесных грузов, контейнеров, лесоматериалов ($E_{н1} = 10$ лк на поверхности земли). Тип ОП определяется длиной подкрановых путей и габаритами применяемых кранов. На одианных площадках наиболее рационально двухрядное (прямоугольное или шахматное) расположение опор, на сдвоенных — осевое. Возможно использование порталов. Расстояние между опорами (мачтами) или порталами не должно превышать $8H$.

Для обеспечения $E_{н1} = 20$ лк в подкрановой зоне дополнительно на кранах устанавливают либо три уличных ОП с лампами типа ДРЛ250, либо один уличный ОП с лампой типа ДНаТ400 с питанием от отдельной линии.

Склады, оборудованные эстакадой с мостовыми кранами, освещают консольными уличными ОП с лампами типов ДНаТ и ДРЛ, которые крепят к опорам эстакады или к удлиненным стойкам ограждения прохода по верхнему настилу эстакады.

Склады сыпучих и навалочных грузов ($E_{н1} = 10$ лк на площадках и внутри полувагонов при очистке их на повышенных путях). Прожекторы и ОП устанавливаются на осветительных порталах и могут дополняться цепной подвеской над осями эстакады или повышенного пути. Обслуживание ОП на цепной подвеске осуществляется с помощью съемной монтажной вышки контактной сети (лейтера). При отсутствии цепной подвески ОП расстояние между порталами не должно превышать 3–4,5-кратной высоты установки ОП [17.1, 17.2].

Освещение пассажирских платформ. Пассажирские платформы подразделяются на основные или боковые, расположенные с внешней стороны главных путей, и промежуточные, расположенные между путями. Они могут быть низкими (0,2 м над уровнем головки рельса) и высокими (1,1 м). Длина их, как правило, от 300 до 500 м, ширина 3–12 м. Значения $E_{н1}$ в зависимости от пассажиропотоков составляют 2, 3, 5 и 10 лк. При освещении платформ используется либо установка ОП на опорах, либо цепная подвеска ОП, закрепляемая на опорах и поддерживающих конструкциях контактной сети. Расстояние между опорами равно $3,5 \div 4,5H$, где H — высота установки ОП. Она лежит в пределах 5–5,3 м для подвесных и 6–6,5 м для консольных ОП. При цепной подвеске $H = 6 \div 7$ м. Рекомендуется использовать уличные ОП с лампами типов ДНаТ и ДРЛ.

Освещение переездов. Переезд — место пересечений железных дорог автомобильными дорогами. Имеются четыре категории переездов, определяемые интенсивностью и характером движения железнодорожного и автомобильного транспорта [17.2]. Для освещения переездов I категории ($E_{н1} = 5$ лк) рекомендуются уличные ОП с лампами типа ДРЛ250, для переездов II–IV категорий ($E_{н1} = 3, 2$ и 1 лк) — уличные ОП с лампами типа ДРЛ150. Высота установки 7 м. Расположение опор должно быть одностороннее с левой стороны автодороги по ходу автотранспорта, расстояние от крайнего рельса до ближайшей опоры — не более 9 м, а расстояние между двумя смежными опорами по одну сторону переез-

да — в пределах 26–28 м. На переездах I и II категорий — не менее четырех опор.

Электроснабжение устройств НО осуществляется от многих трансформаторных подстанций района электросети напряжением 380 В от двух независимых источников питания [17.5]. Для повышения надежности работы ОУ предусматривается автоматическое переключение питания с одного независимого источника на другой. Электрические сети, питающие ОУ, следует выполнять преимущественно воздушными. Выводы питающих линий НО из трансформаторных подстанций или шкафов питания, подвод питания к ОУ выполняются, как правило, кабелем [17.2]. Осветительные установки НО малых станций включаются и выключаются при помощи коммутационной аппаратуры на осветительном фидере вручную или автоматически. На больших и средних станциях на каждом питающем фидере устанавливаются магнитные пускатели, дистанционное управление которыми сосредоточено в одном или ограниченном числе пунктов. В целях экономии электроэнергии используется система программного управления НО с автоматическими выключателями для ОП, датчиками которых являются фотоэлементы или фотосопротивления [17.6]. Автоматический выключатель типа АО устанавливается в помещении подстанции. Фотосопротивление, соединенное с АО, выносит на открытую территорию; АО настраивают на включение и выключение при заданной освещенности в соответствии с утвержденными нормами. Применение АО обеспечивает экономию 300–400 кВт·ч электроэнергии в год на 1 кВт установленной мощности ОП [17.6]

17.1.2. Осветительные установки подвижного состава

Осветительные установки локомотивов. Существенным фактором в обеспечении безопасности движения поездов в темное время суток является освещение пути лобовым прожектором локомотива. На отечественных локомотивах применяются встроены прожекторы со стеклянными параболическими отражателями диаметром 370 мм и лампами типа ПЖ50-500. Согласно [17.7], номинальная осевая сила света прожектора должна быть $(6,4 \div 9,6) \cdot 10^5$ кд (яркий свет) при номинальном напряжении и $(0,8 + 1,2) \cdot 10^5$ кд (тусклый свет) при 50–60%-ном снижении напряжения. Угол рассеяния луча в вертикальной и горизонтальной плоскостях около 3°. Освещение кабины машиниста локомотива осуществляется в соответствии с требованиями [17.3, 17.7]. Напряжение питания ИС переменным током не превышает 42 В, постоянным — 110 В. Плафон с ЛН общего назначения создает на пульте управления 20 лк $\leq E \leq 60$ лк, устройства местного освещения 10–15 лк. Яркость подсвечиваемых белых шкал контрольно-измерительных приборов регулируется в пределах от 0,5 до 5 кд/м² при коэффициенте неравномерности яркости 3:1. Освещенность пола в проходах кузова локомотива от ОП общего освещения не менее 5 лк.

Освещение пассажирских вагонов и салонов электро- и дизель-поездов. Нормы и требования к освещению [17.3] распространяются на пассажирские вагоны, ваго-

ны электро- и дизель-поездов, а также автомотрис и рельсовых автобусов.

Общее освещение основных помещений пассажирских вагонов осуществляется ОП с ЛЛ. В вагонах цепной тяги локомотивной тяги с автономным электроснабжением имеется электромашинный преобразователь типа ППО-2-400, который преобразует бортовое напряжение сети постоянного тока в переменное напряжение 220 В частотой 400 Гц. В вагонах дизель- и электропоездов рекомендуется использовать для общего освещения ОП с ЛЛ, питание которых осуществляется от встроенного полупроводникового преобразователя (20 кГц), допускается также освещение ЛН. Вспомогательные помещения (кроме неотапливаемых) могут освещаться ОП как с ЛЛ, так и с ЛН, неотапливаемые — только с ЛН. Выдержки из норм освещения в помещениях вагонов приведены в табл. 17.6. Коэффициенты запаса равны для ЛЛ 1,5, для ЛН 1,3 с учетом чисток не реже 1 раза в месяц. Предусматривается устройство ночного освещения в купе и пассажирских отделениях поездов дальнего следования и межобластного сообщения, а также АО во всех помещениях, для чего в ОП встраиваются ЛН мощностью 25 Вт.

Показатель дискомфорта в салонах и больших коридорах вагонов, в залах вагонов-ресторанов и почтовых вагонах должен быть не более 60.

17.1.3. Светосигнальные установки

Применяемые на железнодорожном транспорте световые сигналы используются для организации четкого движения поездов и маневровой работы. Типы сигналов, их значения и требования к ним определены в [17.8, 17.9]. В связи с высокой степенью важности передаваемой светосигнальными приборами информации, они не могут быть заменены другими типами, иметь иные характеристики или быть установлены в другом месте.

Светосигнальные установки характеризуются постоянным или переменным во времени излучением, количеством огней, их формой, цветом и местом их расположения. Для подачи световых сигналов используются светофоры, диски, щиты, фонари, флаги, указатели и знаки. Светосигнальные приборы подразделяются на самосвещающиеся, т.е. имеющие встроенный ИС, и отражающие свет. К первым относятся светофоры, указатели, фонари, ко вторым — диски, щиты, флаги, знаки, в том числе световозвращающие элементы.

Сигналы подразделяются на несколько групп по назначению: светофоры, сигналы ограждения [17.10], ручные сигналы, сигнальные указатели и знаки, сигналы, применяемые для обозначения подвижных единиц [17.11, 17.12].

Наиболее важной на железных дорогах является светофорная сигнализация. Местами установки светофоров служат границы участков пути (перегонов, блок-участков, станций и т.д.). В зависимости от места установки светофоры подразделяются на входные, выходные, маршрутные, проходные, прикрытия, заградительные, предупредительные, повторительные, маневровые и горочные. За исключением строго оговорен-

Выдержки из норм искусственного освещения пассажирских вагонов

Вагоны, освещаемые помещения, участки	Плоскость нормирования освещенности (Г — горизонтальная, В — вертикальная), расстояние от пола, м	Наименьшая освещенность, лк	Примечание
Цельнометаллические вагоны: дальнего следования (купейные и открытые)	Г, 0,8 (на расстоянии 0,6 м от спинки дивана и на поверхности столика)	100	В купейных вагонах у двери купе на нормируемой плоскости допускается освещенность на 25% ниже
местного сообщения, салон	В, от светильника местного освещения на расстоянии 0,7 м от стенки вагона на высоте 0,5 м от поверхности дивана	100	Освещенность обеспечивается от светильников местного освещения Для кресел, расположенных у дверей, освещенность может быть ниже на 25%
	Г, 0,8 (на расстоянии 0,6 м от спинки кресла и на поверхности столика)	150	
Вагоны электропоездов, дизель-поездов, автомотрис и рельсовых автобусов пригородного и местного сообщения			
Салон	Г-0,8 (на расстоянии 0,6 м от спинки дивана)	150	При освещении салонов ЛН освещенность должна быть не ниже 75 лк
Прочие помещения и участки вагонов всех типов	Г-0,8	100	Рекомендуется применять переносной светильник
Купе служебного отделения	В (на электрощите)	100	То же —
	Г (на рабочем столе)	150	
Коридоры:			
большие	Г-0	50	Рекомендуется применять ЛН
малые	Г-0	30	То же
Котельные отделения	В (на контрольных приборах)	30	Рекомендуется применять переносной светильник
Туалеты	В-1,5 (со стороны зеркала на расстоянии 0,3 м от зеркала)	100	
	Г-1,5 (на расстоянии 0,3 м от зеркала)	30	
Подвагонное оборудование	На поверхности оборудования	50	Нормируемая освещенность обеспечивается переносным светильником

ных случаев, светофоры устанавливаются с правой стороны по направлению движения или над осью ограждаемого ими пути. Светофоры должны устанавливаться так, чтобы подаваемые ими сигналы нельзя было принять с поезда за сигналы, относящиеся к смежным путям. По способу установки светофоры подразделяются на мачтовые (на мачтах, консолях, поперечинах) и карликовые (на низких бетонных основаниях). Показания установленных на путях светофоров, как правило, дублируются в кабине машиниста с помощью локомотивных светофоров. Локомотивные светофоры входят составной частью в блоки индикации усовершенствованных систем автоматической локомотивной сигнализации, предназначенных для обеспечения машиниста всей необходимой информацией.

В светофорной сигнализации применяются следующие цвета [17.13]: зеленый, разрешающий движение с установленной скоростью; желтый, разрешающий движение и требующий снижения скорости; красный, требующий остановки; лунно-белый, разрешающий ма-

невры; синий, запрещающий производить маневры. Применяемая на железных дорогах двух-, трех- и четырехзначная светофорная сигнализация представляет собой сложный набор сочетаний сигнальных огней разного цвета и формы.

Основной эксплуатационной характеристикой светосигнальных установок является дальность видимости светового сигнала [5, 17.14], которая зависит от светотехнических характеристик конкретной светосигнальной установки, состояния атмосферы, свойств и состояния глаза, характеристик прилегающего к железной дороге ландшафта, и в России рассчитывается по следующей формуле:

$$l = \sqrt{\frac{I_{\alpha} \tau / 10^{-3}}{E_{\text{п}}}}, \quad (17.7)$$

где l — дальность видимости светового сигнала, м; I_{α} — сила света светофора под углом α в канделах; $E_{\text{п}}$ — практическая величина пороговой освещенности на

зрачке глаза наблюдателя. Для огней с угловой величиной 0,7 угл. мин., воспринимаемых в солнечный день на фоне открытого неба, эта величина в зависимости от цвета равна: красного — $1,2 \cdot 10^{-3}$ лк, желтого — $2,5 \cdot 10^{-3}$ лк, зеленого — $1,5 \cdot 10^{-3}$ лк, лунно-белого — $4,0 \cdot 10^{-3}$ лк, синего — $1,26 \cdot 10^{-3}$ лк; τ — коэффициент пропускания атмосферы на 1 км.

В США дальность видимости по оси сигналов красного и зеленого цветов предлагается рассчитывать [17.15] по следующей эмпирической формуле:

$$l = \sqrt{186l}, \quad (17.8)$$

где обозначения те же, что и в (17.7).

Сравнение значений, полученных по формулам 17.7 и 17.8, показывает их расхождение более чем в 2 раза для красного сигнала. Большую дальность видимости при одинаковой силе света светофора получаем по формуле 17.7.

При установлении значений минимально допустимой дальности видимости исходят из того, что машинист локомотива должен видеть сигнал на расстоянии не менее тормозного пути (табл. 17.7).

Таблица 17.7

Минимальная дальность видимости сигналов светофоров

Тип светофора	Минимальная дальность видимости сигналов на участках пути, м, не менее		
	прямых	кривых	в сильно пересеченной местности
Входной, предупредительный, проходной и заградительный, а также прикрытия	1000	400	200
Предупредительный (на участках, не оборудованных автоблокировкой) и зеленая полоса	400	400	200
Маршрутный и выходной главных путей	400	400	400
То же боковых путей	200	200	200
Маневровый и пригласительный	200	200	200

По типу оптической системы железнодорожные светофоры делятся на прожекторные и линзовые.

Оптическая система прожекторного светофора состоит из зеркального эллипсоидного отражателя, двух плоскосферических линз и ИС (ЛН типа ЖС10-5 или ЖС10-10). Носителем цвета сигнала в прожекторном светофоре является светофильтр, располагаемый в фокусе линзовой системы. Перемещаемая электромагнитом рамка с цветными светофильтрами позволяет получать разные цвета сигнала. Угол рассеяния светового пучка прожекторного светофора составляет $2,5^\circ$. Световое отверстие прожекторного светофора имеет диаметр 212 мм, а значение его силы света составляет для крас-

ного цвета не менее 2500 кд, желтого не менее 12500, зеленого не менее 4000, синего не менее 325, лунно-белого не менее 5000. В тоже время, исходя из дальности видимости 1000 м, можно рассчитать минимальную силу света сигналов красного и зеленого цветов по формуле, полученной из формулы (17.8):

$$I = l^2 / 186. \quad (17.9)$$

Эта сила света равна 5376 кд, что свидетельствует о меньших силах света у светофоров в России по сравнению с США.

В настоящее время практически осуществлена замена прожекторных светофоров на более дешевые и надежные линзовые, где каждая светофорная головка воспроизводит только один цвет.

Традиционные линзовые светофоры имеют в оптической системе две дисковые Френелевские линзы с криволинейным несущим слоем и ИС (двухспиральная ЛН типа ЖС12-15+15 или ЖС12-25+25). Внутренняя линза изготавливается из стекла требуемого цвета. Угол рассеяния светового пучка линзового светофора составляет $4,6^\circ$. Имеющееся в двухспиральной ЛН резервное тело накала включается в светофоре автоматически при выходе из строя основного тела накала.

В последнее время ведутся разработки новых линзовых светооптических систем железнодорожных светофоров, использующие в качестве ИС светодиоды повышенной яркости или сверхяркие светодиоды. Количество светодиодов в системе определяется требуемой для каждого цвета сигнала силой света и силой света светодиода. В этих системах применяются бесцветные линзы Френеля или плосковыпуклые линзы для каждого светодиода. Линзы могут быть вне светодиодов или быть встроены в корпус каждого светодиода. На рис. 17.4 приведены системы светооптические светодиодные (ССС) железнодорожных светофоров, проходящие эксплуатационные испытания на дорогах России.

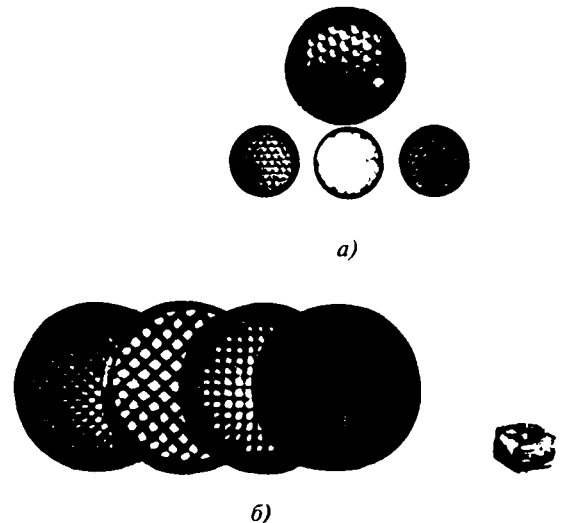


Рис. 17.4. Системы светооптические светодиодные (ССС) железнодорожных светофоров: а — с наружными линзами Френеля; б — с линзами Френеля на корпусах светодиодов

Линзовые светофоры выпускают двух видов: мачтовые и карликовые. Мачтовые светофоры со световым отверстием 212 мм, устанавливаемые на мачтах, консолях и жестких поперечинах, имеют силу света при использовании:

– ЛН мощностью 15 Вт для красного цвета не менее 1560 кд, желтого 3100 кд, зеленого 1950 кд, синего 130 кд, лунно-белого 2500 кд;

– светодиодов для красного цвета не менее 2100 кд, желтого 4350 кд, зеленого 2600 кд, синего 200 кд, лунно-белого 2500 кд.

Карликовые светофоры со световым отверстием 160 мм, устанавливаемые на низких бетонных основаниях, независимо от типа ИС имеют силу света для указанных цветов соответственно не менее 1000 кд, 2000 кд, 1250 кд, 90 кд и 1800 кд. Для обеспечения видимости сигналов машинистами локомотивов на малых расстояниях от карликовых светофоров с ЛН последние снабжаются отклоняющими вставками, которые поворачивают часть лучей вверх ($5\text{--}30^\circ$) в сторону высоко расположенной кабины машиниста локомотива. Карликовые светофоры со светодиодами имеют в заданных углах требуемые силы света.

Мачтовые светофоры оснащаются черными щитами, улучшающими видимость сигнала светофора на фонах разной яркости и цветности. Окраска в черный цвет внутренней полости линзового светофора практически устраняет ложный сигнал (фантом-эффект), имеющий место при попадании светового пучка на наружную линзу. Для защиты наружной линзы от засветки естественным или искусственным светом на всех типах светофоров применяются козырьки [17.16].

Для улучшения видимости сигнала светофора на кривых участках пути оптические системы линзовых и прожекторных светофоров с ЛН снабжаются наружными линзами-рассеивателями [17.17], которые, несколько снижая дальность видимости сигнала, увеличивают угол его действия в горизонтальной плоскости, тем самым обеспечивая непрерывную видимость сигнала светофора машинистом на кривом участке пути. Значение угла рассеяния светового пучка светофора ($10 + 70^\circ$), определяемого типом рассеивателя, выбирается в зависимости от радиуса кривизны пути.

Аналогичные линзовые светофоры с рассеивателями устанавливались ранее на железнодорожных переездах для водителей автожелезнодорожного транспорта. В настоящее время все охраняемые переезды оснащены светодиодными головками (СГ). Идет переоснащение СГ и остальных переездов. Светофоры устанавливаются с каждой стороны переезда попарно и работают в проблесковом режиме поочередно. Переездные светофоры изготавливают четырех типов с двумя и тремя сигнальными головками. При этом две головки всегда красного цвета и третья — лунно-белого цвета

Электронпитание к светофорам подводят с помощью кабеля, прокладываемого под землей.

Напряжения питания ЛН линзовых светофоров составляет $(11,5^{+0,5}_{-1,0})$ В, прожекторных светофоров $(9,5^{+0,5}_{-1,0})$ В переменного тока, подаваемого от трансфор-

маторов. В ряде случаев питание ИС светофоров осуществляется постоянным током от аккумуляторов, непрерывно заряжаемых выпрямителями. При кратковременных перерывах в подаче переменного тока питание осуществляется от аккумуляторных батарей. Напряжение питания ССС может быть таким же, как и при ЛН, или другим в зависимости от схем управления светофорами и их контроля.

Для установки в конкретной светосигнальной схеме в зависимости от назначения выбирают соответствующий тип светофора. В настоящее время используется более 60 типов светофоров с учетом различной комплектации входящих узлов.

Согласно действующим на железных дорогах инструкциям, подвижной состав должен быть оборудован светосигнальными приборами для обеспечения организации движения и его безопасности как в ночное, так и в дневное время. Функцию сигнальных приборов на локомотивах выполняют буферные фонари, расположенные попарно в нижней части торцевых сторон локомотивов. Хвост пассажирского и почтово-багажного поезда обозначается днем и ночью тремя красными огнями. Для этого используются цилиндрические френелевские линзы красного цвета с ЛН типа ЖС54-25 или светодиодным ИС. Из-за сильной вибрации применяемые в светосигнальных приборах ЛН имеют штифтовые патроны, исключающие самопроизвольное выпадение ИС.

17.1.4. Освещение производственных помещений объектов железнодорожного транспорта

Железнодорожный транспорт включает огромное число взаимосвязанных и различных по своим функциям предприятий, деятельность которых обеспечивает бесперебойную работу этого самого массового вида транспорта. Наиболее важными из вагонных депо являются депо и заводы по ремонту подвижного состава и производству запасных частей, предназначенные для поддержания подвижного состава на высоком техническом уровне. Кроме того, имеются многочисленные производственные службы, обеспечивающие организацию и управление перевозками (дистанции, диспетчерские, энергоучастки, службы, мастерские, лаборатории и др.), специализированные заводы по изготовлению стрелочных переводов, пропитке шпал, переработке шениа и др.

Депо подразделяются на локомотивные, моторвагонные и вагонные. Каждое из вагонных депо специализируется на ремонте определенных типов вагонов: пассажирских, грузовых, полувагонов, рефрижераторов, цистерн и контейнеров. В депо производятся техническое обслуживание и текущие ремонты. На ремонтных заводах производят капитальные ремонты.

Особенностью производств на предприятиях и объектах железнодорожного транспорта является их многоотраслевой характер. Имеется большое количество производств с пожаро- и взрывоопасными средами [17.18].

Характерной технологической особенностью основных цехов депо и ремонтно-сборочных цехов локомотиворемонтных и вагоноремонтных заводов является

ввод внутрь цехов и размещение на путях громоздкого подвижного состава. По способу размещения технологического оборудования основные цехи условно можно подразделить на две группы: цеха с подвижным составом на путях (группа I) и цеха по ремонту деталей и узлов (группа II). Как правило, подвижной состав размещают вдоль пролетов шириной 18, 24 и 30 м, длиной 50–200 м и высотой 7,2–18,4 м, в каждом из которых размещается 2–3 пути. Расстояние между осями путей — от 6 до 12 м.

Для исключения затенения подвижным составом междупутий, являющихся технологическими зонами, где производят техническое обслуживание, осмотр и ремонт, размещаются рабочие, инструмент, детали и т.п., необходимо применять систему общего локализованного освещения с размещением ОП над осями междупутий [17.19].

Цехи и помещения группы II имеют разнообразное сочетание строительных модулей и высот. Ширина помещений находится в пределах от 6 до 24 м, высота 3–16 м. Расстояния между колоннами или фермами 6 и 12 м.

В помещениях группы I преобладают зрительные работы V–VI разрядов. Основными зрительными задачами являются общий осмотр, проверка ходовых частей и оборудования, выявление трещин, дефектов. Все работы производятся при установке локомотивов (электросекций) на смотровой канаве. Для подсветки ходовых частей и оборудования рекомендуется применять переносные ОП. В депо электровозов и электросекций проверяют состояния пантографов. Группа II включает различные по степени точности производимые в них зрительные работы I–V разрядов. Освещение этих помещений, как правило, аналогично освещению основных производственных цехов машиностроительных отраслей. Исключение составляют отделения и участки колесных и дизельных цехов, имеющих громоздкое оборудование (зоны размещения станков, дизелей и др.).

Искусственное освещение должно выполняться на основании [17.3]. Выбор способа размещения ОП общего освещения зависит от принятого размещения технологического оборудования. При наличии в цехах крановых средств ОП следует крепить к фермам несущих конструкций. Для обеспечения нормированной освещенности в зоне размещения мостового крана, затеняющего установленные выше ОП общего освещения, необходимо устанавливать ОП подкранового освещения в соответствии с требованиями [17.20]. Таким образом, координаты расположения ОП обусловлены расположением балок или ферм верхнего перекрытия, наличием крановых средств и количеством рядов оборудования.

В качестве ИС рекомендуются РЛ типов ДРЛ, ДРИ и ДНаТ, а также ЛЛ в цехах высотой до 8 м [17.19]. Лампы типа ДНаТ необходимо применять в цехах высотой более 10 м, в которых не предъявляются специальных требований к цветопередаче и производятся работы малой точности. Для улучшения световой среды эти лампы можно применять в сочетании с лампами типа ДРЛ (40–50% суммарной установленной мощно-

сти) или типа ДРИ (20–40% суммарной мощности) [17.21]. Лампы накаливания рекомендуется применять для местного освещения, в помещениях с временным пребыванием людей, для аварийного и эвакуационного освещения.

Нормы освещенности и параметры ОУ в некоторых цехах с подвижным составом на путях для типовых строительных параметров и схем размещения технологического оборудования приведены в табл. 17.8. Электрическая часть ОУ должна выполняться в соответствии с рекомендациями разд. 9.

17.2. ОСВЕЩЕНИЕ И СВЕТОВАЯ СИГНАЛИЗАЦИЯ НА АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ

17.2.1. Назначение и общие требования

Световые приборы автотранспортных средств (автомобилей) необходимы для обеспечения функционирования информационной системы «водитель — автомобиль — дорога — среда» и являются важными элементами активной безопасности автомобилей.

Увеличение объемов выпуска автомобилей во всех странах и непрерывно возрастающая интенсивность и плотность автомобильного движения в городах и на дорогах, к сожалению, сопровождаются большим числом аварий и жертв, поэтому обеспечение безопасности автомобильного движения становится важнейшей социальной задачей, особенно в темное время суток и при неблагоприятных погодных условиях.

Анализ отечественных и зарубежных статистических данных по аварийности на автодорогах показал, что в темное время суток показатель аварийности в расчете на 10^6 авт-км в 2–3 раза выше аналогичного показателя днем. Материальный ущерб от ночных аварий выше в 3,5 раза [17.22–17.24, 17.25].

Основной проблемой на пути совершенствования автомобильных СП (фар) является принципиальное противоречие между требованиями хорошо осветить дорогу на достаточно большом расстоянии и в то же время не ослеплять водителей встречных автомобилей. Несмотря на большое количество изобретений и предлагаемых и применяемых систем автомобильных фар, эта проблема до сих пор полностью не решена, лишь найдены некоторые компромиссные решения.

К светосигнальным приборам автомобилей (фонарям) также предъявляется ряд специфических требований: обеспечение видимости в широком диапазоне расстояний наблюдения — от нескольких сотен до нескольких метров; низкое слепящее действие в темное время и хорошая видимость при солнечном свете; видимость в различных погодных условиях.

Все более высокие требования предъявляют к дизайну фар и фонарей [17.26, 17.27]. В результате создаются эффективные фары и фонари, которые существенно влияют на внешний облик автомобиля и активно используются как при проектировании новых автомобилей, так и при модернизации уже известных моделей (фейслифтинг).

Нормы освещенности, рекомендуемые типы ИС и КСС ОП в пехах депо и заводов с подвижным составом на путях ($K_3=1,5$)

Наименование цехов, отделений, участков	Нормированная освещенность, лк	Плоскость нормирования освещенности (Г — горизонтальная, В — вертикальная), ее высота над полом, м	Высота помещения, м	Строительный модуль, м	Количество путей	Параметры ОУ					Тип КСС по табл. 6.4	Источники света		Количество ОП на модуль, шт.	Удельная мощность, Вт/м ²			
						Расстояние, м						Тип ИС	Мощность, Вт					
						между осями путей	от стены до первого ряда ОП	между первым и вторым рядами ОП	между вторым и третьим рядами ОП	между ОП в ряду								
Цехи технического обслуживания (ТО-3, ТО-4), текущего ремонта (ТР-1), пункт технического обслуживания (ТО-2)	150	Г, 0	10,8	6×24	3	7	1,65	7	7,15	6	Г3 Г2 Д3	ДРЛ	250 250 400	4	6,9			
						2	9-12	2-2,5	9,5-10	9,5-10	6		Г3 Г2 Г1			700	3	11,1 14,6
			12,6	6×30	3	7,5	1,3	7	7	6	Г3 Г3 Г2 Г1	ДРИ ДРЛ	250 400	4	6,9 11,1			
						3	7,5	2,5-2,8	8,2-7,3	7,5	Г3 Г1		400 400			4	8,9 8,9	
			16,4 18,4	6×30	3	9	2	8,5	9,05	6	Г3 Г3	ДРЛ ДРИ	400 400	4	8,9 8,9			
						3	9	2	8,5	9,05	6		Г3 Г2			400 700	4	8,9 15,6
			Цехи текущего ремонта (ТР-2, ТР-3)	200	Г, 0	10,8	6×24	3	7	1,65	7	7,15	6	Г3	ДРЛ	400	4	11,1
						12,6	6×30	3	7,5	2-2,5	8,2-7,3	7,5	6	Г3 Г1	ДРЛ ДРИ	400 400	4	8,9
						10,8 12,6	6×24	2 2	7 7,5-9	2 2	8 10	4 10	6 6	Г3 Г2	ДРЛ ДРЛ	400 400	3 3	8,3 12,5
			Сборочные цехи	200	Г, 0	10,8	6×18	2	7	1,6-2,1	7-8,2	7-8,2	6	Г3 Г1	ДРЛ ДРИ	400 400	3	11,1
12,6	6×24	2 2														7,5-9		
						10,8 12,6	6×24	2 2	7,5-9	2 2	8 10	4 10	6 6	Г3 Г2	ДРИ ДРЛ		400 400	3 3
16,4	6×30	3														9	2	
						16,4	6×30	3	9	2	8,5	9	6	Г3	ДРИ ДРЛ			400 700

Таблица 17.9

Основные обязательные и факультативные световые приборы, устанавливаемые на автотранспортных средствах по требованиям Правил ЕЭК ООН и SAE

Обязательные и факультативные световые приборы по Правилам ЕЭК ООН			Обязательные и факультативные световые приборы по SAE			
название светового прибора	установка на автомобилях		название светового прибора	установка на легковых автомобилях		
	обязательная	факультативная		обязательная	факультативная	
Фара дальнего света	+		Фара дальнего света	+		
Фара ближнего света	+		Фара ближнего света	+		
Дополнительная фара-пржектор		+	Дополнительная фара ближнего света		+	
Указатели поворотов: передние (категорий 1, 1a, 1b)	+		Указатели поворотов: передний задний боковой	+		
задние (категорий 2a, 2b)	+			+		
боковые (категорий 3, 4)	+			+		
дополнительные боковые (категорий 5, 6)	+					
Фонарь торможения: S1 или S2	+		Дополнительный высоко устанавливаемый сигнал торможения	+		
дополнительный высоко устанавливаемый сигнал S3	+				+	
Фонарь заднего хода	+		Фонарь заднего вида	+		
Задний световозвращатель не треугольный	+	+ (на прицепах)	Световозвращатели: задний передний боковой		+	
Передний световозвращатель не треугольный				+	+	
Боковой световозвращатель не треугольный	+			+		+
Боковые габаритные фонари	+(S M1)	+(S M2)	Боковой габаритный фонарь		+	
Дневной ходовой фонарь		+				
Передний габаритный фонарь	+		Передний габаритный фонарь	+		
Задний габаритный фонарь	+		Задний габаритный фонарь	+		
Аварийная сигнализация	+		Аварийная сигнализация (одновременная работа указателей поворотов)	+		
Передняя противотуманная фара		+	Передняя противотуманная фара	+		
Задний противотуманный фонарь	+		Задний противотуманный фонарь	+		
Стояночные огни		+	Стояночные огни (они же передние габаритные)	+		
Контурные огни	+ (для габаритной ширины более 2,10 м)					
Фонари освещения номерного знака	+		Фонари освещения номерного знака	+		
Угловой фонарь		+	Передний угловой фонарь		+	
			Задний угловой фонарь		+	
Специальный предупреждающий фонарь		+	Специальный предупреждающий фонарь (Spot lamps)		+	
Световозвращающая контурная сигнализация		+	Световозвращающая контурная сигнализация		+	

17.2.2. Нормативная база

Экспорт и импорт автомобилей во всех странах, а также развитие международных автомобильных перевозок и туризма вызвали необходимость строгой международной регламентации наличия, расположения и характеристик автомобильных СП. В европейских странах такую регламентацию обеспечивает Комитет

по внутреннему транспорту Европейской экономической комиссии (ЕЭК при ООН. Более 30% Правил ЕЭК ООН касаются непосредственно СП [17.23].

Современный автомобиль в соответствии с требованиями Правил № 48 ЕЭК ООН и ГОСТ Р 41.48-99 должен быть обязательно оснащен следующими СП (табл. 17.9, 17.10, 17.11).

Стандарты, относящиеся к автомобильным осветительным и светосигнальным приборам

Стандарт	Объект стандартизации
ГОСТ Р 41.1-99	Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения автомобильных фар, дающих асимметричный луч ближнего и/или дальнего света и оснащенных лампами накаливания категории R2 и (или) H51 (эти лампы исключаются из Правил ЕЭК ООН № 1)
ГОСТ Р 41.3-99	Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения светоотражающих приспособлений для механических транспортных средств и их прицепов
ГОСТ Р 41.4-99	Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения приспособлений для освещения заднего номерного знака автотранспортных средств (за исключением мотоциклов) и их прицепов
ГОСТ Р 41.5-99	Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения автомобильных ламп-фар («scaled beam»-SB) с европейскими асимметричными огнями ближнего света и/или дальнего света
ГОСТ Р 41.6-99	Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения указателей поворота механических транспортных средств и их прицепов
ГОСТ Р 41.7-99	Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения передних габаритных огней, задних габаритных (боковых) огней, сигналов торможения и контурных огней механических транспортных средств (за исключением мотоциклов) и их прицепов
ГОСТ Р 41.8-99	Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения фар с асимметричными огнями ближнего света и (или) огнями дальнего света механических транспортных средств, предназначенных для использования с галогенными лампами накаливания (лампы H1, H2, H3, HB3, HB4, H7, H8, H9, H1R1, H1R2 и (или) H11)
ГОСТ Р 41.19-99	Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения противотуманных фар для автотранспортных средств
ГОСТ Р 41.20-99	Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения автомобильных фар с асимметричными огнями ближнего света и/или огнями дальнего света, предназначенных для использования с галогенными лампами накаливания (лампы H4)
ГОСТ Р 41.23-99	Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения задних фар механических транспортных средств и их прицепов
ГОСТ Р 41.31-99	Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения автомобильных фар, представляющих собой галогенные оптические элементы (лампа-фара) (HSB) с асимметричными огнями ближнего и/или дальнего света
ГОСТ Р 41.37-99	Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения ламп накаливания, предназначенных для использования в официально утвержденных огнях механических транспортных средств и их прицепов
ГОСТ Р 41.38-99	Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения задних противотуманных огней механических транспортных средств и их прицепов
ГОСТ Р 41.45-99	Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения устройств для очистки фар, а также официального утверждения механических транспортных средств в отношении устройств для очистки фар
ГОСТ Р 41.48-99	Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении установки устройств освещения и световой сигнализации
ГОСТ Р 41.65-99	Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения специальных предупреждающих огней для автотранспортных средств
ГОСТ Р 41.69-99	Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения задних опознавательных знаков для тихоходных (по своей конструкции) транспортных средств и их прицепов
ГОСТ Р 41.70-99	Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения задних опознавательных знаков транспортных средств большой длины и грузоподъемности
ГОСТ Р 41.77-99	Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения стояночных фонарей механических транспортных средств
ГОСТ Р 41.87-99	Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения дневных ходовых огней механических транспортных средств
ГОСТ Р 41.91-99	Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения боковых габаритных фонарей для механических транспортных средств и их прицепов
ГОСТ Р 41.98-99	Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения фар механических транспортных средств с газоразрядными источниками света
ГОСТ Р 41.99-99	Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения газоразрядных источников света для использования в официально утвержденных газоразрядных оптических элементах механических транспортных средств

Таблица 17.11

Правила ЕЭК ООН, относящиеся к автомобильным осветительным и светосигнальным приборам

Номер Правил	Объект стандартизации	Год утверждения
1	Фары головного света	1960
3	Световозвращатели	1963
4	Приспособление для освещения заднего номерного знака	1964
5	Лампы-фары	1967
6	Указатели поворота	1967
7	Габаритные фонари и сигналы торможения	1967
8	Фары с галогенными лампами Н1, Н2, Н3	1967
19	Противотуманные фары	1971
20	Фары головного света с лампой Н4	1971
23	Фонари заднего хода	1971
27	Предупредительный треугольник	1972
31	Лампы-фары с галогенной лампой Н4	1975
37	Лампы накаливания для фонарей и фар	1977
38	Задние противотуманные огни	1978
45	Устройства очистки фар	1981
48	Установка и размещение приборов освещения и сигнализации	1982
65	Специальные предупреждающие огни	1986
69	Задние опознавательные знаки для тихоходных (по конструкции) транспортных средств и их прицепов	1987
70	Задние опознавательные знаки для транспортных средств большой длины и грузоподъемности	1987
77	Стояночные фонари механических транспортных средств	2002
87	Дневные ходовые огни механических транспортных средств	2003
91	Боковые габаритные фонари для механических транспортных средств и их прицепов	2002
98	Фары механических транспортных средств с газоразрядными источниками света	1996
99	Газоразрядные источники света в газоразрядных оптических элементах механических транспортных средств	2001
104	Светоотражающая маркировка для транспортных средств большой длины и грузоподъемности	1998
112	Фары ближнего и/или дальнего света с лампами накаливания	2001
113	Фары с симметричными огнями ближнего и дальнего света или обоими огнями и оснащенные лампами накаливания	2001
119	Боковые фонари	2005

Автомобильные световые приборы подлежат процедуре допуска к эксплуатации. То есть они должны пройти официальное утверждение — омологацию. Соответствующие нормативные документы содержат требования к светораспределению и предписания по размещению на транспортном средстве. В последние годы международные требования приходят на смену национальным. Во всем мире применяются Правила ЕЭК ООН (для право- и левостороннего движения). Имеются страны, в которых за основу взяты Правила ЕЭК ООН, но действуют они еще не в полном объеме (например, Япония) или лишь частично (например, Ки-

тай, Австралия). Установка светотехнических приборов регламентируется Директивой E76/756/EWG [17.28, 17.29]. Правила SAE применяются в США и, с некоторыми изменениями, в Канаде [17.29, 17.30].

Некоторые страны признают как Правила ЕЭК ООН, так и SAE. Для создания возможности применения светотехнических устройств по всему миру проводится процедура «гармонизации» требований Правил ЕЭК ООН и SAE [17.25, 17.27], в то же время различия между право- и левосторонним движением сохраняются. Национальные органы сертификации стран, в которых действуют Правила ЕЭК ООН, выдают знаки про-

верки, состоящие из буквы «Е» и цифр. Например, «Е 1» = Германия (ЕЭК ООН) и «е 1» = Германия (ЕС). Россия имеет знак «Е 22». Для США необходимо наличие знака «DOT». Знаки допуска к эксплуатации по возможности должны размещаться на внешней стороне фар и фонарей [17.31].

В США действуют отличные от европейских требования. Принцип самосертификации обязывает каждого производителя как импортера световых приборов обеспечить, а при необходимости доказать, что его продукция отвечает установленным в Федеральном регистре требованиям Федерального стандарта безопасности автотранспорта FMVSS 108. В соответствии с этим в США не существует типовых испытаний. Требования FMVSS 108 частично основываются на промышленном стандарте SAE. Автомобили, реимпортируемые, например, в Европу, соответственно, должны быть переоборудованы под соответствие европейским директивам.

В табл. 17.12 и 17.13 приведены нормативы по светораспределению фар ближнего и дальнего света.

На рис. 17.5 изображена разметка контрольного экрана для проверки ближнего света современных фар. Вертикальная линия соответствует оси правой полосы движения, а линии HG и HG' изображают в перспективе края правой полосы дороги, по которой движется автомобиль. Линия HF соответствует внешнему краю левой полосы встречного движения, линия HF' — середине левой полосы. Таким образом, линия HG' изображает ось дорожного полотна. Линия HE приблизительно

но соответствует траектории глаз водителя встречного автомобиля.

Контрольный экран располагается на расстоянии 25 м от фары. Для расчетов используется зависимость $I = EK^2$, то есть 1 лк \approx 625 кд. Измерительные приборы должны быть откорректированы под кривую относительной спектральной чувствительности человеческого глаза $V(\lambda)$.

Светораспределения противотуманных фар различных фирм не одинаковы. Общим является низкое расположение этих фар и резкое ограничение светового потока выше горизонтальной плоскости, проведенной через центр фары. Поэтому нормы светораспределения противотуманных фар, установленные Правилами 19 ЕЭК ООН (рис. 17.6), представляют собой компромисс, охватывающий характеристики различных существующих конструкций противотуманных фар. Они устанавливают весьма малую силу света в направлениях выше горизонтальной плоскости, проходящей через центр фары, а также регламентируют лишь центральную часть светового пучка в пределах приблизительно $\pm 3^\circ$ по горизонтали, тогда как световой пучок противотуманных фар имеет широкий угол горизонтального рассеяния ($\pm 45^\circ$ и более) [17.22, 17.24].

Нормативы к светосигнальным огням приведены в табл. 17.14 (рис. 17.7). Установлено, что светораспределение сигнальных огней соответствует требованиям отечественных стандартов и Правил ЕЭК ООН, если

Таблица 17.12

Нормы ближнего света фар европейской асимметричной системы распределения

Точка на измерительном экране		Требуемая освещенность в люксах	
У фар для правостороннего движения	У фар для левостороннего движения	У фар класса А	У фар класса В
Точка В 50 L	Точка В 50 R	$\leq 0,4$	$\leq 0,4$
Точка 75 R	Точка 75 L	≥ 6	≥ 12
Точка 75 L	Точка 75 R	≤ 12	≤ 12
Точка 50 L	Точка 50 R	≤ 15	≤ 15
Точка 50 R	Точка 50 L	≥ 6	≥ 12
Точка 50 V	Точка 50 V	—	≥ 6
Точка 25 L	Точка 25 R	$\geq 1,5$	≥ 2
Точка 25 R	Точка 25 L	$\geq 1,5$	≥ 2
Любая точка в зоне III		$\leq 0,7$	$\leq 0,7$
Любая точка в зоне IV		≥ 2	≥ 3
Любая точка в зоне I		≤ 20	$\leq 2E^*$

* E — фактическая измеренная освещенность в точке 50R и, соответственно, 50L.

Таблица 17.13

Нормы дальнего света фар европейской асимметричной системы светораспределения

Правила ЕЭК ООН	Освещенность, лк, на расстоянии 25 м				
	максимальная		в точке H, не менее	в точках 112,5 см П и Л не менее	в точках 225 см П и Л не менее
	не более	не менее			
112,1 и 5 8, 20 и 31	— 240	32 48	0,90E _{max} 0,80E _{max}	16 24	4 6

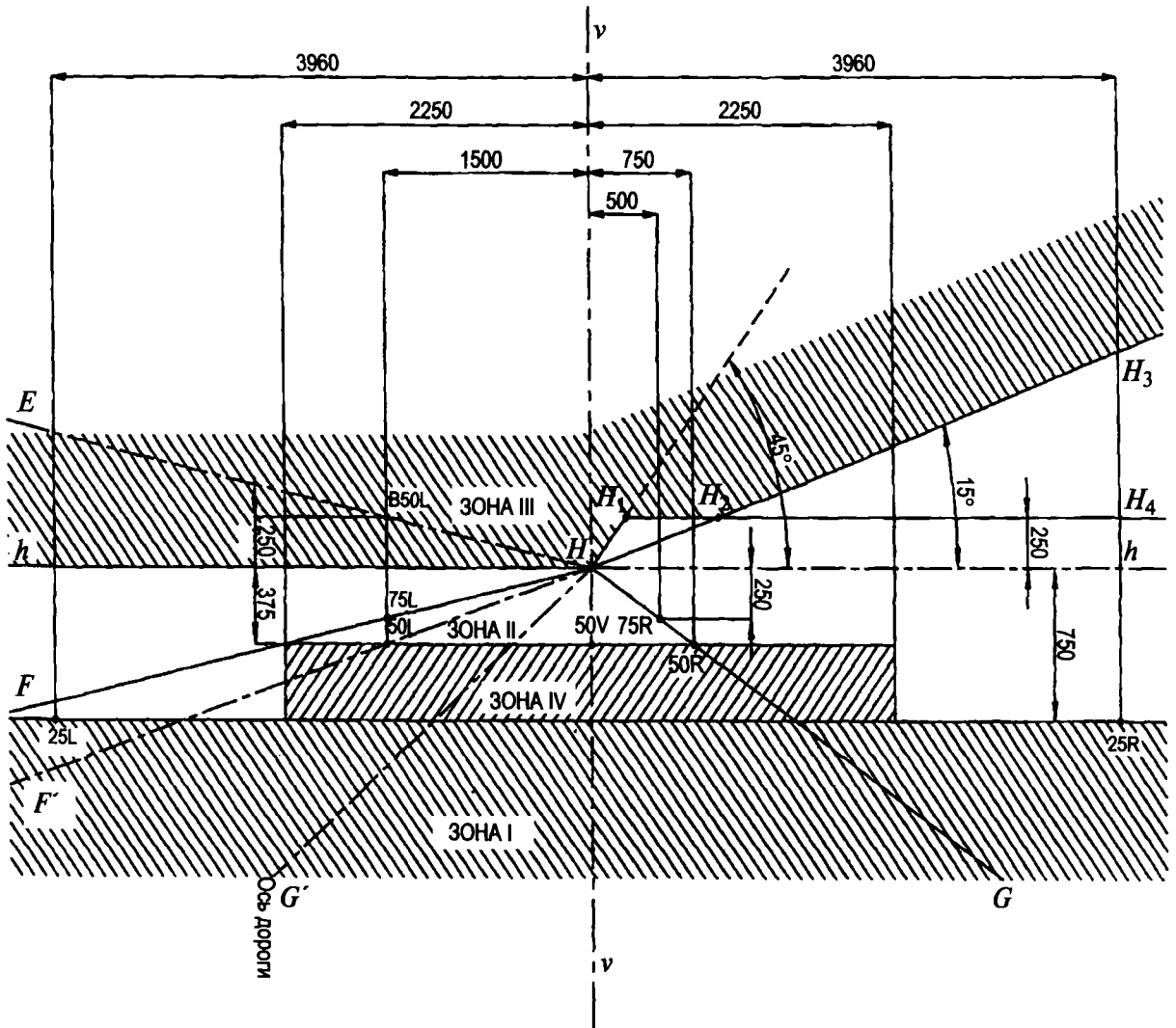


Рис. 17.5. Разметка контрольно-измерительного экрана для фар (Правила ЕЭК ООН: 1; 5; 8; 20; 31; 112); $h-h$ – горизонтальная плоскость, $v-v$ – вертикальная плоскость, проходящие через центр фары; размеры даны в мм

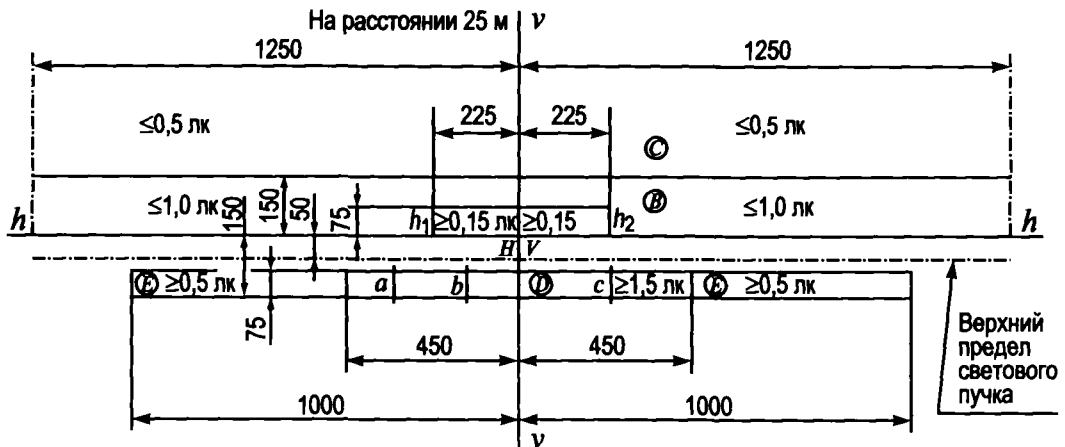


Рис. 17.6. Нормы светораспределения противотуманных фар (измерительный экран) по Правилам ЕЭК ООН (размеры даны в мм). Расстояние фотометрирования 25 м

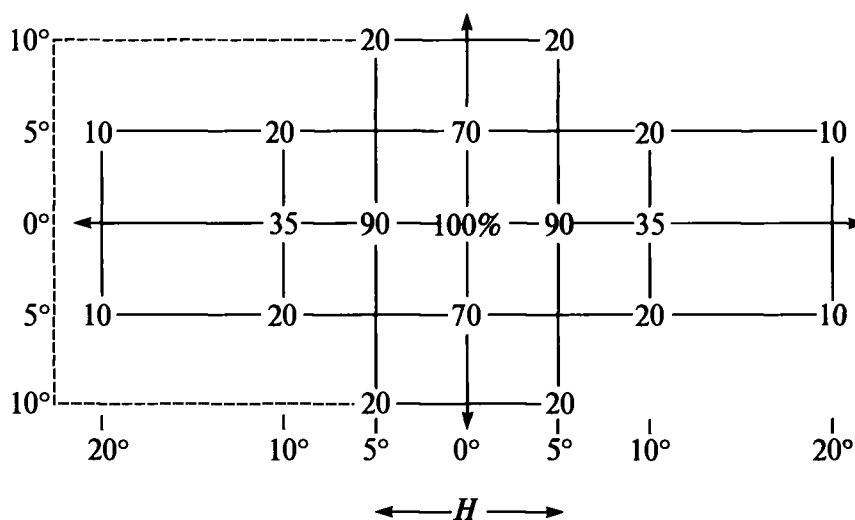


Рис. 17.7. Минимальная сила света сигнальных огней в различных точках контрольного экрана, выраженная в % от измеренной осевой силы света

Таблица 17.14

Европейские нормы для сигнальных огней

Сигнальный огонь	Категория	Минимальная сила света в кд по оси отсчета	Сила света в кд в случае использования в качестве			Минимальная сила света в кд в любых точках поля видимости
			одиночного огня	огня (одиночного) с маркировкой «D»	суммарной величины для комбинации из двух огней	
Подфарники, передние габаритные огни для обозначения контуров транспортного средства		4	60	42	84	0,05
Подфарники, совмещенные с фарами		4	100	—	—	0,05
Задние габаритные огни, задние огни для обозначения контуров транспортного средства		4	12	8,5	17	0,05
Стоп-сигналы: с одним уровнем силы света	S1	60	185	130	260	0,3
с одним уровнем силы света: днем	S2	130	520	366	728	0,3
ночью		30	80	56	112	0,07
Стоп-сигналы	S3	25	80	55	110	0,3
Указатели поворота: передний	1 1a 1в	175 250 400	700 800 860	490 560 600	980 1120 1200	0,3 0,3 0,7
задний: однорежимный	2a	50	350	350	350	0,3
двухрежимный: днем	—	175	700	490	980	0,3
ночью	—	40	120	84	168	0,07
боковой одиночный: в переднем направлении	3 —	175	700	490	980	0,3
в заднем направлении	—	50	200	140	280	0,3
боковой: в переднем направлении	4 —	175	700	490	980	0,3
в заднем направлении	—	0,6	200	140	280	0,6
боковой повторитель	5	0,6	200	140	280	0,6
боковой повторитель	6	50	200	140	280	—

значения силы света удовлетворяют следующим неравенствам [17.23]:

– для вертикальной плоскости:

$$10^{(lg I_{min} - K_1 \alpha)} \leq I_\alpha \leq I_{max}$$

– для горизонтальной плоскости:

$$10^{(lg I_{min} - K_2(m+\beta)\beta)} \leq I_\beta \leq I_{max},$$

где I_{max} , I_{min} , I_α , I_β — значения силы света (максимальное, минимальное, произвольное в любом направлении α , β), кд; α , β — значения углов соответственно в вертикальной и горизонтальной плоскостях, град; $K_1 = 3,1 \cdot 10^{-2}$; $K_2 = 7,3 \cdot 10^3$; $m = 3,8$ — коэффициенты неравенств.

Правила 38 ЕЭК ООН устанавливают нормы для задних противотуманных огней, согласно которым сила света вдоль горизонтальной оси в пределах $\pm 10^\circ$ и вдоль вертикальной оси в пределах $\pm 5^\circ$ должна быть не менее 150 и не более 300 кд. Если создается впечатление неравномерности освещения экрана, то проверяется сила света в пределах площади ромба, образованного указанными выше крайними точками, которая должна быть не ниже 75 кд. Кроме того, площадь светового отверстия фонаря должна быть не более 140 см^2 .

Другие отечественные и зарубежные нормативные документы, в которых приведены светотехнические параметры основных СП, даны в табл. 17.10 и 17.11.

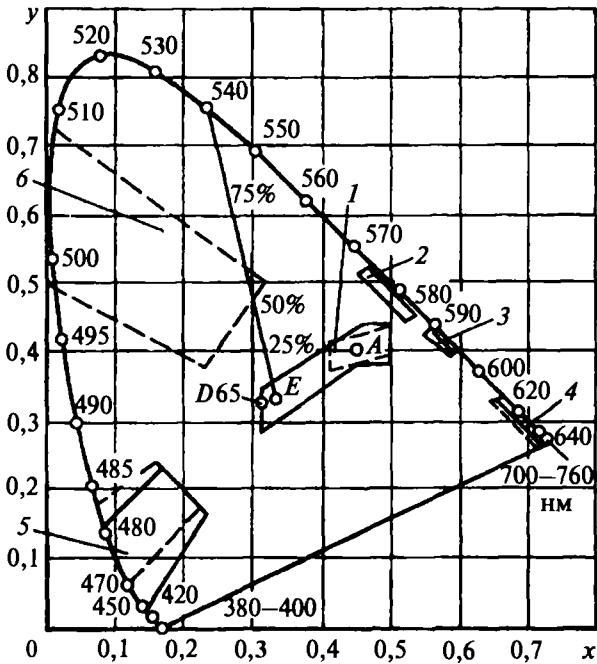


Рис. 17.8. Допуски на цвет автомобильных огней по Правилам ЕЭК ООН (сплошные линии) и стандарты SAE (пунктир) на цветовом графике МКО: 1 — белый; 2 — селективный желтый; 3 — оранжевый; 4 — красный; 5 — синий; 6 — зеленый

Завершая раздел, касающийся нормативов на автомобильные СП, необходимо упомянуть о цвете фар и фонарей.

Фары и передние габаритные огни должны излучать, как правило, белый свет; допускаются противотуманные фары светло-желтого селективного цвета.

Указатели поворотов должны быть оранжевыми, все задние СП — красными. Нормативы по цвету световых приборов автотранспортных средства приведены на рис. 17.8.

17.2.3. Световые приборы передней части автомобиля. Фары

На рис. 17.9 представлен классический пример передней части автомобиля. В данном случае на автомобиле установлены: основные блок-фары, имеющие функции ближнего и дальнего света, а также габаритного огня; указатели поворотов оранжевого цвета; дополнительные фары дальнего света и противотуманные фары.



Рис. 17.9. Световые приборы современного автомобиля, устанавливаемые спереди

Фары предназначены для освещения проезжей части и обочины дороги перед автомобилем. Допущенные к эксплуатации фары автомобилей всегда располагаются попарно, и их установка на транспортном средстве регламентирована Правилами 48 ЕЭК ООН.

В самом начале истории развития автомобиля ночные поездки были скорее исключением. Ацетилен, вырабатываемый карбидным газогенератором, позволил уже в 1905 г. разработать конструкцию фары, которую оценивали как достаточную, а некоторые даже как слишком яркую. Применение электрического освещения началось после Первой мировой войны. В 1957 г. появился асимметричный «ближний свет», освещавший ближнюю к автомобилю обочину дороги на большое расстояние без ослепления водителей встречных автомобилей. Возникли различные типы фар для правого и левостороннего движения.

В США после Второй мировой войны в эксплуатацию допускались только фары конструкции «sealed beam». В 60-х гг. во всем мире начали применяться га-

логенные лампы, а с 1991 г. на рынке появились фары с ксеноновыми источниками света.

Опросы показывают, что некоторые водители воспринимают поездки в темноте как особенно неприятные. В будущем автомобили с фарами, адаптирующими светораспределение к дорожным условиям, должны будут улучшить ситуацию в целом [17.23, 17.26, 17.27, 17.31, 17.32].

17.2.3.1. Типы фар и основные системы освещения

Ближний свет

При существующей в настоящее время плотности транспортных потоков дальний свет используется достаточно редко. Поэтому основным во время движения является ближний свет (95%). Благодаря применению в последние годы ряда новшеств, удалось значительно улучшить его характеристики:

- применение асимметричной формы светового пучка для ближнего света с увеличением дальности видимости на правой обочине;

- допуск к эксплуатации различных типов галогенных ламп, позволивших увеличить освещенность дороги на 50–80%;

- применение новых систем фар с комплексной геометрией (PES, HNS) с увеличенной до 50% эффективностью;

- корректировка угла наклона фар автомобилей с загруженной задней частью во избежание ослепления водителей встречных транспортных средств;

- дополнительное оборудование автомобилей омывателями фар;

- системы с газоразрядными лампами.

Практически во всех системах фар (с лампой Н4), являющихся в СНГ наиболее массовыми, источник ближнего света расположен перед фокусом параболического отражателя. В результате этого свет после отра-

жения имеет наклон относительно оси отражателя (рис. 17.10). Экран лампы отсекает часть светового потока, которая без него отражалась бы вверх. Таким образом, кромка экрана отображается на дорожном полотне как светотеневая граница. С таким разделением «темный верх/освещенный низ» удастся достичь достаточной дальности видимости во всех дорожных ситуациях. С одной стороны, ограничивается ослепление встречных водителей, с другой стороны, обеспечивается достаточно хорошее освещение ниже светотеневой границы.

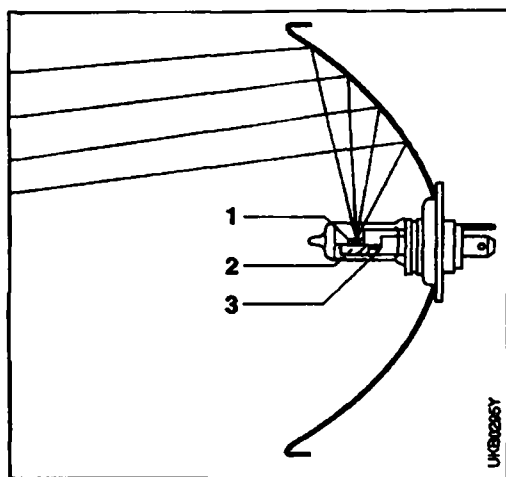
Дальний свет

Дальний свет, как наиболее интенсивный, допускается применять только при отсутствии встречных транспортных средств.

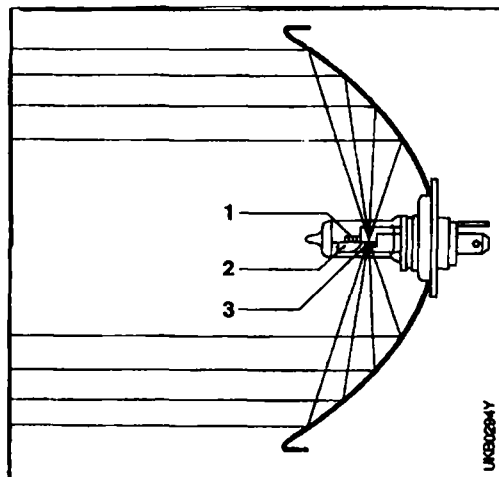
Дальний свет (рис. 17.10, б) включается отдельно или вместе с ближним светом.

Допускается установка двух или четырех фар дальнего света. Фары дальнего света можно совмещать и группировать с фарами ближнего света и другими световыми приборами (СП) передней части автомобиля.

К наиболее важным показателям светораспределения дальнего света относятся: симметричное распределение по отношению к медиатрисам; световой максимум по оптической оси фары. Максимально допустимая сила света как сумма отдельных значений всех установленных на автомобиле фар дальнего света должна составлять 225000 кд. Этот показатель контролируется с помощью базовых чисел, расположенных на всех фарах рядом со знаком омологации. 225000 кд соответствует числу 75. Сила дальнего света может быть обозначена, например, числом 20 рядом с круглым знаком соответствия Правилам ЕЭК ООН. Если автомобиль оборудован только такими фарами (других фар дальнего света не установлено), то суммарная сила света составляет около 40/75 от 225000 кд, то есть 120000 кд и т.п.



а)



б)

Рис. 17.10. Формирование светового пучка ближнего света (классический параболюидный отражатель): а — отражатель с лампой Н4, включена нить ближнего света (перед фокусом); б — то же, включена нить дальнего света (в фокусе); 1 — нить ближнего света; 2 — экран лампы у нити ближнего света; 3 — нить дальнего света

Дополнительные фары

Дополнительные фары дальнего света предназначены для «усиления» дальнего света, они могут поворачиваться для изменения ориентации светового пучка.

Противотуманные фары в Германии могут применяться только в тумане, во время дождя или снега и при ограниченной видимости (в Швеции и Норвегии также как «фара для поворотов»). В России — как фары многоцелевого назначения (иногда вместе с фарами ближнего света, иногда — отдельно). Фары рабочего освещения не могут применяться для освещения дороги во время движения транспортного средства. Проекторы-искатели применяются аналогично фарам рабочего освещения, но отличаются узким световым пучком дальнего действия.

Основные системы освещения

В мировой практике автомобилестроения приняты две основные системы освещения: двухфарная и четырехфарная (рис. 17.11, а, б).

В случае применения в оптическом элементе фары одной двухнитевой лампы и одного отражателя для ближнего и дальнего света система является двухфарной. Если функции ближнего и дальнего света разделены, то речь идет о системе из 4 фар. Наличие дополнительных фар, таких как дополнительный дальний свет или противотуманная фара, ничего не меняет в этой классификации, которая особенно важна для фар, применяемых в США и Японии.

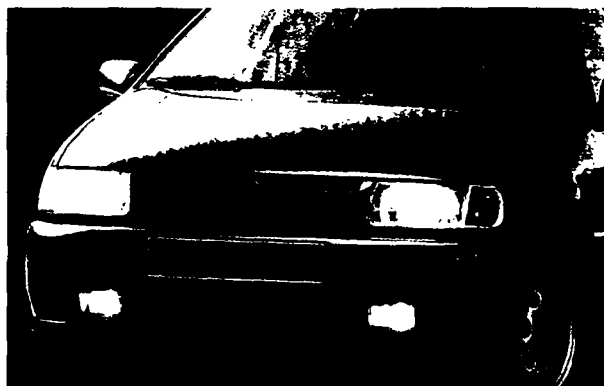
В последние годы, в связи с многообразием дизайнерских решений в части проектирования автомобилей и фар, фары дальнего и ближнего света все чаще выполняются как совмещенные СП (блок-фары). Это СП, имеющие разные источники света, которые работают в разных режимах, но объединены в одном корпусе, и, главное, СП имеют одно защитное стекло, или рассеиватель, разные зоны которого предназначены, соответственно, для дальнего и ближнего света. В этом случае внешне автомобиль оснащен двумя фарами, которые по существу функционируют как системы из 4-х или более фар (рис. 17.11, в).

В связи с тем, что в мировой практике организации автодорожного движения существуют два типа движения: правостороннее и левостороннее, то существуют, соответственно, и две системы освещения.

В Европе «левоасимметричные» фары (асимметричные фары для левостороннего движения) эксплуатируются в Великобритании и Ирландии, в остальных странах — «правоасимметричные» (асимметричные фары для правостороннего движения). Для поездок из континентальной части в Великобританию и наоборот должна быть предусмотрена возможность отключения асимметричной части светового пучка ближнего света или поворота всей фары на 15° по часовой стрелке (взгляд с места водителя).

Все упомянутые системы освещения в той или иной мере вызывают ослепление встречных участников движения (водителей, пешеходов, велосипедистов и т.п.).

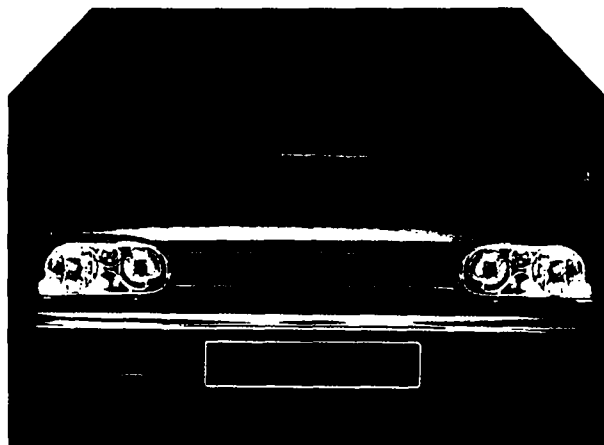
В условиях ночного движения автомобилей их водители одновременно ощущают дискомфорт и испыты-



а)



б)



в)

Рис. 17.11. Типичные системы освещения: а — двухфарная; б — четырехфарная; в — «совмещенная»: блок-фары

вают физиологическое ослепление, обусловленное действием прямой блескости автомобильных фар, яркость светящей поверхности которых $10^4 - 10^6$ кл/м². Анализ, проведенный с использованием показателя дискомфорта по Л. Холлэдею, позволил установить, что в процессе встречного разъезда автомобилей, оснащенных современными фарами, зрительные ощущения постоянно нарастают и находятся на уровне «неприятно и

болезненно» при расстояниях между автомобилями менее 200 м, т.е. постоянный дискомфорт — специфика зрительной работы водителей. С точки зрения безопасности дорожного движения наиболее важно устранять и уметь оценивать физиологическую ослепленность, так как ее следствием служит сокращение расстояния обнаружения и различения (дальности видимости) дороги и объектов на ней [17.23].

Дальность видимости — понятие субъективное; это расстояние, зависящее от многих факторов системы «водитель — автомобиль — дорога — среда движения». Однако для сравнительной оценки фар и систем освещения в сложившейся международной практике за дальность видимости принимают расстояние, на котором вертикальная освещенность на правой обочине дороги достигает значения 1 лк. Для оценки светораспределения фар используют кривые одинаковой освещенности (изолюксы) или силы света (изоканделы) в виде изображения на вертикальном экране либо на проекции горизонтального участка дороги.

За геометрическую дальность видимости при освещении фарами ближнего света принимают расстояние, на котором горизонтальный участок светотеневой границы пересекается с поверхностью дорожного покрытия. Теоретические и методические аспекты эффективности автомобильных фар, а также вопросы метрологии и др. достаточно подробно изложены в отечественной и зарубежной литературе [17.23, 17.32].

17.2.3.2. Основные элементы конструкции фар

Отражатели

Отражатель — параболюид

Только часть света, излучаемого лампой, отражается рефлектором и служит для освещения дороги.

Свет точечного источника, расположенного в фокусе параболюида, направляется параллельно и представляет, таким образом, хорошую основу для дальнего света. Источник света вне фокуса создает расходящийся световой пучок. Верхняя часть отражателя образует ближний свет, нижняя часть для европейского светораспределения должна быть экранирована. При наличии двух спиральных нитей накала, как, например, в лампе Н4, один и тот же параболический отражатель может формировать как ближний, так и дальний свет (рис. 17.10). Светораспределение отражателя корректируется призмами и цилиндрическими линзами рассеивателя [17.29, 17.31].

Фокусное расстояние отражателей (расстояние между вершиной параболы и фокусом) составляет 15–40 мм.

Часто современные отражатели имеют не параболическую форму, о чем речь идет далее.

Отражатель — эллипсоид: основа фар проекторного типа

Эллипсоид имеет два фокуса: значительная часть света от источника, расположенного в первом фокусе, концентрируется во втором. Экран, расположенный рядом со вторым фокусом и имеющий форму требуе-

мой светотеневой границы, просцируется с помощью асферической проекционной линзы на дорогу. Преимуществами проекторной системы является светотеневая граница с любой степенью резкости. К проблемам можно отнести высокие рабочие температуры отражателя и линзы, «разложение пучка в спектр» на светотеневой границе и воспринимаемую с дискомфортом высокую яркость линзы. Специальные материалы отражателей, модифицированное формообразование линзы и дополнительное рассеяние света вокруг линзы позволили, начиная с середины 80-х годов, применять эту систему на практике. Производители фар для обозначения специальных форм отражателей используют собственные сокращения (DE = dreiachsiges Ellipsoid (трехосевый эллипсоид) или PES = Polyellipsoid System (поллиэллипсоидная система). Системы проекторного типа применяются для фар ближнего света, противотуманных фар и, реже, для фар дальнего света [17.29, 17.32]. На рис. 17.12 представлены основные элементы конструкции фары на базе полиэллипсоидного отражателя, и ее принципиальная оптическая схема.

Эффективность фар, спроектированных на основе PES-отражателей, наглядно иллюстрирует рис. 17.13. Анализируя изолюксы на дороге, можно судить о преимуществах фар проекторного типа с диаметром светового отверстия всего 60 мм по сравнению с классическими фарами с параболическим отражателем со световым отверстием прямоугольной формы размером 235×127 мм, $f=27$ мм. Нетрудно видеть, что за счет более высокого КПД системы PES значительно увеличиваются размеры (ширина) светового пучка (рис. 17.13, а), а значит, улучшается видимость обочин и поворотов дороги; растет равномерность освещения в пределах всего светового пятна; незначительно, но увеличивается дальность видимости дороги. Фотографии световых пятен от этих фар на дороге (рис. 17.13, б) подтверждают изложенные выше преимущества фар на основе PES-отражателей.

Отражатели со «свободной поверхностью»

Значительным прогрессом в технологии отражателей стало внедрение «свободных поверхностей» (сначала (1988 г.) в системах проекторного типа) [17.32, 17.33]. По сравнению с уже достаточно эффективными эллипсоидными отражателями полезный световой поток был увеличен на 43% (Super DE). Техника свободных поверхностей основана на расчете поверхности отражателя «по точкам» с помощью системы проектирования CAL (Computer Aided Lighting).

С применением прецизионных ламп (НВ4, Н7, Н1) отражатель со свободной поверхностью может быть спроектирован таким образом, что может использоваться вся его поверхность. По сравнению с параболюидом выигрыш в КПД составляет до 80%. Кроме этого техника свободной поверхности позволяет отказаться от оптического профилирования рассеивателей. Оптическая поверхность отражателя может быть гладкой, с фасетами или выполнена в виде сегментов.

Иные типы сложных отражателей, применяемых в современных фарах, описаны ниже.

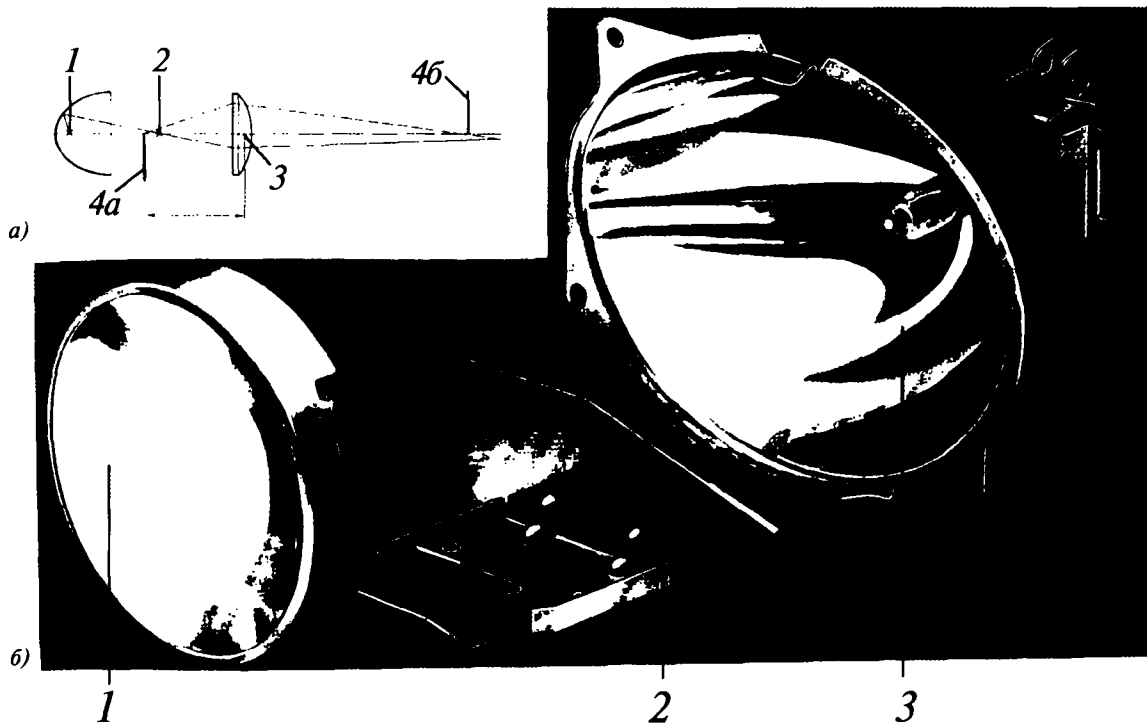


Рис. 17.12. Полиэллипсоидный отражатель в автомобильной фаре проекторного типа: *a* — принципиальная оптическая схема фары с полиэллипсоидным отражателем; 1 — первый фокус отражателя; 2 — второй фокус отражателя; 3 — объектив; 4а — экран, расположенный в фокусе объектива; 4б — изображение (проекция) экрана; *б* — основные элементы конструкции фары; 1 — линзовый объектив; 2 — экран, формирующий светотеневую границу; 3 — отражатель с лампой НЗ

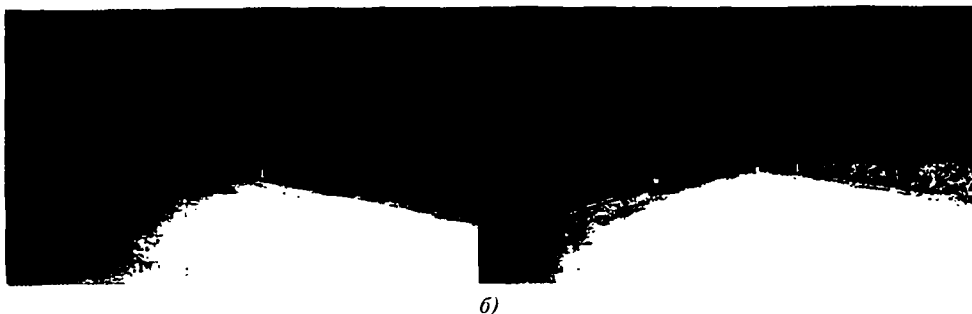
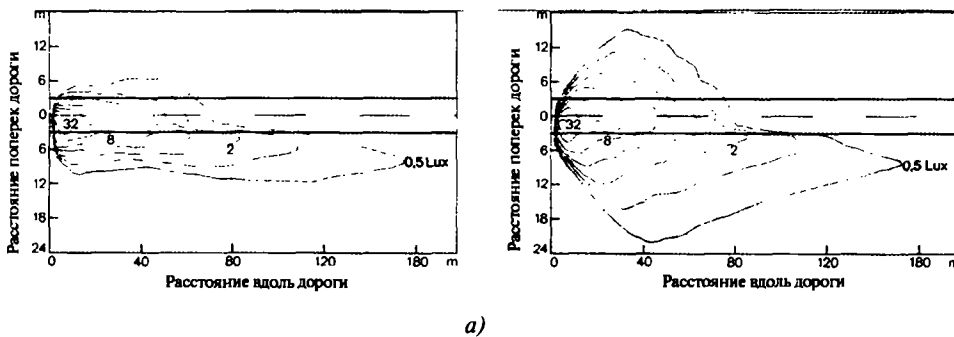


Рис. 17.13. Сравнение эффективности (светораспределения) фар с ГЛН с параболоидным (лампа Н4) и эллипсоидным (Н1) отражателями: *a* — изолюксы на дороге; *б* — фото световых пятен на дороге. Снимки слева относятся к параболоидному отражателю, снимки справа — к эллипсоидному отражателю

«Ступенчатые» отражатели

Ступенчатые отражатели представляют собой сегментированные отражатели, состоящие из параболических или параэллиптических (комбинация из параболы и эллипса) элементов. Тем самым даже при уменьшении глубины деталей сохраняются преимущества «глубоких» отражателей (рис. 17.14).

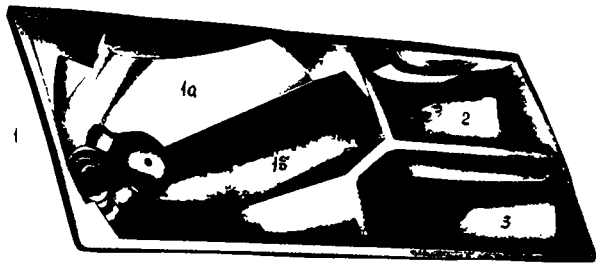


Рис. 17.14. Ступенчатый отражатель сложной формы: 1 — гомофокальный отражатель ближнего света; 1а — базовый (основной) отражатель; 1б — дополнительные отражатели; 2 — отражатель дальнего света; 3 — отражатель противотуманной фары

Гомофокальные (софокусные) отражатели

Софокусный отражатель состоит из основного и дополнительного отражателя (см. рис. 17.14, а, б). Секторобразные дополнительные отражатели с общим (одним) фокусом имеют меньшее фокусное расстояние и вносят дополнительный вклад в световой пучок. Свет дополнительных отражателей улучшает освещение зоны перед автомобилем и сбоку от него, но не увеличивает дальность видимости. В данном случае используется лампа Н4 с двумя нитями накала (для ближнего и дальнего света).

Многофокусные отражатели

Принцип многофокусного отражателя схож с гомофокальным, только фокальных точек может быть несколько (две или более).

Фасетные отражатели

Поверхность фасетных отражателей состоит из множества сегментов. Каждый сегмент может быть оптимизирован с помощью программы CAL. Существенным является то, что «разрывы» и ступени являются допустимыми на всех четырех границах фасетки. Таким образом, удастся добиться оптимизации светораспределения, отвечающего представлениям конкретного автопроизводителя.

HNS-отражатели

С применением отражателей HNS (Homogeneous Numerically Calculated Surface) на современном этапе можно добиться увеличения КПД фары вплоть до 50%. Это значит, что светораспределение можно полностью обеспечить одним отражателем без оптического профилирования рассеивателя.

Фара с прозрачным, беспрофильным стеклом открывает новые возможности в дизайне автомобильных фар. Примеры таких отражателей можно видеть в фарах автомобиля «Фольксваген» (ФРГ) рис. 17.11, в, а также фарах отечественных автомобилей «ГАЗЕЛЬ», ВАЗ 2123-«НИВА» «ГАЗ-31105» «ВОЛГА» (рис. 17.15).



Рис. 17.15. Блок-фара автомобиля «ГАЗ 31105» — «Волга» с прозрачным рассеивателем (без призматуры): светораспределение формируется отражателями

Материалы отражателей

Традиционно отражатели изготавливали методом прессования из листового металла, как правило, из полноразмерной стали, реже — из латуни или алюминия [17.25, 17.31]. Их поверхность «выравнивалась» лаком и подвергалась металлизации чистым алюминием в вакууме и покрывалась антикоррозийным защитным слоем. Коэффициент отражения такого покрытия составляет около 87%. Отражатели из металлических отливок (магний, алюминий и, ранее, цинк) применяются при небольших габаритных размерах и высоких температурах. В настоящее время для изготовления отражателей наиболее часто применяется Дуропласт (Duroplast (DMC)) (например, LPP — Low Profile Polyester), объединяющий хорошую термостойкость и обеспечивающий стабильность формы, но требующий нанесения «грунтовочного» лака.

В случае применения термопластов, например, термостойких поликарбонатов, особое внимание следует уделять деформации отражателя вследствие тепловой нагрузки от источника света. Специальные методы расчетов позволяют моделировать смещение светового пучка, вызванное высокими температурами, и с помощью изменения толщины стенок производить значительную коррекцию. Применение металлизированных напрямую (без предварительной лакировки) материалов имеет преимущество в части качества и снижения затрат, но, как правило, из-за стоимости термостойких видов гранулята и более высоких затрат на оснастку это преимущество сводится на нет.

К рабочей поверхности отражателей предъявляются высокие требования. Шероховатость не должна превышать 0,001 мм. Конденсат, образующийся в фаре, раньше часто разрушал отражатели. Эта проблема решается применением отверстий для вентиляции и улучшения защиты от коррозии.

Световые экраны-бленды

Для экранирования прямых лучей и света, отраженного от декоративных поверхностей, не работающих на формирование светораспределения, применяются световые бленды-экраны, устанавливаемые перед источником света. Их внутренняя поверхность должна быть матовой и/или, по возможности, черного цвета. В декоративных целях снаружи бленды могут быть изготовлены как блестящие колпачки.

Рассеиватели

Прозрачный рассеиватель, установленный перед отражателем, в современной фаре, как правило, гармонирует с геометрией кузова автомобиля.

Оптические профили па рассеивателях необходимы, когда отражатели имеют форму параболоида (рис. 17.16). В случае применения отражателя со свободной поверхностью оптические профили улучшают однородность светораспределения. Для достижения совершенного внешнего вида применяются прозрачные рассеиватели с незначительным количеством декоративных профилей.

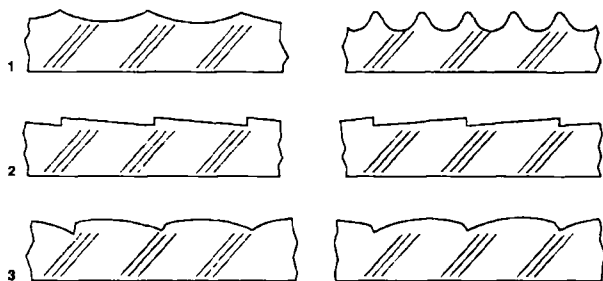


Рис. 17.16. Типичные профили (микроэлементы) рассеивателей фар: 1 — линзовые; 2 — призматические; 3 — комбинированные

Рассеиватели ближнего света допускают наклон до 25° , в противном случае происходит недопустимое искривление светотеневой границы. В современных фарах, сконструированных с учетом аэродинамических требований, наклон и «стреловидность» могут в сумме давать угол, равный 60° и более. Прозрачные рассеиватели позволяют увеличить этот угол. Комбинированный угол наклона рассеивателя и стреловидности определяет отношение коэффициента отражения к коэффициенту пропускания. При 0° коэффициент пропускания составляет 92% для стекла и 85% для пластмассы.

В Европе до 1983 г. применялись исключительно прессованные стеклянные рассеиватели. Технология прессования устанавливает значительные ограничения на формообразование, а быстрый износ оснастки влечет за собой большие допуски. Позитивной стороной является абразивостойкость и сравнительно хорошая термостойкость рассеивателей, которая может быть увеличена химической или термической закалкой.

В 1993 г. в Европе впервые в соответствии с новыми Правилами ЕЭК ООН были допущены к эксплуатации пластмассовые рассеиватели [17.26, 17.31, 17.33].

В США и Японии пластмассовые рассеиватели начали успешно применяться несколько раньше [17.31, 17.34]. Преимуществами по сравнению со стеклом являются незначительный вес и свобода формообразования. В качестве основного материала применяется поликарбонат с нанесенным с внешней стороны упрочняющим абразивостойким покрытием.

В настоящее время одним из лучших синтетических материалов для рассеивателей признал поликарбонат марки «MAKROLON».

При незначительном загрязнении рассеивателей сначала увеличивается ослепление, а при усилении загрязнения происходит снижение светового потока. Поэтому очистители и омыватели фар (рис. 17.17) являются важными элементами безопасности и, например, до принятия скандинавскими странами Правил ЕС были там обязательны. Для стеклянных рассеивателей возможно применение как традиционных щеточных очистителей, так и омывателей инжекторного типа. Для рассеивателей из пластмассы могут применяться только бесконтактные инжекторные омыватели, получившие в последнее время широкое распространение (рис. 17.18). Наряду с неподвижно установленными форсунками все большее предпочтение отдается «телескопам», которые выдвигаются под действием давления воды (рис. 17.19). Включение производится одновременно с включением омывателей ветрового стекла, но только при работе фар [17.25, 17.26, 17.29].

Источники света автомобильных фар — лампы

В качестве заменяемых источников света могут использоваться только лампы, указанные в международных нормативных документах. В результате включения американских ламп в европейские нормативные документы стало возможным применение большого числа ламп во всех странах мира (рис. 17.20).

В соответствии с требованиями Правил ЕЭК ООН R-37 лампы для транспортных средств выпускаются



Рис. 17.17. Фарочистка в действии (фрагмент работы струйной системы фарочистки)

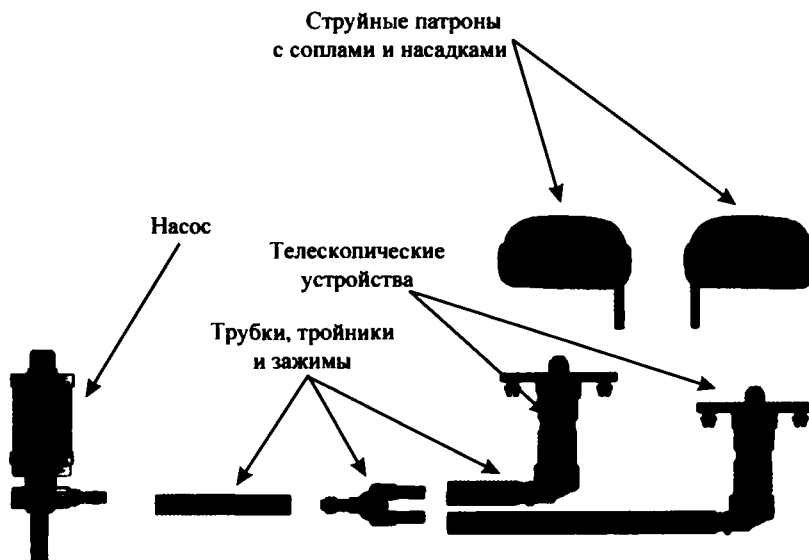


Рис. 17.18. Основные элементы системы струйной фароочистки

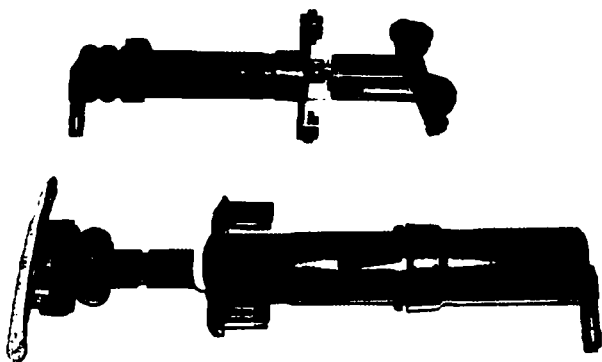


Рис. 17.19. Типовые телескопические устройства системы фароочистки

для рабочих напряжений 6, 12 и 24 В. Различные типы ламп во избежание неправильного использования имеют различную форму цоколя. Кроме этого, на лампах указывается рабочее напряжение, что должно исключить применение ламп с одинаковой формой цоколя в системах с другим напряжением. Предусмотренный в каждом конкретном случае тип лампы должен быть указан на приборе. Основные характеристики автомобильных ламп приведены в табл. 17.15.

Важным фактором обновления автомобильных световых приборов является совершенствование источников света. Появление новых ламп стимулирует появление новых поколений фар и фонарей.

Лампы накаливания

Лампа Н4 была впервые применена за рубежом в 1971 г. и до сих пор применяется на европейских автомобилях. В отечественной технике она является основной на большинстве серийно выпускаемых автомобилей.

В 1995 году появилась более точная альтернатива лампе Н1 для отражателей со свободной поверхностью. Это лампа Н7.

Лампы Н8, Н9 и Н11 являются новыми галогенными лампами с герметичной цокольной частью, они применяются преимущественно для противотуманного света (Н8), дальнего света (Н9) и ближнего света (Н11).

Наряду с этим в Европе все более широкое распространение находят первоначально американские лампы НВ1, НВ3, НВ4, а также НВ5 (замена НВ1). Их преимуществом являются герметичное исполнение цоколя, позволяющее уменьшить размеры фары и облегчить замену лампы. Новинкой является лампа NDF (new double filament) (в Правилах ЕЭК ООН — Н13), которая, обладая более точным позиционированием нити накала, с 2004 года должна заменить лампу НВ5.

Специально разработанное кварцевое стекло UV-BLOCK предотвращает порчу пластмассовых рассеивателей фар ультрафиолетовым излучением (пластмассовыми рассеивателями обладают 30% европейских автомобилей и 60% американских).

Газоразрядные лампы

Световой поток газоразрядных ламп примерно в 2,5 раза больше, чем у галогенных.

Свет МГЛ излучает электрическая дуга длиной около 4 мм в горелке величиной с горошину, в которой в небольших количествах содержится соли редкоземельных металлов (см. рис. 17.21). МГЛ первого поколения D1 (см. рис. 17.21, а) имели высокую долю УФ-излучения. Второе поколение ламп (D1S/R и D2S/R) снабжено дополнительной фильтрующей колбой, уменьшающей УФ-излучение настолько, что стало возможным применение пластмассовых рассеивателей [17.31, 17.33, 17.35, 17.36].

ОСНОВНЫЕ ТИПЫ АВТОМОБИЛЬНЫХ ЛАМП И ИХ ПРИМЕНЯЕМОСТЬ

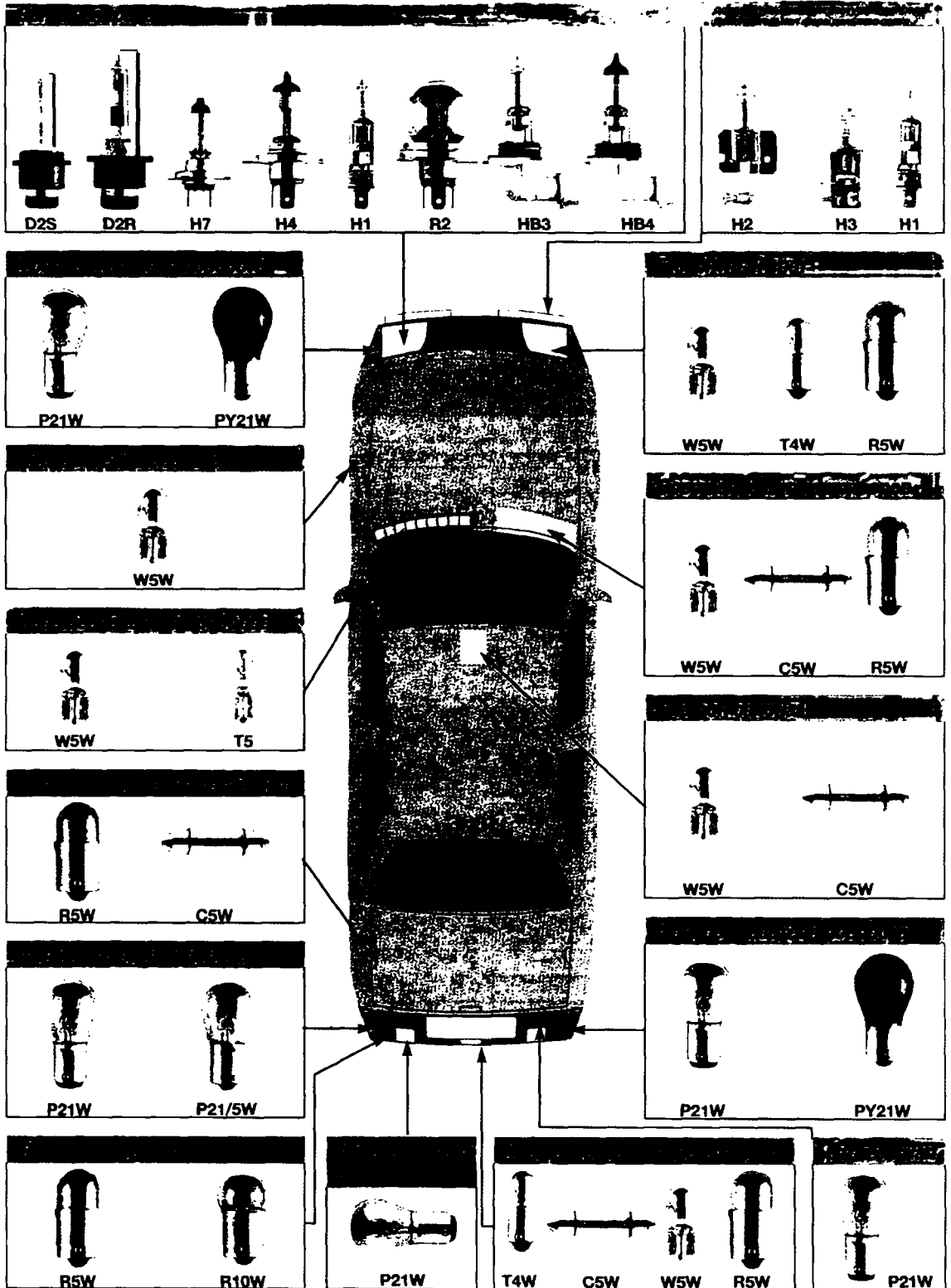


Рис. 17.20. Основные типы автомобильных ламп и их применяемость на автомобиле

Таблица 17.15

Основные типы современных ламп для автомобильных фар (рис. 17.17)

Тип лампы Рисунок	Напряжение <i>U</i> , вольт	Мощность <i>W</i> , ватт	Тип цоколя
Газоразрядная лампа для основных фар и фар дальнего света			
D2S	12/24	35	P 32 d
Газоразрядная лампа для основных фар			
D2R	12/24	35	P 32 d-3
Для H4-основных фар			
H4	12	60/55	P 43 t/38
Для H7-основных фар			
H7	12	55	PX 26 d
Для фар ближнего света			
HВ4	12	55	P 22 d
Для фар дальнего света			
HВ3	12	65	P 20 d
Для фар ближнего, дальнего, противотуманного света и фар рабочего освещения с галогенным светом			
H3	12	55	PK 22 s
	24	70	
Для основных, противотуманных фар и проблесковых маяков с галогенным светом			
H1	12	55	P 14,5 s
	12	55	
	12	55	
	24	70	
	12	100	
Для головных фар с асимметричным светом			
R2*	12	45/40	P 45 t
	6		
	24	55/50	
Лампы накаливания для фонарей			
Для задних фонарей с указателем поворота, стоп-сигналом, противотуманным светом и светом заднего хода			
P21W	12	21	BA 15 s
	24		
Для фонарей указателя поворота			
PW21 W	12	21	BAU 15 s
	24		
Для задних габаритных фонарей, для фонарей освещения номерного знака, стояночных, маркирующих и контурных фонарей, плафонов салона			
R5W	12	5	BA 15 s
	24		
R10W	12	10	BA 15 s
	24		
Для задних габаритных фонарей, для фонарей освещения номерного знака, стояночных, маркирующих и контурных фонарей, плафонов салона			
T4W	6	4	BA 9 s
	12		
	24		
Для фонарей индикации, боковых габаритов, фонаря-отражателя, подфарника-отражателя и выключателей			
W5W	12	5	W 2,1 × 9,5 d
Для освещения щитка приборов			
T4W	12	1,2	W 2 × 4,6 d
	24	1	

* Эту лампу исключают из Правила ЕЭК ООН № 3.

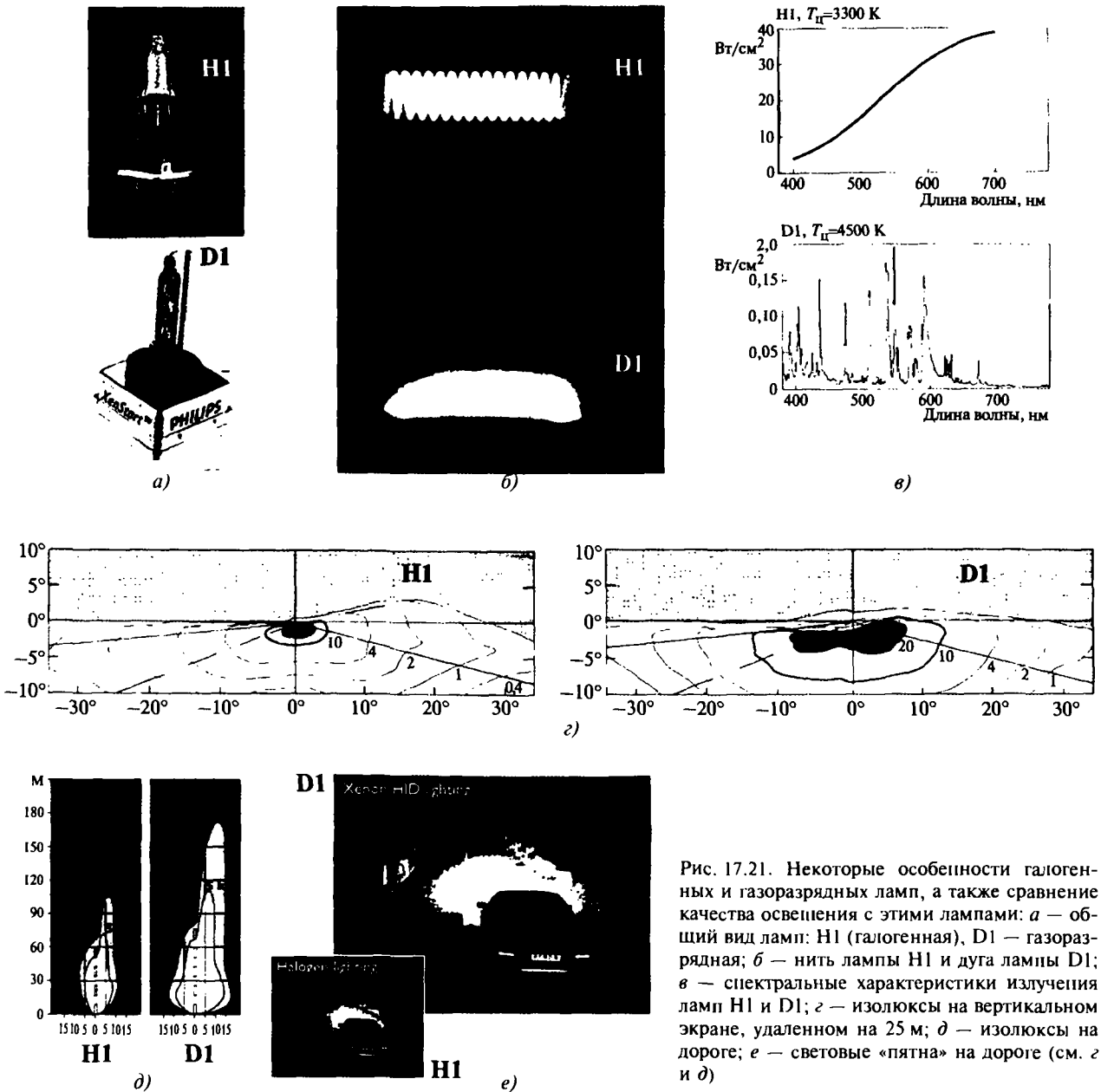


Рис. 17.21. Некоторые особенности галогенных и газоразрядных ламп, а также сравнение качества освещения с этими лампами: *а* — общий вид ламп: H1 (галогенная), D1 — газоразрядная; *б* — нить лампы H1 и дуга лампы D1; *в* — спектральные характеристики излучения ламп H1 и D1; *г* — изолюксы на вертикальном экране, удаленном на 25 м; *д* — изолюксы на дороге; *е* — световые «пятна» на дороге (см. *г* и *д*)

Провода ламп первого поколения D1 впаивались в блок электронного управления, что исключало возможность замены ламп. Лампы второго поколения имеют цоколь штекерного типа. Лампы D2S предназначены для проекторных систем и фар дальнего света, а D2R — для фар ближнего света отражательного типа (см. рис. 17.20, табл. 17.15).

Ввиду сложного процесса пуска, МГЛ достигает эффективной мощности лишь через 3 секунды после включения. Для того, чтобы добиться достаточной освещенности сразу после включения света, разрядная горелка в качестве наполнителя содержит газ ксенон. Срок службы ксеноновых источников света зависит от

количества включений, а не от продолжительности горения. Обычно он превышает срок службы автомобиля.

Первые ксеноновые фары появились на рынках Германии и США в 1992 году. Лампы первого поколения ввиду большой доли УФ-излучения могли применяться только в системах проекторного типа с дополнительным металлическим экраном. Высокая яркость сравнительно небольших ($\varnothing 60 \text{ мм}$) проекторных линз была воспринята многими участниками дорожного движения как «мешающая» (дискомфортная). в то же время высокий световой поток их ламп расценивался как значительный шаг в сторону повышения безопасности движения.

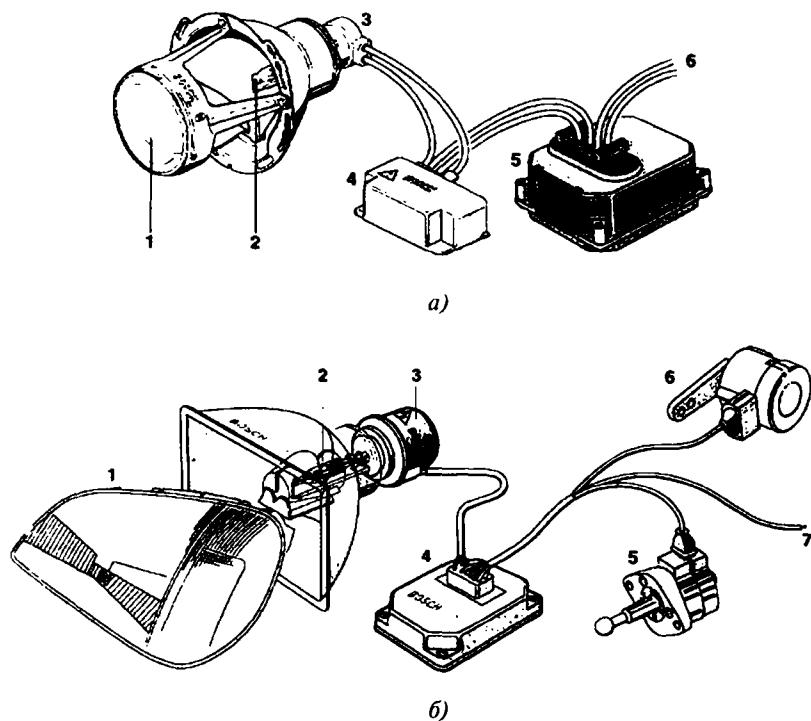


Рис. 17.22. Основные элементы (устройство) фары с газоразрядной лампой: а — фара прожекторного типа: 1 — линза; 2 — газоразрядная лампа (типа D2S); 3 — штекер на лампе; 4 — электронный блок «зажигания» — пусковой; 5 — электронный блок, регулирующий разряд; 6 — провода бортовой сети; б — фара прожекторного типа со встроенным динамическим корректором регулировки: 1 — рассеиватель или прозрачное защитное стекло (пластмасса); 2 — газоразрядная лампа (D2R); 3 — электронный блок «зажигания» — пусковой; 4 — электронный блок управления; 5 — шаговый двигатель с исполнительным механизмом регулировки положения отражателя фары; 6 — датчик на оси автомобиля (формирует сигнал для регулировки наклона отражателя); 7 — провод бортовой сети автомобиля



Рис. 17.23. Принцип работы Би-ксеноновой фары: 1 — луч дальнего света; 2 — луч ближнего света; 3 — линза (объектив); 4 — подвижный экран (переключает дальний и ближний свет); 5 — оптический элемент фары прожекторного типа с газоразрядной лампой

С 1996 г. Правила ЕЭК ООН №№ 98 и 99 сделали возможным применение ксеноновых ламп по всему миру, причем в странах, где приняты эти Правила, обязательным оборудованием стали омыватели фар и устройства автоматической регулировки угла наклона фар (рис. 17.17, 17.18, 17.19). С 1995 г. начали применяться лампы второго поколения: D2R в прожекторных системах и D2S в прожекторных системах (см. рис. 17.22).

МГЛ применяются, прежде всего, в фарах ближнего света. Комбинация из двух источников света для ближнего и дальнего света в одной лампе невозможна в принципе. Применение отдельных МГЛ допустимо, но кроме высокой стоимости этот вариант имеет недостаток, заключающийся в том, что время «разгорания» источника дальнего света воспринимается как помеха. Галогенный дальний свет, включенный в дополнение к

ближнему ксеноновому, дает неудовлетворительный результат. Присмыслым решением этой проблемы является система Би-ксенон, которая впервые была представлена в 1989 году. Из-за необходимых изменений нормативных актов эта система стала серийно выпускаться только с 1999 года. Основным элементом системы является механический переключатель, который при помощи привода от втягивающего электромагнита перемещает экран таким образом, что один и тот же источник света может создавать ближний или дальний свет фары. Переключение происходит настолько быстро (<3 с), что им можно пользоваться как световым сигналом. В случае выхода из строя система автоматически переключается в положение ближнего света (рис. 17.23).

17.2.3.3. Критерии качества освещения

Критерии качества освещения, создаваемого основными фарами, обоснованы в отечественной и зарубежной литературе [17.23, 17.31].

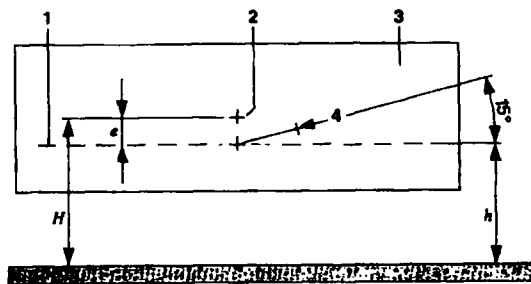
Непропорционально большая доля ДТП приходится на темное время суток. Исходя из этого, видимость при свете фар определяется и оценивается как важный элемент безопасности [17.22, 17.23].

Для оценки эффективности фар в настоящее время не существует всеобъемлющих качественных критериев. Главные требования к фарам в режиме ближнего света следующие:

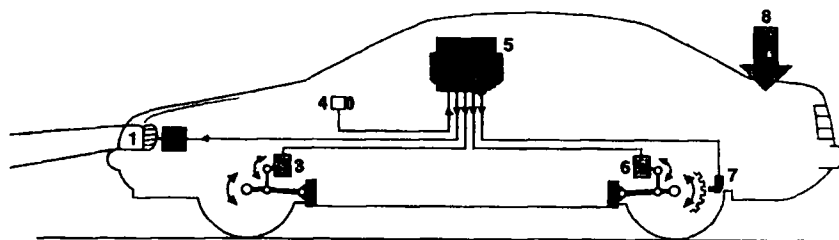
- равномерно и без пятен освещать дорогу;
- обеспечивать достаточную дальность видимости на ближней к автомобилю обочине;
- выделять свою полосу движения (направляющий свет);
- иметь достаточную ширину светового пучка;
- не ослеплять встречных участников движения.

На рис. 17.21, *г, д, е* приведен пример корректной сравнительной оценки фар с галогенными и газоразрядными лампами.

Рис. 17.24. Регулирование автомобильных фар: *а* — вертикальный экран для регулировки: 1 — штриховая линия, вдоль которой должна проходить светотеневая граница светового пучка; 2 — проекция центра фары; 3 — плоскость экрана; 4 — наклонный участок светотеневой границы пучка; *H* — высота центра фары над дорогой, см; *h* — высота светотеневой границы регулируемой фары, см; $e = (H - h)$ — регулировочный параметр, см; *б* — принципиальная схема устройства автоматической (динамической) корректировки угла наклона фар: 1 — фара; 2 — исполнительный механизм; 3 — датчик положения передней подвески; 4 — переключатель света; 5 — электронный блок управления; 6 — датчик положения задней подвески; 7 — датчик числа оборотов колеса; 8 — вектор нагрузки автомобиля



а)



б)

17.2.3.4. Регулировка угла наклона фар

Эффективность фар различных систем и с любимыми источниками света радикальным образом зависит от точности их регулирования на автомобиле.

В табл. 17.16 приведены значения геометрической дальности видимости при различном наклоне фар, установленных на высоте 65 см. Для проведения проверок приемлемым считается наклон до 2,5% (на 1,5% и ниже нормальной установки). Правила ЕЭК ООН и ЕС требуют следующей базовой настройки светового пучка: базовая настройка по контрольному размеру «*e*» составляет 10–15 см на удалении 10 м при нахождении одного человека на сидении водителя (рис. 17.24, *а*). Производитель указывает величину первоначальной установки. В Германии, например, все новые автомобили должны быть оборудованы автоматической или ручной регулировкой угла наклона фар, если другие средства (например, регулировка дорожного просвета) не гарантируют соблюдения допусков наклона светового пучка. Другие страны пока не требуют такого оборудования, но допускают его применение. Можно ожидать обязательного введения регулировки угла наклона фар на территории всей Европы.

Таблица 17.16

Геометрическая дальность видимости горизонтальной части светотеневой границы ближнего света на дороге

Наклон светотеневой границы (1% = 10 см/10 м)	1%	1,5%	2%	2,5%	3%
Регулировочный параметр « <i>e</i> » (см)	10	15	20	25	30
Геометрическая дальность видимости дороги	65 м	43,3 м	32,5 м	26 м	21,7 м

Правильная регулировка должна производиться при первой установке фар на автомобиль, после ремонта и, при необходимости, после замены ламп.

Для ближнего света «вертикальная» регулировка производится по горизонтальной светотеневой границе, «горизонтальная» — по точке излома границы. Для этой цели могут применяться маркировка на экране (см. рис. 17.24, а), оптическое или электронное регулировочное устройство (реглюскоп). Фары дальнего света, в том случае, если они не связаны с ближним светом, устанавливаются так, чтобы наиболее яркая часть светового пятна на экране находилась на высоте фары. Наклон фар ближнего света может составлять от 1% до 1,6%. Соответствующее значение указывается на фаре [17.24, 17.28].

Корректоры фар гидравлического типа нашли применение на грузовых автомобилях, пневматические корректоры не применяются. Электрическая система получила самое широкое распространение на Западе.

Для фар с МГЛ Правило ЕЭК ООН № 48 предписывает наличие автоматического корректора, который компенсирует изменения ориентации фар при загрузке автомобиля (рис. 17.24, б). Не обязательны, но очень эффективны динамические корректоры, которые способны компенсировать изменения положения автомобиля при резком торможении и наборе скорости. В качестве исполнительных элементов в таких корректорах используются шаговые двигатели или мощные двигатели постоянного тока.

Для управления автоматическими корректорами должно быть определено положение кузова автомобиля по отношению к дороге. Для этих целей служат специальные датчики наклона.

Чаще всего применяются датчики угла поворота, определяющие с помощью рычажных механизмов осадку передней и/или задней подвески (рис. 17.24, в).

Менее точно, чем датчики подвески, работают датчики положения, которые как «электронный ватерпас» измеряют и сравнивают угловое положение кузова и рычажных механизмов подвески.

В будущем могут появиться оптические сенсоры [17.33, 17.39].

17.2.3.5. Дополнительные фары

Противотуманные фары

В соответствии с Правилем ЕЭК ООН № 19 в передней части автомобиля допускается установка двух противотуманных фар, которые при плохой видимости должны дополнять ближний свет или работать вместе с габаритными огнями. Большие углы рассеяния для освещения обочин дороги и четкая горизонтальная светотеневая граница являются признаками хороших противотуманных фар [17.22, 17.25].

Теоретические основы противотуманного освещения разработаны в отечественной и зарубежной литературе [17.22, 17.23, 17.27].

Изложенные выше тенденции совершенствования основных фар, а также новые конструкции и материалы отражателей и рассеивателей, в полной мере распространяются и на противотуманные фары.

Противотуманные фары могут монтироваться как в вертикальном положении, так и в подвесном с креплением под бампером. Все чаще фары, исходя из требований дизайна или аэродинамики, изготавливаются в виде элементов, встроенных в кузов. Также они могут являться частью «блока» с основными фарами.

На рис. 17.25 показаны современные противотуманные фары, применяемые на европейских автомобилях последних лет выпуска.

На рис. 17.26 представлена типовая конструкция современной противотуманной фары.

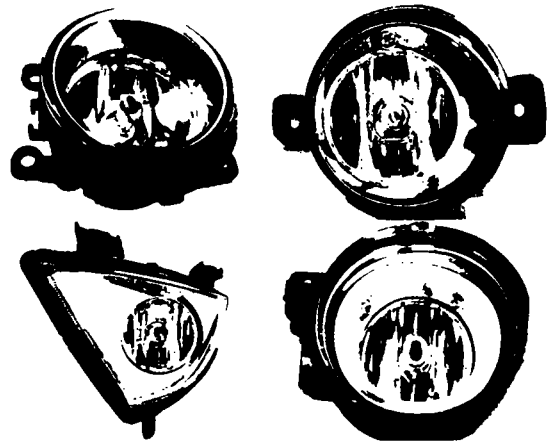


Рис. 17.25. Современные противотуманные фары

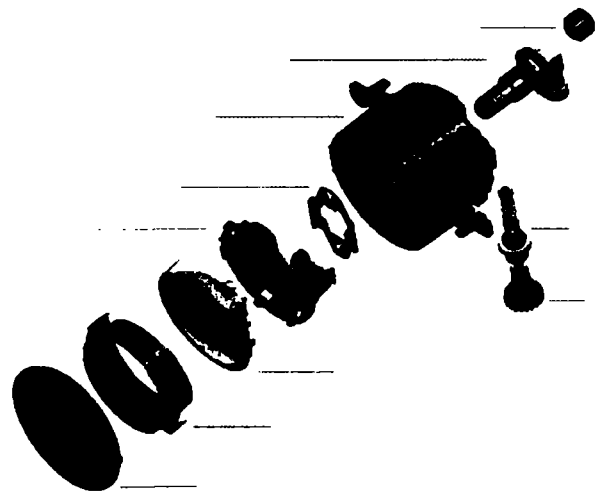


Рис. 17.26. Типовая конструкция современной противотуманной фары (пример)

Технические характеристики и особенности

- Металлический рефлектор: диск 68 мм; для перспективных фар в разработке находится овальный рефлектор 80 мм и прямоугольный 68 × 88 мм.

- Фиксированная лампа и подвижный рефлектор.
- Характеристики ламп: Н 11 (59 Вт) и Н 8 (41 Вт).
- Необходимость в световой блеinde отсутствует.
- Возможна комплектация пластмассовым рассеивателем.
- Вентилируется посредством гидрофобной мембраны.

Возможна комплектация лампой Н 11 (24 В, 70 Вт) для установки на грузовых автомобилях.

Цвет излучения противотуманных фар может быть белым или желтым (selective-yellow).

17.2.3.6. Дополнительные фары дальнего света

Усиление дальнего света может осуществляться как постоянно подключенными, так и включаемыми автономно дополнительными фарами дальнего света (см. рис. 17.9).

Национальные требования могут быть различными. В Центральной Европе общее базовое число (рассчитывается на максимум) для дальнего света не должно превышать 37,5.

Прочие дополнительные фары не предназначены для освещения дороги. Прожектор-искатель является подвижной фарой и служит для нахождения номеров домов и табличек с названиями улиц. Для этих же целей в некоторых странах используются разрешенные там для такси «alley light», предназначенные для бокового освещения улиц. В дополнительных фарах применяются ГЛН, но растет использование МГЛ.

17.2.3.7. Ходовые и габаритные огни

Для дополнительного обозначения движущегося транспортного средства в светлое время суток многие страны требуют или разрешают использование «ходовых огней».

Скандинавские страны, Канада, Швейцария и другие требуют постоянного использования ходовых огней. В некоторых странах, например в Польше, наличие ходовых огней обязательно в определенное время года. В некоторых государствах проводятся кампании за применение ходовых огней (в Австрии). В Германии в настоящее время ходовые огни (ближний свет) предписаны только для двухколесных транспортных средств, но движение с включенным светом — как и во всем мире — разрешено.

Функцию «ходового света» может выполнять ближний свет, либо противотуманные фары. Так как при этом расходуется сравнительно много электрической энергии и, тем самым, топлива (100 Вт \approx 0,12 л на 100 км), допускаются к использованию и другие световые приборы, более экономичные при длительной эксплуатации. Если в Канаде и в США распространены различные варианты, такие как дальний свет с пониженным напряжением или фары указателя поворота, работающие в постоянном режиме, то в странах действия Правил ЕЭК ООН как альтернатива ближнему свету используются только специальные фары (ходовые огни) с потребляемой мощностью 6 Вт.

17.2.4. Световые приборы задней части автомобиля

Светосигнальные огни — фонари

В отличие от фар, сигнальные фонари предназначены не для освещения дороги, а для обозначения габаритов транспортного средства, номерных знаков, намерений водителя. На автомобилях могут использоваться только указанные в нормативных документах ЕЭК ООН фонари и разрешенные источники света.

Габариты автомобиля отображаются двумя белыми габаритными огнями впереди и двумя красными — сзади. Для подачи сигнала об изменении направления движения и для аварийной сигнализации используются передние, задние и боковые указатели поворота; о торможении сигнализируют задние фонари: стоп-сигналы и дополнительный сигнал торможения, устанавливаемый сверху.

Фонари освещения заднего номерного знака и маркерные огни завершают список сигнальных фонарей (рис. 17.27).

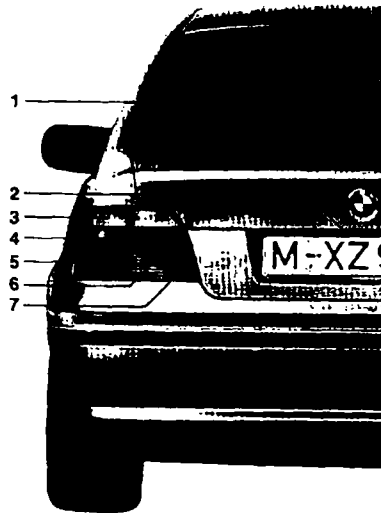


Рис. 17.27. Задние световые приборы автомобиля — фонари: 1 — дополнительный сигнал торможения (ДСТ); 2 — фары освещения номерного знака; 3 — указатели поворотов; 4 — габаритные и стояночные огни; 5 — сигналы торможения; 6 — фонари — фары заднего хода; 7 — противотуманные фонари

Фонарь заднего хода относится одновременно и к фарам и к сигнальным фонарям. Он служит для освещения дороги при движении задним ходом, но также указывает на намерение водителя начать движение назад.

Задние противотуманные фонари обязательны для новых автомобилей, в США они также разрешены к использованию. Катафоты из практических соображений часто встраиваются в задние фонари. Катафоты треугольной формы устанавливаются только на прицепах.

Оранжевые передние указатели поворота должны быть видны на фоне ближнего и противотуманного света. В выключенном состоянии они часто имеют белый или светло-серебристый цвет.

Задние указатели поворота имеют оранжевый цвет, а в США могут быть и красного цвета. Светотехнические требования к ним менее жесткие, чем к передним. То же относится и к дополнительным боковым указате-

лям поворота, которые должны устанавливаться на новые модели автомобилей.

Передние габаритные огни в настоящее время зачастую размещаются в отражателях фар.

Задние фонари красного цвета не должны быть удалены от внешней стороны автомобиля менее чем на 400 мм для того, чтобы обозначать ширину (габариты) транспортного средства. Для грузовых автомобилей с большой шириной и высотой предписаны дополнительные передние и задние габаритные фонари.

В США multifункциональные задние фонари могут служить в качестве стоп-сигналов, а также в качестве указателей поворотов [17.31, 17.30]. В Европе двойная функция габаритного огня и стоп-сигнала может реализовываться с использованием двухнитевых ламп накаливания, но в то же время предпочтение отдается разделению функций.

Стоп-сигналы должны информировать о начале торможения автомобиля. Два дополнительных стоп-сигнала (верхней установки) были разрешены сначала в Германии (с 1980 г.) только для легковых автомобилей. Их преимуществом является заметность через задние и лобовые стекла водителям нескольких автомобилей, движущихся колонной, и тем самым более ранняя готовность к торможению [17.24, 17.25]. Из-за слишком высокой яркости засветки внутри салона и спорного механического крепления этот вариант в Европе сначала не получил распространения. В США были проведены успешные полевые испытания одного дополнительного высоко устанавливаемого стоп-сигнала [17.34]. С 1991 г. он был разрешен в Европе, а с 1996 г. стал обязательным. В России обязателен с 2006 г.

Задний номерной знак должен быть освещен. В зависимости от формы кузова могут устанавливаться два фонаря освещения номерного знака. В некоторых странах также допускается использование номерных табличек со световозвращающим покрытием.

Один или два задних противотуманных фонаря с силой света большей, чем у стоп-сигналов, должны делать автомобиль заметным в условиях плохой видимости. При этом для лучшей заметности расстояние от стоп-сигналов должно составлять не менее 100 мм.

Фары заднего хода предназначены для освещения дороги при движении задним ходом и сигнализации включения заднего хода автомобиля. Для грузовых автомобилей допускается использовать противотуманные фары в функции фары заднего хода.

Стояночные фонари не являются обязательными. Цвет передних стояночных фонарей — белый, задних — красный. Часто в качестве стояночных фонарей используются один передний габаритный огонь и один задний огонь.

Источники света светосигнальных фонарей

Для фонарей чаще всего применяют лампы накаливания (ЛН) (см. рис. 17.20 и табл. 17.16). Могут применяться только лампы, разрешенные к эксплуатации Правилами ЕЭК ООН. Галогенные лампы применяются в сигнальных фонарях редко, хотя они и обладают преимуществами в части цвета излучения (белый), рас-

хода энергии и интенсивности. Таким примером является галогенная лампа Н6W, используемая преимущественно в передних габаритных фонарях.

Светодиоды по сравнению с (ЛН) имеют ряд преимуществ:

- быстрое включение (на 170 мсек. быстрее, чем ЛН);
- малое потребление энергии;
- длительный срок службы.

К аргументам «против» можно отнести высокую стоимость и изменения характеристик при нагреве. Наилучшим применением светодиодов остается функция стоп-сигналов [17.23, 17.27, 17.33, 17.34]. За последнее время в связи с быстрым улучшением характеристик СД находят все более широкое применение.

Неоновые лампы имеют схожие со светодиодами свойства, но из-за необходимости в управляющей электронике и сложной электромагнитной совместимости они требуют высоких затрат [17.33, 17.34] (рис. 17.28).

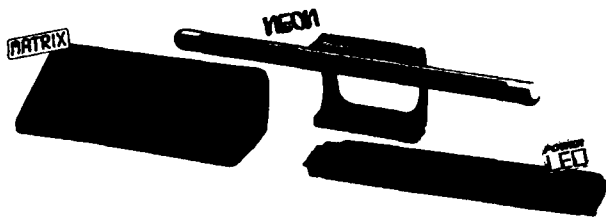


Рис. 17.28. Дополнительные сигналы торможения: слева — с обычными лампами; в центре — с неоновыми трубками; справа — со светодиодами

Конструктивное исполнение фонарей

Фонари могут быть выполнены как в виде отдельных устройств, так и сгруппированных, комбинированных и совмещенных световых приборов. В передней части автомобиля сигнальные огни: габаритные, указатели поворота, а в США и передние боковые маркерные огни, часто объединяют в головной фаре в один световой блок. Среди боковых фонарей преобладают устройства с отдельной функцией указателя поворота и (если имеются) маркерных огней. В задней части автомобиля функции чаще всего объединяются в едином заднем фонаре (по одному на каждую сторону). Для изготовления задних фонарей часто применяются сложные технологии литья под давлением на машинах для многоцветного (до 4 цветов) литья. В последнее время популярными стали конструкции, отличающиеся (аналогично фарам головного света) блестящими видовыми деталями и прозрачными рассеивателями.

Ранее фонари делились на две категории: фонари с (параболическим) отражателем, которые используют как прямой свет, так и свет, сформированный отражателем, и фонари без отражателя, которые распределяют свет непосредственно через призмы рассеивателя. Появились и другие конструкции, такие как отражатели-эллипсоиды, фасетные отражатели и отражатели со свободной поверхностью. В стадии разработки находятся стоп-сигналы, которые показывают степень за-

мслдения с помощью изменения яркости или размеров светящей поверхности.

17.2.5. Световые приборы автомобиля как элементы дизайна

Световые устройства автомобилей превратились в элемент дизайна.

Широкую популярность получило стремление к «блестящему» внешнему виду, который реализуется в форме фар и задних фонарей с прозрачными (без линз и призм) рассеивателями. Сравнительно новым аспектом является так называемый «ночной дизайн», требующий при включенном ближнем свете и габаритных огнях «дружеского» и легко распознаваемого изображения.

Светотехнические устройства как ничто другое подходят для изменения внешнего облика автомобиля без дорогостоящих изменений кузова с целью быстрой подготовки как специальных моделей, так и для проведения модернизации (фейслифтинга).

Прозрачные рассеиватели, высокоглянцевая металлизация и фасетные отражатели заставляют блестеть фары и задние фонари как бриллианты («jewel look»).

Исполнение задних фонарей в цвете, отличном от функционального, приводит к поразительному эффекту. Это достигается с помощью специальной техники фильтров. Популярными являются «темные» задние фонари (а также фары) [17.26].

В основном техника ночного дизайна для фар касается только режима ближнего света, хотя и противотуманные фары часто размещаются не только с учетом функциональности, но и с точки зрения стиля (см. рис. 17.25). Форма и расположение фар и задних фонарей должны обеспечивать высокую степень заметности днем и ночью.

Растет значение и освещения салона; оно должно обеспечивать безопасность и ориентирование при посадке в автомобиль и при высадке из него. Во время поездки свет плафонов освещения салона не должен мешать водителю, а в сумме все элементы салонного света должны создавать приятное чувство комфорта и обеспечивать достаточную видимость всех элементов, обеспечивающих безопасность. Количество световых приборов постоянно увеличивается. Расширяется также и область применения светодиодов.

17.2.6. Перспективы в области развития световых приборов

В связи с тем, что СП должны соответствовать Международным требованиям (Правилам ЕЭК ООН), то новые идеи и концепции еще до их серийного применения должны быть регламентированы в соответствующих нормативных документах. Автомобили-макеты будущего как раз идеально подходят для наглядного представления таких идей.

В процессе международной стандартизации находится система AFS (Adaptive Frontlighting System),

представляющая собой систему фар, обеспечивающую автоматическую и оптимальную адаптацию светораспределения под меняющиеся условия дорожного движения. В нашей стране идеи адаптивных систем освещения, а также пути их реализации (оформленные в виде заявок на авторские свидетельства) были опубликованы еще в 70–80 гг. прошлого века [17.24].

Тесно связанными с системой AFS являются фары со встроенным «интеллектом», которые самостоятельно реагируют на дорожную ситуацию и с помощью датчиков анализируют окружающие условия, контролируют эффективную мощность, а в случае неполадок восстанавливают ее.

По аналогии с фарами, для задних сигнальных фонарей также должны быть найдены более «умные» решения, такие, например, как адаптация яркости к условиям видимости или разумная сигнализация интенсивности торможения (ISL = Intelligent Signal Light).

Прогресс в области разработки белых мощных светодиодов делает в принципе возможным изготовление фар на светодиодах. Еще предстоит решить ряд проблем, связанных с оптическим расчетом и теплоотводом, но можно предположить, что, начиная с 2007 г., фары на светодиодах получат распространение, а уже с 2010 г. займут значительную долю европейского рынка. В связи с легкой электрической адресуемостью, фара, состоящая из множества светодиодов, как нельзя лучше подходит для использования в составе системы AFS.

Следующим направлением может быть использование ИК-излучения для повышения безопасности движения.

Изображение, полученное от ИК-камеры, будет передаваться на дисплей, находящийся в поле зрения водителя. При этом можно рассчитывать также на улучшение видимости в тумане, когда видимый свет наталкивается на непреодолимую преграду.

Ниже приведены примеры перспективных СП.

Система инфракрасного ночного видения

Применение ИК-излучения обеспечит повышение безопасности и комфорта ночного движения [17.31, 17.37].

Особенно повышается эффективность дальнего света. Это достигается за счет снижения слепящего действия фар и ненужных засветок (рис. 17.29).

Основные преимущества ИК-системы состоят в следующем:

- активное ИК-видение, совместимое со зрительным восприятием дороги (рис. 17.30);
- отсутствие ослепленности других водителей и засвечивания других участников транспортного потока;
- полное системное решение, включающее источник ИК-излучения, камеру, обработку сигнала и дисплей (рис. 17.31).



Система освещения с ИК-излучением



Освещение стандартными фарами

Рис. 17.29. Видимость участка дороги, освещаемого: *а* — системой фар, содержащей источник ИК-излучения (сверху); *б* — стандартными фарами (снизу)



Рис. 17.30. Схема, поясняющая принцип новой системы освещения с источником ИК-излучения

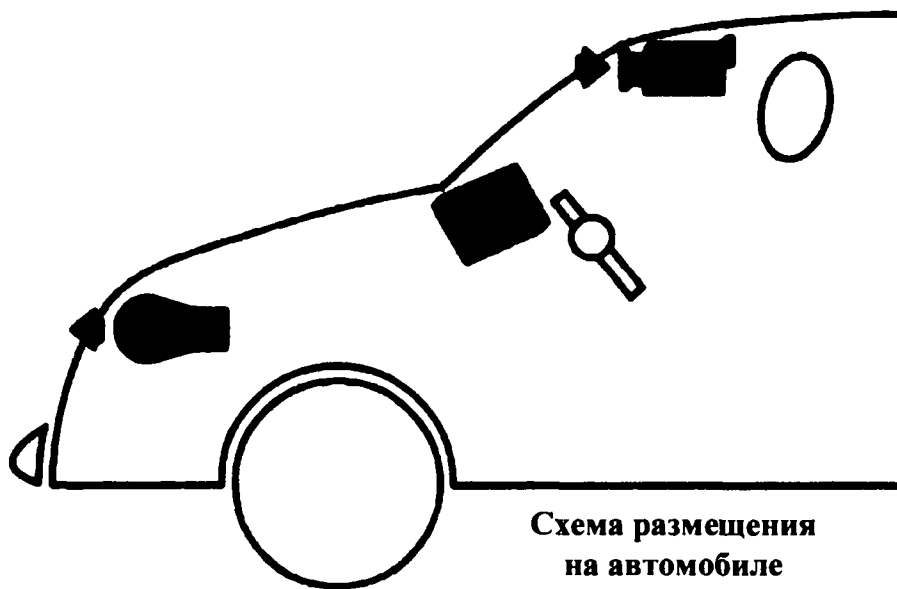
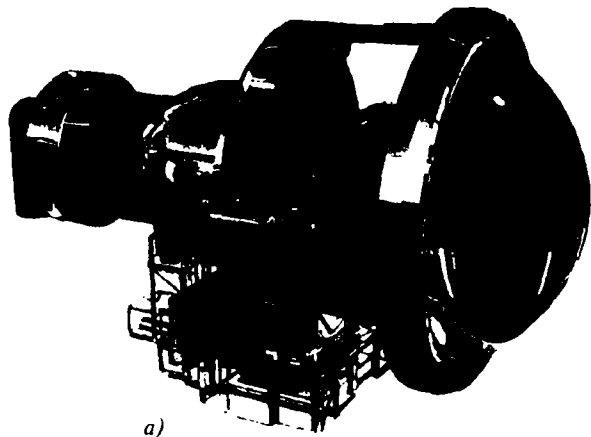
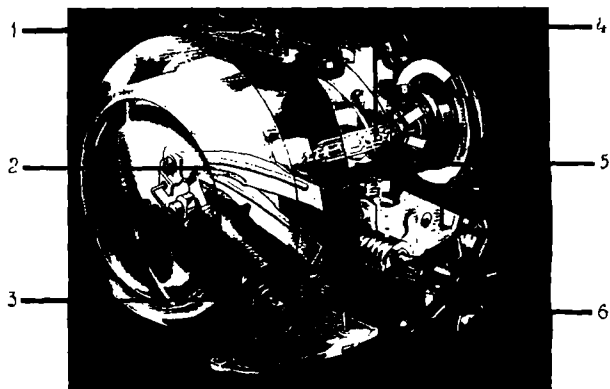


Схема размещения на автомобиле

Рис. 17.31. Основные блоки системы ИК-излучения



а)



б)

Рис. 17.32. Световой модуль адаптивной системы освещения: а — бифункциональный модуль, состоящий из эллипсоидного отражателя, ГЛН (в качестве источника света), асферической (выпуклой) линзы, фильтра ИК-излучения, механизма перемещения экранов; б — схема модуля: 1 — вертикальная ось вращения, вокруг которой поворачивается (влево, вправо) световой модуль в рамке; 2 — подвижный управляемый экран, обеспечивающий переключение света с ближнего на дальний (и наоборот); 3 — электромагнитный переключатель экрана с исполнительным механизмом; 4 — ксеноновая лампа, реализующая режимы дальнего и ближнего света в системе «Bi-Xenon»; 5 — редуктор с червячной передачей, обеспечивающей подвижность светового модуля относительно горизонтальной оси (вверх, вниз); 6 — двигатель, который выполняет команды механизма управления, связанного датчиками с рулем автомобиля

Технические особенности новой системы:

- бифункциональный эллиптический модуль (видимое и инфракрасное излучение) с ГЛН в качестве источника света (рис. 17.32);
- ИК-камера, интегрированная в зеркало заднего вида перед лобовым стеклом;
- работающий в реальном времени дисплей с эргономичным экраном.

Представленная ИК-система реализована и установлена на автомобиле Cadillac De Ville [17.37].

Адаптивные системы освещения (AFS)

Мотивация для создания таких систем обусловлена многообразием дорожных условий и ситуаций, в которых классические системы освещения не могут обеспечить достаточной видимости дороги, а следовательно, и безопасности движения.

Вместо стандартного ближнего света, неизменного для всех дорожных ситуаций, предусмотрены следующие варианты:

- «городской свет» — режим для невысоких скоростей;
- «загородный свет» — режим для выполнения поворотов;
- «магистральный свет» — режим для движения на большой скорости;
- «свет для плохих погодных условий» — режим пониженного слепящего действия для встречного движения при одновременно более интенсивном освещении обочины дороги [17.31, 17.27].

Допуск к эксплуатации системы AFS ожидается в 2006 г.

В то время как подвижные дополнительные фары дальнего света допущены к эксплуатации со времени

начала производства автомобиля Citroen DS, Дополнение к Правилу ЕЭК ООН № 48 допускает применение и статического и/или динамического ближнего света. В случае со статическим светом во время поворота автомобиля дополнительно включается свет от отдельного отражателя или проектора, который должен освещать внутреннюю сторону поворота. В динамическом свете поворачивается сама фара или ее часть.

На рис. 17.32 показана конструкция адаптивной фары, световой пучок которой формирует система проекторного типа. Это сложный световой прибор, который имеет электронную систему управления (по сути — процессор) и электромеханическую систему управления (исполнительные механизмы).

Эксплуатационная эффективность системы AFS проиллюстрирована на рис. 17.33.

Применение светодиодов и волоконной оптики в автомобильных СП

Уже в 80–90-х гг. прошлого века в нашей стране и за рубежом начали проводить опытно-конструкторские работы по применению волоконной оптики в отдельных световых приборах и системах освещения и сигнализации. Такие решения позволяют создавать компактные световые приборы, экономить металлы (провода), снизить количество источников света, исключить пожароопасность транспортных средств (за счет снижения тепловых и электрических нагрузок).

Световоды в светосигнальных приборах

Согласно схеме (рис. 17.34, а), световой поток источника передается по световым волокнам, собранным в жгут. В области светящей поверхности сигнального огня жгут расщепляется на отдельные волокна, светя-

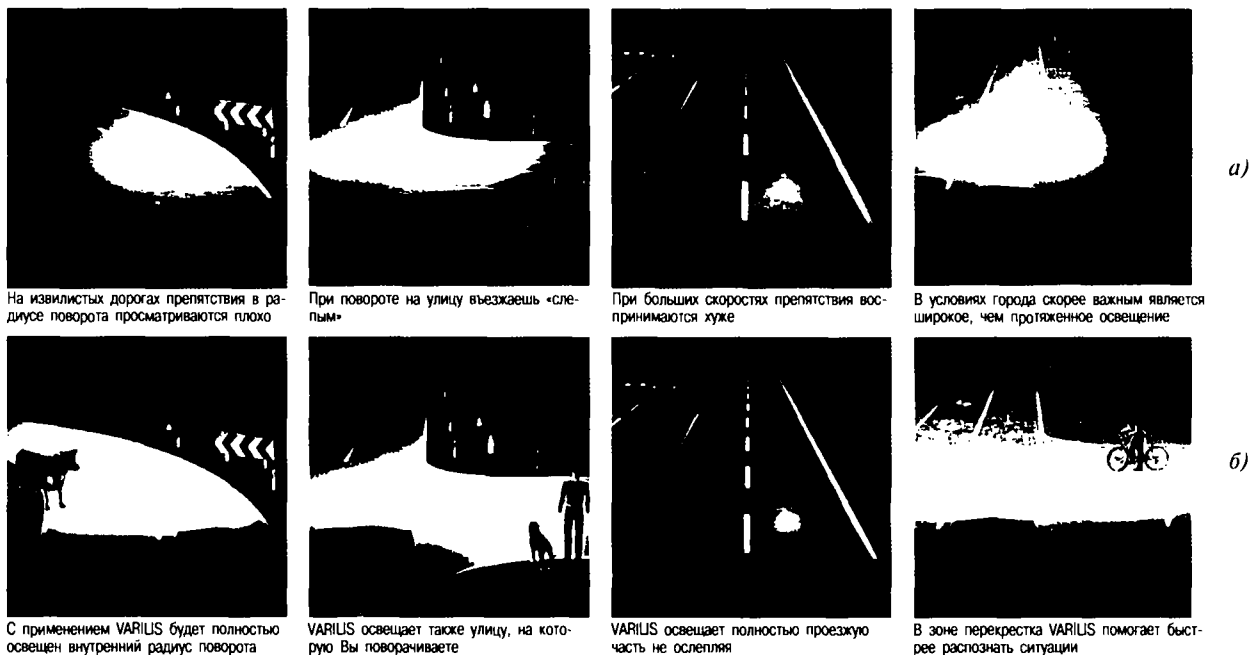


Рис. 17.33. Эффективность адаптивной системы освещения в реальных типичных дорожных ситуациях: *a* — автомобиль оснащен классической системой освещения (верхний ряд рисунков); *b* — автомобиль оснащен адаптивной системой освещения (AFS) типа «Varilis» (нижний ряд рисунков). Описание ситуации: см. подрисуночные надписи

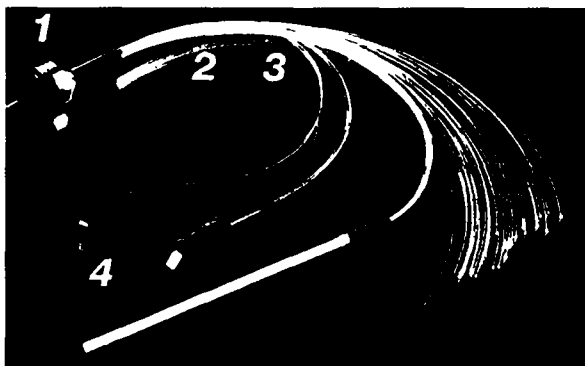
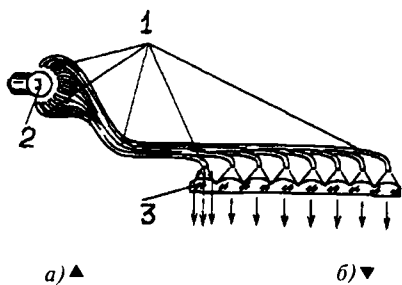


Рис. 17.34. Примеры применения световодов — волоконной оптики на автомобиле: *a* — схема фара с применением волоконной оптики: 1 — световод; 2 — источник света; 3 — рассеиватель; *b* — применение световодов для приборов освещения и сигнализации в салоне автомобиля: 1 — централизованный источник света; 2, 3 — гибкие волоконно-оптические жгуты; 4 — приборы со светоприемниками (система «CELIS»)

щиеся торцы которых облучают линзы рассеивателя и обеспечивают требуемое светораспределение фонаря.

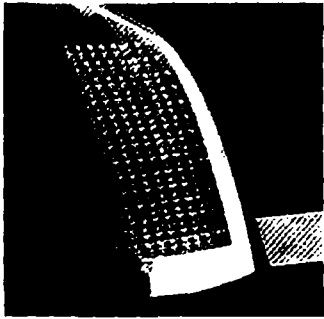
Световоды — новое средство улучшения «светового климата» и комфорта в салоне автомобиля

При наличии центрального источника свет передается к различным потребителям в салоне автомобиля: приборам управления, кнопкам, клавишам, щитку приборов, плафонам и др. Это реализуется с помощью оптических гибких световодов (рис. 17.34, б). Появляется возможность «подать свет» туда, где имеются пространственные и температурные ограничения. Это особенно важно, если учесть ограниченность пространства в салоне автомобиля и необходимость повышения комфорта для водителя и пассажиров.

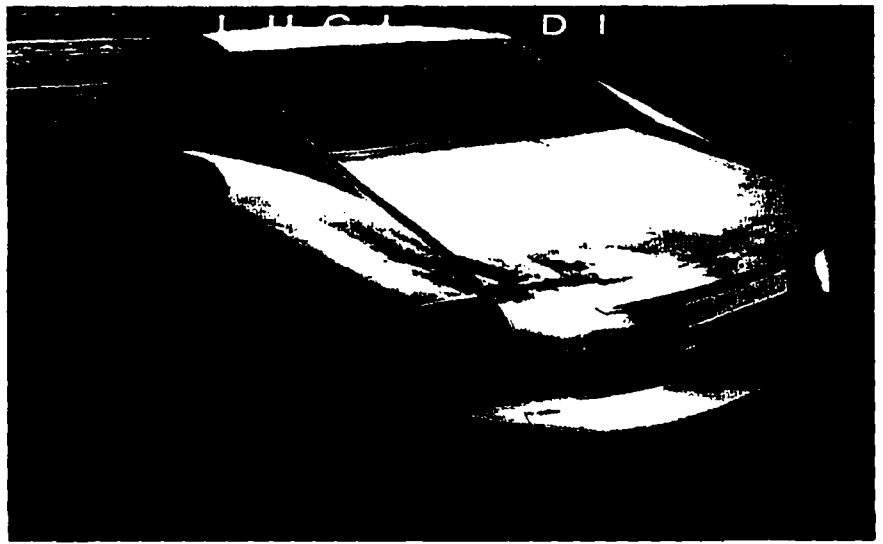
Перспективные решения в области совершенствования светосигнальных приборов — фонарей

Как уже упоминалось выше, светодиоды уже нашли применение в автомобильных СП (рис. 17.35, 17.36) и далее будут активно использоваться для стоп-сигналов, указателей поворотов и габаритных огней. Перед дизайнерами автомобильной светотехники открываются абсолютно новые перспективы! Основные преимущества светодиодов: исключительно долгий срок службы, быстрое установление номинального светового потока, минимальное тепловое излучение, а также возможность монтажа в детали из пластмассы.

Сверхплоская форма диодов позволяет устанавливать их на кузове автомобиля без подготовки специальных монтажных мест, что сохраняет жесткость ку-



a)



б)

Рис. 17.35. Применение светодиодов в световых приборах автомобиля: *a* — фонарь со светодиодами в качестве источников света (серийное производство); *б* — высокоинтенсивные светодиоды в заднем фонаре «концепт-кара» («стоп-сигнал»)

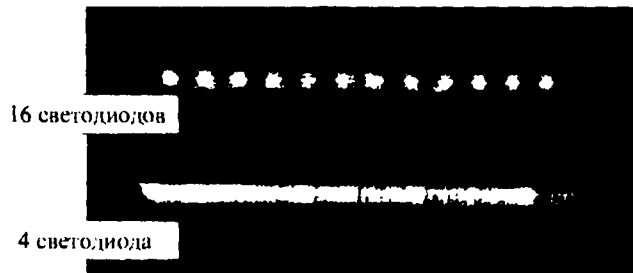


a)



б)

Рис. 17.36. Примеры конструктивного исполнения задних фонарей на светодиодах: *a* — фонарь, исполняющий функции стоп-сигнала и габаритного огня с отражателем и прозрачным защитным стеклом; *б* — противотуманный фонарь «ли-оптрической» системы. Диаметр: 40 мм; *в* — дополнительный сигнал торможения (ДСТ) с 4-мя высокоэффективными светодиодами



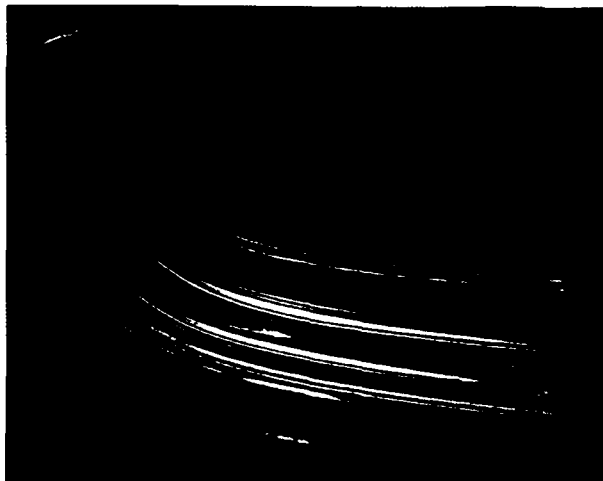
в)

зова, а значит, увеличивает его прочность. Излучаемый светодиодами свет по своему составу очень однороден.

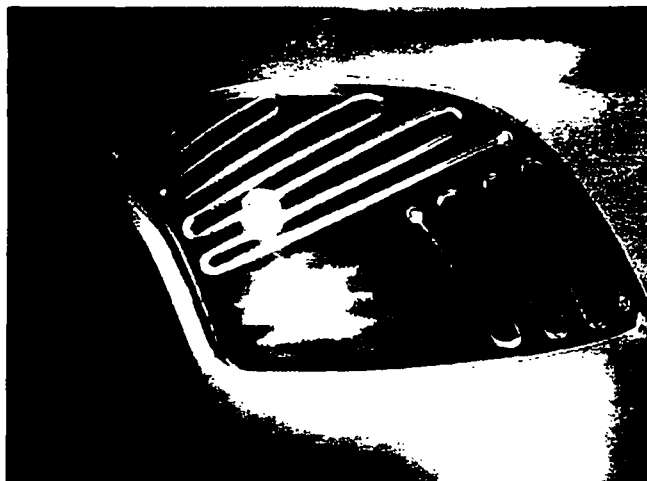
Новыми источниками света в автомобильной световой сигнализации являются неоновые трубки (рис. 17.37). Благодаря высокой равномерности свечения и возможности «художественного трассирования» они очень интересуют автомобильных дизайнеров.

Требования дизайна, которые в настоящее время являются едва ли не доминирующими в мировом авто-

мобиестроении, диктуют создание фонарей сложных форм с прозрачными покровными деталями без призматических элементов (гладкими). Это приводит к необходимости формировать светораспределение фонарей отражателями. Так появляются фонари, изготавливаемые по «ракушечной технологии» (рис. 17.38) и фонари с прозрачными покровными деталями, в которых светораспределение формируется отражателями со свободными поверхностями (рис. 17.39), а цвет обеспечивают светофильтры на лампах.



a)

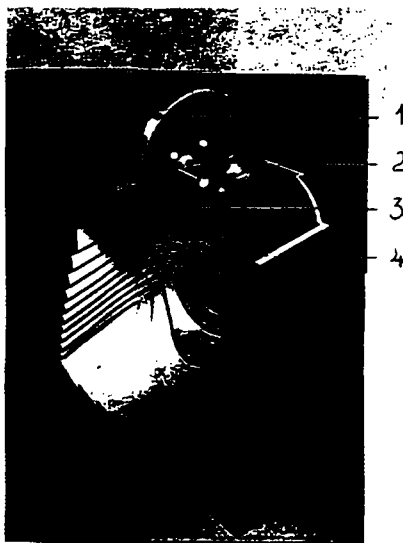


б)

Рис. 17.37. «Неоновые фонари» из трубок диаметром 5 мм с переменной длиной 200×500 мм с различными световыми и цветовыми параметрами



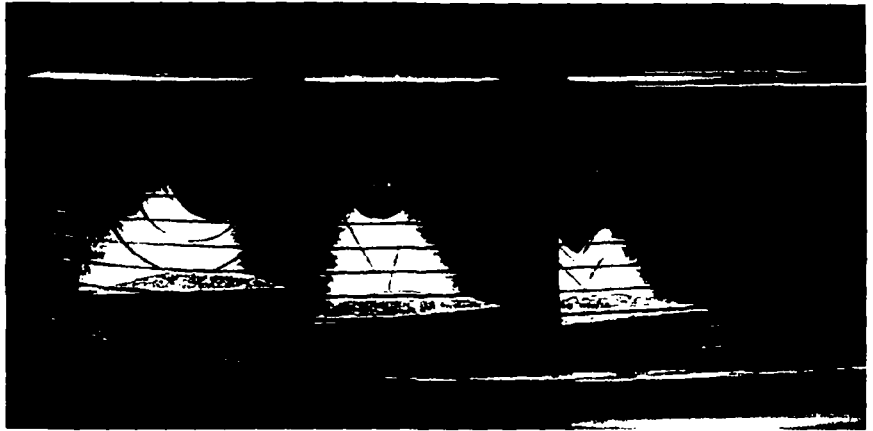
a)



б)

Рис. 17.38. Фонари с защитным стеклом без рассеивающих элементов: *a* — общий вид фонаря; *б* — фонарь в разрезе: 1 — основной отражатель; 2 — лампа; 3 — светофильтр нужного цвета; 4 — дополнительный отражатель со свободной поверхностью

Рис. 17.39. Задние фонари без рассеивающих элементов; светораспределение формируется отражателями со свободными поверхностями



17.3. СВЕТОСИГНАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ В АВИАЦИИ

17.3.1. Общая характеристика

Светосигнальные системы аэродромов должны обеспечивать регулярность и безопасность полетов самолетов гражданской авиации (ГА) в условиях как нормальной, так и плохой видимости. Технические сложности решения такой задачи, а также постоянное обновление моделей воздушных судов (ВС) требуют непрерывного совершенствования светосигнальных средств.

Светосигнальное оборудование аэродрома (СОА) предназначено для обеспечения пилота информацией о курсе, крене, высоте и скорости снижения ВС и представляет собой комплекс светотехнических приборов (аэродромных огней), средств электропитания и дистанционного управления светосигнальными системами.

Бортовое светосигнальное оборудование (БСО) используется для выдачи информации о местоположении и направлении движения воздушного судна на земле и в воздухе, освещения пути его следования по аэродрому, а также для освещения и сигнализации в кабинах членов экипажа, освещения в пассажирских салонах и служебных помещениях.

Системы светоограждения (ССО) воздушных препятствий представляют собой определенным образом размещенные на объектах заградительные огни, однозначно обозначающие контуры и предельную высоту трассового объекта.

Светосигнальное оборудование аэродрома, БСО и ССО строятся по принципу полного соответствия целому ряду международных требований [17.38–17.42], строго соответствия нормативным документам гражданской авиации [17.43, 17.44], они постоянно подвергаются проверке на эксплуатационную пригодность в течение всего срока службы аэродромными службами и периодически аттестуются инспекторскими комиссиями.

Современные радиоэлектронные средства могут обеспечивать автоматическую посадку ВС. Однако процесс посадки значительно удешевляется и облегчается, если на последних ее этапах пилот вступает в зрительный контакт со светотехническими средствами. Ра-

диоэлектронные средства обеспечивают безопасность полета ВС к аэродрому на дальних к нему расстояниях, а светосигнальные средства используются при окончании снижения, выравнивании, приземлении, пробеге и рулении.

По нормам ИКАО посадка ВС в условиях ухудшения видимости подразделяется последовательно на три эксплуатационные категории, которые характеризуются определенными пределами дальностей видимости огней ВПП и высотами принятия решения о посадке (табл. 17.17).

Таблица 17.17

Категории ИКАО курсо-глиссадных систем в зависимости от дальности видимости и высоты принятия решения о посадке

Категория ILS точного захода на посадку	Нижний предел	
	Дальность видимости ВПП, м	Высота принятия решения, м
I	800	60
II	400	30
IIIa	200	0
IIIb	50	0
IIIc	0	0

На аэродромах функционирует система инструментального захода на посадку (ILS). Функционально она состоит из трех частей: курсового и глиссадного радиомаяков, обеспечивающих информацию об управлении ВС; маркерных радиомаяков, обеспечивающих информацию о дальности ВС; огней приближения, огней зоны приземления, осевых посадочных огней ВПП, обеспечивающих визуальную информацию (рис. 17.40).

Система ILS после установки в аэропорту проходит этап апробирования. После этого аэропорту присваивается категория, зависящая от трех основных факторов: качества сигнала, генерируемого навигационным оборудованием; управления и надежности системы; отражающих эффектов от пересеченного рельефа местности.

Огни световых горизонтов зоны приближения и ВПП (устанавливаемые на ее начальном участке) слу-



Рис. 17.40. Процесс посадки ВС на ВПП со светосигнальными огнями: на переднем плане — слева и справа красные огни КПБ; в середине — белые огни центрального ряда КПБ; на дальнем плане — огни ВПП

жат для создания искусственного горизонта и информирования пилота о крене ВС по отношению к естественному горизонту. Важным этапом при посадке ВС является выход в зону приближения к ВПП, в которой пилот переходит к визуальной ориентировке по световым сигналам. Огни приближения импульсного или постоянного горения предназначены для указания пилоту направления на ось ВПП. Они излучают белый свет.

На рис. 17.41 представлена схема, поясняющая развитие визуального контакта пилота со светосигнальными огнями при посадке и при угле глиссады 3° . Первый визуальный контакт пилота с аэродромом имеет место на высоте самолета 60 м, и в поле зрения пилота попадает внешняя часть огней приближения протяженностью 900 м.

В условиях ухудшенной погоды с ограниченной видимостью на дальних подступах к аэродрому ВС пилотируют по приборам (современное светосигнальное оборудование устанавливается в аэропортах в комплексе с радионавигационными системами посадки). Время перехода от приборов к визуальному контакту со светосигнальной системой у пилота ограничено, а объем информации резко возрастает.

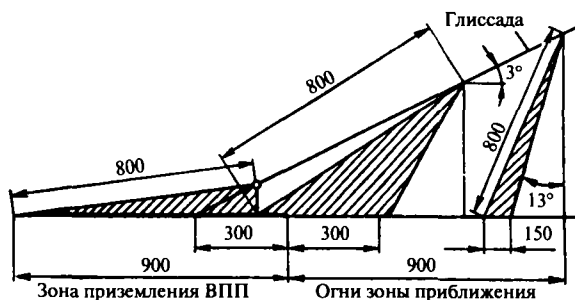


Рис. 17.41. Развитие визуального контакта пилота с аэродромным светосигнальным оборудованием в процессе посадки в условиях первой категории метеоминимума

Светосигнальные системы стандартизованы ИКАО по схемам построения и по световым параметрам огней. На рис. 17.42 для примера показана схема размещения светосигнальных огней по категориям ИКАО.

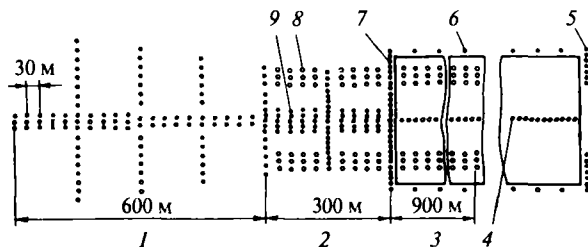


Рис. 17.42. Схема построения светосигнальных огней на аэродромах по I (черные кружки), II и III категориям ИКАО (черные и светлые кружки): 1 — огни приближения; 2 — огни концевой полосы безопасности; 3 — огни зоны приземления; 4 — осевые огни; 5 — ограничительные огни; 6 — боковые огни; 7 — входные огни; 8 — боковые огни концевой полосы безопасности (КПБ); 9 — огни центрального ряда КПБ

Для аэродромов, оснащенных светосигнальным оборудованием по II категории ИКАО, при горизонтальной видимости 400 м время визуального контакта составляет лишь 6 с. По этой причине система огней по сравнению с I категорией дополнена огнями КПБ, зоны приземления и осевыми огнями ВПП. Огни КПБ устанавливаются перед порогом ВПП и предназначены для обозначения зоны длиной 300 м. Они располагаются в девять рядов: три огня с каждого бока имеют красный цвет, а пять центральных — белый.

Огни зоны приземления размещены на первых 900 м в виде углубленных в бетонное покрытие огней. Осевые огни ВПП также углублены в бетонное покрытие и являются продолжением осевых огней зоны приземления.

По сравнению с аэродромом I категории у II категории увеличивается количество входных огней, которые устанавливаются вдоль всего торца ВПП с интервалом не более 3 м и имеют зеленый цвет (см. рис. 17.41). Огни зоны приземления размещены на первых 900 м ВПП в виде углубленных в бетонное покрытие огней (в том числе и по осевой линии ВПП).

Осевые огни ВПП. Стандартная схема расположения огней высокой интенсивности по I категории принята и для II и III категорий, но с дополнением новыми подсистемами огней, которые упрощают и облегчают ориентирование пилота.

В основу разработки светотехнических параметров единой системы визуальных средств точного захода на посадку для всех трех категорий ИКАО заложена концепция сбалансированности ее в отношении восприимчивой пилотом яркости огней. Это накладывает определенные требования к кривым силы света огней и соотношения средних значений этого параметра для разных огней. Углы возвышения и распространения лучей определяются из условия, чтобы пилот с высоты при-

Таблица 17.18

Световые характеристики огней средств посадки по III категории ИКАО и огней рулежных дорожек

Тип огня	Цвет излучения	Углы рассеяния в плоскости, град, не менее		Средняя сила света, цв. кл 10^3 , не менее
		горизонтальный	вертикальный	
Огни приближения центрального ряда и световых горизонтов	Белый	22	12 (10)	20
Огонь бокового ряда на КПБ	Красный	16 (13)	11 (7,5)	5
Входной огонь	Зеленый	13 (13)	11 (7,5)	10
Посадочный огонь (знака приземления)	Белый	13 (12)	9 (7,5)	10
Ограничительный огонь	Красный	14 (13)	6	2,5
Осевой огонь быстрого схода с ВПП	Зеленый	10	9	1
Осевой огонь прямого участка РД	Зеленый	20	7	0,2
Осевой огонь закругленного участка РД	Зеленый	38,5	7	0,1
Стоп-огонь	Красный	20	7	0,2
Предупредительный огонь	Желтый	20	7	0,2

Примечания. 1. Значение углов рассеяния огней даны с допусками на установку и регулировку на местности.
2. В скобках приведены значения углов для огней I и II категорий.

нятия решения полностью различал все световые сигналы. Кроме того, по мере снижения ВС получаемая пилотом информация не должна сокращаться [17.45–17.47].

Поскольку каждая категория ИКАО характеризуется своими минимальными значениями дальности видимости огней D_{\min} и предельно-допустимыми отклонениями от минимальной глиссады, углы визирования огней и углы распространения излучения различны для каждой категории.

В табл. 17.18 приведены параметры некоторых огней, рекомендуемых ИКАО.

При расширении углов рассеяния огней и сохранении прежних значений осевой силы света необходимо увеличивать мощность ламп. В этом плане перспективными являются кварцево-галогенные лампы, имеющие по сравнению с лампами накаливания повышенную световую отдачу, больший срок службы, меньшие размеры.

Характеристики огней рулежных дорожек (РД), рекомендуемые ИКАО, отвечают следующим требованиям: огни должны различаться одновременно в количестве не менее трех при метсорологической дальности видимости (МДВ), которая соответствует дальности видимости огней ВПП, равной 100 м; визуальное руководство огнями должно обеспечиваться при поперечном смещении глаз пилота от оси РД до 3 м, возвышении над поверхностью РД до 17,5 м и угле экранировки кабины до 13° ; огни должны обеспечивать предьявляемые к ним требования при снижении силы света в процессе эксплуатации на 50%; расстояние между осевыми огнями на прямых участках РД должно составлять 15 м, а на их закруглениях — 7,5 м.

Отличительной особенностью аэродромов III категории является обязательное наличие огней РД углубленного типа, которые сигнализируют о необходимости быстрого схода с ВПП, а также огней линии «стоп» и предупредительных линий. Световые характеристики указанных огней регламентированы ИКАО (табл. 17.19). Схема их расположения показана на рис. 17.43.

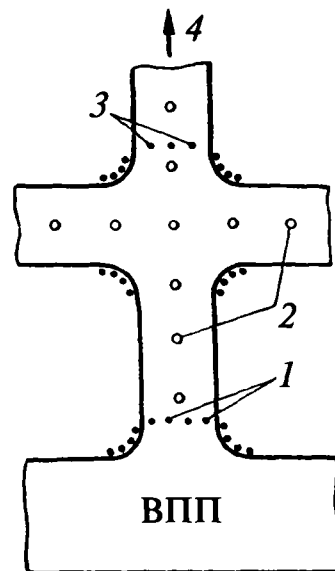


Рис. 17.43. Схема размещения огней рулежных дорожек, обслуживающих ВПП, оборудованных по II и III категориям: 1 — стоп-огни; 2 — осевые огни РД; 3 — предупредительные огни; 4 — направление движения к перрону

Состав групп огней светосигнальных систем

Группа огней и указатели	Светосигнальная система			
	ОМИ	ОВИ-1	ОВИ-2	ОВИ-3
Огни приближения постоянного излучения	+	+	+	+
Огни приближения с импульсными источниками света	—	р	р	р
Огни световых горизонтов	+	+	+	+
Центральные огни КПБ	—	—	+	+
Боковые огни КПБ	—	—	+	+
Входные огни	+	+	+	+
Входные фланговые огни	—	р	р	р
Огни знаков приземления	+	+	р	р
Посадочные огни	+	+	+	+
Ограничительные огни	+	+	+	+
Осевые огни ВПП	—	р	+	+
Огни зоны приземления	—	—	+	+
Рулежные огни: боковые осевые	+	+	+	+
Огни быстрого схода с ВПП на скоростных выводных РД	—	р	р	+
Огни схода с ВПП (на других выводных РД)	—	р	р	+
Стоп-огни	—	—	р	+
Предупредительные огни	—	—	р	+
Аэродромные световые указатели: управляемые (светофоры и стрелки) неуправляемые	— р	+	+	+
Глиссадные огни	+	+	р	р
Заградительные огни	+	+	+	+
Приводной световой маяк	р	р	р	р
Опознавательный световой маяк	р	р	р	р
Маскировочные огни на уширениях ВПП	+	+	+	+
Огни критических зон	Устанавливают на линиях пересечения критических зон курсового и глиссадного радиомаяков рулежными дорожками			

Примечание: знак «+» обозначает обязательное наличие данного оборудования, знак «—» — отсутствие; буква р обозначает, что данное оборудование рекомендуется к установке, но не является обязательным.

Огни линии «стоп» располагают поперек осевой линии РД во всех местах, где возможны помехи, чтобы самолет не попал в критические зоны инструментальной системы посадки. Огнями линии «стоп» должны служить односторонние углубленные огни с интервалом между огнями 3 м. Эти огни выключаются диспетчером при запрещении выезда на ВПП и включаются при разрешении. Для III категории ИКАО на аэродроме целесообразно иметь рядом с огнями линии

«стоп» еще огни, разрешающие движение и имеющие зеленый цвет.

Для повышения надежности огней линии «стоп» рекомендуется иметь в цепи их питания два независимых источника света с временем переключения не более 1 с при выходе из строя одного из них. Средняя сила света огней должна составлять 20 кд. Рекомендуется также для III категории использовать проблесковый режим этих огней с частотой 0,5–1 Гц с постоян-

ной работой без связи с пультом управления диспетчера посадки.

Предупредительные огни 3 оповещают пилота о близости перекрестка или о необходимости изменения направления движения.

Ограничительные огни ВПП (не менее шести) располагают с внешней стороны от ее торца равномерно или двумя группами симметрично относительно осевой линии ВПП. Эти огни являются однонаправленными постоянными огнями красного цвета, излучающими в сторону ВПП.

Состав систем огней малой интенсивности (ОМИ) и высокой (ОВИ) представлен в табл. 17.19.

17.3.2. Бортовое светосигнальное оборудование

Светосигнальное оборудование, устанавливаемое на ВС, подразделяется на: аэронавигационное, посадочно-рулежное, оборудование для освещения кабин членов экипажа, для внутрикабинной световой сигнализации, для освещения пассажирских салонов, для освещения служебных помещений самолетов.

В связи с тем, что правила полетов, требуют от пилотов постоянного визуального наблюдения за окружающим пространством, световая сигнализация является эффективным средством обнаружения встречных ВС. Светосигнальное оборудование современных ВС включает аэронавигационные огни и огни предупреждения столкновений. Аэронавигационные огни дают информацию о местонахождении и направлении движения ВС, а огни предупреждения служат для светового обозначения ВС на больших расстояниях. Сила света навигационных огней составляет 20 кд (белый) и 40 кд (красный и зеленый), а эффективная сила света импульсных огней предупреждения столкновений 100–400 кд (красный) и 400–1500 кд (белый).

Оптические схемы импульсных самолетных огней имеют три варианта. В первом из них импульсная спиральная лампа окружена цилиндрической стеклянной линзой Френеля, во втором — кольцевая импульсная лампа совмещена с параболическим отражателем (рис. 17.44) и в третьем — линейная, U-образная или

спиральная лампа находится в параболическом отражателе. Последний вариант используется в основном для навигационных огней, а два первых — для импульсных огней предотвращения столкновений ВС [17.48, 17.49].

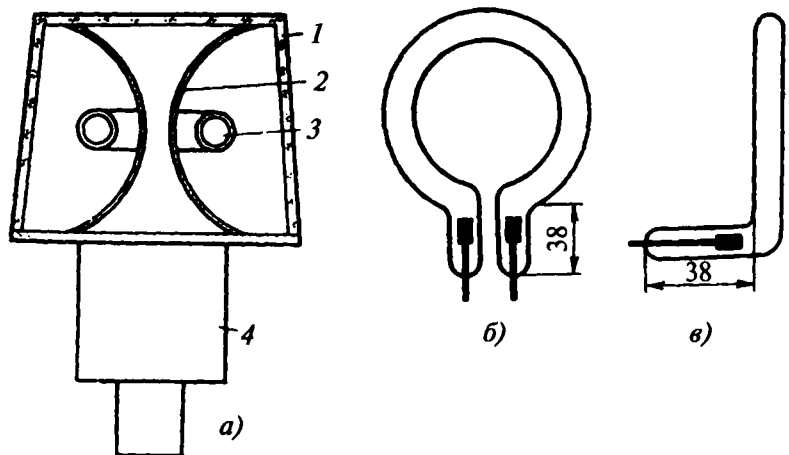
Самолетные импульсные огни (СИО) предотвращения столкновений ВС выполняют в двух модификациях: с вращающимся отражателем и лампой непрерывного горения или с импульсной лампой на основе конденсированного разряда. Огни с вращающимся отражателем — красного цвета, а разрядные огни — белого цвета.

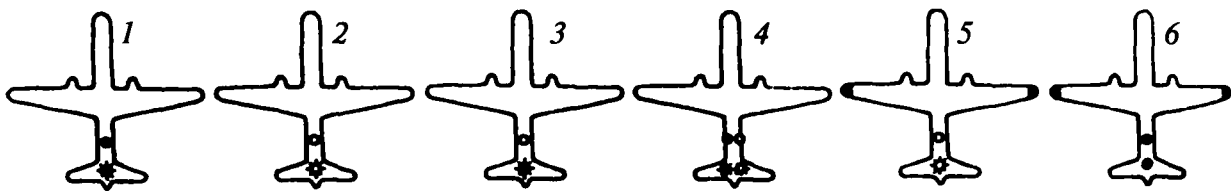
В нашей стране огни красного цвета типов СИМ-3 и СМН-2КМ на разрядных лампах были оборудованы на всех основных типах ВС. Огни с вращающимся отражателем типа ОСС-61 применялись лишь на ВС, обслуживающих внутренние линии. Эффективная сила света красных огней у нас составляет 300 кд (1200 кд до светофильтра), в США огней белого цвета — 160–340 кд. В последние годы в нашей стране разрабатываются самолетные огни, рассчитанные на эффективную силу света до 400 кд в красном и 1500 кд в белом цвете. Импульсные маяки с круговым обзором расположены на осевой линии ВС и имеют $I_{эф} = 800 \dots 1000$ кд (белого или красного цвета). При добавлении огней, расположенных на концах крыльев с $I_{эф} = 3500$ кд (белого цвета), дальность видимости увеличивается.

Красные маяки Аэрофлота (рис. 17.45, модель 1) не выключаются на все время от взлета и до конца руления после посадки ВС. В модели 2 возможно их переключение на меньшую силу света до $0,14I_{эф}$. В модели 3 огни белого цвета устанавливаются только снизу фюзеляжа, чтобы не создавать ослепляющего действия. Переключение ночью с белого на красный цвет осуществляется в модели 4. В облаках огни белого цвета полностью выключаются (модель 5). Красные маяки с сигнальными огнями на крыльях имеются в модели 6. Она получила наибольшее распространение в последние годы у зарубежных конструкторов.

Самолетные огни типа СИ-2У и СИ-2П разработаны на основе U-образной лампы типа ИФК2000, закрытой красным стеклянным колпаком. Светильник

Рис. 17.44. Оптическая схема (а) самолетного импульсного огня с кольцевой импульсной лампой, у которой электродные узлы лежат в одной плоскости с колбой (б) или повернуты на 90° относительно ее (в); 1 — стеклянный колпак; 2 — отражатель; 3 — кольцевая лампа; 4 — коробка с трансформатором зажигания





✱ ✱ – красные, белые, верхние ● ○ – красные, белые, нижние ● – крыльевые

Рис. 17.45. Шесть моделей расположения самолетных огней красного и белого цветов сверху и снизу ЛА, а также на его крыльях

типа СИ-3 имеет двухвитковую спиральную лампу ИФК400. Он используется для огней, расположенных на крыльях. В самолетных огнях применяются также кольцевые лампы. Для конструкций самолетов с тонкими крыльями используются световоды (модель б).

Блок питания огней обеспечивает работу одной лампы или поочередную работу всех ламп.

Импульсные сигнальные огни могут быть утоплены в теле ВС, а для вывода излучения и перераспределения его направленности используются зеркала, призмы и угловые отражатели.

Для того, чтобы самолетный маяк светил одновременно в верхнюю и нижнюю полусферы пространства, устройство зажигания должно быть сконструировано таким образом, чтобы оно зажигало две импульсные лампы с заданной частотой в противофазе, а блок питающих конденсаторов при этом работал в импульсном режиме с частотой разрядки, равной удвоенной частоте импульсов каждой лампы при сохранении энергии разряда каждой из ламп.

Добавление в блок питания и управления двух импульсных ламп СИО, тиристора и дросселя предотвращает переход работы импульсных ламп в режим непрерывного горения.

В двухламповом СИО импульсные лампы могут размещаться одна над другой. Верхняя лампа излучает в верхнюю полусферу, а нижняя находится внутри набора пластиковых пластин, между которыми имеются воздушные зазоры. Через эти зазоры излучение лампы выходит наружу. Поскольку углы расхождения пучков в этом случае по вертикали малы, а по горизонтали составляют 360° , КСС становится остронаправленной в вертикальном направлении.

Световые сигналы аэронавигационных огней являются огнями постоянного горения и имеют КСС в заданных углах излучения, как показано на рис. 17.46 и 17.47.

Световой маяк предназначен для обозначения местоположения ВС в воздухе на больших расстояниях. На ВС должны быть установлены не менее двух световых маяков (по одному для верхней и нижней полусфер). Частота вспышек каждого светового маяка должна быть 40–90 в минуту. Абсолютное значение максимальной эффективной силы света маяка должно быть не менее 400 кандел, а относительное световое распределение — соответствовать данным рис. 17.48 в

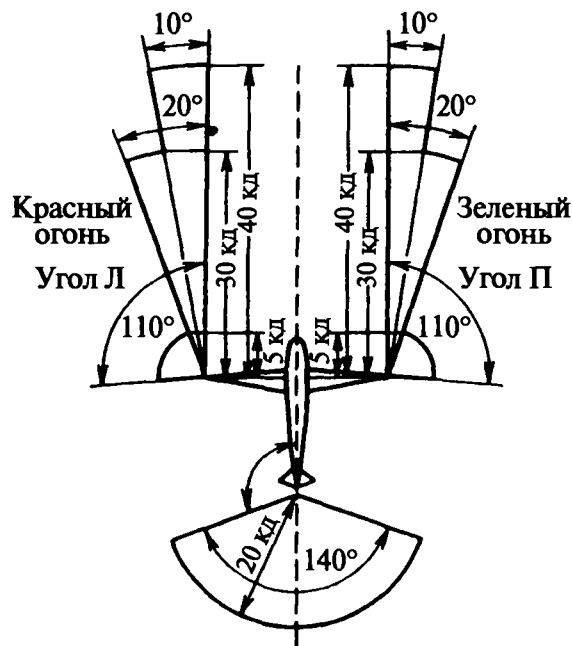


Рис. 17.46. Светораспределение огней БАНО в горизонтальной плоскости

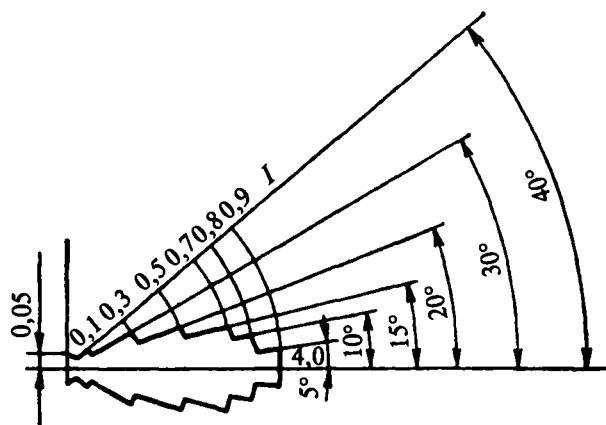


Рис. 17.47. Светораспределение огней БАНО в вертикальной плоскости

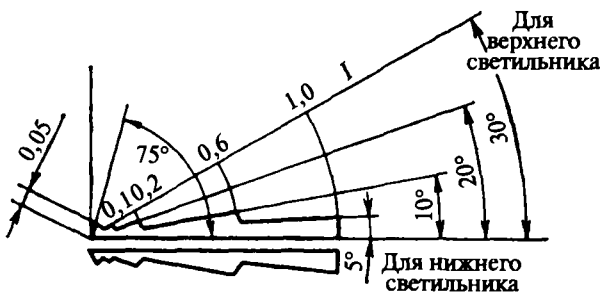


Рис. 17.48. Светораспределение огней в вертикальной плоскости светового маяка

вертикальной плоскости; в горизонтальной плоскости излучение должно охватывать все углы азимута. Цвет излучения маяка — красный.

На ВС, предназначенных для выполнения полета только в визуальных условиях, установка посадочно-рулежного оборудования в виде посадочно-рулежных фар не является обязательной, но там, где их установка необходима, применяется не менее двух посадочно-рулежных фар, одна из которых используется при приземлении, другая — для руления по РД.

Светотехническое оборудование, устанавливаемое на самолете, не должно вызывать ослепление членов экипажа встречных воздушных судов. Цветность излучения бортовых огней должна строго соответствовать координатам цветности, рекомендованным МКО.

17.3.3. Светосигнальное оборудование аэродромов

Обобщение практики полетов воздушных судов с начала развития авиации до внедрения турбореактивных лайнеров позволило сформулировать принципы построения светосигнальных систем аэродрома, основными из которых являются инвариантность схем размещения аэродромных огней, цветности и светового распределения, равная яркость аэродромных огней, составляющих единую функциональную систему, например, огней ВПП.

Схемы размещения аэродромных огней и их светотехнические характеристики выбираются таким образом, чтобы пилот имел непрерывное визуальное указание в процессе снижения во всем пространственном диапазоне посадочных траекторий, определяемом типом ВС и составом радиотехнических средств посадки.

Бесперебойность электропитания аэродромного оборудования достигается построением системы энергоснабжения аэропорта, имеющей, как правило, два независимых внешних источника, заведенных на ТП, а также аварийный дизель-агрегат с автоматической станцией переключения на случай выхода из строя одного из внешних вводов. Станции переключения построены таким образом, чтобы время переключения основных подсистем огней составляло значения не более указанных в [17.43]. Равная яркость аэродромных огней, составляющих подсистемы, обеспечивается применением последовательных систем питания и стаби-

лизированных источников в виде регуляторов яркости, поддерживающих постоянство тока в пределах $\pm 2\%$ номинального значения на данной ступени нагрузки вплоть до 50% номинальной.

Основной характеристикой, по которой осуществляется прием и выпуск воздушных судов, является дальность видимости на ВПП (ДВ ВПП) [17.42]. Она определяется как максимальное расстояние в направлении взлета или посадки, на котором ВПП или специально обозначающие ее огни могут быть видны пилоту в момент приземления. Цель обеспечения информацией о ДВ ВПП — дать возможность пилотам и лицам, использующим аэронавигационные средства, оценить условия видимости на аэродроме и принять решение о вылете, производстве посадки или уходе на запасной аэродром. В зависимости от региона и времени года возможны различные причины ограничения видимости на ВПП. Основной причиной ограничения видимости является снижение оптической прозрачности атмосферы. Прозрачность атмосферы, таким образом, является исходным параметром расчета ДВ ВПП, и для ее измерения в настоящее время используются различного рода трансмиссиометры. Прозрачность атмосферы измеряется в виде коэффициента пропускания T на длине B базисной линии трансмиссиометра.

В ночных условиях и при ограниченных условиях видимости днем ДВ ВПП рассчитывается по видимости аэродромных огней ВПП. В предложении точности ИС для расчетов применяется закон Аллара, который на основе измерений трансмиссиометра имеет вид

$$T = (E_{\text{пор}} R^2 / I)^{B/R}, \quad (17.9)$$

где T — коэффициент пропускания атмосферы на длине B базисной линии, $E_{\text{пор}}$ — визуальный порог освещенности; R — дальность видимости на ВПП; I — сила света огней ВПП в направлении линии зрения пилота (соответствует среднему уровню глаз пилота в момент приземления).

В дневных условиях при высокой прозрачности атмосферы поверхность ВПП видна на фоне неба на горизонте с гораздо больших расстояний, чем огни, и для расчетов ДВ ВПП используется закон Кошмидера в виде

$$R = B \log \epsilon / \log T, \quad (17.10)$$

где ϵ — порог контрастной чувствительности, принятый в международной авиационной практике равным 0,05.

Как видно из определения ДВ ВПП и из (17.9) и (17.10), ДВ ВПП является скорее оценкой условий видения, чем точной констатацией того, что пилот действительно увидит. Можно отметить, что при расчетах ДВ ВПП не учитывается множество физических и психологических факторов, влияющих на различительную способность пилота, а также и некоторая неопределенность величины I , постоянно изменяющейся в зависимости от направления линии зрения. Введением целесообразных, проверенных исследованиями и практикой мер достигается единообразие определения ДВ ВПП, заключающееся в следующем:

а) аппроксимация зависимости $E_{\text{пор}}$ от преобладающего в данном регионе значения яркости фона L_{Φ} в виде, представленном на рис. 17.49;

б) усреднение значения силы света ВПП во всем пространстве посадочных траекторий для заданной категории посадки и использование в расчетах этого усредненного значения в качестве направленной силы света огня I ;

в) использование в донесениях и сводках, направляемых в органы обслуживания воздушного движения, вслед за показаниями ДВ ВПП, показаний метеорологической дальности видимости S_M , объективно отражающих условия видимости и состояние атмосферы. Связь между ДВ ВПП R и S_M устанавливается соотношением

$$I g S_M = \frac{1}{R^2} e^{-\sigma R} \quad (17.11)$$

и для ночных, сумеречных и дневных условий представлена на рис. 17.50.

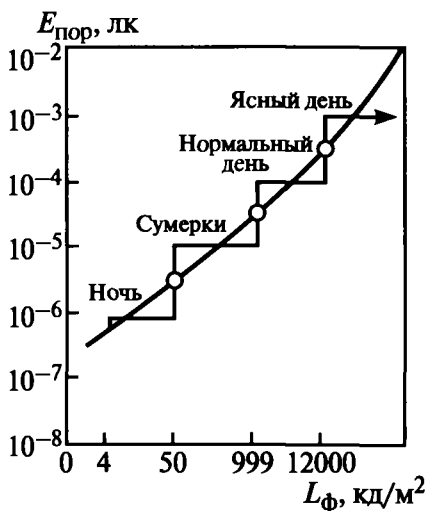


Рис. 17.49. Зависимость порога освещенности от яркости фона

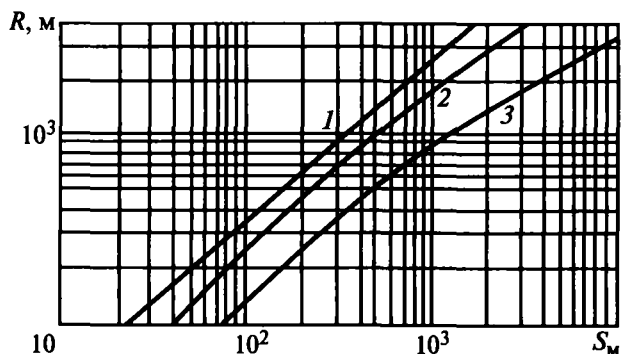


Рис. 17.50. Зависимость дальности видимости на ВПП от метеорологической дальности видимости: α_{Φ} , кд/м²: 1 — 10^{-1} ; 2 — 10; 3 — 10^3

Проанализируем состав, типы, схемы размещения светосигнального оборудования и светотехнические характеристики аэродромных огней.

В состав светосигнального оборудования должны входить следующие подсистемы: огни приближения (постоянного горения и импульсные), световых горизонтов для указания пилоту направления на ось ВПП, кодирования расстояния до начала ВПП, для создания искусственных горизонтов; огни приближения бокового ряда для указания направления на ВПП; входные огни для обозначения порога ВПП; глиссадные огни для визуального указания траектории воздушного судна при снижении; огни для обозначения боковых сторон ВПП; ограничительные огни для обозначения конца ВПП; осевые огни ВПП; рулевые огни для обозначения боковых границ РД; осевые огни РД; огни быстрого схода с ВПП для обеспечения руления на высокоскоростных выводных РД; стоп-огни для обозначения линии «Стоп» на предварительном старте; предупредительные огни на пересечениях РД.

По конструктивному исполнению аэродромные огни подразделяются на огни кругового обзора (асимметричные, симметричные, полусимметричные), излучающие по всем направлениям азимута и в верхнюю полусферу; прожекторные огни, построены по принципу отражательной оптики; углубленные огни, монтируемые заподлицо в искусственное покрытие ВПП и РД.

Масса огней, располагаемых в зонах ВПП и конечной полосы безопасности, должна быть не более 3,5 кг; высота — не более 0,45 м в целях предотвращения повреждения ВС. Стойки крепления прожекторных огней и огней кругового обзора должны иметь ослабленное сечение и выдерживать момент излома, равный $600 \pm 100 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Схемы размещения аэродромных огней подразделяются на простые, предназначенные для оборудования аэродромов, эксплуатирующих ВС по правилам визуального полета, и системы точного захода на посадку по категориям I—III. Переход от простых систем к системам точного захода на посадку характеризуется наращиванием объема визуальной информации за счет увеличения количества подсистем огней. На рис. 17.51—17.53 схемы размещения аэродромных огней приведены с указанием допусков на установку, разрешаемых при монтаже на местности.

Светотехнические параметры огней систем точного захода на посадку представлены в табл. 17.20.

17.3.4. Системы светового ограждения аэродромных препятствий

Согласно правилам ГА, неподвижные препятствия, выступающие на поверхность набора высоты при взлете в пределах 3 км от внешней границы аэродрома, следует светоограждать. Находящиеся на трассах препятствия светоограждаются по достижении высоты более 45 м. Препятствия должны иметь световое ограждение на самой верхней точке и ниже через каждые 45 м ярусами. Количество и расположение заградительных огней в каждом ярусе должны быть такими, чтобы с любого на-

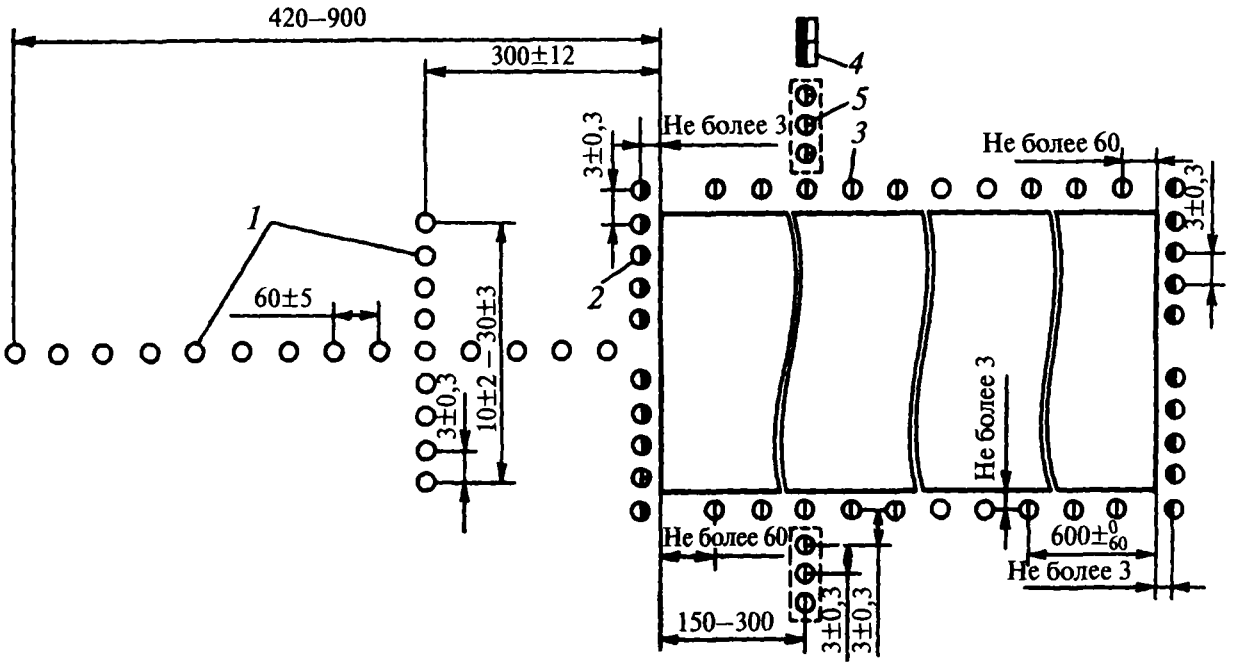


Рис. 17.51. Схема размещения некатегорийного светосигнального оборудования: 1 — огни приближения и светового горизонта, кругового обзора; 2 — входные ограничительные огни, кругового обзора; 3 — посадочные огни кругового обзора; 4 — глиссадные огни; 5 — огни знака приземления, кругового обзора с заглушкой (при установке глиссадных огней огни знака приземления не монтируются). Расстояние указано в метрах

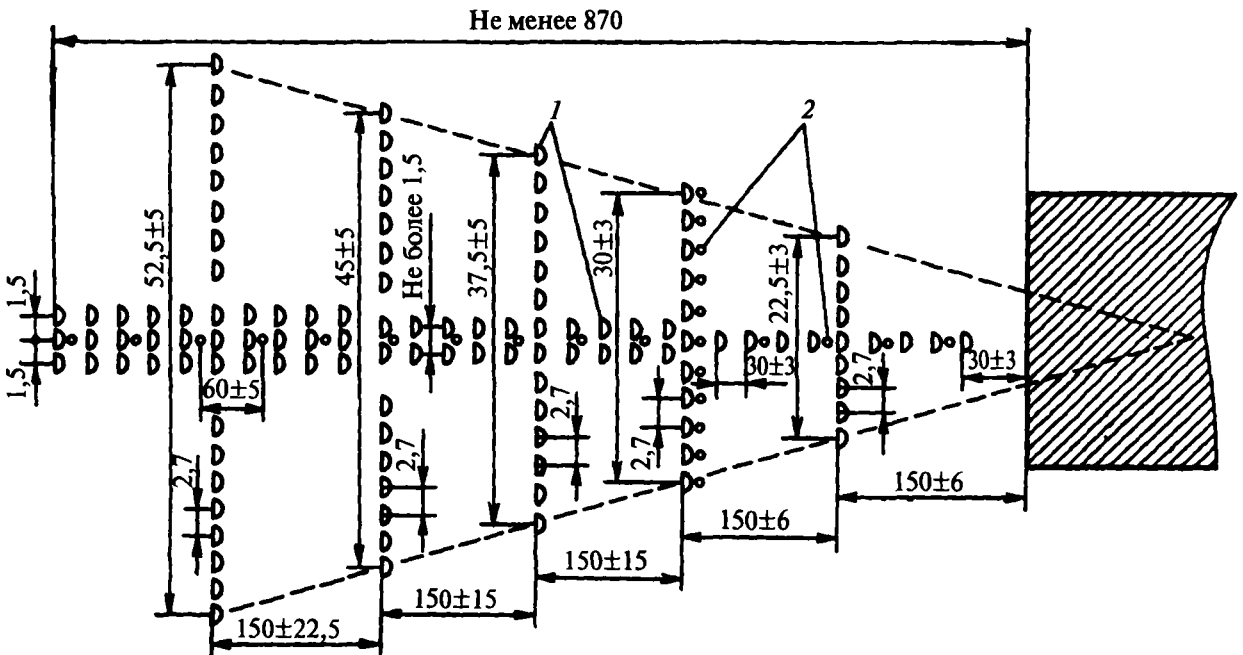


Рис. 17.52. Схема размещения огней приближения и световых горизонтов системы захода на посадку по категории I: 1 — огни приближения и световых горизонтов прожекторные; 2 — то же кругового обзора

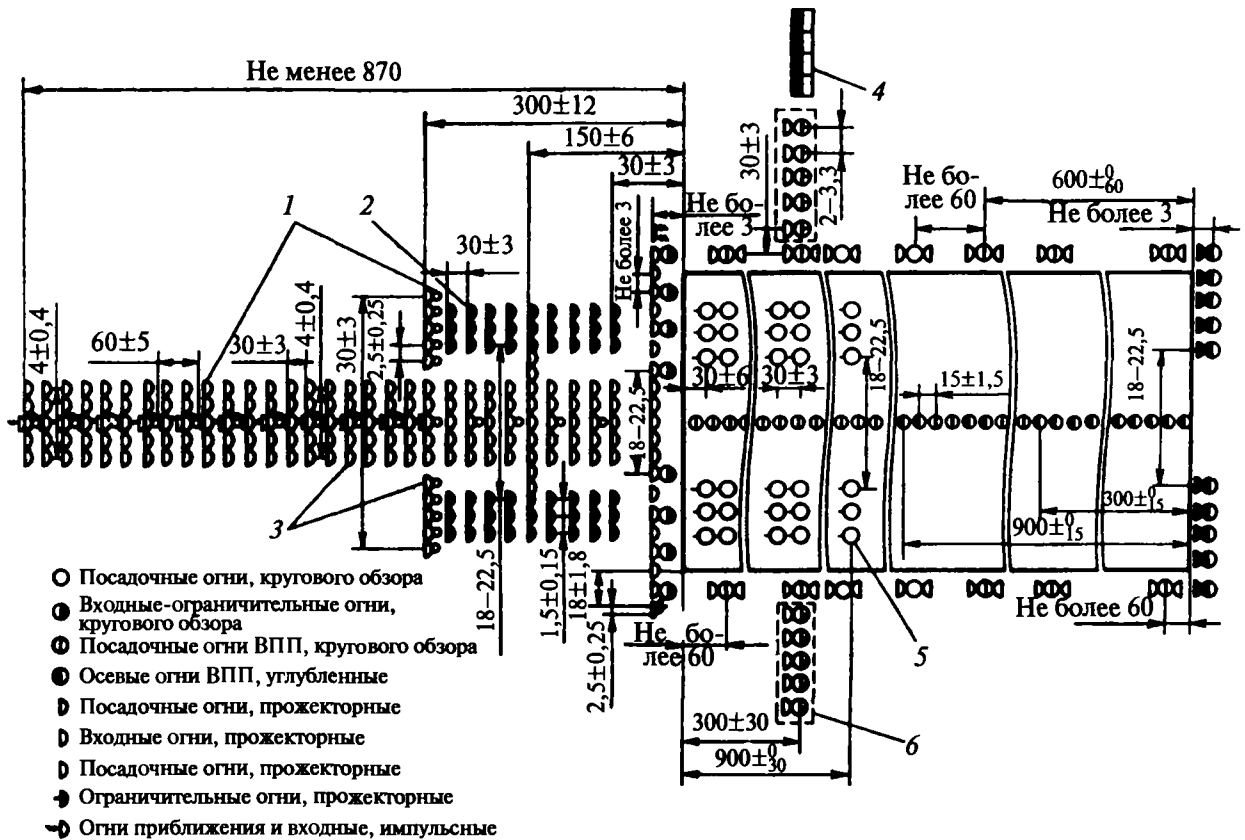


Рис. 17.53. Схема размещения светосигнального оборудования системы захода на посадку по категориям II и III: 1 — огни приближения и светового горизонта, кругового обзора; 2 — боковые огни концевой полосы безопасности; 3 — огни приближения и светового горизонта, прожекторные; 4 — глиссидные огни; 5 — огни зоны приземления, углубленные; 6 — огни знака приземления, прожекторные и кругового обзора с заглушкой (при установке глиссидных огней огни знака приземления не устанавливаются)

Таблица 17.20

Светотехнические параметры огней ВПП, оборудованной для точного захода на посадку по категориям I—III

Огонь	Цвет	Минимальный размер пучка, град		Минимальная средняя сила света в пучке с указанными размерами, цветовые ккд
		в горизонтальной плоскости	в вертикальной плоскости	
Центральный ряд огней приближения световых горизонтов	Белый	20	11	20
Боковой ряд огней приближения	Красный	14	10	5
Входные огни ВПП	Зеленый	11	9	10
Огни зоны приземления	Белый	10	7	5
Осевые огни ВПП	Белый, красный	10	9	2,5
Ограничительные огни ВПП	Красный	12	4,5	2,5
Боковые огни ВПП	Белый	13	7	1,0

правления линии зрения было видно не менее двух огней. В случае недостаточной видимости заградительных огней на особо опасных препятствиях дополнительно устанавливаются заградительные маяки.

Заградительные огни представляют собой линзовые огни кругового обзора с минимальной силой света во всех углах азимута не менее 60 кандел. Цвет излучения — красный. Кривая силы света в белом цвете представлена на рис. 17.54. Как правило, огни имеют двойные светильники. В течение ряда лет в отечественной практике использовались заградительные огни типа ЗОЛ-2М с ЛН мощностью 130 Вт.

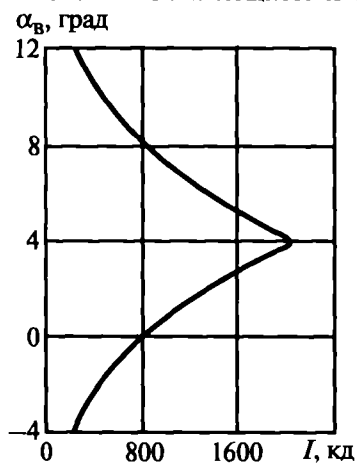


Рис. 17.54. Светораспределение заградительного огня типа ЗОЛ-2М в вертикальной плоскости

В последние годы в связи с прогрессом в области исследований, разработок и промышленного выпуска светоизлучающих диодов (СД) с относительно большим световым потоком, они стали применяться в различных световых приборах [17.50]. Развитие применения мощных СД идет в двух направлениях: создание светодиодных ламп, размещенных в отражателях, и непосредственное конструирование светосигнальных приборов (ССП) только на основе СД без отражателей.

Мощности СД по сравнению с лампами накаливания сравнительно низки, и для создания ССП требуется их определенное количество с заданной ориентацией в пространстве излучения каждого СД или их группы. Примером таких расположений являются знаки, указатели, светофоры и т.п., т.е. приборы, у которых оптические оси СД параллельны или почти параллельны друг другу. ССП на СД с более сложной формой создаются с помощью корректирующей оптики или без нее с расположением СД на держателе определенной формы.

Серийный светодиодный заградительный огонь типа ЗОД-1П показан на рис. 17.55. Его конструкция состоит из защитного стекла, собранного в силуминовой оправке, закрепленной через уплотнения в силуминовом корпусе. Внутри стеклянной оболочки находится съемный оптический блок с радиатором, роль которого выполняет массивный металлический цилиндр, а в силуминовом корпусе расположен съемный электронный преобразователь тока. Тепло отводится от полых правильно усеченных пирамид, на гранях которых установлены мощные СД.

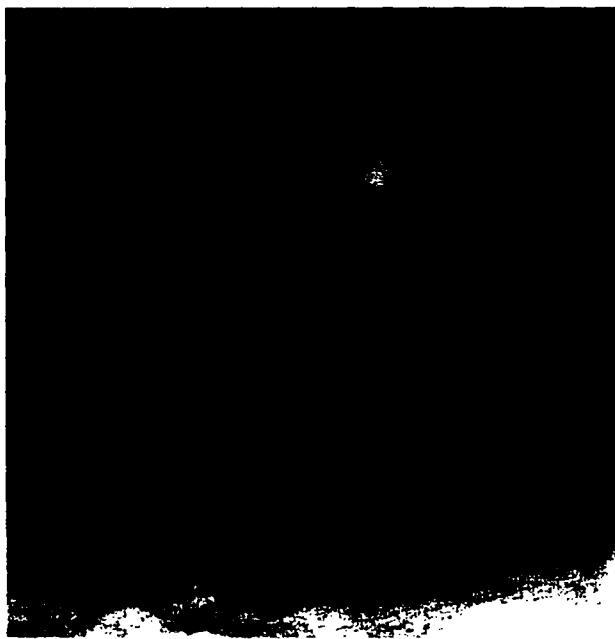


Рис. 17.55. Авиационный заградительный огонь типа ЗОД-1П

В днище корпуса смонтирован резиновый компенсатор для выравнивания давления при изменении перепада температур между внутренним объемом огня и окружающей средой. Он снижает подсос воздуха и конденсацию влаги внутри огня.

Интенсивное охлаждение СД за счет теплоотвода от них с помощью пирамид и толстостенного алюминиевого стакана позволило создавать огонь, удовлетворяющий требованиям МАК: сила света не менее 10 кд в углах $+6^\circ$ и -6° по отношению к горизонтальной плоскости и не менее 4 кд в верхнюю полусферу (рис. 17.56).

Внедрение всепогодной эксплуатации ВС, увеличение крейсерских скоростей авиалайнеров обусловили необходимость обеспечения заметности сооружений за более короткое время и в любых условиях видимости днем и ночью. Этому требованию удовлетворяют разработываемые ведущими зарубежными фирмами высокоинтенсивные импульсные огни с эффективной силой света до 200 кд.

Отечественной промышленностью ведется разработка высокоинтенсивных световых огней, в первую очередь для оснащения высотных радиорелейных мачт, широко эксплуатируемых по всей территории страны. Каждое устройство состоит из трубчатых ксенонных разрядных ламп и отражателя, формирующего световой пучок в азимутальной плоскости (120°) и вертикальной (7°). Импульсные огни, расположенные на всех ярусах, вспыхивают одновременно с частотой 40 вспышек в минуту.

По степени надежности электропитания заградительные огни относятся к потребителям I категории. Указания по проектированию систем светового ограждения высотных препятствий изложены в специальной литературе.

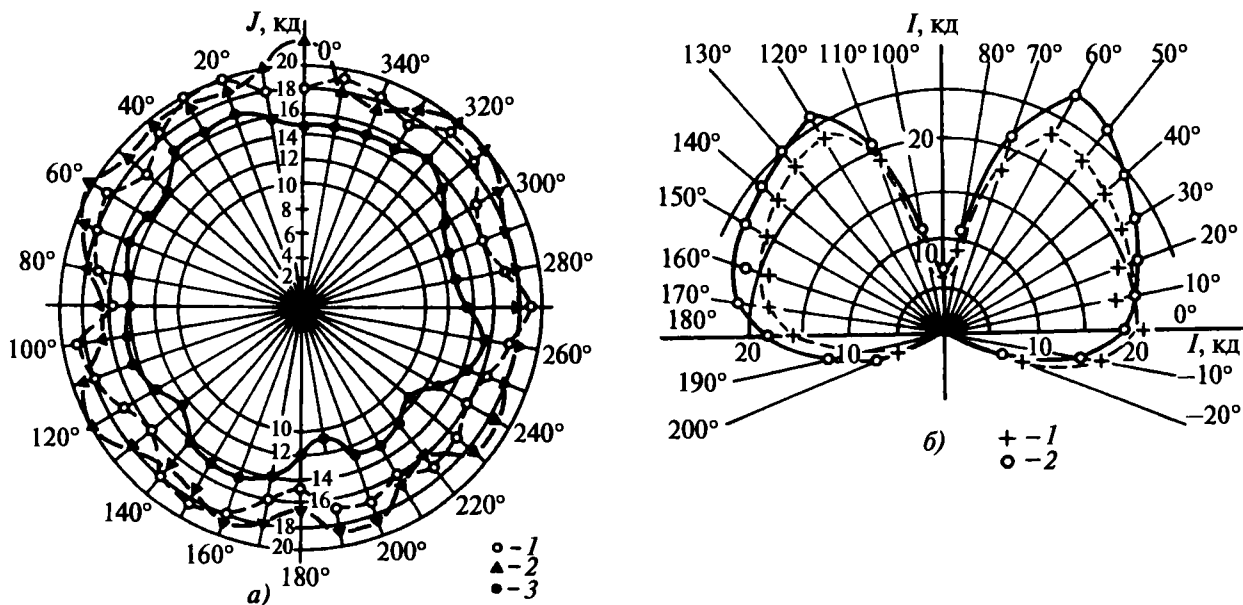


Рис. 17.56. Кривые силы света заградительного огня ЗОД-1П в горизонтальной (а) и вертикальной (б) плоскостях: в горизонтальной плоскости $\alpha_{\text{вер}} = 0^\circ$ (1) и близких к ней углах $\alpha_{\text{вер}} = 6^\circ$ и $\alpha_{\text{вер}} = -6^\circ$ (2); в горизонтальной плоскости $\alpha_{\text{гор}} = 0^\circ$ и с поворотом огня на 90° вокруг вертикальной осевой линии с $\alpha_{\text{гор}} = 0^\circ$ (2)

17.3.5. Световые приборы и ИС

Светосигнальное оборудование аэродромов, ВС и систем светового ограждения препятствий представляет собой весьма разнообразный набор специальных СП и устройств, отвечающих специфическим требованиям эксплуатации по исполнению, техническим параметрам и способам монтажа. Совокупность этих требова-

ний на каждый СП регламентируется техническими условиями, разрабатываемыми предприятием-изготовителем. Общие сведения о современных типах СП, используемых на авиационном транспорте, представлены в табл. 17.21, внешний вид некоторых из них показан на рис. 17.57.

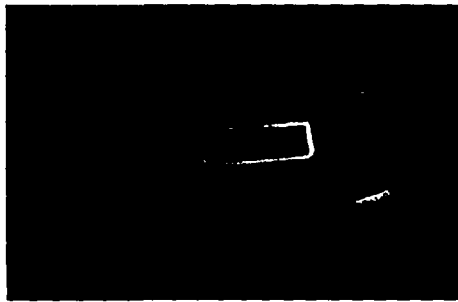
Таблица 17.21

Основные типы СП и ИС

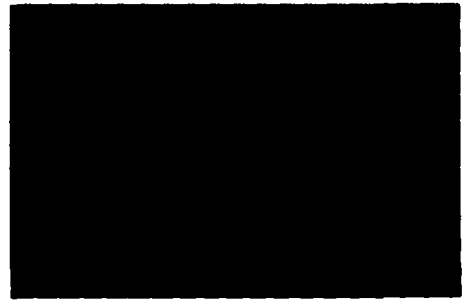
Наименование СП, тип	Назначение	Источник света		Источник питания
		Тип	Мощность, Вт	
Огонь кругового обзора, КО-С, КО-А, КО-ПА	Визуализация аэродрома при ДВ ВПП равной 2 км	ПЖ6,6-100 ПЖ6,6-45	100 45	Стабилизатор тока типа «Старт»
Прожекторный огонь ПО-1, ПО-2	То же	ПЖ6,6-300-1 ПЖ6,6-200-1 ПЖ6,6-65-1	300 200 65	То же
Углубленный огонь, УО-1М, УО-2М	Визуализация поверхности ВПП	КГМ6,6-100-1 КГМ6,6-200-1	100 200	То же
Заградительный огонь, ЗОЛ-2, ЗОЛ-2М	Световое ограждение воздушных препятствий	СГЛ220-130	130	Промышленная сеть
Посадочно-рулежная фара, АПРФ-1	Освещение ВПП и РД	Лампа-фара ЛРСМ-27-1000 (450)	1000 450	Бортовая сеть
Самолетный маяк, МСЛ-3М-2с	Навигационное оборудование	КСМ27-85	85	То же
Самолетный импульсный маяк МСН-М-1С	То же	Импульсная разрядная лампа	—	То же



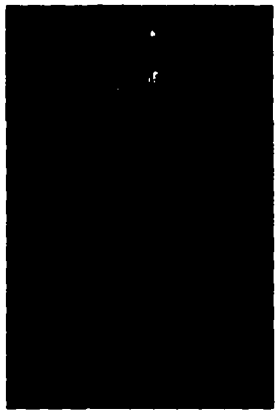
a)



б)



в)



г)



д)



е)



ж)



з)



и)

Рис. 17.57. Некоторые светосигнальные приборы аэродромного оборудования: прожекторный огонь (*a*); углубленный огонь (*б*); заградительный огонь (*в*); огонь кругового обзора (*г*); огонь рулевных дорожек (*д*); кодовый аэродромный маяк (*е*); управляемый аэродромный знак (*ж*); неуправляемый аэродромный знак (*з*); приборы импульсной линии (*и*)

17.3.6. Лазерные глиссадные системы

В последнее время находят широкое применение лазерные системы для ориентации и наведения транспортных средств. Они предназначены для определения местоположения и направления движения в секторе или зоне ориентирования, для ограждения зон, запретных или опасных для перемещения, а также для указания рекомендуемых траекторий, курсов и обозначения областей пространства со специальным режимом перемещения.

Контраст между яркостью прямого лазерного излучения, направленного на наблюдателя, и фоном рассеянного излучения для лазерных пучков сохраняется на очень удаленных расстояниях, значительно превосходящих дальности в случае использования известных точечных источников света либо огней с направленным излучением. Лазерный свет характеризуется относительно малой зависимостью траектории его распространения от особенностей рельефа местности. В то же время лазерные источники нецелесообразно использовать для сигнализации в полусфере из-за малого КПД. Кроме того, при плохих погодных условиях в аэрозольной атмосфере фиксированная длина волны лазера из-за возможности сильного поглощения средой менее предпочтительна по сравнению со спектрально широкополосным источником света. У широкополосного источника света всегда имеются спектральные полосы излучения, не поглощаемые при данных условиях загрязненной атмосферой [17.51–17.53].

Обычно лазерная система оптической посадки летательного аппарата (ЛА) на авианосец или аэродром может содержать один, два или несколько лазеров. Направленное излучение лазера может либо точно указывать оптимальную траекторию снижения ЛА (при этом пилот своими глазами видит направленное в него излучение лазера), или располагаться рядом с ней параллельным глиссаде направлением луча (рис. 17.58, а, б).

Лучи нескольких лазеров могут обозначать плоскость, в которой необходимо находиться ЛА при правильном снижении, причем лучи могут быть параллельными друг другу или пересекаться. Предлагаются также оптические системы посадки (ОСП), у которых лазерные лучи создают ломаную траекторию снижения: более крутую для ЛА, находящегося вдалеке, и более пологую для ЛА, находящегося рядом с авианосцем. Лазеры при этом могут располагаться у кормы, в середине или на носу палубы корабля.

При использовании устройства, которое вращает лазерный луч, ОСП приобретает новые качества. ЛА находится в конусе, созданном вращающимся лучом. В таких ОСП лазеров может быть один, два или более. Возможны комбинации такие же, как и для систем без вращения лазерного луча (рис. 17.59).

Расходимость луча может меняться от $5'$ до 5° . Лазер располагают на гиросtabilизированной платформе. Так как луч «привязан» к палубе, он дает информацию о ее движении. Луч может прерываться с определенной частотой или модулироваться по амплитуде. С уменьшением расходимости луча от 5° до $5'$ возрастает плотность мощности излучения, но уменьшается телесный угол. Следовательно, снижается возможность его обнаружения пилотом и увеличивается вероятность выхода ЛА из конуса. Поэтому угол расходимости луча нужно выбирать исходя из условия задачи.

В глиссадных системах в основном используется гелий-неоновый лазер с длиной волны излучения 632,8 нм. В принципе могут использоваться и другие типы лазеров: рентгеновские, ультрафиолетовые или инфракрасные, излучение которых не поглощается атмосферой. Для восприятия их сигналов на борту ЛА должны находиться соответствующие приемники. Плотность мощности лазерного излучения выбирается такой, чтобы не повредить глаза обслуживающего персонала и пилотов при попадании излучающего пучка.

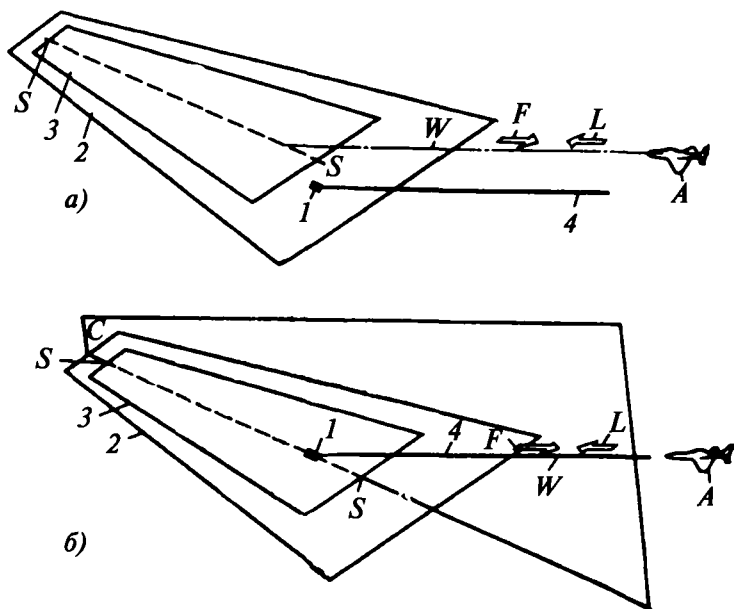


Рис. 17.58. Схемы лазерной посадки или взлета ЛА, когда лазерный луч параллелен глиссаде (а) или совпадает с ней (б): 1 — лазер; 2 — поверхность земли; 3 — ВПП; 4 — лазерный луч; (S-S — осевая линия ВПП; W — траектория движения ЛА; F и L — стрелки, указывающие направление движения; С — вертикальная плоскость, в которой находится глиссада)

Рис. 17.59. Схемы лазерной посадки или взлета ЛА с вращением лазерного луча, когда образованный им конус своей осевой линией параллелен (а) или совпадает с глиссадой (б): 1 — лазер; 2 — поверхность земли; 3 — ВПП; 4 — лазерный луч; 5 — устройство вращения луча; 6 — лучевой конус

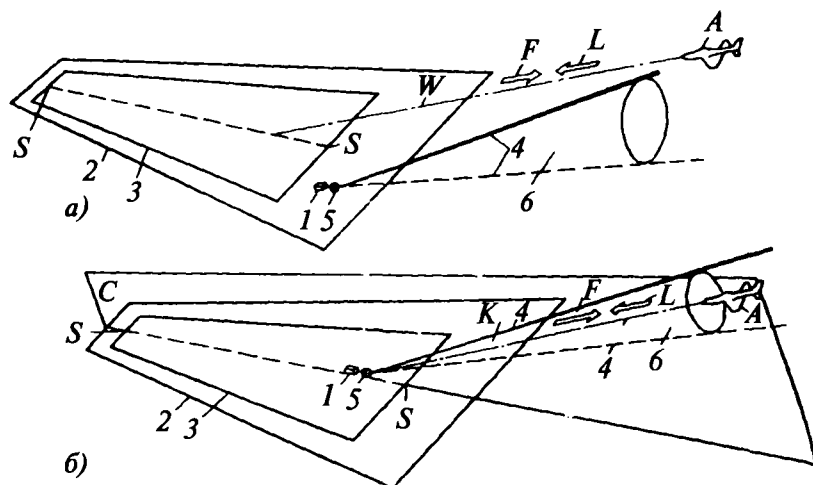
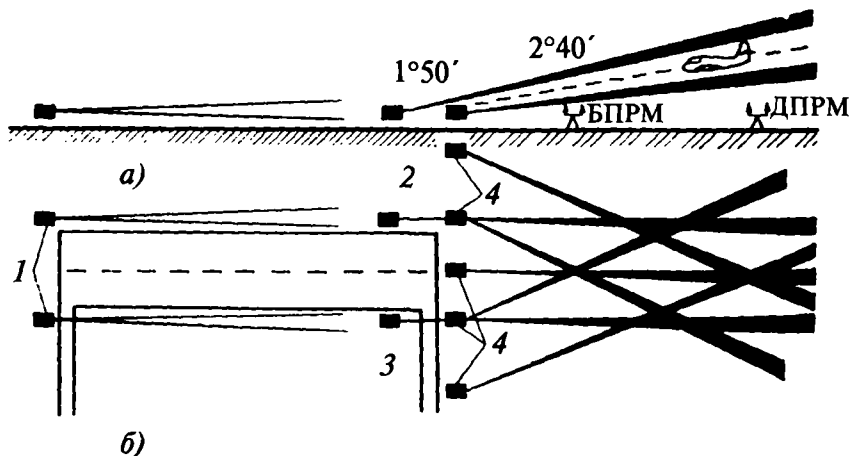


Рис. 17.60. Вариант расположения лазеров с пятью источниками излучения в линию у порога ВПП в системе посадки «Глиссада» при наблюдении сбоку (а) или сверху (б) (БПРМ и ДПРМ — ближний и дальний проводные радиомаяки): 1 — установки для обозначения боковых сторон ВПП; 2, 3 — соответственно правая и левая глиссадные установки; 4 — курсовая установка



Лазерная аэродромная система посадки самолетов «Глиссада» основана на следующих физических явлениях [17.51]. Лазерный луч, распространяясь в атмосфере, теряет часть энергии при рассеянии на молекулах газов, аэрозольных частицах, а также на неоднородностях, вызванных турбулентным движением воздуха. Поэтому он виден в атмосфере. На рис. 17.60 два лазера, размещенных в конце ВПП, указывают своими лучами боковые стороны ВПП. Пять лазеров в линию своими пересекающимися лучами указывают пилоту скорость, ниже которой воздушное судно не должно снижаться. Два других лазера за порогом ВПП сбоку от нее создают два светящихся луча, лежащих в плоскости, ограничивающей сверху нужный коридор, в котором находится глиссада.

На рис. 17.61 показан вариант системы «Глиссада» с тремя лазерами в линию у порога ВПП.

Лазерная курсоглиссадная система световых сканирующих маяков (ССМ) отличается тем, что зоны ориентирования создаются сканирующими лазерными лучами. Причем эти зоны вытянуты по горизонтали и имеют небольшие углы расхождения в вертикальной плоскости. Основными элементами ССМ [17.52] являются три лазера (рис. 17.62). Глиссадные лазеры распо-

ложены по бокам ВПП на расстоянии 300 м от ее порога и 10 м от ее края. Курсовой лазер устанавливается у торца ВПП на продолжении ее осевой линии. Глиссадные лазеры излучают обычно на длине волны 0,63 или 0,48 ... 0,51 мкм, курсовой — в красной области спектра. Для сканирования лучей используют дефлекторы, а для ослабления применяют нейтральные светофильтры.

Верхняя зона I задается зелеными, а нижняя II — красными лучами. Область перекрытия двух зон имеет размеры 15'. Она и является глиссадной зоной III. Одновременно с высокочастотной вертикальной разверткой происходит низкочастотное сканирование лучей маяков в горизонтальной плоскости, т.е. при этом вертикальный светящийся отрезок относительно медленно движется в горизонтальной плоскости. Ориентирование осуществляется путем наблюдения за импульсными (за счет сканирования в пространстве) огнями маяков определенного цвета в нужной последовательности. Курсовой маяк указывает азимут перемещения ЛА по азимуту.

Для увеличения зон информации число глиссадных лазерных маяков сбоку от ВПП может быть увеличено.

В настоящее время лазерные маяки используются достаточно широко. Особенно перспективным направ-

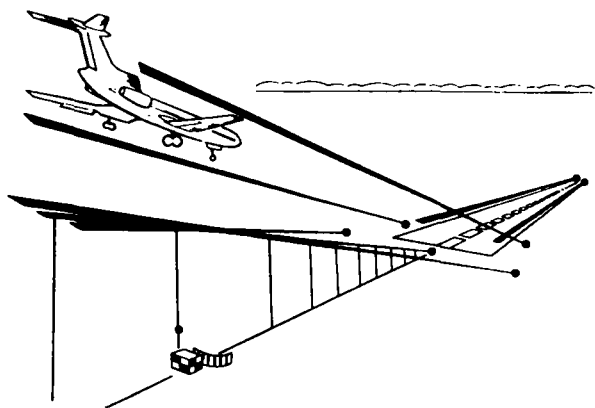


Рис. 17.61. Вариант расположения лазеров с тремя источниками излучения в линию у порога ВПП в системе посадки «Глиссда»

лением их применения является автоматическое наведение на цель быстродвижущихся объектов. Для посадки вертолетов совмещаются лазерные лучи, различающиеся по цвету или частоте модуляции для разметки секторов наведения. При движении в зону посадки вертолет удерживается системой управления в центре створа, границы которого задаются параллельными лазерными лучами. Оптические сигналы лазеров, принимаемые прismsником вертолета, демодулируются, передаются в микроЭВМ и оттуда с помощью периферийных устройств — на исполнительные механизмы.

Для обеспечения посадки всех типов транспортных космических кораблей многообразного действия используется лазерная навигационная следящая система. Корабль имеет устройство ориентации и наведения в трехмерном пространстве. Луч лазера на земле непрерывно сканирует пространство таким образом, что обозначает сектор, в котором осуществляется наведение космического корабля. Сканирование производится с помощью механического прибора с вращающимся полигоническим зеркалом. Поперечное перемещение световых полос происходит за счет качающегося плоского зеркала. В начале каждого цикла сканирования излучаются опорные импульсы лазером более высокой мощности, засвечивающие весь сектор ориентации и наведения корабля. Местонахождение космического корабля определяется по изменению интервала между моментом излучения опорного импульса и попаданием его в приемник корабля [17.53].

17.3.7. Электропитание светосигнального оборудования аэродромов (СОА)

Электропитание СОА как потребителя особой группы аэродромов первой категории ИКАО осуществляется от двух внешних независимых источников по двум кабельным линиям через двухтрансформаторную ТП и

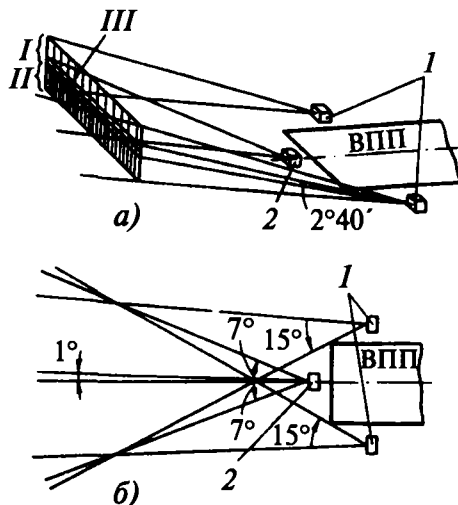


Рис. 17.62. Схема размещения маяков лазерной системы ССМ около ВПП (а) и принцип формирования зон ориентирования (б): 1 и 2 лазерные маяки (II—III — зоны излучения). Стрелками показано направление сканирования лучей центрального маяка

автономного дизель-электрического агрегата, резервирующего оба внешних источника. Высоковольтные (10–6 кВ) и низковольтные (0,4 кВ) шины ТП секционированы, а для автоматического ввода резерва и переключения внешних источников за время не более 1 с по низкому напряжению на ТП используются устройства автоматического включения резерва (АВР).

В системах светосигнального оборудования аэродромов применяется схема последовательного электропитания огней, подключаемых к регуляторам яркости различной мощности (табл. 17.22). Для разделения цепей высокого и низкого напряжения и электрической развязки огней при последовательном включении их в цепь регулятора яркости используются изолирующие трансформаторы в герметичном исполнении с обрезиненной оболочкой.

Электропитание светосигнальных средств аэродромов осуществляется высоковольтным кабелем марки КВОРН, для подключения аэродромных огней ко вторичным обмоткам изолирующих трансформаторов используется низковольтный кабель марки НРШМ-Т. Питание аппаратуры дистанционного управления выполняется кабелем марки ТППБ.

Таблица 17.22

Выходные параметры регуляторов яркости

Ступень яркости	Выходной ток регулятора, А		
	Наземный огонь		Углубленный огонь
	Вариант 1	Вариант 2	
1	3,6–3,8	4,2–4,4	4,2–4,4
2	4,2–4,4	4,95–5,25	4,95–5,25
3	4,95–5,25	5,6–6,0	5,6–6,0
4	6,3–6,7	6,9–7,3	6,9–7,3
5	8,05–8,3	8,05–8,3	8,05–8,3

Проектирование кабельных сооружений и прокладка кабелей, заземление и зануление светосигнальных средств аэродрома производятся с учетом требований нормативных документов [17.41, 17.44].

В перспективе при переходе на полную автоматизацию процесса посадки светосигнальные средства на авиационном транспорте не утратят своей роли, поскольку пилоты с большим доверием относятся к информации, получаемой собственными органами чувств (глазами), и психологически «запрограммированы» на установление визуального контакта с землей при любых режимах работы автопилота и любых погодных условиях [17.54, 17.55].

17.3.8. Вертодромные светосигнальные системы

К вертодромному комплексу ССО предъявляются следующие требования. Он должен обладать высокой надежностью, большой долговечностью, стойкостью к внешним воздействиям, минимальными размерами, простотой обслуживания, возможностью создания нескольких вариантов построения светосигнальной системы, минимальным временем развертывания и сборки на вертодроме. Он должен быть изготовлен так, чтобы для его обслуживания не требовались высококвалифицированные работники.

Визуальные средства вертодромов можно разделить на маркировочные (дневные) и светосигнальные (ночные). Маркировочные средства применяются для обозначения вертодрома, границ ВПП, РД, перрона, препятствий и указателя направления ветра и направления захода на посадку.

На посадочной площадке устанавливают:

– огни приближения белого цвета для обозначения направления на центр посадочной площадки;

– входные огни зеленого цвета и ограничительные огни красного цвета для обозначения контура посадочной площадки;

– посадочные огни белого цвета для обеспечения выхода вертолета на центр площадки;

– глиссидный огонь для указания пилоту положения вертолета относительно заданной глиссады.

Кроме того, в состав вертодромного светосигнального оборудования могут входить рулежные огни синего цвета, а приводной световой маяк может заменяться кодовым.

Маркировка точки приземления выполняется в виде равностороннего треугольника. Вертодромная опознавательная маркировка располагается в центре или вблизи центра зоны конечного этапа захода на посадку и взлета.

Вертодромный маяк служит для дальнего визуального наведения вертолета. Его размещают на самом вертодроме или на каком-либо возвышении рядом с вертодромом.

Вертодром может иметь систему огней приближения, если это необходимо для обеспечения безопасности посадки. Огни, запрещающие приземление, состоят из всенаправленных белых углубленных огней.

Вертодром обозначается буквой Н (от слова Helicopter). Высота буквы составляет 2–3 м, ширина 2–4 м. Толщина линии 0,45 м. Цвет — белый или желтый с черной окантовкой. Буква Н помещается в центре посадочной площадки (рис. 17.63). Границы ее маркируют линиями, образующими очертания треугольника, вершина которого направлена к северному магнитному полюсу (толщина линий 0,9 м).

Вертодромы, предназначенные для посадки вертолетов в ночное время либо в условиях плохой видимости, оборудуются светосигнальными средствами, основными из которых являются огни обозначения периметра посадочной площадки, заградительные огни, огни захода на посадку, визуальный индикатор глиссады и прожекторы подсвета посадочной площадки. Маркировка ВПП для обозначения ее периметра осуществляется огнями белого или желтого цвета. В цепи электрического питания этих огней предусмотрен реостат для регулировки яркости, чтобы исключить их слепящее действие. Боковые ряды указательных огней располагают с интервалом 30 м, выходные и ограничительные — с интервалом не более 9 м. Площадка подъема и зависания вертолета маркируется по углам буквы Н огнями кругового обзора малой интенсивности желтого или белого цвета.

Все объекты, находящиеся вблизи вертодрома и выходящие за полюсу ограничения препятствий, должны быть ограждены огнями кругового

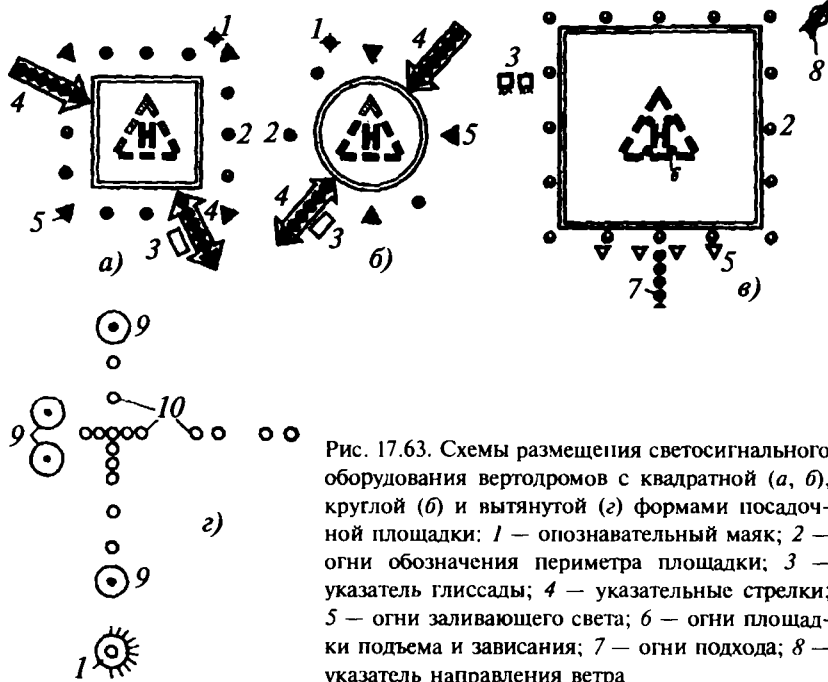


Рис. 17.63. Схемы размещения светосигнального оборудования вертодромов с квадратной (а), круглой (б) и вытянутой (в) формами посадочной площадки: 1 — опознавательный маяк; 2 — огни обозначения периметра площадки; 3 — указатель глиссады; 4 — указательные стрелки; 5 — огни заливающего света; 6 — огни площадки подъема и зависания; 7 — огни подхода; 8 — указатель направления ветра

Все объекты, находящиеся вблизи вертодрома и выходящие за полюсу ограничения препятствий, должны быть ограждены огнями кругового

го обзора красного цвета. Некоторые протяженные объекты должны быть освещены заливающим светом. Кроме того, требуется хорошее освещение самой ВПП для обеспечения глубины пространства, эффективного указания местоположения площадки и др.

Набор светосигнального оборудования зависит от интенсивности и состава движения вертолетов в ночное время. Оповестительный маяк применяется только в почных условиях. Он излучает зелено-желто-белый свет в импульсно-кодовом режиме с частотой вспышек 30 ... 60 импульсов в 1 мин (0,5–1 Гц). Вдоль каждой границы ВПП должно быть установлено не менее пяти огней желтого цвета на одинаковом расстоянии друг от друга. Для указания направления посадки могут быть установлены пять огней подхода желтого цвета. Проекторы заливающего света используют для улучшения освещенности самой площадки, мест стоянок, перронов и РД.

Надземные вертодромы размещают на крышах больших зданий, на пирсах и других береговых сооружениях. Требования к их светосигнальному оборудованию те же [17.53].

Состав светосигнального оборудования для посадки ЛА на палубы кораблей и морские буровые платформы значительно отличается от состава ССО, рассмотренного выше [17.54, 17.55].

Отечественной промышленностью созданы и серийно выпускаются несколько комплексов светосигнального оборудования для посадки самолетов на корабли и вертолетов на корабли и буровые платформы [17.56–17.58]. Они состоят из светосигнальных приборов и аппаратуры их питания и управления, в которую входят пульты управления, распределительные ящики и блоки электропитания. Их размещают на посадочных площадках, находящихся на корме корабля или буровой платформы.

Все эти комплексы выполняют одну важную задачу — уменьшают опасность посадки ЛА. Поскольку посадка самолетов и вертолетов осуществляется в море на ограниченную площадку, в светосигнальном оборудовании имеется много приборов с одинаковым функциональным назначением.

На рис. 17.64 дана фотография глассадного огня. При конструировании прибора за основу была выбрана стандартная оптическая схема зеркально-линзового типа. Наклон глассадного огня задавался требуемым углом возвышения лучей оптимальной глассадой и производился поворотным устройством в пределах $\pm 60^\circ$ в горизонтальной плоскости и от -5 до $+15^\circ$ в вертикальной.

Световой указатель дает информацию о крене посадочной площадки (ПП) в пределах $\pm 10^\circ$ и дифференте в пределах $\pm 4^\circ$. Он состоит из трех частей: блока электрического питания и дешифровки сигналов, блока светового крена и блока светового дифферента. Блок светового дифферента дает информацию о значениях и направлениях дифферента в пределах $\pm 4^\circ$, о направлении движения палубы вверх или вниз и о запрещении посадки при превышении допустимых для посадки вертолета значений дифферента. Внутри стрелок и сег-



Рис. 17.64. Глассадный огонь вертолетного комплекса

ментов под светофильтрами находятся по две лампы. Слева расположены три сегмента в виде квадратов. Верхний сегмент желтого цвета сигнализирует о движении палубы вверх, нижний, зеленого цвета, показывает движение палубы вниз, а средний сегмент красного цвета показывает запрещение посадки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 17.1. *Расчет освещения железнодорожных территорий*: Справочник. Под ред. Н.Г. Чесноковой. М. 1985.
- 17.2. *Дегтярев В.О., Корягин О.Г., Фирсанов Н.Н.* Осветительные установки железнодорожных территорий. М. 1987.
- 17.3. *ОСТ 32.120-98.* Нормы искусственного освещения объектов железнодорожного транспорта. М. 1998.
- 17.4. *Рекомендации по улучшению условий труда по освещению на объектах железнодорожного транспорта на основе анализа современных отечественных и зарубежных осветительных приборов.* ГУП ВНИИЖТ МПС РФ. М. 2002.
- 17.5. *Поплавский А.Н., Краснов Б.Д., Недачин В.В.* Стационарная электроэнергетика железнодорожного узла. М. 1988.
- 17.6. *Поплавский А.Н.* Электроэнергетика предприятий железнодорожного транспорта. М. 1981.
- 17.7. *ГОСТ 12.2.056-81** с изменениями 1, 2, 3: ССБТ. Электровозы и тепловозы колес 1520 мм. Требования безопасности. М. 2001.
- 17.8. *Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации ЦРБ-756* от 26.05.2000 г. М. 2000.
- 17.9. *Инструкция по сигнализации на железных дорогах Российской Федерации ЦРБ-757* от 26.05.2000 г. М. 2000.
- 17.10. *ГОСТ 8442-85**. Знаки путевые и сигнальные железных дорог.
- 17.11. *Общий курс и Правила технической эксплуатации железных дорог.* Ред. М.А. Буканов, А.К. Второв, В.Б. Кантор и др. М. 1984.
- 17.12. *Стенанов Н.М., Новиков М.А.* Автоматическая сигнализация на переездах и искусственных сооружениях. М. 1982.

- 17.13. *ГОСТ 24179-80** Е. Светофильтры. Светофильтры-линзы, линзы, рассеиватели и отклоняющие вставки стеклянные для сигнальных приборов железнодорожного транспорта. Технические условия.
- 17.14. *Батусов С.В.* Светосигнальные установки. М. 1979.
- 17.15. *The IESNA lighting handbook*. Ninth Edition. Illuminating Engineering Society of North America. 2000.
- 17.16. *Малинский В.Ф.* Улучшение световой сигнализации на железнодорожном транспорте. М. 1970.
- 17.17. *Малинский В.Ф.* Улучшение видимости сигнальных огней светофоров в кривых участках пути. М. 1966.
- 17.18. *Руководство по определению категорий и классов пожаро- и взрывоопасных основных производств предприятий и объектов железнодорожного транспорта.* М. 1977.
- 17.19. *Харитонова Н.И.* Инженерные методы расчета общего локализованного и равномерного освещения основных цехов депо и заводов по ремонту подвижного состава. Тр. ВНИИЖТ. Улучшение условий и повышение безопасности труда на железнодорожном транспорте. М. 1987.
- 17.20. *ГОСТ 24378-80** Е. Краны мостовые электрические. Технические условия.
- 17.21. *Айзенберг Ю.Б., Кроль Ц.И., Фаермарк М.А.* Инструкция по рациональному использованию электроэнергии и снижению затрат в промышленных установках (Внутреннее освещение). Светотехника. 1981. № 5.
- 17.22. *Барун В.В., Левитин К.М.* Светотехнические критерии оценки эффективности противотуманных фар. Светотехника. 1996. № 9.
- 17.23. *Скобелев В.М.* Световые приборы автомобилей и тракторов. Под ред. Ю.М. Галкина. М.: Энергоиздат. 1981.
- 17.24. *Левитин К.М.* Безопасность движения автомобилей в условиях ограниченной видимости. — 2-е изд., перераб. и доп. М.: Транспорт. 1986.
- 17.25. *Bockelmann, Werner: Auge-Brille-Auto*, Springer Verlag ISBN 3-540-16429-4.
- 17.26. *Hella KG*. Firmenschriften.
- 17.27. *Proceedings of the International symposiums on Progress in Automobile Lighting (PAL 1997, 1999, 2001, 2003)*. Darmstadt University of Technology. Published by H.-J. Schmidt-Clausen.
- 17.28. *Europäische Geeishat Richtlinie E 76/756 EWG*.
- 17.29. *Hamm M. und and*. Elektrik und Elektronik für Kraftfahrzeuge. Lichttechnik. Technische Unterrichtung. Bosch. Ausgabe, 98/99.
- 17.30. *NHTSA, FMVSS 108*.
- 17.31. *Kraftfahrtechnisches Taschenbuch*. Bosch. Chefred: H. Bauer. VDI-Verl., 1995, 2003.
- 17.32. *Boch*. Veröffentlichungen des früheren K2-Bereiches.
- 17.33. *ATZ*, diverse Veröffentlichungen auch zu lichttechnischen Themen, Technische Optik.
- 17.34. *SAE*. Jährliche Vorträge auch zu lichttechnischen Themen.
- 17.35. *Osram*, Firmenschriften.
- 17.36. *Philips*, Forschungsberichte.
- 17.37. *La vision*. «Auto concept», 2000. № 29 (Mars-Avril).
- 17.38. *Приложение 14 к Конвенции о международной гражданской авиации. Аэродромы. Том I. Проектирование и эксплуатация аэродромов.* Изд. 3. ИКАО. Монреаль. Июль 1999 г.
- 17.39. *Руководство по проектированию аэродромов. Часть 4. Визуальные средства.* Изд. 3. 1993. Нормы годности к эксплуатации аэродромного оборудования. НГЭО-91. Воздушный транспорт. 1991.
- 17.40. *Блохин В.И.* Основы проектирования аэропортов. М.: Транспорт. 1985.
- 17.41. *Блохин В.И., Белинский И.А., Циприанович И.В., Билеуш А.И.* Аэродромы гражданской авиации (вертикальная планировка, водоотвод и дренаж, аэродромные покрытия). М.: Воздушный транспорт. 1996.
- 17.42. *Горецкий Л.И., Белинский И.А., Волков Ю.Н.* и др. Эксплуатация аэродромов. Справочник. Под ред. Л.И. Горецкого. М.: Транспорт. 1990.
- 17.43. *Ведомственные строительные нормы проектирования светосигнального и электрического оборудования систем посадки воздушных судов в аэропортах ГА (ВСН 8-86)*. М.: Воздушный транспорт. 1986.
- 17.44. *Светоосграждение высотных препятствий.* Инструктивные указания по проектированию электропромышленных установок. М.: Энергоатомиздат. 1989. № 2.
- 17.45. *The IESNA LIGHTING HANDBOOK*. Ninth Edition. Illuminating society of North America. 2000.
- 17.46. *Электросветосигнальное оборудование аэродромов.* Фрид Ю.В., Величко Ю.К., Козлов В.Д. и др. М.: Транспорт. 1988.
- 17.47. *Ашфорд Н., Райт П.Х.* Проектирование аэропортов. М.: Транспорт. 1988.
- 17.48. *Сенилов Г.Н., Родионов Л.В., Ширшов Л.Г.* Расчет и эксплуатация светотехнических импульсных установок и источников питания. М.: Энергоатомиздат. 1989.
- 17.49. *Басов Ю.Г.* Светосигнальные устройства. М.: Транспорт. 1993.
- 17.50. *Басов Ю.Г. Раквишвили А.Г., Сысун В.В.* Заградительные огни со светодиодами. Светотехника. 2002.
- 17.51. *Лазерная система посадки самолетов «Глиссада».* Квантовая электроника. 1978. Т. 5.
- 17.52. *Зуев В.Е., Фадеев В.Я.* Лазерные навигационные устройства. М.: Радио и связь. 1987.
- 17.53. *Слободян С.М., Цупин А.А.* Лазерные навигационные системы автономных транспортных средств. Зарубежная радиоэлектроника. 1988. № 6.
- 17.54. *Аэродромы.* Приложение 14 к Конвенции о международной гражданской авиации. Том II. Вертодромы. Изд. 2. Июль 1995.
- 17.55. *Лящукова С.М.* Светотехника на авиационном транспорте. В кн. Справочная книга по светотехнике. М.: Энергоатомиздат. 1995 (под ред. Ю.Б. Айзенберга).
- 17.56. *Басов Ю.Г., Насонов Е.В., Пирогов В.Е.* Комплекс светосигнального оборудования для гражданских вертодромов. Светотехника. 1987. № 2.
- 17.57. *Басов Ю.Г., Бибаев Е.Ю., Насонов Е.В.* Комплекс светосигнального оборудования для посадки вертолетов на плавучие буровые платформы. Светотехника. 1992. № 4.
- 17.58. *Басов Ю.Г.* Светосигнальное оборудование вертодромов. Светотехника. 1990. № 11.

ЕСТЕСТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ ЗДАНИЙ

18.1. ГИГИЕНИЧЕСКАЯ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ ЕСТЕСТВЕННОГО СВЕТА

В настоящее время во всем мире признана гигиеническая и энергетическая роль естественного света. Все большее понимание находит также и экологическое значение естественного света.

Там, где это возможно по технологическим соображениям, в зданиях применяются системы естественного освещения, которые, с развитием технических возможностей, позволяют избежать больших теплопотерь и теплопоступлений, защитить помещения от наружных шумов и сохранить все преимущества естественного света для человека.

Механизмы фотоэнергетического действия естественного и искусственного света на человеческий организм рассматриваются в разделе 20. Они еще не полностью изучены, но уже сейчас можно сказать, что естественный свет помимо формирования зрительного восприятия, имеет важное, чисто биологическое значение для здоровья и самочувствия человека. Естественный свет и его ритм в течение суток и в годовом цикле играет доминирующую роль в контроле биологических часов, а также суточных и сезонных физиологических и психологических ритмов. Свет оказывает непосредственное стимулирующее воздействие на настроение. В первую очередь это относится к естественному свету [18.1].

Опыт работы в помещениях без световых проемов показал, что зрительное отключение человека от внешней среды угнетающе сказывается на его психике и уменьшает производительность труда. Специальными исследованиями установлено, что для обеспечения полноценной световой среды в помещениях с постоянным пребыванием людей в них должно устраиваться естественное освещение. Несмотря на то, что решение определенных зрительных задач может быть достигнуто с помощью одного искусственного освещения, общая эффективность освещения дополнительно определяется воздействием света на психику человека и тонус его нервной системы. Поэтому роль естественного света в помещении очень велика.

Наличие окон в помещении позволяет человеку получать информацию из внешней среды, позволяет избежать ощущения замкнутого пространства. Однако в больших помещениях, таких как производственные цеха, выставочные залы и т.п. внутренней информации вполне достаточно, чтобы избежать клаустрофобии. По-

этому следует говорить о минимально необходимой информации из внешней среды, которая нужна человеку.

Опросы рабочих показывают, что в таких помещениях для человека достаточно знания о состоянии погоды и о времени дня, для того чтобы не чувствовать себя оторванным от внешней среды и не потерять чувства времени и психологического комфорта, связанного с этими факторами. Такая информация может быть получена и с помощью систем верхнего естественного освещения.

К таким же выводам пришли специалисты в области инженерной психологии, исследовавшие условия труда в так называемых «ландшафтных» бюро. Эти помещения имеют свободную планировку при глубине более 12 м и небольшой высоте (около 3 м). Возможность бросить хотя бы беглый взгляд через окно и получить информацию о времени и погоде обеспечивает положительную оценку световой среды в помещении, хотя естественная освещенность в глубине помещения совершенно недостаточна и приходится постоянно пользоваться искусственным освещением [18.2].

Большое психофизиологическое влияние на человека оказывает динамика естественного света как в дневном и годовом цикле, так и в течение коротких промежутков времени. Смена солнечного и диффузного освещения в зависимости от состояния облачности, смена спектрального состава естественного света, положительное воздействие непрерывного спектра естественного света оказывают благоприятное воздействие на психологическое и физиологическое состояние человека, снижают наличие мелатонина (гормон сна) при повышении освещенности и увеличивают уровень кортизола, способствующего активности и бодрости [18.1]. Это же подтверждают исследования влияния динамики освещенности на производительность зрительной работы [18.3]. Результаты этих исследований также подтвердили благоприятное влияние естественного света на производительность труда [18.4].

Энергетический кризис и повсеместный рост цен на электроэнергию и энергоносители заставил понять роль естественного света как важнейшего источника энергетических ресурсов. Рациональное использование естественного света в зданиях в настоящее время рассматривается как важный фактор экономии электроэнергии. При этом необходим комплексный подход к проектированию светопроемов. Современная техника способна создавать эффективные конструкции светопроемов с повышенным сопротивлением теплопередаче, с хорошими теплоотражающими свойствами, с хорошей звукоизоляцией. Несмотря на это, они остаются

основным источником теплопотерь и теплопоступлений в здании. Поэтому их тип, форму и размеры следует выбирать с учетом как экономии энергии на освещение, так и с учетом затрат энергии на восполнение теплопотерь зимой и ликвидацию теплопоступлений через светопроемы летом, с учетом строительного решения здания и климата местности.

При проектировании естественного освещения зданий учитываются следующие факторы:

- ощущение и поведение человека в зависимости от естественного освещения;
- действие естественного света на различные материалы, включая мебель, предметы искусства, книги, растения, продукты питания и т.п.;
- рельеф местности, соседние здания и световой климат;
- использование световых проемов с повышенной световой активностью (зенитные фонари, крупноразмерные светопропускающие изделия, стеклопакеты и заполнения беспереpletного типа);
- применение полых световодов для естественного освещения помещений, расположенных в глубине широких зданий, на нижних этажах и в подвалах;
- разработка специальных оптических устройств, в том числе специальных голографических пленок, для улавливания солнечного света и перераспределения его в глубину помещений;
- проектирование систем естественного света с учетом автоматического регулирования дополнительного искусственного освещения.

Опыт эксплуатации зданий, которые были спроектированы с учетом этих положений, показывает, что за счет более полного использования естественного освещения достигается экономия энергии на искусственное освещение от 20 до 50%.

18.2. СВЕТОВОЙ КЛИМАТ МЕСТНОСТИ

Главным источником естественного света является Солнце. Земная атмосфера рассеивает солнечные лучи за счет водяного пара, частичек льда на большой высоте, пыли и различных газов и других загрязнений, поступающих в воздух в результате деятельности человека. Дневное и годовое движение Солнца, точно определяемое астрономами, позволяет рассчитать уровни естественной освещенности на границе атмосферы, создаваемые глобальным солнечным излучением. На них накладываются в достаточной степени непредсказуемые условия погоды, локальных загрязнений, характер рельефа и альbedo подстилающей поверхности.

Прямые систематические измерения естественной освещенности на специально оборудованных метеостанциях, а также систематические измерения солнечной радиации на актинометрических станциях с последующим пересчетом солнечной радиации в освещенность с помощью световых эквивалентов солнечной радиации, позволили составить статистически обоснованные значения рассеянной и суммарной (рассеянная + прямая) освещенности для многих городов России и стран СНГ по часам суток на 15 число каждого

месяца. Эти данные собраны в различных справочниках [18.5, 18.6]. По этим данным составлена таблица групп административных районов по ресурсам светового климата, приведенная в приложении Д к СНиП 23-05-95* (Естественное и искусственное освещение) [18.7]. Для этих групп районов в СНиП приводятся значения коэффициентов светового климата, на которые следует умножать нормируемые значения КЕО.

На рис. 18.1 приведены графики дневного хода рассеянной освещенности на горизонтальной открытой поверхности на 15 число каждого месяца в г. Москве, представляющие собой статистическую обработку многолетних натуральных измерений. Эти графики могут быть использованы для определения времени действия естественного и искусственного освещения (см. п. 18.11).

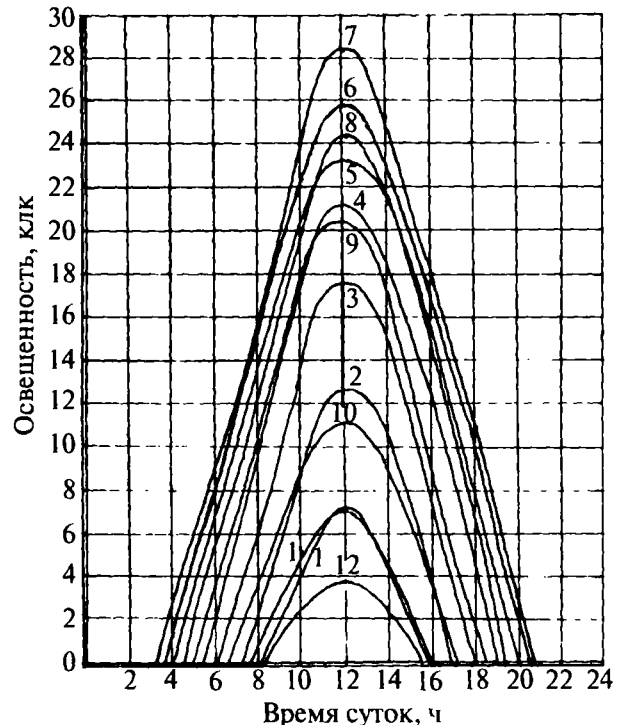


Рис. 18.1. Графики дневного хода паружной диффузной естественной освещенности на 15-е число каждого из месяцев года в г. Москве

Другим важным фактором, учитываемым в расчетах естественной освещенности, является распределение яркости по небосводу. До сих пор основным при расчетах естественного освещения является пасмурный небосвод, стандартизованный Международной комиссией по освещению (МКО). Распределение яркости такого небосвода является кругосимметричным и изменяется только по меридиану. Этот закон был предложен классиками светотехники Р. Муном и Д. Спенсер (рис. 18.2) и может быть выражен следующей формулой:

$$L_{\theta} = L_z(1 + 2 \sin \theta) / 3, \quad (18.1)$$

где L_{θ} — яркость неба в точке под углом к горизонту; L_z — яркость неба в зените.

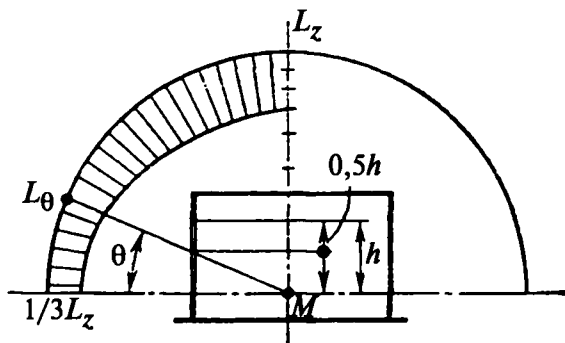


Рис. 18.2. Схема неравномерного распределения яркости пасмурного неба МКО

Для районов с преобладанием ясного неба предлагается стандартная модель ясного неба МКО, разработанная Р. Киттлером

$$L(\xi, \alpha) = L_z \frac{(0,91 + 10e^{-3\gamma} + 0,45 \cos^2 \gamma)(1 - e^{-0,32/\cos \xi})}{(0,91 + 10e^{-3Z_0} + 0,45 \cos^2 Z_0)(1 - e^{-0,32})}, \quad (18.2)$$

где $L(\xi, \alpha)$ — яркость неба в точке со сферическими координатами ξ и α , кд/м; L_z — яркость неба в зените, кд/м; γ — угол между солнцем и точкой на небосводе p рад. (уравнение 18.3); ξ — зенитное расстояние рассматриваемой точки на небосводе, рад.; α — азимутальный угол солнца, рад.; Z_0 — зенитное расстояние солнца, рад.

Угол γ между солнцем и точкой p на небосводе определяется из выражения:

$$\gamma = \arccos(\cos Z_0 \cos \xi + \sin Z_0 \sin \xi \cos \alpha), \quad (18.3)$$

где все обозначения — те же, что и в уравнении 18.2. Углы показаны на схеме (рис. 18.3).

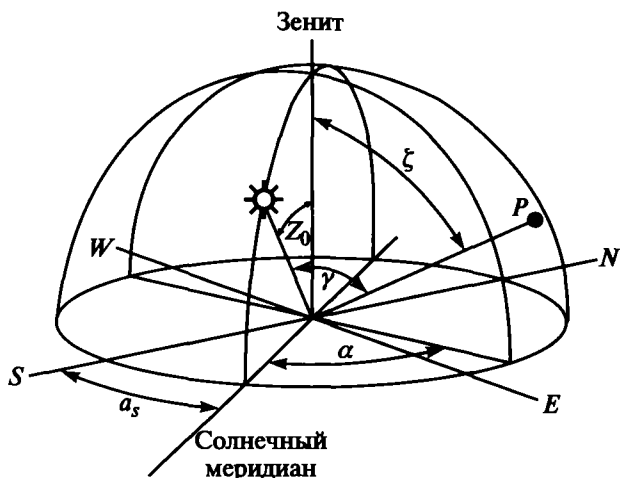


Рис. 18.3. Схема углов для определения положения солнца и расчетной точки на небосводе

Многочисленные исследования статистических условий распределения яркости по небосводу с учетом реальных условий облачности позволили создать несколько моделей частично облачного среднестатистического неба [18.8–18.10]. Такие модели представляют самостоятельный теоретический интерес. В практической области учет реальных условий на небосводе имеет значение только для расчетов времени использования естественного света в помещениях, необходимого для определения реальных затрат энергии на искусственное освещение. При этом очень важно установить, в какой момент времени и при каком положении солнца на небосводе относительно ориентации светопроема нам необходимо определить распределение яркости небосвода. В энергетических расчетах это может быть момент минимальной высоты солнца при его расположении в секторе неба, противоположном сектору ориентации светопроема, приближающийся по времени к моменту наступления критической освещенности, т.е. наружной естественной освещенности, при которой следует включать или выключать электрическое освещение.

$$E_{кр} = E_{н}^{норм} \cdot 100 / e; \quad (18.4)$$

где $E_{кр}$ — наружная критическая освещенность, лк; $E_{н}^{норм}$ — нормируемая искусственная освещенность, лк; e — величина КЕО.

Большинство исследователей приходят к единому мнению, что в статистическом плане имеет место плавный переход от распределения яркости ясного неба к распределению яркости пасмурного неба. В этом плане наиболее показательными являются выражения для частично облачного неба и пасмурного неба, записанные по подобию уравнения Р. Киттлера:

Уравнение для частично облачного неба [18.11]:

$$L(\xi, \alpha) = L_z \frac{(0,526 + 5e^{-1,5\gamma})(1 - e^{-0,80/\cos \xi})}{(0,526 + 5e^{-1,5Z_0})(1 - e^{-0,80})}. \quad (18.5)$$

Уравнение для пасмурного неба [18.11]:

$$L(\xi, \alpha) = L_z \left(0,864 \frac{e^{-0,52/\cos \xi}}{e^{-0,52}} + 0,136 \frac{1 - e^{-0,52/\cos \xi}}{e^{-0,52}} \right), \quad (18.6)$$

где все обозначения — такие же, как и в уравнении 18.2.

Эти уравнения отличаются только константами, которые основаны на среднестатистических данных для частично облачного неба. В уравнении 18.6 эти константы подобраны таким образом, чтобы было наибольшее соответствие с классическим уравнением Р. Муна и Д. Спенсер (18.1).

Приведенные формулы находят применение в практических расчетах КЕО через соответствующие коэффициенты, учитывающие распределение яркости по небосводу.

18.3. СИСТЕМЫ ЕСТЕСТВЕННОГО СВЕТА В ЗДАНИЯХ

Объемно-планировочное решение здания является главным фактором, определяющим выбор систем естественного освещения помещений.

Среди них можно выделить следующие:

– системы бокового естественного освещения, которые применяются в жилых и общественных зданиях, представляют собой обычные окна, ленточное остекление, витражи. Системы бокового естественного освещения применяются также в многопролетных производственных зданиях для освещения крайних пролетов (рис. 18.4), а также в многоэтажных производственных зданиях (рис. 18.5) и зданиях павильонного типа, имеющих один большой пролет. Такие здания применяются не только в промышленности (самолестроение, судостроение и т.п.), но и для выставочных залов, ярмарочных и торговых павильонов (рис. 18.6);

– боковые светопроемы обеспечивают высокую естественную освещенность на вертикальных поверхностях, обращенных к ним. На горизонтальной поверхности уровни освещенности меньше, чем от светопро-

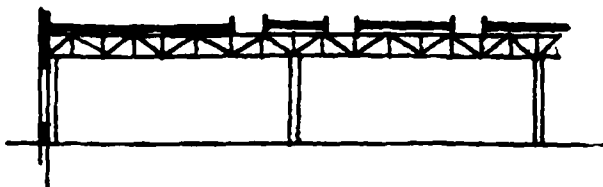


Рис. 18.4. Одноэтажные производственные здания

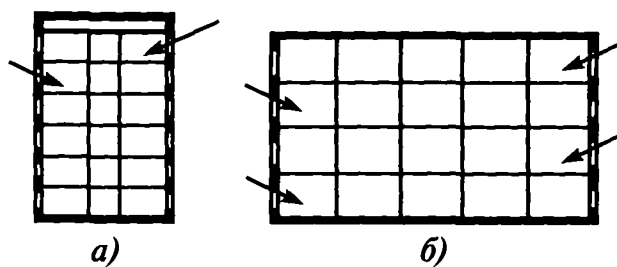


Рис. 18.5. Многоэтажные здания: а — шириной не более 18 м; б — шириной 24 м и более

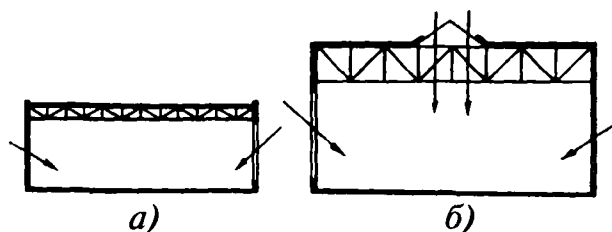


Рис. 18.6. Здания павильонного типа: а — с боковым естественным освещением; б — с комбинированным естественным освещением

емов верхнего естественного освещения. Освещенность на вертикальной поверхности, ориентированной в противоположную сторону от светопроемов, обеспечивается только за счет отраженного света и очень мала;

– системы верхнего естественного освещения, которые применяются в одноэтажных промышленных зданиях, в многоэтажных производственных зданиях для освещения средних пролетов верхнего этажа, а также в общественных зданиях (школы, библиотеки, торговые павильоны, спортивные залы, выставочные павильоны, вокзалы и др.).

Основные типы систем верхнего естественного света:

Фонари-надстройки. Среди них наиболее распространены светоаэрационные фонари. В зависимости от их формы они могут быть прямоугольными (или П-образными), трапецидальными или М-образными (рис. 18.7). Из-за невысокой светоактивности таких

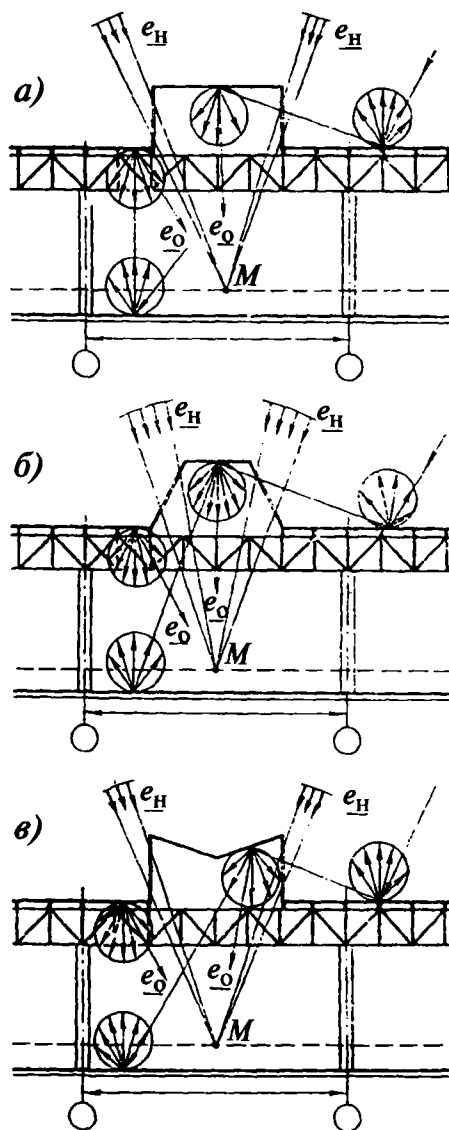


Рис. 18.7. Фонари-надстройки: а — П-образные; б — трапецидальные; в) М-образные

фонарей естественная освещенность может соответствовать только требованиям для зрительной работы невысокой точности. Благодаря двухстороннему вертикальному расположению остекления, обеспечивается удовлетворительное соотношение между освещенностями на вертикальной и горизонтальной поверхностях. Для уменьшения инсоляции помещений остекленные фонарей ориентируют на север-юг. Этот тип систем естественного освещения применяется в основном для производств с повышенной влажностью и значительными тепловыделениями. Использование таких фонарей для аэрации приводит к быстрому загрязнению остекления, т.к. частицы пыли в смеси с влагой и другими выделениями подхватываются потоками воздуха и осаждаются на стекле. Поэтому функции освещения и аэрации в таких фонарях следует разделять, применяя отдельно секции таких фонарей для аэрации и отдельно секции с неоткрывающимся остеклением только для освещения.

В фонарях-надстройках большое значение имеет свет, отраженный от прилегающих участков кровли на потолок фонаря. Высокая яркость потолка фонаря при очень светлой кровле может в 1,5 раза увеличить освещенность в зоне рабочей поверхности под фонарем.

Зенитные фонари. Эти фонари обладают наибольшей светоактивностью. Зенитные фонари традиционных типов целесообразно применять в северных районах и в районах с преобладанием пасмурного облачного неба, потому что они обладают существенным недостатком — почти беспрепятственно пропускают прямые солнечные лучи внутрь производственных цехов. Вследствие высокой светоактивности зенитные фонари применяют для всех разрядов зрительных работ. Естественная освещенность от зенитных фонарей на горизонтальной плоскости обычно в 1,5–2 раза выше, чем на вертикальных плоскостях. Это необходимо учитывать при проектировании. Кроме того, при проектировании необходимо обязательно учитывать расположение коробов, труб и других коммуникаций, проходящих в межферменном пространстве, как правило, во всех производственных зданиях (см. рис. 18.8 и 18.9).

Зенитные фонари могут быть трех типов:

Зенитные ленточные (рис. 18.8). Как правило, они располагаются вдоль пролета. В зависимости от шири-



Рис. 18.8. Зенитные ленточные фонари (вид изнутри)

ны они могут иметь различные конструкции. Остекление таких фонарей может быть одинарным, двойным или тройным в зависимости от климата местности. Наклон остекления от 15° при ширине фонаря 1,5–3,0 м до 30° при большей их ширине. Остекление, обращенное на юг, должно выполняться с использованием солнцезащитных стекол. Отраженный свет от кровли в случае применения зенитных фонарей такого типа практического значения не имеет.

Зенитные панельные (рис. 18.9). Эти фонари имеют размеры панелей покрытия и могут располагаться в линию или в шахматном порядке. Они обеспечивают высокую равномерность распределения освещенности по рабочей поверхности помещения. Наклон остекления — до 15° . Отраженный свет от кровли на внутренние поверхности фонаря практического значения не имеет. В районах с избыточной солнечной радиацией остекление таких фонарей должно быть солнцезащитным или должны применяться специальные солнцезащитные устройства в виде сотовых пластин.

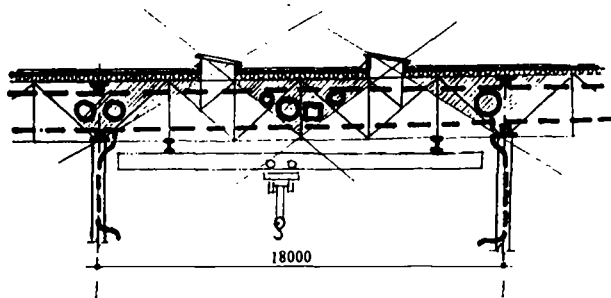


Рис. 18.9. Зенитные точечные и панельные фонари. На схеме изображено рекомендуемое расположение верхних коммуникаций, не создающее затенения рабочей плоскости

Зенитные точечные (рис. 18.10). Эти фонари устанавливаются над точечными проемами в покрытии, изготавливаются на заводах как отдельные светотехнические изделия. Они имеют, как правило, небольшие размеры — от 1×1 м до 3×3 м, могут быть квадратными в

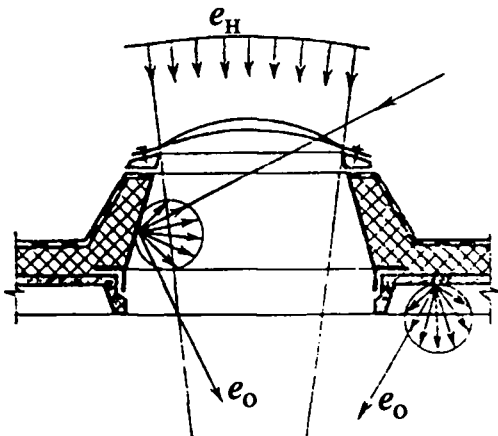


Рис. 18.10. Зенитные точечные фонари (купола с относительно глубокими шахтами-стаканами)

плане, прямоугольными или круглыми. Фонари состоят из «стакана», светопрозрачного заполнения и системы крепления этих частей между собой, обеспечивающей надежную герметизацию и утепление. В некоторых случаях такие фонари оснащаются системами дистанционного открывания и используются для аэрации (рис. 18.11). При равномерном расположении таких фонарей в покрытии достигается высокая равномерность освещенности. Освещенность на рабочей плоскости в большой степени зависит от отраженного света от стенок «стакана» фонаря [18.12], что необходимо учитывать при расчетах КЕО. В районах с избыточной солнечной радиацией возможно применение солнцезащитного светопрозрачного заполнения или увеличение высоты стенок «стакана», в том числе и с помощью полых световодов [18.13].



Рис. 18.11. Зенитные точечные купола с системами дистанционного открывания для аэрации

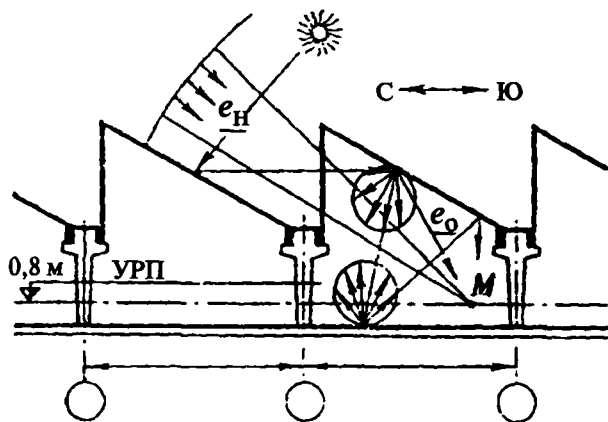


Рис. 18.12. Шеды

Шеды (рис. 18.12). Эти фонари являются частью покрытия здания и могут выполняться как в железобетонных, так и в металлических конструкциях. Естественно освещение в таких зданиях обычно обеспечивается для высоких разрядов зрительных работ, причем освещенность на вертикальных поверхностях, обращенных к остеклению фонаря, обычно в 2–3 раза выше, чем на вертикальных поверхностях, ориентированных в противоположную сторону. Соотношение освещенности на вертикальной плоскости, обращенной в сторону фонаря, к горизонтальной освещенности обычно близко к единице. Такие системы наиболее целесообразны для ткацких и других цехов текстильной промышленности, где объекты зрительной работы расположены как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскости. Пилообразная форма покрытия шедов создает опасность образования снеговых мешков в нижней части покрытия, что приводит к протечкам и к неравномерной нагрузке на покрытие. Поэтому применение шедов в многоснежных районах возможно только в крайнем случае. Наиболее целесообразно применение шедов в малоснежных районах с преобладанием солнечных дней. В этом случае ориентация светопроемов на север обеспечит защиту от солнечной радиации и высокую освещенность за счет прямого света неба и отраженного света от кровли соседнего шеда.

18.4. СВЕТОПРОПУСКАЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ ДЛЯ СВЕТОВЫХ ПРОЕМОВ

Применение стекла в современном строительстве постоянно растет. Кроме традиционных типов светопроемов, таких как окна и фонари верхнего естественного освещения в настоящее время широко распространение получили большие плоскости остекленных фасадов, светопрозрачные покрытия атриумов, остекленные оранжереи и зимние сады, формирующие современную архитектуру зданий. Эти новые архитектурные приемы стали возможны вследствие качественного скачка в производстве новых прочных светопропускающих материалов, обладающих не только высоким светопропусканием, но и высокими теплозащитными и шумозащитными качествами.

Традиционным светопропускающим материалом является оконное стекло, производящееся методом вытяжки («тянутое стекло») или проката жидкой стеклянной массы между вальцами («прокатное стекло»). Для изготовления витринных и зеркальных стекол тянутое и прокатное стекло подвергают шлифовке и полировке. Современным способом производства листового стекла является флоат-метод, разработанный в 1959 г. английским изобретателем Аластером Пиклингтоном. По качеству поверхности такое стекло не уступает полированному, при этом процесс шлифовки и полировки отпадает.

Кроме обычных прозрачных стекол в строительстве применяются специальные стекла — стекла, окрашенные в массу, и стекла со специальным покрытием под общим названием «низкоэмиссионные стекла» [18.16].

Окрашенное в массу стекло изготавливается путем добавления к обычной стеклянной массе различных веществ для получения желаемого цвета (промежуточный

между бронзовым и коричневым, серый, зеленый, синий и др.). Такие стекла известны как солнцезащитные или абсорбирующие, поскольку они поглощают больше солнечной энергии и света, чем обычные прозрачные. Наряду с преимуществами такого стекла, позволяющего реализовать различные современные архитектурные решения фасадов, оно имеет и существенные недостатки, связанные с пониженным светопропусканием и нагревом стекла за счет поглощения солнечной радиации. Это следует учитывать при проектировании светопроемов, выбирая их размеры, форму и конструкцию.

Применение низкоэмиссионных стекол позволяет решить широкий спектр архитектурно-строительных задач и является одним из наиболее перспективных направлений в мировой стекольной индустрии. Основным отличием таких стекол является напыление на поверхность флоат-стекла светопропускающего покрытия из цветных металлов или полупроводниковых оксидов, содержащего свободные электроны. За счет этого могут быть получены стекла для выполнения следующих функций:

- сокращение теплопотерь из помещения за счет отражения тепловых волн в инфракрасном диапазоне;
- отражение солнечной радиации;
- защита помещений от электромагнитного излучения и радиоволн;
- отражение излучения в видимом диапазоне.

Напыление может наноситься как на прозрачные стекла, так и на стекла, окрашенные в массу. При этом возможно получение таких специфических материалов, как электрообогреваемые стекла или «антистатические» стекла (защищенные от накопления статического электричества). Низкоэмиссионные стекла могут быть с «твердым покрытием» — «k-стекло» и с «мягким покрытием» — «i-стекло». Принципиальный состав слоев «твердого» и «мягкого» покрытий приведен на рис. 18.13.

Твердые покрытия устойчивы к воздействию погодных условий. В отличие от них, мягкие покрытия ограничено устойчивы к погодным и температурным воздействиям. Однако при установке в стеклонакете — по-

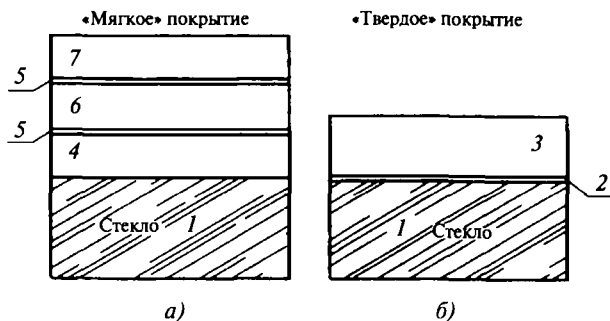


Рис. 18.13. Состав слоев современных низкоэмиссионных покрытий стекла: а — «мягкое» покрытие; б — «твердое» покрытие; 1 — флоат-стекло; 2 — слой Na⁺, блокирующий диффузию; 3 — слой оксида олова SnO₂:F; 4 — адгезионный слой; 5 — блокирующие (фиксирующие) слои; 6 — слой серебра; 7 — покрывающий слой

крытием в сторону воздушной камеры — они имеют долговечность, сопоставимую с твердыми покрытиями.

При использовании стекла в светопрозрачных конструкциях с повышенными требованиями к безопасности (стеклянные крыши, наклонные остекленные плоскости фасадов (рис. 18.14 и 18.15) и т.п.) применяются *закаленные* или *ламинированные* стекла.



Рис. 18.14. Стеклокрыши и фасады



Рис. 18.15. Наклонная стеклянная плоскость фасада

Закалка, подобно закалке стали, создает в стекле систему напряжений, обеспечивающую его высокую механическую и термическую прочность по сравнению с обычным стеклом. Оно может воспринимать достаточно большие растягивающие напряжения и работать на изгиб, выдерживая на поверхности нагрузку от людей и оборудования. При разрушении закаленное стекло распадается на мелкие округлой формы осколки, которые не имеют острых режущих граней. Максимальные размеры закаленного стекла различны. Характерным является лист размером $2,4 \times 4,8$ м при толщине 19 мм.

Ламинирование — изготовление многослойных конструкций из стекла с прослойками между стекол из поливиниловой пленки или специальной смолы. Толщина ламинированных стекол зависит от количества и толщины слоев стекла, а также от толщины ламинирующих слоев. Наиболее распространенным типом является так называемый «ТРИПЛЕКС» (два стекла и промежуточный слой). Основным достоинством многослойных конструкций из стекла является безопасность при разрушении, т.к. осколки остаются «висеть» на эластичной пленке.

Стекла, полученные методом жидкостного ламинирования, отличаются от стекол, заламинированных при помощи пленки, как самим способом производства, так и свойствами, которые приобретает готовое изделие. Среди них можно отметить следующие:

- одно или оба стекла могут иметь шероховатую поверхность;
- можно использовать низкоэмиссионные стекла с покрытием, тогда как горячее ламинирование с помощью пленки может испортить покрытие;
- можно использовать очень толстые стекла.

Многослойные стекла, полученные с помощью обычного жидкостного ламинирования, мало отличаются с точки зрения пропускания видимого света от обыкновенного прозрачного стекла. За счет добавления пигментов в ламинирующую жидкость можно получить цветные жидкостноламинированные стекла.

При необходимости получения выразительных архитектурных решений стекло может быть подвергнуто *молированию* — изгибу. Для строительства, как правило, требуется выпускать гнутые стекла малыми и кратковременно выпускаемыми сериями, поэтому такие гнутые стеклянные элементы являются дорогими.

Стеклопакетом называется элемент, в котором два или более стекол герметично соединяются друг с другом при помощи одной или двух дистанционных рамок и внутреннего и внешнего герметиков. Между стеклами образуется одна или две полости — камеры, заполненные осушенным воздухом или другими газами (аргоном, криптоном, гексофторидом серы). Первые два газа применяются для улучшения теплоизоляции, последний — для улучшения звукоизоляции стеклопакета. Стеклопакеты различной конструкции приведены на рис. 18.16.

В настоящее время налаживается производство стеклопакетов с вакуумом в камерах. Для того чтобы стекла не прижимались друг к другу, в таких стеклопа-

кетах между стеклами устанавливаются стеклянные шайбы диаметром до 0,2 мм по сетке 10×10 см. Такие стеклопакеты обладают исключительно высокими теплозащитными свойствами, но обладают также и недостатком, связанным с тем, что при прямом солнечном освещении дистанционные шайбы, невидимые при диффузном освещении, становятся заметными в виде очень мелких черных точек.

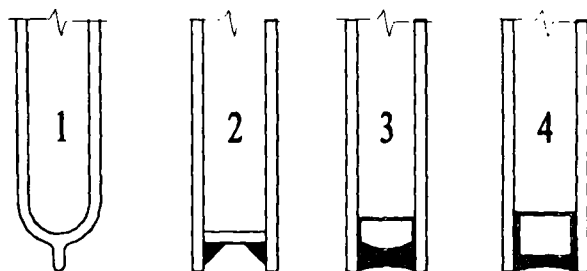


Рис. 18.16. Стеклопакеты различной конструкции: 1 — заваренный; 2 — паяный; 3 — клееный с одинарной герметизацией; 4 — клееный с двойной герметизацией

По количеству воздушных камер стеклопакеты классифицируются как однокамерные (два стекла) и двухкамерные (три стекла). На рис. 18.17 приведены примеры клееных стеклопакетов различной конструкции. В маркировке стеклопакетов указываются толщина и тип стекол, ширина дистанционной рамки, количество воздушных прослоек, а также тип газа, используемого для их заполнения.

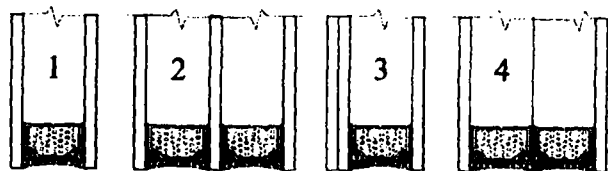


Рис. 18.17. Клееные стеклопакеты различной конструкции: 1 — однокамерный; 2 — двухкамерный; 3 — однокамерный с ламинированным защитным стеклом (триплексом); 4 — двухкамерный с перегородкой из теплоотражающей пленки

Профильное стекло представляет собой крупногабаритный элемент из стекла швеллерного или коробчатого сечения (рис. 18.18). Основная область его примене-

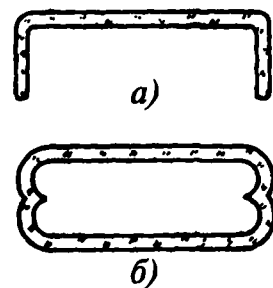


Рис. 18.18. Профильное стекло: а — стекло швеллерного сечения; б — стекло коробчатого сечения

ния в строительстве — заполнение световых проемов в производственных и общественных зданиях. Применение профильного стекла позволяет создавать бесперелетные светопропускающие конструкции. Существенным недостатком профильного стекла является невысокая светопрозрачность, что нарушает зрительную связь человека с внешним пространством. Для обеспечения такой связи, а также для обеспечения проветривания в больших плоскостях светопроемов из профильного стекла делаются открывающиеся вставки с прозрачным остеклением.

Органическое стекло (полиметилметакрилат) по сравнению с силикатным стеклом обладает важными достоинствами — легкостью, прочностью, высоким светопропусканием, простотой обработки. Оно дает менее опасные осколки при механическом разрушении. Для изготовления светопрозрачных конструкций применяется листовое органическое стекло толщиной 3–5 мм. При нагревании ему можно придать любую изогнутую форму, которая сохраняется при охлаждении. В США и Западной Европе широко распространены зенитные фонари в виде куполов из органического стекла. В России их применение сдерживалось пожарными требованиями. Однако, как показали исследования [18.14], быстрое разрушение куполов из органического стекла при пожаре резко снижает температуру в помещении, препятствуя распространению огня. В настоящее время у нас и за рубежом производятся купольные конструкции из органического стекла для зенитных фонарей, которые могут быть одно-, двух- и трехслойными.

В видимой части спектра органическое стекло имеет пропускание 92%, в УФ — 73% (у силикатного стекла в УФ-области пропускание не превышает 8%). Это свойство позволяет использовать органическое стекло в детских, учебных, лечебно-профилактических и других зданиях.

К недостаткам органического стекла следует отнести его высокую стоимость, а также незначительное помутнение в первый период эксплуатации (около 4–5 мес.) под воздействием трения о стекло частичек пыли и под воздействием УФ-радиации. Следует отметить, что это помутнение быстро прекращается. При этом коэффициент светопропускания не становится ниже 90%. Трение частиц пыли заряжает стекло электрическим зарядом, противоположным заряду этих частиц. При этом снижается загрязнение куполов из органического стекла [18.15].

Поликарбонат — эффективный светопрозрачный материал сплошной или ячеистой структуры, обладающий гораздо меньшим коэффициентом теплопроводности по сравнению с обычным стеклом. Поэтому поликарбонат, особенно ячеистой структуры, эффективен для применения при остеклении больших поверхностей в кровле. Применение поликарбоната ячеистой структуры для остекления проемов в стенах ограничивается светорассеянием, не позволяющим обеспечить зрительный контакт с внешней средой. При применении поликарбоната, так же как и органического стекла, следует иметь в виду их большой коэффициент температурного расширения. Поэтому в переплетах плоских

элементов остекления необходимо устраивать зазоры для обеспечения возможности подвижки листов при обязательном соблюдении герметичности конструкции. Следует отметить, что большие листы поликарбоната хорошо выгибаются. Поэтому их можно применять в изогнутых конструкциях покрытий в виде цилиндрических оболочек, где эти листы будут работать наиболее эффективно.

Фотохромные стекла являются новым перспективным светопрозрачным материалом с переменным светопропусканием [18.16]. Заполнение световых проемов фотохромным стеклом в зданиях, строящихся в районах с избыточной солнечной радиацией, позволяет устранить слепящее действие солнца и уменьшить теплоступление в помещения без применения солнцезащитных устройств. Когда солнце закрыто облаками или невысоки уровни наружной освещенности в утренние или вечерние часы, фотохромное стекло пропускает максимальное количество света. При высоких уровнях наружной освещенности, а также при прямом попадании солнечных лучей на световой проем светопропускание фотохромного стекла резко уменьшается. Например, фотохромные стекла с галоидами серебра под воздействием солнечного света за 1 мин могут уменьшить светопропускание в 3–5 раз. Стоимость фотохромных стекол пока велика. Поэтому их применение в строительстве ограничено.

СВЕТОПРОЗРАЧНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

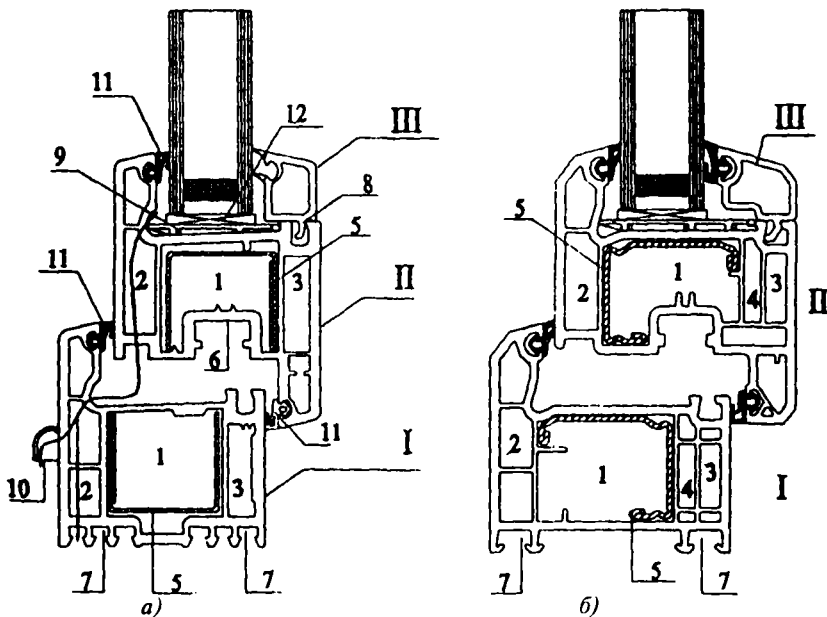
Современные светопрозрачные конструкции подразделяются на *оконные, витражные, зенитные фонари* (точечные и панельные, а также с глубокими световодными шахтами и с трубчатыми световодами), *остекленные светопрозрачные покрытия*.

Оконные конструкции. Стандартная конструкция оконного блока включает стационарную контурную обвязку — коробку (раму), подвижно закрепленные на ней элементы — переплеты (створки), а также элементы остекления (обычно в виде стеклопакета) и фурнитуру. В зависимости от площади проема и действующей ветровой нагрузки, в конструкцию коробки для обеспечения жесткости вводят промежуточные вертикальные импосты и горизонтальные поперечины. Дополнительно в оконном блоке могут быть установлены устройства для вентиляции и различные защитные экраны или жалюзи.

Коробка и переплеты выполняются из оконных профилей из поливинилхлорида (ПВХ), дерева, алюминия, стеклопластиков, а также в виде комбинированных систем (алюминий + дерево, ПВХ + алюминий). Пример конструкции оконных профилей из ПВХ показан на рис. 18.19.

По совокупности требований, предъявляемых к оконным конструкциям (доступность исходного сырья и простота обработки, химическая стойкость и удобство обслуживания, хорошие теплотехнические показатели), окна из ПВХ являются наиболее перспективными для массового строительства. Деревянные окна, трудоемкость производства которых намного выше, чем окон из ПВХ, могут рассматриваться в качестве элит-

Рис. 18.19. Пример конструкций оконных профилей из ПВХ. Комбинированная рама и створки: *a* — трехкамерная створка; *b* — четырехкамерная рама и створка; 1 — профиль коробки (рама); 11 — профиль створки (створка); 111 — штапик; 111' — штапик с экструдированным уплотнением; 1 — основная камера; 2 — дренажная камера (предкамера); 3 — камера для крепления фурнитуры; 4 — дополнительная камера для увеличения термического сопротивления; 5 — армирование; 6 — паз для крепления фурнитуры; 7 — пазы для крепления дополнительных профилей; 8 — паз для крепления штапика; 9 — наклонный фальц для отвода воды; 10 — водоотвод; 11 — уплотнение; 12 — подкладка под стеклопакет



ного направления, ориентированного на индивидуальное строительство, реставрацию старых зданий и другие строительные задачи со специальными требованиями к окнам. Перспективным можно считать применение дерево-алюминиевых окон, сочетающих в себе теплоту дерева изнутри и защитные свойства алюминия снаружи.

Витражные конструкции можно разделить на два типа. К первому типу можно отнести остекление зимних садов, небольших торговых павильонов, сплошное остекление лестничных клеток и небольших участков стен, остекление лоджий, балконов, веранд и т.п. В этих случаях оконные профили не подвержены воздействию больших статических нагрузок. Поэтому в таких конструкциях могут применяться профили из ПВХ. Алюминиевые конструкции вследствие их более высокой стоимости здесь применяются реже. Ко второму типу относятся стеклянные фасады многоэтажных административных зданий. В таких конструкциях имеют место большие статические и динамические нагрузки. Поэтому в них используются алюминиевые профили, разнообразие которых представляет широкий набор возможностей для архитекторов.

Различают стандартные фасады (рис. 18.20), которые характеризуются наличием выраженного поэлементного членения, структурные фасады (рис. 18.21), представляющие собой сложные конструктивные системы, основным архитектурным мотивом которых является сплошная стеклянная поверхность с минимально выраженным членением. При этом остекление прикрепляется к несущим элементам с помощью специального клея, а вертикальные и горизонтальные импосты находятся полностью за плоскостью остекления внутри помещения. Промежуточное положение занимают полуструктурные фасады, в которых наружу выходят алюминиевые кромки, обеспечивающие защиту краевых участков стеклопакета.

Структурные и полуструктурные системы остекленных фасадов конструктивно более сложные, чем стандартные. Однако они обладают рядом несомненных преимуществ:

- они более красивы и выразительны с архитектурной точки зрения;
- в отличие от стандартных систем, они не имеют выраженных мостиков холода, так как металлы практически не соприкасаются с наружным воздухом;
- в структурных системах все участки стеклопакета находятся в одинаковых температурных условиях, что исключает их разрушение от температурных деформаций;



Рис. 18.20. Стандартный фасад из стекла

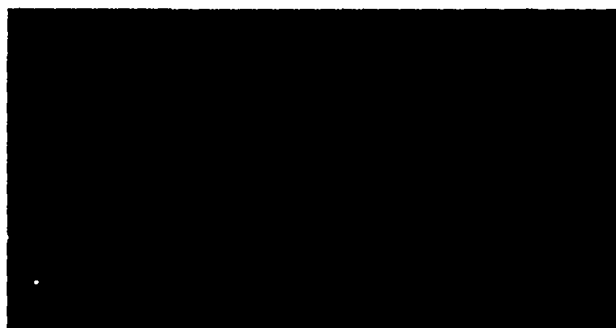


Рис. 18.21. Структурный фасад из стекла

— остекление структурных фасадов можно монтировать изнутри, что гораздо дешевле, чем монтаж стандартных фасадных систем, который можно производить только снаружи, это особенно важно в зданиях повышенной этажности и в высотных зданиях.

По сравнению со стандартными системами в структурных обеспечивается более эффективная защита от атмосферных воздействий, включая систему водоотвода.

Остекление светопрозрачных покрытий применяется в атриумах, торговых галлерейх, оранжереях. В современной архитектуре оно является излюбленным приемом. По характеру статической работы остекление светопрозрачных покрытий большой площади подобно фасадным системам. Большие нагрузки требуют применения не только прочных алюминиевых профилей, стеклопакетов с применением закаленного стекла, но и соответствующих несущих конструкций в виде стальных ригелей или ферм (рис. 18.22).

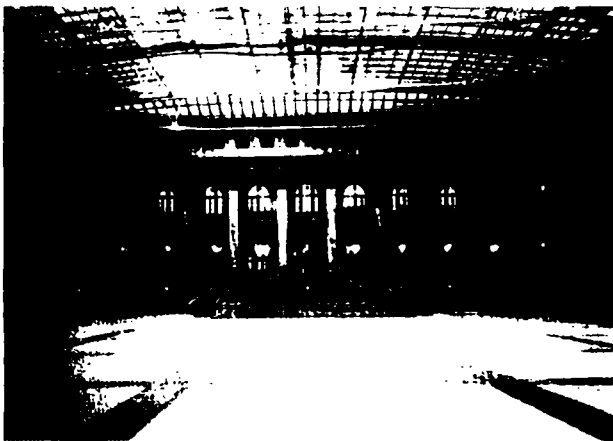


Рис. 18.22. Остекление покрытия старого Гостинного Двора в Москве

Зенитные фонари. Зенитные точечные фонари как светопрозрачные конструкции производятся на заводах и монтируются на кровле. В качестве светопрозрачного заполнения в них применяется силикатное стекло повышенной прочности (закаленное или ламинированное), органическое стекло в виде куполов. Круглые в плане купола изготавливаются диаметром от 0,5 до 2 м. В отдельных случаях применяют круглые клееные купола диаметром до 3–6 м (рис. 18.23). Прямоугольные в плане купола двойкой положительной гауссовой кривизны применяют размером от 0,5×0,5 м до 1,6×2,8 м. Купола могут быть одно- и двухслойными. Между наружной и внутренней оболочками имеется воздушная прослойка толщиной 3–5 см. Противопожарные ограничения привели к тому, что, в отличие от многих западных стран, в нашей стране появились и нашли широкое применение прямоугольные зенитные фонари со светопропускающим заполнением из стеклопакетов. Фонари такого типа применены на ряде крупнейших заводов, построенных до 1991 г.

В современных производственных зданиях, а также в зданиях школ, в административных зданиях, в музеях



Рис. 18.23. Клееные и сборные купола из органического стекла диаметром до 6 м

часто необходимо доставить естественный свет в помещения через межферменное или чердачное пространство, заполненное различными инженерными системами и коммуникациями. Современные световодные системы круглого и прямоугольного сечения позволяют провести свет через такое пространство с минимальными потерями. Исследования, проводившиеся в НИИ строительной физики еще в 70-е годы прошлого века, показали эффективность применения шахтных фонарей со стенками шахты, имеющими зеркальное отражение [18.12]. В настоящее время в США, Великобритании, Австралии, ФРГ разработаны и имеются на рынке эффективные современные световодные системы, комбинируемые с зенитными фонарями, способные провести свет от зенитного фонаря на крыше здания через чердак или межферменное пространство в рабочее помещение (рис. 18.24). Такие системы значительно сокращают теплопотери, вследствие герметичности не загрязняются внутри. Применение серебра в составе амальгамы зеркального покрытия световода позволяет сохранить спектральный состав естественного света [18.13].



Рис. 18.24. Сочетание зенитных фонарей и световодов. Проводка световода через раскопы на чердаке [18.32]

18.5. СОВМЕЩЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ ПОМЕЩЕНИЙ

Выбор параметров искусственной световой среды, длительно воздействующей на человека и существенно отличающейся по своим параметрам от естественной, необходимо увязывать с составом и режимом естественного освещения. Это особенно важно, когда естественный и искусственный свет работают совместно. Такие условия создаются в утренние и вечерние часы, когда уровни наружной естественной освещенности не достаточны для обеспечения необходимых условий работы внутри помещения, а также в глубоких помещениях с боковыми светопроемами, в зонах с недостаточным естественным освещением. В зданиях с системами верхнего естественного освещения такие условия создаются из-за сознательного уменьшения площади зенитных фонарей с целью снижения теплопотерь зимой в северных районах или с целью ограничения солнечных теплопоступлений летом в южных районах.

В зависимости от планировочного решения, геометрических пропорций и назначения помещений различают пять схем совмещения естественного освещения с искусственным (рис. 18.25).

Схема 1 (рис. 18.25, а) может применяться в небольших помещениях глубиной 6–8 м. Как правило, в рабочих кабинетах такой глубины существует небольшая зона, в которой невозможно обеспечить нормируемое значение КЕО. В этой зоне необходимо дополнительное искусственное освещение. Если источники света тщательно подобраны по спектральному составу, а осветительные приборы — по форме и расположению, то дополнительное искусственное освещение почти незаметно, и возникает впечатление, что помещение целиком освещено естественным светом. Расчеты

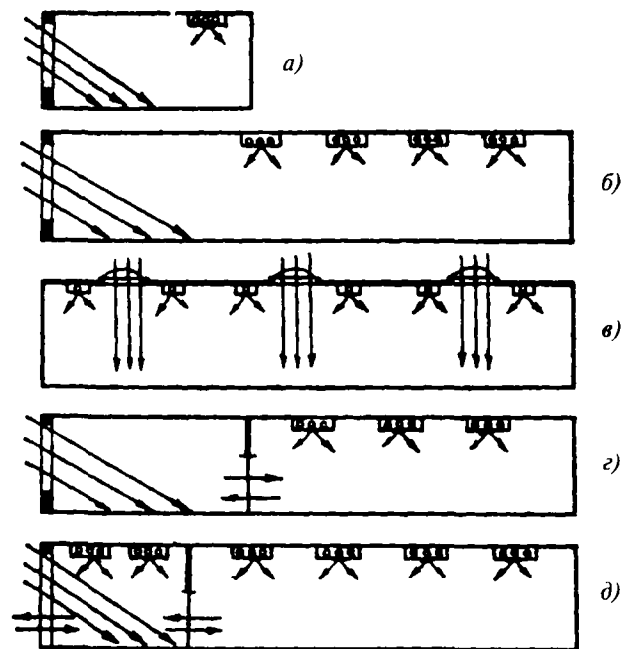


Рис. 18.25. Схемы совмещения естественного освещения с искусственным

ты показывают, что в этом случае площадь окон можно несколько уменьшить и тем самым достигнуть некоторого снижения единовременных вложений при незначительном увеличении эксплуатационных расходов. В районах с экстремальными климатическими условиями эксплуатационные расходы уменьшаются за счет снижения теплопотерь зимой и расходов на отопление в северных районах, снижения теплопоступлений и расходов на охлаждение в помещениях с кондиционированием воздуха в южных районах.

Схема 2 (рис. 18.25, б) применяется в глубоких помещениях большой площади с боковым естественным освещением. В светлое время суток достаточная естественная освещенность обеспечивается только в приоконной зоне на расстоянии не более чем 1,5 высоты от уровня рабочей поверхности до верха светопроема. Вследствие низких значений КЕО на всей остальной площади помещения возникает необходимость в искусственном освещении в течение всего рабочего времени.

Естественное освещение в таких помещениях устраивается для обеспечения зрительного контакта с внешней средой, устранения монотонности световой среды, которая возникает при одном искусственном освещении.

Схема 2 целесообразна для больших производственных помещений с боковыми светопроемами, для помещений «ландшафтных» бюро, в торговых и выставочных залах. При этом уровни освещенности на большей площади этих помещений не зависят от колебаний наружной освещенности, однако за счет колебаний освещенности в приоконной зоне не возникает ощущение монотонности световой среды. Для снижения контраста между яркими участками неба, видимыми через светопроемы, и освещенными только отраженным светом простенками и надоконными частями стены необходимо устройство постоянно действующего надоконного («гардинного») освещения. Размеры, форма и расположение проемов должны выбираться исходя из требований визуального контакта с внешней средой. Такая схема применяется в широких многоэтажных корпусах промышленных зданий, а также в общественных зданиях с атриумами. Эти здания особенно целесообразны в северных районах из-за сокращения теплопотерь через наружные ограждения здания.

Схема 3 (рис. 18.25, в) применяется в зданиях с верхним естественным освещением. Размещение осветительных приборов в этом случае должно увязываться с расположением световых проемов в покрытии. При наличии дополнительного искусственного освещения может быть экономически целесообразным увеличение неравномерности естественного освещения и снижение расчетных значений КЕО по сравнению с нормируемыми. Особенно целесообразным это может быть в районах с экстремальными климатическими условиями. Однако, как показали технико-экономические расчеты, и в условиях умеренного климата одноэтажные здания с верхним естественным освещением, в которых принята уменьшенная площадь фонарей, оказываются более экономичными, благодаря снижению капиталь-

ных затрат на покрытие и снижению эксплуатационных затрат на отопление.

Схема 4 (рис. 18.25, з) применяется в зданиях, в которых интерьер делится на две зоны: одна из зон имеет достаточное естественное освещение; другая освещается одним искусственным светом. Освещение этих различных зон интерьера при постоянном движении людей из одной зоны в другую должно быть увязано между собой по интенсивности, спектральному составу и направлению световых потоков. Важно, чтобы переход из одного помещения в другое был как можно менее заметным.

Схема 5 (рис. 18.25, д) применяется в помещениях, которые служат «световым шлюзом» между наружным пространством и интерьером, полностью лишенным естественного света (например, вестибюли бесфонарных производственных зданий, крупных торговых центров и подземных сооружений). В этом случае важным фактором является градиция интенсивности света между уровнями наружного естественного освещения и значительно более низкими уровнями в помещениях с одним искусственным освещением.

Длина помещения, которое служит транзитной зоной между интерьером и наружным пространством, должна определяться на основе средней скорости движения людей и необходимого времени для переадаптации. Устройство подобных «световых шлюзов» у входа и выхода больших зданий позволит устранить явление «светового шока», который наблюдается при выходе из помещения с относительно низкой освещенностью наружу в ясный солнечный день. Однако гораздо более важным является переход из ярко освещенного наружного пространства в помещение с одним искусственным освещением. Для этого требуется процесс двойной переадаптации, когда человек входит снаружи в относительно темное помещение (например, в гардеробно-душевой блок административно-бытового корпуса производственного предприятия). После темновой адаптации человек переходит в помещение цеха со значительно более высокими уровнями освещенности. В результате такой переадаптации яркости в помещении цеха будут казаться человеку сопоставимыми по величине с яркостями наружного пространства.

При одновременном использовании естественного и искусственного освещения к последнему предъявляются требования в отношении цветности, интенсивности и способов включения и регулирования.

В установках совмещенного освещения спектральные характеристики искусственного освещения должны быть, с одной стороны, увязаны со спектром естественного света, а с другой — соответствовать требованиям технологического процесса.

Совмещенное освещение может быть двух типов:

- постоянное дополнительное искусственное освещение;
- автоматически регулируемое совмещенное освещение.

Постоянное дополнительное искусственное освещение отличается от общего искусственного освещения только уровнем, который может быть даже выше нор-

мируемого, а также «гардинным» освещением для снижения контраста яркостей светопроемов и простенков.

Технические вопросы автоматически регулируемого совмещенного освещения подробно рассмотрены в разделе 4. При проектировании естественного освещения вопросы автоматического регулирования дополнительного искусственного освещения рассматриваются с точки зрения выбора рациональной системы естественного освещения. При этом экономически целесообразные размеры светопроемов могут значительно отличаться от требуемых для обеспечения нормируемых значений КЕО.

Автоматически регулируемое совмещенное освещение может быть дискретным (ступенчатым) и непрерывным (плавным) (см. раздел 4).

Дискретное автоматически регулируемое совмещенное освещение заключается в отключении рядов светильников, параллельных окнам, при повышении наружной освещенности и во включении этих рядов при уменьшении наружной освещенности. Эти включения и отключения должны происходить в строгом соответствии с изменением зоны с достаточной естественной освещенностью, т.е. там, где уровни естественной освещенности будут равны критическим [18.17]. В помещениях с системой верхнего естественного освещения дискретная система заключается в автоматическом включении и отключении нескольких групп или рядов светильников, каждая из которых создаст на рабочей поверхности одинаковые уровни освещенности:

$$E_i = E_{\text{н}}^{\text{норм}} / n, \quad (18.7)$$

где n — количество таких групп. Критическая освещенность для включения или отключения i -й группы светильников при величине КЕО в помещении, равном e , определяется по формуле:

$$E_{i,\text{кр}} = 100E_i / e \text{ (лк)}. \quad (18.8)$$

Технико-экономические расчеты показывают, что с помощью дискретной системы автоматического регулирования можно получить экономию электроэнергии на освещение в среднем около 25% в зависимости от светового климата местности и от нормируемого уровня искусственной освещенности по сравнению с ручным включением всей системы искусственного освещения. Причем, например, при равномерном верхнем естественном освещении максимальная экономия электроэнергии достигается при уровне нормируемой искусственной освещенности, равном 750 лк во всех светоклиматических районах. При больших или меньших нормируемых уровнях искусственной освещенности экономия уменьшается [18.17].

Непрерывное автоматически регулируемое совмещенное освещение является более сложной, но и более эффективной системой. Экономия электроэнергии при применении такой системы в среднем достигает 35–40%. Однако главным преимуществом обоих видов автоматически регулируемого совмещенного освещения является повышение комфортности светового режима, исключение таких ситуаций, когда освещенность на рабочих местах будет ниже нормы из-за несвоевременного включения искусственного освещения.

18.6. НОРМИРОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННОГО И СОВМЕЩЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Естественное освещение, как правило, предусматривается во всех помещениях с постоянным пребыванием людей. Гигиенические требования к естественному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий регламентируются Санитарными правилами и Нормами СанПиН [18.18] и соответствующей главой Строительных норм и Правил СНиП [18.7]. Нормативные требования по естественному и совмещенному освещению промышленных зданий регламентируются этой же главой СНиП.

Основные принципы нормирования естественного освещения приведены в разделе седьмом Справочной книги.

В силу большого разнообразия условий естественного освещения на территории страны при одном и том же значении КЕО в разных географических пунктах внутри помещений будут разные уровни естественной освещенности. Для учета светового климата в разных районах территория России разбита на группы административных районов по ресурсам светового климата (табл. 18.1). Нормируемые значения КЕО (e_N) для зданий, расположенных в этих группах административных районов, определяются по формуле:

$$e_N = e_n m_N, \quad (18.9)$$

где e_n — нормированное значение КЕО для зданий по таблицам в СанПиН и СНиП [18.18, 18.7]; m_N — коэффициент светового климата по табл. 18.2 [18.7]; N — номер группы обеспеченности естественным светом по табл. 18.1 [18.7].

Коэффициент m показывает, во сколько раз следует изменить значение e_n по таблицам в СанПиН и СНиП для данной группы административных районов в зави-

симости от годового количества естественного освещения (лк. ч), обеспечиваемого диффузным светом неба на открытой горизонтальной площадке с учетом дополнительного светового потока от прямого солнечного света в зависимости от ориентации светопроемов. В основу такого подхода положен принцип сохранения эффективной экспозиции естественного освещения за год или среднего годового уровня производительности труда в помещениях, располагаемых в разных географических районах.

В нормах СанПиН и СНиП приводятся нормируемые значения КЕО при естественном и совмещенном освещении для основных помещений общественных жилых и вспомогательных зданий. Ниже приводятся нормируемые значения КЕО и данные о расчетных точках в наиболее часто встречающихся помещениях жилых и общественных зданий при оценке городской застройки:

Для одной из жилых комнат одно-, двух- и трехкомнатных квартир и для двух жилых комнат в 4-х и более комнатных квартирах, а также в комнатах общежитий и в номерах гостиниц, больших палатах и спальнях комнатах объектов социального обеспечения нормируемое значение КЕО, равное 0,5%, должно быть обеспечено на полу на расстоянии 1 м от стены, наиболее удаленной от светопроемов. В такой же точке в групповых, игровых помещениях детских дошкольных учреждений нормируемое значение КЕО равно 1,5%. В спальнях комнатах детских дошкольных учреждений и остальных жилых комнатах в домах нормируемое значение КЕО = 0,5% должно быть обеспечено на плоскости пола в центре помещения. В этой же точке в комнатах гимнастических и музыкальных занятий в детских садах нормируемое значение КЕО равно 1,5%.

При одностороннем боковом освещении школ, школ-интернатов, профессионально-технических и

Таблица 18.1

Группы административных районов по ресурсам светового климата

Номер группы	Административный район
1	Московская, Смоленская, Владимирская, Калужская, Тульская, Рязанская, Нижегородская, Свердловская, Пермская, Челябинская, Курганская, Новосибирская, Кемеровская области, Республика Мордовия, Чувашская Республика, Удмуртская Республика, Республика Башкортостан, Республика Татарстан, Красноярский край (севернее 63° с.ш.), Республика Саха (Якутия) (севернее 63° с.ш.), Чукотский автономный округ, Хабаровский край (севернее 55° с.ш.)
2	Брянская, Курская, Орловская, Белгородская, Воронежская, Липецкая, Тамбовская, Пензенская, Самарская, Ульяновская, Оренбургская, Саратовская, Волгоградская области, Республика Коми, Кабардино-Балкарская Республика, Республика Северная Осетия-Алания, Чеченская Республика, Республика Ингушетия, Ханты-Мансийский автономный округ, Республика Алтай, Красноярский край (южнее 63° с.ш.), Республика Саха (Якутия) (южнее 63° с.ш.), Республика Тыва, Республика Бурятия, Читинская область, Хабаровский край (южнее 55° с.ш.), Магаданская область, Сахалинская область
3	Калининградская, Псковская, Новгородская, Тверская, Ярославская, Ивановская, Ленинградская, Вологодская, Костромская, Кировская области, Республика Карелия, Ямало-Ненецкий автономный округ, Ненецкий автономный округ
4	Архангельская, Мурманская области
5	Республика Калмыкия, Ростовская, Архангельская области, Ставропольский край, Республика Дагестан, Амурская область, Приморский край, Краснодарский край

Коэффициенты светового климата

Световые проемы	Ориентация световых проемов по сторонам горизонта	Коэффициент светового климата				
		Номер группы административных районов				
		1	2	3	4	5
В наружных стенах зданий	С	1	0,9	1,1	1,2	0,8
	СВ, СЗ	1	0,9	1,1	1,2	0,8
	З, В	1	0,9	1,1	1,1	0,8
	ЮВ, ЮЗ	1	0,85	1	1,1	0,8
	Ю	1	0,85	1	1,1	0,75
В прямоугольных и трапециевидных фонарях	С-Ю	1	0,9	1,1	1,2	0,75
	СВ-ЮЗ ЮВ-СЗ	1	0,9	1,2	1,2	0,7
	В-З	1	0,9	1,1	1,2	0,7
В фонарях типа «Шед»	С	1	0,9	1,2	1,2	0,7
В зенитных фонарях	—	1	0,9	1,2	1,2	0,75

Примечания:

1. С — северное; СВ — северо-восточное; СЗ — северо-западное; В — восточное; З — западное; С-Ю — север-юг; В-З — восток-запад; Ю — южное; ЮВ — юго-восточное; ЮЗ — юго-западное.
2. Группы административных районов России по ресурсам светового климата приведены в приложении Д*.

средних специальных учебных заведений нормируемое значение КЕО должно быть обеспечено:

а) в учебных и учебно-производственных помещениях — в расчетной точке, расположенной на пересечении характерного разреза помещения и условной рабочей поверхности (УРП), расположенной на расстоянии 1,2 м от стены, наиболее удаленной от светопроемов;

б) в остальных помещениях — в геометрическом центре помещения на УРП.

Значения нормируемого КЕО для этих помещений для школ, ПТУ и школ-интернатов равны 1,5%, для техникумов — 1,2%, причем в этих помещениях допускается устройство совмещенного освещения. При этом нормируемые значения КЕО равны соответственно 1,3% и 0,7%.

Приведенные нормативные данные из СНиП и СанПиН являются наиболее важными, т.к. они в наибольшей степени ограничивают этажность проектируемых зданий и плотность застройки.

При двухстороннем боковом освещении нормируется минимальное значение КЕО в точке в центре помещения. При верхнем и комбинированном естественном освещении нормируется значение КЕО, которое должно быть больше или равно среднему из расчетных значений КЕО не менее чем в пяти точках характерного разреза помещения на УРП (или на полу). Первая и последняя точки принимаются на расстоянии 1 м от поверхности наружных стен, перегородок или осей колонн.

Допускается деление помещений на зоны с боковым освещением (зоны, примыкающие к наружным стенам с окнами, как указано выше) и зоны с верхним освещением. Нормирование и расчет естественного освещения в каждой зоне производится независимо друг от друга.

Нормы СНиП регламентируют применение совмещенного освещения для производств с работами I—III разрядов, а также для производственных и других помещений, когда по условиям технологии или климата в месте строительства требуются объемно-планировочные решения, которые не позволяют обеспечить нормируемое значение КЕО. Допускается также применение совмещенного освещения, если его применение обосновано экономически путем соответствующих расчетов.

В жилых и общественных зданиях, а также в административно-бытовых помещениях промзданий совмещенное освещение допускается в случаях, когда это связано с выбором рационального объемно-планировочного решения здания, за исключением жилых комнат домов и общежитий, номеров гостиниц, спальных помещений санаториев и домов отдыха, групповых и игровых комнат детских садов, палат лечебно-профилактических учреждений и спальных комнат в интернатах для престарелых и инвалидов. Нормируемое значение КЕО при этом составляет не менее 87% от нормируемых значений КЕО при естественном освещении для учебно-производственных помещений школ, школ-интернатов, учебных заведений начального и

среднего профессионального образования и не менее 60% для остальных помещений.

В учебных и учебно-производственных помещениях школ, школ-интернатов и учебных заведений начального и среднего профессионального образования при совмещенном освещении следует предусматривать раздельное включение рядов светильников, расположенных параллельно светопроемам. Желательно устройство автоматически регулируемого совмещенного освещения. Нормируемая искусственная освещенность в таких помещениях должна быть повышена на одну ступень по шкале освещенности (см. раздел 7).

В помещениях общественных зданий, за исключением групповых и игровых комнат в детских садах, учебных и учебно-производственных помещений учебных заведений начального и среднего образования, а также палат больниц, спальных комнат в санаториях, домах отдыха и пансионатах для престарелых и инвалидов, допускается деление помещений на зоны с достаточным и недостаточным естественным освещением.

Сравнение отечественных норм естественного освещения с аналогичными зарубежными можно провести на примере действующих норм ФРГ DIN 5034-1 (октябрь 1999 г.). В этих нормах принцип нормирования отличается от принятого в России: здесь применен принцип субъективной оценки приемлемости световой среды в помещении. При этом считается, что ощущение светлоты в жилых помещениях, создаваемое проходящим через окна естественным светом, является достаточным, если величина КЕО на УРП (0,85 м над уровнем пола) на расстоянии от окна, равном половине глубины помещения и на расстоянии 1 м от обеих боковых стен в среднем составляет не менее 0,9%, а в наиболее неблагоприятной из этих точек — не менее 0,75%.

Для рабочих помещений высотой не более 3,5 м, глубиной не более 6,0 м и площадью не более 50 кв. м действуют нормы для жилых помещений. Для других рабочих помещений с боковыми светопроемами до сих пор нормируемых значений КЕО не существует. Для рабочих помещений, освещаемых системами верхнего естественного освещения, необходимо обеспечение КЕО, равного 4%, независимо от точности зрительной работы. Считается, что при минимальном значении КЕО в помещении с верхними светопроемами менее 2% помещения будут восприниматься как темные.

18.7. РАСЧЕТЫ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИЗМЕРЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

18.7.1. Расчеты естественного освещения

Соблюдение требований норм естественного и совмещенного освещения определяется расчетом КЕО в помещении. Метод расчета отражает особенности бокового и верхнего естественного освещения, т.е. те факторы, которые влияют на величину КЕО.

При расчете КЕО при боковом естественном освещении учитывается прямой свет неба, проходящий че-

рез светопроем в расчетную точку, свет, отраженный от противостоящих зданий, а также отражающие свойства прилегающих к светопроему поверхностей как на уровне земли, так и прилегающих поверхностей балконов, лоджий, террас и т.п. Это — внешние факторы. Кроме того, учитывается снижение внешнего светового потока за счет светопропускания остекления, толщины и типа оконных переплетов, затеняющее влияние балконов, лоджий и солнцезащитных устройств, а также внутреннее отражение прошедших в помещение световых потоков от поверхностей помещения.

Расчет проводится по формуле:

$$e = (\epsilon_n q + \epsilon_{зд} b_{\Phi} K_{зд}) r_0 \tau_0 100 / K_3 (\%), \quad (18.10)$$

где коэффициент b_{Φ} учитывает яркость фасада противостоящего здания; $K_{зд}$ учитывает изменение отраженного света внутри помещения за счет влияния противостоящих зданий (свет, поступающий в помещение из нижней полусферы); r_0 учитывает отраженный свет от внутренних поверхностей помещения и от прилегающих поверхностей земли, балконов и т.п.; τ_0 учитывает светопропускание проема; K_3 учитывает загрязнение остекления.

При расчете КЕО для систем верхнего естественного освещения учитывается прямой свет неба, проходящий через светопроем в расчетную точку, свет, отраженный от конструкций фонаря в расчетную точку, внутренний отраженный свет от ограждающих поверхностей помещения, а также ослабление внешних световых потоков за счет светопропускания и загрязнения остекления.

Расчет проводится по формуле:

$$e = |(\epsilon_n q + \epsilon_{ср} (r_2 K_{\Phi} - 1)) \tau_0 100 / K_3 (\%), \quad (18.11)$$

где коэффициент r_2 учитывает отраженный свет от внутренних поверхностей помещения; K_{Φ} — коэффициент, учитывающий отраженный свет от конструкций фонарей; $\epsilon_{ср}$ — среднее значение геометрического КЕО в точках характерного разреза помещения.

Все коэффициенты в формулах (18.10) и (18.11) определяются по таблицам в СНиП «Естественное и искусственное освещение» и в своде правил к нему [18.19].

Коэффициент q определяется в соответствии с основным расчетным допущением о пасмурном небосводе в соответствии с рекомендацией МКО по формуле:

$$q = (1 + 2 \sin \theta) 3 / 7, \quad (18.12)$$

где θ — угол между горизонталью и линией, соединяющей расчетную точку и центр видимого через светопроем участка неба.

Коэффициенты ϵ_n и $\epsilon_{зд}$ называются геометрическими КЕО. Они показывают, соответственно, какую часть от проекции телесного угла всего небосвода на горизонтальную плоскость составляют проекции телесных углов на горизонтальную плоскость от участка неба, видимого из расчетной точки через светопроем, а также от участка противостоящего здания, видимого из расчетной точки через светопроем. Расчет геометрических КЕО в России традиционно проводится по графикам А.М. Данилюка, позволяющим при расчетах пользоваться основными строительными чертежами — пла-

нами и разрезами помещений. Эти графики приводятся в многочисленных учебниках по строительной физике и по архитектуре гражданских и промышленных зданий, а также в нормативных документах, например, в Московских городских строительных нормах (МГСН) по естественному, искусственному и совмещенному освещению [18.20].

Графики А.М. Данилюка являются приближенным способом определения геометрического КЕО и страдают недостатками графических методов, т.е. зависят от точности построения самих графиков и строительных чертежей, которые на них накладываются. Кроме того, эти графики основаны на приближенном решении двойного интеграла телесного угла светопроема. Поэтому их применение при расчетах КЕО от светопроемов, находящихся под большими углами к горизонтали и вертикали в расчетной точке приводит к ошибкам до 10% в сторону завышения результатов.

Графики А.М. Данилюка с успехом заменяются аналитическими формулами:

$$\varepsilon = n_1 n_2 \cdot 0,01 (\%); \tag{18.13}$$

$$n_1 = (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2) \cdot 100 / 2; \tag{18.14}$$

$$n_2 = \frac{100}{3,14} \left(\frac{\bar{\beta}_2 - \bar{\beta}_1}{180} 3,14 + \sin \bar{\beta}_2 \cos \bar{\beta}_2 - \sin \bar{\beta}_1 \cos \bar{\beta}_2 \right); \tag{18.15}$$

здесь

$$\bar{\beta} = \arctg (\tg \beta \cos \theta). \tag{18.16}$$

Обозначения углов α , β и θ приведены на рис. 18.26.

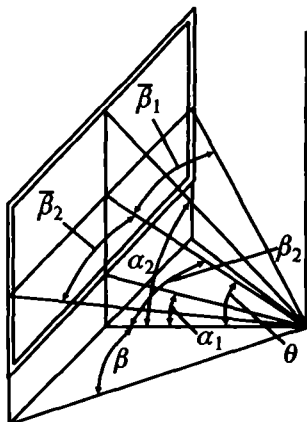


Рис. 18.26. Схема к расчету геометрического КЕО. При пользовании планом помещения следует учитывать, что углы $\bar{\beta}_1$ и $\bar{\beta}_2$ определяются по формуле (18.16)

Расчетную формулу для определения геометрического КЕО разработали классики светотехники Р. Мун и Д. Спенсер. В России эта формула опубликована Д.В. Бахаревым [18.21]. Недостатком этой формулы является ее сложность и трудность в использовании строительных чертежей для определения расчетных параметров.

Точная расчетная формула, в которой в качестве исходных параметров применяются данные строительных чертежей (те же, что и при использовании графиков А.М. Данилюка) разработана в МГСУ. Ее преимуществом является то, что она учитывает любое распределение яркости «конхоидального» небосвода, т.е. когда яркость неба подчиняется уравнению конхоиды, а распределение яркости изотропно:

$$L_0 = L_z (A + B \sin \theta). \tag{18.17}$$

Формула имеет вид:

$$e = \frac{3 \cdot 100}{3,14 (3A + 2B)} \left\{ \frac{A}{2} \cos \alpha_2 [\arctg (\cos \alpha_2 \tg \beta_1) - \arctg (\cos \alpha_2 \tg \beta_2)] + \frac{A}{2} \cos \alpha_1 [\arctg (\cos \alpha_1 \tg \beta_2) - \arctg (\cos \alpha_1 \tg \beta_1)] + \frac{B}{3} \left[\cos^2 \alpha_2 \left(\frac{\sin \beta_1}{\sqrt{\ctg^2 \alpha_2 + \cos^2 \beta_1}} - \frac{\sin \beta_2}{\sqrt{\ctg^2 \alpha_2 + \cos^2 \beta_2}} \right) + \cos^2 \alpha_1 \left(\frac{\sin \beta_2}{\sqrt{\ctg^2 \alpha_1 + \cos^2 \beta_2}} - \frac{\sin \beta_1}{\sqrt{\ctg^2 \alpha_1 + \cos^2 \beta_1}} \right) \right] + \frac{B}{3} [\arcsin (\sin \alpha_2 \sin \beta_2) + \arcsin (\sin \alpha_1 \sin \beta_1) - \arcsin (\sin \alpha_2 \sin \beta_1) - \arcsin (\sin \alpha_1 \sin \beta_2)] \right\}. \tag{18.18}$$

Для условий пасмурного неба МКО $A = 1/3$, $B = 2/3$. При равнорядном небе, т.е. для расчета геометрического КЕО $A = 1$ и $B = 0$.

Обозначения углов α и β приведены на рис. 18.26.

Расхождение величин КЕО, полученных по формуле (18.18) и по приближенным формулам (18.13–18.16) составляет 2,7%. Это объясняется более точным учетом в формуле (18.18) неравномерной яркости неба не только по высоте, но и по ширине проема, а также отсутствием ошибок интегрирования.

В других странах существуют другие методы расчета естественной освещенности. Так, например, в США применяется прямой метод расчета освещенности от естественного света, подобный методу расчета освещенности при искусственном освещении, так называемый «люмен-метод». Это инженерный метод расчета, достаточно простой, чтобы расчеты производить вручную, без применения ЭВМ. Он основан на использовании таблиц, в которых приводятся коэффициенты использования светового потока от светопроемов для пяти точек по характерному разрезу помещения. Метод предназначен для расчета освещенности при верхних и боковых светопроемах с простыми геометрическими формами и с простыми солнцезащитными и светонаправляющими устройствами, типа световых полок. С помощью люмен-метода нельзя рассчитать КЕО при

боковым освещении, если светопроемы затеняются противостоящими зданиями [18.11].

В Европе более распространен метод КЕО, вариантом которого является метод, изложенный выше, применяемый в России. Отличия заключаются в способах расчета составляющих КЕО от прямого света неба, от внутреннего отраженного света и от света, отраженного от противостоящих зданий.

Так, например, во многих европейских странах распространен метод расчета с помощью диаграммы Waldram (рис. 18.27). Диаграмма разделена сеткой на 1000 или 500 клеток и соответствует величине геометрического КЕО 50%. Соответственно одна клеточка соответствует величине геометрического КЕО 0,05 или 0,1%. Сплошные и пунктирные кривые линии обозначают линии одинаковых вертикальных углов из расчетной точки. Вертикальные линии обозначают вертикальные границы этих углов, т.е. горизонтальные углы из расчетной точки к краям светопроема или застройки

ки в плане. Если рассматривать телесный угол окна, то сплошные кривые линии будут обозначать горизонтальные грани окна, а вертикальные линии будут обозначать вертикальные грани окна (рис. 18.28). Для определения составляющей КЕО от прямого света неба при отсутствии противостоящих зданий надо подсчитать количество клеточек (n_H), попадающих в границы светопроема:

$$e_H = n_H \cdot M. \quad (18.19)$$

При пасмурном небе МКО каждая клеточка взята со своим значением коэффициента q , что повышает точность учета распределения яркости пасмурного неба по сравнению с методом А.М. Данилюка. Для противостоящей застройки принято, что ее яркость составляет 15% яркости пасмурного неба. Поэтому при расчете отраженной составляющей от противостоящих зданий используют формулу:

$$e_{зд} = 0,15n_{зд} M. \quad (18.20)$$

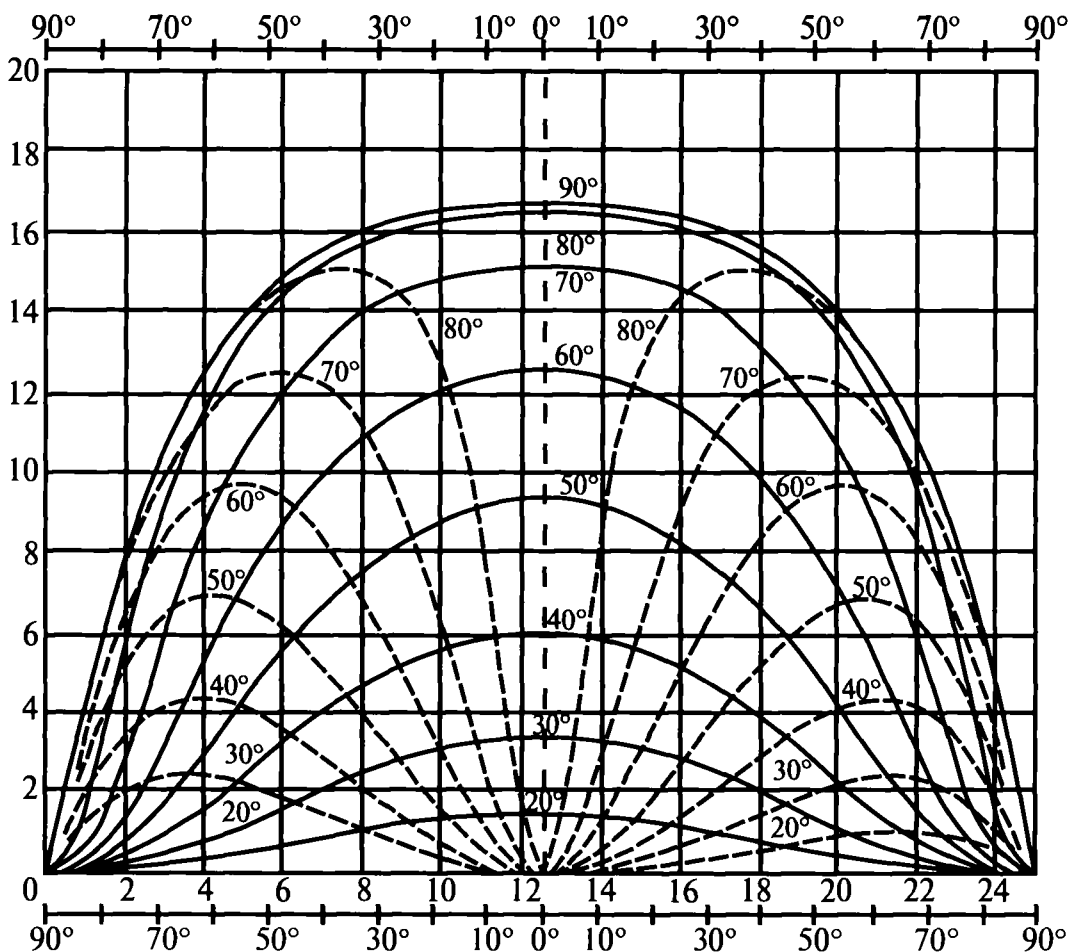


Рис. 18.27. Диаграмма Waldram (при распределении яркости неба по формуле Муна и Спенсер) с ниспадающими линиями для вертикальных окон: — — горизонтали, параллельные плоскости окна; - - - - - горизонтали, расположенные под прямым углом к плоскости окна

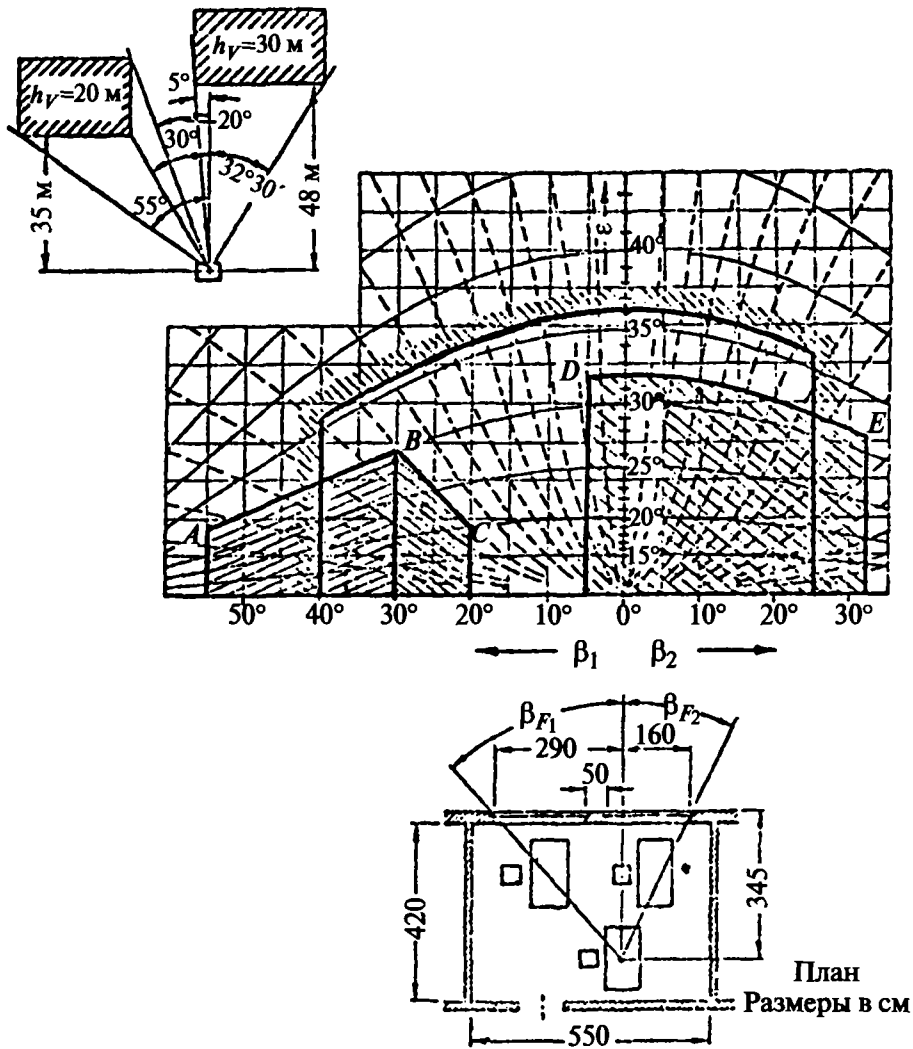


Рис. 18.28. Изображение свободно расположенных противостоящих зданий на диаграмме Waldram

На рис. 18.28 показан случай, когда застройка имеет достаточно сложную структуру. Здесь $M = 0,05\%$, $n_H = 42$ и $n_{зд} = 45$. Отсюда следует, что

$$e_H = 42 \cdot 0,05\% = 2,1\%;$$

$$e_{зд} = 0,15 \cdot 45 \cdot 0,05\% = 0,34\%.$$

Метод очень приближенно учитывает яркость противостоящей застройки с помощью коэффициента 0,15. Весьма приближенным является и расчет внутренней отраженной составляющей по формуле:

$$e_o = \frac{b_o h_o}{F} \frac{1}{1 - \rho_{cp}} (f_H \rho_H + f_B \rho_B) 100\%, \quad (18.21)$$

где b_o — ширина окна; h_o — высота окна; F — сумма площадей стен, потолка и пола в помещении; ρ_{cp} — средневзвешенный коэффициент отражения внутренних поверхностей; ρ_H — средневзвешенный коэффициент

отражения пола и нижней части стен без стены с окном; ρ_B — то же потолка и верхней части стен без стены с окном.

Верхняя и нижняя части стен делятся горизонтальной плоскостью, проходящей через середину высоты окна.

f — коэффициент окна, т.е. отношение вертикальной освещенности на плоскости окна (E_B) к горизонтальной освещенности под открытым небом (E_H) в зависимости от угла застройки α' , проведенного на характерном разрезе из центра окна к верхней грани застройки (рис. 18.29); f_B — коэффициент окна, определяющий световой поток, падающий на окно из верхнего полупространства в зависимости от того же угла α' ; f_H — коэффициент окна, определяющий световой поток, падающий на окно из нижнего полупространства в зависимости от того же угла α' .

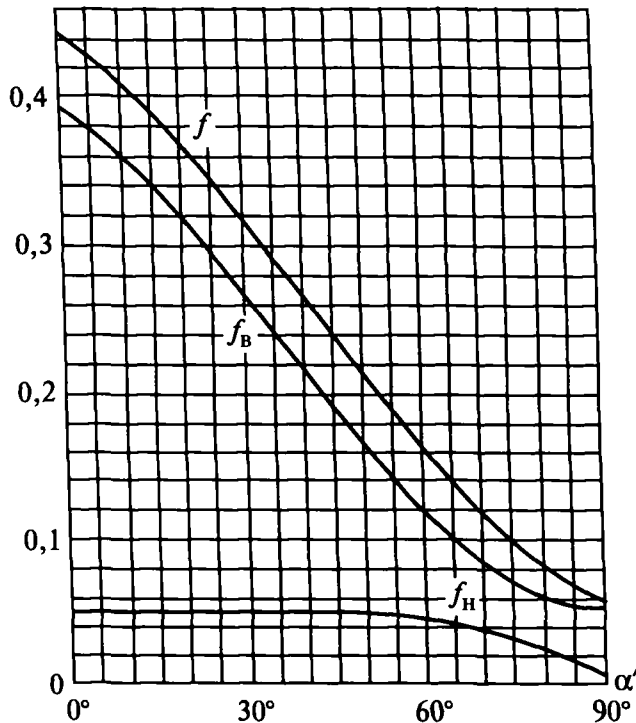


Рис. 18.29. Зависимость коэффициентов окна f_o , f_n и f от угла застройки α'

$$f = f_n + f_o = E_v / E_n.$$

Окончательная величина КЕО в помещении рассчитывается по формуле:

$$e = \tau_o (e_n + e_{зд} + e_o) / K_3, \quad (18.22)$$

где τ_o — общий коэффициент светопропускания проема; K_3 — коэффициент запаса, учитывающий загрязнение.

Приведенная выше методика инженерного расчета КЕО представляет интерес при расчетах КЕО в городской застройке. Она позволяет наглядно представить контуры застройки так, как они видны из расчетной точки через светопроем, причем в некоторых европейских странах (например, в Словакии) в городской застройке нормируется не КЕО, а часть открытого неба, видимого из расчетной точки через светопроем, по отношению к площади окна, определяемой по диаграмме Waldram (рис. 18.27).

18.7.2. Проектирование естественного освещения

Проектирование естественного освещения должно начинаться с определения исходных требований к освещению на основе детального изучения технологических, трудовых и иных функциональных процессов, протекающих в помещении, а также климатических и светоклиматических особенностей места строительства зданий. При этом должны быть определены следующие исходные данные: точность и продолжительность выполнения зрительных работ в помещении, наличие

специальных требований к естественному освещению (направление светового потока на рабочую поверхность, насыщенность светом помещения, требуемый уровень освещенности на вертикальных поверхностях и т.п.), местоположение здания в группе административных районов по ресурсам светового климата, минимальная и максимальная температуры наружного воздуха в течение года, интенсивность и продолжительность солнечной радиации, количество жидких и твердых осадков, преобладающее направление ветра в течение года в месте расположения здания, ориентация здания по сторонам горизонта, количество тепловыделений, загрязненность, влажность и наличие химически агрессивных примесей в воздухе помещений и необходимая кратность воздухообмена.

На основе исходных данных выбираются система освещения, тип и количество слоев светопропускающего заполнения, разряды зрительных работ и нормированные значения КЕО, общий коэффициент пропускания световых проемов, необходимые солнцезащитные устройства.

В северных районах с суровым климатом и продолжительной зимой решающим требованием является обеспечение теплового комфорта в помещениях, что в значительной степени определяется площадью и теплоизолирующей способностью светопрозрачных конструкций. С этой целью форма зданий в плане выбирается близкой к квадрату и строятся не менее чем два этажа. Основные рабочие помещения располагаются по периметру и освещаются через светопроемы в наружных стенах, а в центральной части здания размещаются подсобные и складские помещения.

Для повышения термического сопротивления окон применяются современные двухкамерные стеклопакеты с заполнением камер инертным газом, либо два вакуумных стеклопакета. Для отделки поверхностей помещений и оборудования используется, как правило, теплая цветовая гамма, которая позволяет психологически компенсировать отрицательное влияние сурового климата на организм человека в условиях Крайнего Севера.

В южных районах с избыточной солнечной радиацией в течение года основным требованием к естественному освещению является защита помещения от светового (слепящего) и теплового действия инсоляции. В связи с большой продолжительностью и высокой интенсивностью прямого солнечного света, световые проемы должны, наряду с солнцезащитой, выполнять функции трансформации прямого солнечного света для естественного освещения помещений.

Примерами рациональных схем верхнего естественного освещения, совмещающих обе указанные функции, являются системы освещения с применением фонарей шед, ориентированных на север, и шахтных фонарей, шахта или зеркальный световод которых проходит через проветриваемое чердачное помещение (рис. 18.24).

Ниже рассматриваются вопросы проектирования естественного освещения для основных типов помещений промышленных, общественных и жилых зданий.

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ ПОМЕЩЕНИЯ

Основной задачей проектирования естественного освещения является выбор типа и определение расположения и суммарной площади световых проемов, при которых в помещениях обеспечиваются удовлетворительный световой режим и микроклимат. Верхнее и комбинированное освещение следует применять преимущественно в одно- и двухэтажных (для верхних этажей) многопролетных зданиях промышленных предприятий. Боковое естественное освещение следует применять в многоэтажных зданиях, а также в одноэтажных зданиях, в которых отношение глубины помещения к высоте верхней грани окон над УРП не превышает 8. При выборе систем бокового естественного освещения необходимо учитывать, что окна должны обеспечивать не только естественное освещение, но и аэрацию, а также возможность обзора наружного пространства. Ширина окон, как правило, не должна превышать 4,8 м, а высота подоконника должна быть не менее 1,2 м. В помещениях большой глубины (более 18 м) площадь окон следует выбирать исходя из минимального КЕО при совмещенном освещении согласно требованиям СНиП «Естественное и искусственное освещение» [18.7], а окна в наружных стенах располагать в два яруса. При этом нижний ярус окон проектируется исходя из условий обеспечения зрительной связи с наружным пространством, верхний ярус — для освещения удаленной от окон зоны помещения.

Выбор требуемой площади боковых светопроемов можно производить по формуле:

$$100 \frac{S_o}{S_{п}} = \frac{e_n K_3 \eta_o}{\tau_o r_o} K_{зд}, \quad (18.23)$$

где S_o — площадь боковых светопроемов (в свету) при боковом освещении; $S_{п}$ — площадь пола помещения; e_n — нормированное значение КЕО; K_3 — коэффициент запаса на загрязнение, принимается по табл. 18.3; η_o — световая характеристика окон, определяемая по табл. 18.4; $K_{зд}$ — коэффициент, учитывающий затенение окон противостоящими зданиями, определяемый по табл. 18.5; τ_o — общий коэффициент светопропускания проема, определяемый по формуле

$$\tau_o = \tau_1 \tau_2 \tau_3 \tau_4 \tau_5$$

и по табл. 18.6; r_o — коэффициент, учитывающий повышение КЕО при боковом освещении благодаря свету, отраженному от поверхностей помещения и подстилающего слоя, прилегающего к зданию, принимаемый по табл. 18.7 или 18.8. Значение коэффициента r_o определяется в расчетной точке помещения.

При выборе фонарей для верхнего естественного освещения следует руководствоваться указаниями, приведенными в п. 18.3. Количество слоев и вид светопрозрачного заполнения фонарей следует принимать в соответствии с указаниями, приведенными в п. 18.4.

Выбор площади светопроемов системы верхнего естественного освещения можно производить по формуле:

$$100 \frac{S_{\Phi}}{S_{п}} = \frac{e_n K_3 \eta_{\Phi}}{\tau_o r_2 K_{\Phi}}, \quad (18.24)$$

где S_{Φ} — площадь световых проемов (в свету) при верхнем освещении; η_{Φ} — световая характеристика фонаря, определяемая по табл. 18.9 или 18.10; r_2 — коэффициент, учитывающий повышение КЕО при верхнем освещении благодаря свету, отраженному от поверхностей помещения, принимаемый по табл. 18.11; K_{Φ} — коэффициент, учитывающий свет, отраженный от поверхностей фонаря, определяемый по табл. 18.12.

Сначала определяется общая площадь светопроемов. Затем для бокового освещения определяется площадь окон для одного ограниченного участка фасада здания, например в пределах одного шага колонн. После этого определяется размер одного или нескольких светопроемов внутри этого участка с учетом обеспечения зрительной связи с наружным пространством, освещения глубинной части помещения и исходя из архитектурно-художественного решения фасада.

Для верхнего освещения задают размеры зенитных фонарей, и по площади одного фонаря определяют их количество. После этого фонари распределяют в плоскости покрытия равномерно или с учетом технологического процесса. Для фонарей с ленточным остеклением (зенитные ленточные, фонари-надстройки, шеды) определяется общая длина остекления в соответствии с общими правилами проектирования. Например, фонари-надстройки не должны доходить на один шаг рам до торцов здания и температурных швов. После этого делением площади фонарей $A_{сф}$ на общую их длину находят требуемую высоту остекления.

Для выбора площади остекления помещений жилых и общественных зданий можно также пользоваться графиками по методике, приведенной в Своде правил [18.19].

Выбрав площадь светопроемов, их размеры и разместив их в стенах и покрытии, производят расчеты КЕО по методу, приведенному в п. 18.6, и сравнивают расчетное значение КЕО с нормируемым.

РАБОЧИЕ КАБИНЕТЫ АДМИНИСТРАТИВНЫХ ЗДАНИЙ

Зрительная работа в кабинетах административных зданий и офисов заключается в чтении типографского, компьютерного и рукописного текстов, ксерокопий, различении деталей графических материалов, работе с компьютером и рукописной работе. Современные здания офисов располагаются обычно в районах города с наиболее высокой плотностью застройки и поэтому затеняются противостоящими зданиями. Вместе с тем, современные объемно-планировочные решения зданий офисов предусматривают рабочие кабинеты глубиной не менее 6 м при высоте 3,3 м, а также офисы «открытого плана» или «ландшафтные офисы», т.е. помещения большой площади и глубины, разделенные невысокими перегородками, за которыми располагаются отдельные рабочие места, оснащенные компьютерами, средствами связи и системой местного искусственного освещения.

Таблица 18.3

Значения коэффициентов запаса/количество чисток в год

Помещения и территория	Примеры помещений	Искусственное освещение			Естественное освещение			
		Коэффициент запаса K_3			Коэффициент запаса K_3			
		Эксплуатационная группа светильников по приложению Г			Угол наклона светопропускающего материала к горизонту, градусы			
		1-4	5-6	7	0-15	16-45	46-75	76-90
1. Производственные помещения с воздушной средой, содержащей в рабочей зоне: а) свыше 5 мг/м^3 пыли, дыма, копоти; б) от 1 до 5 мг/м^3 пыли, дыма, копоти; в) менее 1 мг/м^3 пыли, дыма, копоти; в) значительные концентрации паров, кислот, щелочей, газов, способных при соприкосновении с влагой образовать слабые растворы кислот, щелочей, а также обладающих большой коррозийной способностью	Агломерационные фабрики, цементные заводы и обрубные отделения литейных цехов	2,0/18	1,7/6	1,6/4	2,0/4	1,8/4	1,7/4	
	Цехи кузнечные, литейные, мартеновские, сборного железобетона	1,8/6	1,6/4	1,6/2	1,8/3	1,6/3	1,5/3	
	Цехи инструментальные, сборочные, механические, механосборочные, пошивочные	1,5/4	1,4/2	1,4/1	1,6/2	1,5/2	1,4/2	
	Цехи химических заводов по выработке кислот, щелочей, сдких химических реактивов, ядохимикатов, удобрений, цехи гальванических покрытий и различных отраслей промышленности с применением электролиза	1,8/6	1,6/4	1,6/2	2,0/3	1,8/3	1,7/3	
2. Производственные помещения с особым режимом по чистоте воздуха при обслуживании светильников: а) с технического этажа; б) снизу из помещения		1,3/4 1,4/2	— —	— —	— —	— —	— —	— —
	3. Помещения общественных и жилых зданий: а) пыльные, жаркие и сырые; б) с нормальными условиями среды	Горячие цехи предприятий общественного питания, охлаждаемые камеры, помещения для приготовления растворов в прачечных, душевых и т.д.	1,7/2	1,6/2	1,6/2	2,0/3	1,8/3	1,7/3
Кабины и рабочие помещения, жилые комнаты, учебные помещения, лаборатории, читальные залы, залы совещаний, торговые залы и т.д.		1,4/2	1,4/1	1,4/1	1,5/2	1,4/2	1,3/1	1,2/1
4. Территории с воздушной средой, содержащей: а) большое количество пыли (более 1 мг/м^3); б) малое количество пыли (менее 1 мг/м^3)	Территории металлургических, химических, горнодобывающих предприятий, шахт, рудников, железнодорожных станций и прилегающих к ним улиц и дорог	1,5/4	1,5/4	1,5/4	—	—	—	—
	Территории промышленных предприятий, кроме указанных в подпункте «а» и общественных зданий	1,5/2	1,5/2	1,5/2	—	—	—	—
5. Населенные пункты	Улицы, площади, дороги, территории жилых районов, парки, бульвары, пешеходные туннели, фасады зданий, памятники	1,6/2	1,5/2	1,5/1	—	—	—	—
	Транспортные туннели	—	1,7/2	1,7/2	—	—	—	—

Примечания:

1. Значения коэффициента запаса, указанные в гр. 6-9, следует умножать на 1,1 при применении узорчатого стекла, стеклопластика, армопленки и матированного стекла, а также при использовании световых просмов для аэрации; на 0,9 — при применении органического стекла.

2. Значения коэффициентов запаса, указанные в гр. 3-5, приведены для разрядных источников света. При использовании ламп накаливания их следует умножать на 0,85.

3. Значения коэффициентов запаса, указанные в гр. 3, следует снижать при односменной работе по поз. 1б, 1в — на 0,2; по поз. 1а — на 0,1; при двухсменной работе — по поз. 1б, 1в — на 0,15.

4. Значения коэффициента запаса и количество чисток для транспортных туннелей, указанные в графе 2, приведены с учетом использования только светильников конструктивной светотехнической схемы IV табл. 1 приложения Г.

Таблица 18.4

Значения световой характеристики η_0 окон при боковом освещении

Отношение длины помещения $l_{\text{п}}$ к его глубине B	Значение световой характеристики η_0 при отношении глубины помещения B к его высоте от уровня условной рабочей поверхности до верха окна h_1							
	1	1,5	2	3	4	5	7,5	10
4 и более	6,5	7	7,5	8	9	10	11	12,5
3	7,5	8	8,5	9,6	10	11	12,5	14
2	8,5	9	9,5	10,5	11,5	13	15	17
1,5	9,5	10,5	13	15	17	19	21	23
1	11	15	16	18	21	23	26,5	29
0,5	18	23	31	37	45	54	66	—

Таблица 18.5

Значения коэффициента $K_{\text{зд}}$, учитывающего затенение окон противостоящими зданиями в зависимости от отношения расстояния между рассматриваемым и противостоящим зданием P к высоте расположения карниза противостоящего здания над подоконником рассматриваемого окна $H_{\text{зд}}$

$P/H_{\text{зд}}$	$K_{\text{зд}}$
0,5	1,7
1	1,4
1,5	1,2
2	1,1
3 и более	1

Таблица 18.6

Значения коэффициентов τ_1 , τ_2 , τ_3 и τ_4

Значения τ_1		Значения τ_2		Значения τ_3		Значения τ_4	
Вид светопропускающего материала	Значения τ_1	Вид переплета	Значения τ_2	Несущие конструкции покрытий	Значения τ_3	Солнцезащитные устройства, изделия и материалы	Значения τ_4
Стекло оконное листовое: одианное	0,9	Переплеты для окон и фонарей промышленных зданий: а) деревянные: одианрные спаренные двойные раздельные	0,75 0,7 0,6	Стальные фермы Железобетонные и деревянные фермы и арки Балки и рамы сплошные при высоте сечения: 50 см и более менее 50 см	0,9 0,8	Убирающиеся регулируемые жалюзи и шторы (межстекельные, внутренние, наружные) Стационарные жалюзи и экраны с защитным углом не более 45° при расположении пластин жалюзи или экранов под углом 90° к плоскости окна: горизонтальные вертикальные	1
двойное	0,8						
тройное	0,75						
Стекло витринное толщиной 6–8 мм	0,8	б) стальные: одианрные открывающиеся одианрные глухие двойные открывающиеся двойные глухие	0,75 0,9 0,6 0,8		0,8 0,9	Горизонтальные козырьки: с защитным углом не более 30° с защитным углом от 15 до 45° (многоступенчатые)	0,8
Стекло листовое армированное	0,6						
Стекло листовое узорчатое	0,65						
Стекло листовое со специальными свойствами: солнцезащитное контрастное	0,65 0,75	Переплеты для окон жилых, общественных и вспомогательных зданий: а) деревянные: одианрные спаренные двойные раздельные с тройным остеклением	0,8 0,75 0,65 0,5		0,8 0,9	Горизонтальные козырьки: с защитным углом не более 30° с защитным углом от 15 до 45° (многоступенчатые)	0,65 0,75
Органическое стекло: прозрачное	0,9						
молочное	0,6						
Пустотелые стеклянные блоки: светорассеивающие	0,5	б) металлические: одианрные спаренные двойные раздельные с тройным остеклением	0,9 0,85 0,8 0,7		0,8		0,9–0,6
степрозрачные	0,55						
Стеклопакеты	0,8						
		Стекложелезобетонные панели с пустотелыми стеклянными блоками при толщине шва: 20 мм и менее более 20 мм	0,9 0,85				

Примечание.

1. Значения коэффициентов τ_1 и τ_2 для профильного стекла и конструкций из него следует принимать в соответствии с указаниями по проектированию, монтажу и эксплуатации из профильного стекла.

2. Значения коэффициента τ_5 , учитывающие потери света в защитной сетке, устанавливаемой под фонарями, принимается равным 0,0.

Таблица 18.7

Значения r_0 для условной рабочей поверхности

Отношение глубины помещения $d_{\text{п}}$ к высоте от уровня условной рабочей поверхности до верха окна, h_{01}	Отношение расстояния расчетной точки от внутренней поверхности наружной стены l_T к глубине помещения $d_{\text{п}}$	Средневзвешенный коэффициент отражения пола, стен и потолка $\rho_{\text{ср}}$											
		0,60			0,50			0,45			0,35		
		Отношение длины помещения $a_{\text{п}}$ к его глубине $d_{\text{п}}$											
		0,5	1,0	2,0	0,5	1,0	2,0	0,5	1,0	2,0	0,5	1,0	2,0
1,00	0,10	1,03	1,03	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,01	1,01	1,01
1,00	0,50	1,66	1,59	1,46	1,47	1,42	1,332	1,37	1,34	1,26	1,09	1,17	1,13
1,00	0,90	2,86	2,67	2,30	2,33	2,19	1,93	2,06	1,95	1,74	1,53	1,48	1,37
3,00	0,10	1,10	1,09	1,07	1,07	1,06	1,05	1,06	1,05	1,04	1,03	1,03	1,02
3,00	0,20	1,32	1,29	1,22	1,23	1,20	1,16	1,18	1,16	1,13	1,09	1,08	1,06
3,00	0,30	1,72	1,64	1,50	1,51	1,46	1,36	1,41	1,37	1,29	1,20	1,18	1,14
3,00	0,40	2,28	2,15	1,90	1,91	1,82	1,64	1,73	1,66	1,51	1,37	1,33	1,26
3,00	0,50	2,97	2,77	2,38	2,40	2,26	1,98	2,12	2,01	1,79	1,56	1,51	1,39
3,00	0,60	3,75	3,47	2,92	2,96	2,76	2,37	2,57	2,41	2,10	1,78	1,71	1,55
3,00	0,70	4,61	4,25	3,52	3,58	3,32	2,80	3,06	2,86	2,44	2,03	1,93	1,72
3,00	0,80	5,55	5,09	4,18	4,25	3,92	3,27	3,60	3,34	2,82	2,30	2,17	1,91
3,00	0,90	6,57	6,01	4,90	4,98	4,58	3,78	4,18	3,86	3,23	2,59	2,43	2,11
5,00	0,10	1,16	1,15	1,11	1,12	1,11	1,08	1,09	1,08	1,07	1,05	1,04	1,03
5,00	0,20	1,53	1,48	1,37	1,38	1,34	1,27	1,30	1,27	1,21	1,15	1,14	1,11
5,00	0,30	2,19	2,07	1,84	1,85	1,77	1,60	1,68	1,61	1,48	1,34	1,31	1,24
5,00	0,40	3,13	2,92	2,49	2,52	2,37	2,07	2,22	2,10	1,85	1,61	1,55	1,43
5,00	0,50	4,28	3,95	3,29	3,34	3,11	2,64	2,87	2,68	2,31	1,94	1,84	1,66
5,00	0,60	5,58	5,12	4,20	4,27	3,94	3,29	3,61	3,35	2,83	2,31	2,18	1,92
5,00	0,70	7,01	6,41	5,21	5,29	4,86	4,01	4,44	4,09	3,40	2,72	2,55	2,20
5,00	0,80	8,58	7,82	5,31	6,41	5,87	4,79	5,33	4,90	4,03	3,17	2,95	2,52
5,00	0,90	10,28	9,35	7,49	7,63	6,96	5,64	6,30	5,77	4,71	3,65	3,39	2,86

В таких помещениях обеспечение нормируемой величины КЕО при совмещенном освещении, равной 0,6%, даже в центре помещения на УРП представляет значительную сложность. Поэтому в таких помещениях следует выделять зону с достаточным (по нормам) естественным освещением. В центральных районах городов нормируемое значение КЕО должно быть обеспечено в центре такой зоны. В остальных частях города оно должно быть обеспечено на расстоянии l м от границы зоны. Эти нормы следует использовать для выбора размеров светопроемов. А достаточные уровни освещенности должны обеспечиваться с помощью автоматически регулируемого совмещенного освещения. Поскольку в этом случае искусственное освещение должно работать совместно с естественным, его спектральный состав должен удовлетворять требованиям п. 18.3.

Для ограничения слепящего действия окон в рабочих кабинетах необходимо предусматривать гардинное освещение, легкие регулируемые жалюзи или голографические пленки, наклеенные на стекло, о которых будет рассказано ниже.

При проектировании зданий офисов для IV светоклиматического района следует предусматривать оборудование световых проемов, ориентированных на сектор горизонта в пределах 200° – 290° , солнцезащитными устройствами. Для обеспечения необходимого соотношения яркостей в поле зрения важное значение имеет отделка поверхностей помещения. Коэффициенты отражения поверхностей помещения должны быть не менее следующих значений: 0,7 — потолка и верхней части стен, 0,5 — нижних частей стен, 0,25 — пола, 0,3 — мебели.

Таблица 18.8

Значения τ_0 на уровне пола

Отношение глубины помещения d_n к высоте от уровня условной рабочей поверхности до верха окна, h_{01}	Отношение расстояния расчетной точки от внутренней поверхности наружной стены l_1 к глубине помещения d_n	Средневзвешенный коэффициент отражения пола, стен и потолка $\rho_{ср}$											
		0,60			0,50			0,45			0,35		
		Отношение длины помещения a_n к его глубине d_n											
		0,5	1,0	2,0	0,5	1,0	2,0	0,5	1,0	2,0	0,5	1,0	2,0
1,00	0,10	1,05	1,05	1,05	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,03	1,03	1,03
1,00	0,50	1,46	1,41	1,31	1,31	1,27	1,20	1,23	1,20	1,14	1,08	1,06	1,03
1,00	0,90	2,32	2,17	1,88	1,89	1,79	1,57	1,68	1,59	1,42	1,25	1,21	1,12
3,00	0,10	1,07	1,07	1,07	1,06	1,06	1,06	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
3,00	0,20	1,04	1,04	1,04	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,02	1,02	1,02
3,00	0,30	1,32	1,29	1,23	1,22	1,20	1,16	1,17	1,16	1,12	1,08	1,07	1,05
3,00	0,40	1,85	1,77	1,59	1,60	1,54	1,41	1,47	1,42	1,32	1,21	1,19	1,14
3,00	0,50	2,51	2,36	2,05	2,06	1,95	1,73	1,84	1,75	1,57	1,38	1,34	1,25
3,00	0,60	3,21	2,98	2,53	2,55	2,39	2,06	2,22	2,09	1,83	1,56	1,50	1,37
3,00	0,70	3,90	3,60	3,00	3,04	2,83	2,40	2,61	2,44	2,09	1,74	1,66	1,49
3,00	0,80	4,60	4,23	3,48	3,53	3,26	2,73	2,99	2,78	2,36	1,92	1,82	1,61
3,00	0,90	5,29	4,85	3,96	4,02	3,70	3,06	3,38	3,12	2,62	2,10	1,98	1,72
5,00	0,10	1,09	1,09	1,09	1,08	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,06	1,06	1,06
5,00	0,20	1,06	1,06	1,06	1,05	1,05	1,05	1,04	1,04	1,04	1,03	1,03	1,03
5,00	0,30	1,53	1,48	1,38	1,38	1,34	1,27	1,30	1,27	1,22	1,15	1,13	1,10
5,00	0,40	2,45	2,30	2,01	2,02	1,92	1,71	1,81	1,73	1,56	1,39	1,35	1,27
5,00	0,50	3,57	3,31	2,79	2,82	2,63	2,26	2,44	2,29	2,00	1,69	1,62	1,47
5,00	0,60	4,74	4,36	3,60	3,65	3,38	2,83	3,10	2,88	2,45	2,01	1,90	1,68
5,00	0,70	5,92	5,42	4,42	4,48	4,12	3,41	3,76	3,48	2,91	2,32	2,18	1,90
5,00	0,80	7,09	6,47	5,23	5,31	4,87	3,98	4,42	4,07	3,36	2,64	2,46	2,11
5,00	0,90	8,26	7,52	6,04	6,14	5,61	4,56	5,08	4,66	3,81	2,96	2,75	2,32

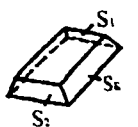
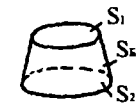
Таблица 18.9

Значения световой характеристики фонарей (прямоугольных, трапециевидных и шед) η_{ϕ}

Тип фонарей	Количество пролетов	Значения световой характеристики фонарей η_{ϕ}								
		Отношение длины помещения l_n к ширине пролета l_1								
		от 1 до 2			от 2 до 4			более 4		
		Отношение высоты помещения H к ширине пролета l_1								
		от 0,2 до 0,4	от 0,4 до 0,7	от 0,7 до 1	от 0,2 до 0,4	от 0,4 до 0,7	от 0,7 до 1	от 0,2 до 0,4	от 0,4 до 0,7	от 0,7 до 1
С вертикальным двусторонним остеклением (прямоугольные, М-образные)	Один	5,8	9,4	16	4,6	6,8	10,5	4,4	6,4	9,1
	Два	5,2	7,5	12,8	4	5,1	7,8	3,7	6,4	6,5
	Три и более	4,8	6,7	11,4	3,8	4,5	6,9	3,4	4	5,6
С наклонным двусторонним остеклением	Один	3,5	5,2	6,2	2,8	3,8	4,7	2,7	3,6	4,1
	Два	3,2	4,4	5,3	2,5	3	4,1	2,3	2,7	3,4
	Три и более	3	4	4,7	2,35	2,7	3,7	2,1	2,4	3
С вертикальным односторонним остеклением (шеды)	Один	6,4	10,5	15,2	5,1	7,6	10	4,9	7,1	8,5
	Два	6,1	8	11	4,7	5,5	6,6	4,35	5	5,5
	Три и более	5	6,5	8,2	4	4,3	5	3,6	3,8	4,1
С наклонным односторонним остеклением (шеды)	Один	3,8	4,55	6,8	2,9	3,4	4,5	2,5	3,2	3,9
	Два	3	4,3	5,7	2,3	2,9	3,5	2,15	2,65	2,9
	Три и более	2,7	3,7	5,1	2,2	2,5	3,1	2	2,25	2,5

Таблица 18.10

Значения световой характеристики η_{Φ} световых проемов в плоскости покрытия при верхнем освещении

Схемы фонарей	Отношение площади выходного отверстия S_2 к сумме площадей входного отверстия S_1 и боковой поверхности проема S_6	Индекс помещения i									
		0,5	0,7	1	1,25	1,5	2	2,5	3	4	5
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
 	0,05	25	19	16	14,3	13,3	12	11,5	11	10,5	10
	0,1	13	1,3	8,5	7,7	7	6,3	6	5,8	5,5	5,4
	0,2	7	5,6	4,6	4,2	3,8	3,4	3,3	3,1	3	2,9
	0,3	5	4	3,3	2,9	2,7	2,4	2,3	2,2	2,1	2
	0,4	4,2	3,3	2,7	2,4	2,2	2	1,9	1,85	1,8	1,7
	0,5	3,7	2,9	2,4	2,1	2	1,8	1,7	1,6	1,55	1,5
	0,6	3,3	2,6	2,1	1,9	1,8	1,6	1,5	1,45	1,4	1,3
	0,7	3,1	2,4	2	1,8	1,6	1,5	1,4	1,35	1,3	1,25
	0,8	2,9	2,3	1,9	1,7	1,55	1,4	1,35	1,3	1,2	1,2
0,9	2,8	2,2	1,8	1,6	1,5	1,35	1,3	1,25	1,2	1,15	

Индекс помещения $i = \frac{l_{\text{п}} b}{H(l_{\text{п}} + b)}$, где $l_{\text{п}}$ — длина помещения вдоль оси пролетов; b — ширина помещения; H — высота покрытия над условной рабочей поверхностью.

Таблица 18.11

Значения коэффициента r_2

Отношение высоты помещения, принимаемой от условной рабочей поверхности до нижней грани остекления H_{Φ} , к ширине пролета l_1	Значения коэффициента r_2								
	Средневзвешенный коэффициент отражения потолка, стен и пола								
	$\rho_{\text{ср}} = 0,5$			$\rho_{\text{ср}} = 0,4$			$\rho_{\text{ср}} = 0,3$		
	Количество пролетов								
	1	2	3 и более	1	2	3 и более	1	2	3 и более
2	1,7	1,5	1,15	1,6	1,4	1,1	1,4	1,1	1,05
1	1,5	1,4	1,15	1,4	1,3	1,1	1,3	1,1	1,05
0,75	1,45	1,35	1,15	1,35	1,25	1,1	1,25	1,1	1,05
0,5	1,4	1,3	1,15	1,3	1,2	1,1	1,2	1,1	1,05
0,25	1,35	1,25	1,15	1,25	1,15	1,1	1,15	1,1	1,05

Таблица 18.12

Значения коэффициента K_{Φ}

Тип фонаря	Значения коэффициента K_{Φ}
Световые проемы в плоскости покрытия, ленточные	1
Световые проемы в плоскости покрытия, штучные	1,1
Фонари с наклонным двусторонним остеклением (трапециевидные)	1,15
Фонари с вертикальным двусторонним остеклением (прямоугольные)	1,2
Фонари с односторонним наклонным остеклением (шеды)	1,3
Фонари с односторонним вертикальным остеклением (шеды)	1,4

ШКОЛЬНЫЕ КЛАССЫ

Проектирование естественного освещения учебных помещений в общеобразовательных школах должно производиться с целью обеспечения нормируемых значений КЕО на рабочих местах (партах и столах) и благоприятной световой среды в помещениях. Нормированное значение КЕО при одном естественном освещении, равное 1,5%, должно обеспечиваться в расчетной точке на УРП на характерном разрезе помещения на расстоянии 1,2 м от стены, наиболее удаленной от светопроемов. Нормами СанПиН [18.18] допускается в школьных классах применение совмещенного освещения с нормированным значением КЕО, равным 1,3%.

Основной системой естественного освещения школьных классов при трех- и четырехрядном расположении парт является боковое освещение, при котором окна располагаются с левой стороны от направления взгляда учащихся на доску (для исключения мешающих теней от руки при письме). В этом случае нормированный КЕО обеспечивается при следующих условиях: глубина класса не более 8 м, относительная площадь световых проемов должна составлять не менее 20% площади пола или не менее 50% площади наружной стены, общий коэффициент светопропускания окон должен быть не менее 0,56 при двухкамерных стеклопакетах. Средневзвешенный коэффициент отражения поверхностей помещения должен быть не менее 0,5.

Чертежные и рисовальные кабинеты, а также кабинеты, оборудованные компьютерами, можно проектировать с одним верхним освещением через световые проемы в покрытии. Все остальные учебные помещения должны иметь, как правило, боковое освещение через окна в наружных стенах.

В школьных классах весьма важная функция окон заключается в зрительной связи с наружным пространством. Исследования физиологов и гигиенистов показывают, что у учащихся, лишенных на длительное время зрительной связи с наружным пространством, снижается способность к восприятию учебного материала. По этой причине необходимо предусматривать окна и в рекреационных помещениях. Большое психофизиологическое воздействие на учащихся оказывает также цветовая отделка поверхностей интерьера. Оптимальным для отделки учебных помещений принято считать зеленый, желтый, сине-зеленый и белый цвета. При южной ориентации светопроемов рекомендуются холодные тона, при восточной — более теплые. В лабораториях, кабинетах черчения и рисования, где важно точное различие цвета, пол, стены и мебель следует окрашивать ахроматическими колерами.

Поверхности учебных помещений должны иметь коэффициенты отражения не менее 0,8 — для потолков и верхних частей стен; 0,5 — для панелей стен; 0,4 — для мебели и 0,25 — для полов. Отделка учебных помещений наряду с обеспечением общего светового комфорта должна помогать концентрировать внимание учащихся на классной доске. Для доски рекомендуется зеленый цвет средней насыщенности. Для предотвращения бликов световой поток должен падать на доску

под возможно малым углом. Коэффициент отражения стены, на которой расположена доска, не должен быть слишком большим, т.к. чрезмерный контраст доски с фоном затрудняет чтение меловых надписей. Соотношения яркостей в поле зрения учащихся не должны превышать 3:1 между тетрадью и поверхностью стола, 10:1 между тетрадью и стеной (полом), 1:3 между классной доской и стеной, 20:1 между световым проемом и стеной.

В школах, проектируемых для строительства во II – IV климатических районах, для устранения слепящего действия и перегрева при инсоляции должно предусматриваться оборудование светопроемов солнцезащитными средствами. Система искусственного освещения должна проектироваться с учетом того, что в течение большого количества учебных часов в помещении будет работать совмещенное освещение. Святильники должны располагаться рядами, параллельными окнам. Ряды светильников должны иметь раздельное включение. В оптимальном случае в помещении должно быть автоматически регулируемое совмещенное освещение с дискретным или непрерывным регулированием.

ЖИЛЫЕ ПОМЕЩЕНИЯ

Естественное освещение жилых помещений должно проектироваться из условия создания ощущения достаточности естественного освещения. Зарубежные исследования показали, что для ощущения достаточности необходимо обеспечить в комнате зимой не менее 50 лк и летом — не менее 170 лк, что соответствует минимальному КЕО, равному 0,9% в точке на расстоянии 1 м от боковой стены в середине глубины помещения на горизонтальной плоскости на уровне 0,8 м от пола. Нормы КЕО для жилых помещений приведены в п. 18.5.

Основным фактором, влияющим на естественное освещение жилых помещений, является их форма в плане. Чем меньше глубина помещений, тем легче обеспечить требуемые уровни естественного освещения и наоборот. Для обеспечения хороших условий естественного освещения отношение глубины помещения к высоте верхней грани окна над полом не должно, как правило, превышать 2,5. При этом прямой свет от неба должен проникать не менее чем на половину глубины помещения, считая по характерному разрезу на уровне пола.

Для удовлетворительного естественного освещения жилого помещения важно правильно выбрать размеры светопроема. Ориентировочные значения отношения площади окон к площади пола (в процентах), обеспечивающие нормированное значение КЕО в жилых комнатах разной глубины, приведены в табл. 18.13. После выбора окна необходимо провести расчет КЕО согласно п. 18.6 с учетом окружающей застройки и сравнить его с нормированным КЕО и, при необходимости, увеличить или уменьшить площадь окна. Учет затеняющего влияния противостоящей застройки следует проводить в соответствии с указаниями [18.19].

Таблица 18.13

Отношения площади окон к площади пола
в жилых помещениях жилых домов

Конструкция окон		Рекомендуемая относительная площадь окон, %, при глубине комнаты, м			
Переделы	Количество слоев стекла	2,5–3,5	3,5–4	4–5	5–6
Одинарные	1	10	13	15	18
Спаренные	2	12,5	14	18,5	22
Раздельные	2	13,5	15,5	21	25
Раздельно-спаренные	3	17	25	—	—

В последние годы в жилых домах часто стали применяться лоджии, которые в большинстве случаев обогащают архитектуру здания и улучшают его эксплуатационные возможности. Хаотичное остекление лоджий жильцами привело к тому, что с 2002 г. в проектах предписывается применять только остекленные лоджии. Такие правила действуют в Москве. В других городах, очевидно, они также будут введены. Лоджии, а тем более остекленные лоджии, значительно снижают уровень естественной освещенности в помещении. В связи с этим устройство лоджий необходимо увязывать с планировочным решением квартир. В кухнях и неглубоких комнатах обычно обеспечиваются высокие уровни естественного освещения, поэтому применение лоджий в них оправдано. В комнатах глубиной более 5,5 м применять лоджии, как правило, не рекомендуется, т.к. при этом очень трудно обеспечить нормированное значение КЕО. В лоджиях рекомендуется применять беспеределное остекление или одинарное остекление в тонких открывающихся алюминиевых переделах. Окна помещений, выходящие в лоджию, могут иметь однокамерные стеклопакеты в деревянных или пластмассовых переделах, по толщине соответствующих спаренным. Подоконник окон помещения, выходящих в лоджии, должен быть пониженным для того, чтобы максимально использовать телесный угол окна (см. рис. 18.30).

В условиях современной городской застройки обеспечение естественного освещения в соответствии с тре-

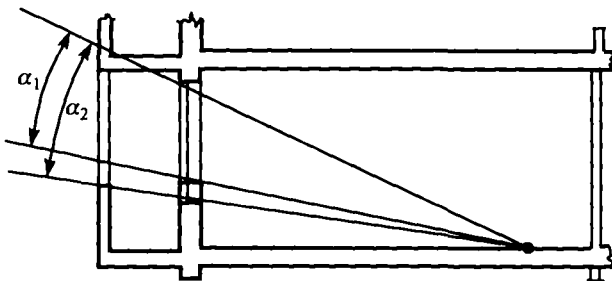


Рис. 18.30. Увеличение телесного угла в лоджии за счет понижения подоконника

бованиями норм наиболее затруднительно в жилых комнатах, расположенных на первом и втором этажах зданий вследствие их затенения противостоящими зданиями. Эти трудности в настоящее время постоянно увеличиваются в связи с уплотнением застройки. Поэтому на нижних этажах нежелательно использование балконов и лоджий, затеняющих помещения. Окна должны иметь большие размеры, чем на верхних этажах. Фасады должны отделываться очень светлыми материалами.

В жилых зданиях высотой 3 этажа и более, расположенных в III и IV климатических районах, световые проемы, а в IV районе также проемы лоджий и веранд, обращенные на сектор горизонта 200° – 290° , должны быть оборудованы наружными регулируемыми солнцезащитными устройствами.

ВЫСТАВОЧНЫЕ ПОМЕЩЕНИЯ

Одной из важнейших задач освещения выставочных помещений является обеспечение благоприятных условий восприятия экспонатов. Освещение экспонатов характеризуется средним значением КЕО в пределах выставочной зоны помещения и направлением падения основного светового потока на плоскость выставочной зоны. Нормированное среднее значение КЕО в плоскости выставочной зоны равно 1,5%, отношение максимального КЕО к минимальному в пределах выставочной зоны не должно превышать 3. Угол падения прямого света на плоские экспонаты (картины, плакаты, гравюры, ткани и т.п.) при расположении их на стенах помещения или вертикальных стендах выбирается в пределах от 45° до 75° по отношению к горизонтали. При углах, больших 75° , на экспонатах создаются тени от рамок и фактуры, искажающие облик экспонатов. При углах менее 45° отблески от экспонатов с блестящей фактурой будут попадать в глаза посетителей. Угол падения прямого света на объемные экспонаты выбирается в пределах от 30° до 50° . Такое направление падения света в наилучшей степени выявляет форму и детали объемных экспонатов. Большое значение имеет также соотношение прямой и рассеянной освещенности на объекте, от которого зависит глубина и контрастность собственных и падающих теней, что особенно важно для восприятия скульптуры.

Освещение окружающего пространства должно обеспечивать следующие требования: соответствующее распределение освещенности и яркости в помещении, ограничение слепящего действия световых проемов, устранение инсоляции помещения. Предпочтительными приемами естественного освещения выставочных залов являются те, которые создают максимальную освещенность в выставочной зоне и минимальную в зоне нахождения посетителей. Для ограничения слепящего действия световых проемов в выставочных помещениях световые проемы по возможности должны быть скрыты от наблюдателей и не попадать в их поле зрения при обозревании экспонатов. Все поверхности интерьера должны быть окрашены таким образом, чтобы их яркости не конкурировали с яркостями экспонатов.

В помещениях, предназначенных для экспозиции живописи, графики, тканей, ковров, гобеленов и других подобных экспонатов, прямой солнечный свет должен быть исключен вследствие его разрушающего действия на красители, ткани, бумагу. Для устранения инсоляции в этих помещениях целесообразно выбирать ориентацию световых проемов на северную четверть небосвода. При другой ориентации световых проемов в этих помещениях необходимо применять СЗУ в виде регулируемых межстекольных или наружных жалюзи.

Во многих случаях наилучшее освещение выставочного помещения достигается при совместном использовании естественного и искусственного света. Осветительные приборы целесообразно устраивать при недостаточном естественном освещении в случае необходимости иметь интенсивное местное искусственное освещение экспонатов (машины, агрегаты, витрины и шкафы с мелкими объемными экспонатами), при необходимости выделять из общего объема интерьера отдельные экспонаты или их группы (скульптура, панно, картины и т.п.), при неблагоприятном распределении освещенности в помещении (например, когда часть экспозиционной площади находится в тени). Необходимо использовать источники света, излучение которых по спектру приближается к дневному свету. Осветительные приборы следует располагать скрыто от посетителей (размещать за подвесными потолками, встраивать в мебель или в экспозиционное оборудование). При этом тщательно продумывается направление основного светового потока, чтобы исключить попадание в поле зрения посетителей источников света и появление ярких бликов на экспонатах с полированными поверхностями. Вопросы соотношения прямой и рассеянной освещенности на объекте в этом случае играют важную роль.

18.7.3. Измерение естественной освещенности

В некоторых случаях возникает необходимость в объективной оценке естественного освещения помещений на основе измерений КЕО с помощью люксметров. Принципы светотехнических измерений и устройства светотехнических измерительных приборов подробно изложены в разделе 2. Учитывая, что все расчеты и нормы КЕО имеют в качестве основного допущения пасмурное небо МКО, измерения КЕО могут производиться только при сплошной десятибалльной облачности. Однако могут быть исключения, например в случае измерения КЕО при наличии световодов или светоуправляющих устройств. При этом величина КЕО становится условной. А при измерении наружной освещенности необходимо экранировать прямой свет солнца [18.22].

Для измерения КЕО заготавливается журнал натуральных измерений, в котором указываются место, время и погодные условия во время измерений, приборы, геометрические параметры помещения и светопроемов, коэффициенты отражения внутренних и прилегающих наружных поверхностей, вид заполнения проема и его загрязнение. Коэффициент светопропускания матери-

ала остекления с учетом загрязнения $\left(\frac{\tau_1}{K_3}\right)$ определяется

как отношение показаний люксметра до и после стекла. Коэффициенты отражения поверхностей измеряются с помощью рефлексометра [18.22]. Кроме этих данных журнал должен содержать таблицы для записи результатов измерений.

Измерения внутри помещения (обычно в пяти точках на рабочей поверхности, заранее размеченных по характерному разрезу) синхронизируются по времени с измерениями наружной освещенности, производящимися на открытой незатененной площадке, желательно на крыше здания. Для этого наружная освещенность измеряется ежесекундно. Около каждого результата записывается время измерения. Внутренняя освещенность в намеченных точках измеряется в это же время. Время каждого измерения также записывается. При заполнении журнала измерений в графе «наружная освещенность» выбирается результат, совпадающий по времени с результатом измерения внутренней освещенности в данной точке. Измерение в каждой точке для исключения случайных ошибок следует проводить не менее 2 раз. Полученные результаты необходимо усреднить.

КЕО в процентах определяется делением показания внутреннего люксметра на показание наружного люксметра и умножается на 100.

Иногда при сложной конфигурации помещения и светопроемов, а также в исследовательских целях необходимо проводить измерения естественной освещенности на моделях помещений. Из-за большого непостоянства естественного неба желательно использовать установку «искусственный небосвод». Такие установки в России имеются только в архитектурно-строительных университетах и академиях, а также в Научно-исследовательском институте строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук. Подробно методика измерений и типы установок «искусственный небосвод» приводятся в [18.22].

18.8. ИНСОЛЯЦИЯ И СОЛНЦЕЗАЩИТА

Солнце — основа жизни на земле, основной источник энергии, который приобретает все большее значение по мере истощения природных запасов энергетического сырья: нефти, газа, угля. Однако использование Солнца как источника энергии в настоящее время в России находится в стадии экспериментов. В то же время значение Солнца не исчерпывается его энергетической значимостью. Воздействие Солнца на человека складывается из четырех факторов:

- бактерицидное воздействие (считается, что за 2–2,5 часа ультрафиолетовая радиация (УФР) убивает до 100% бактерий в чашке Петри, установленной в солнечном пятне на подоконнике);
- эритемное воздействие (под действием УФР на кожу человека в организме вырабатывается витамин D);
- тепловое воздействие (зимой на большей части территории России тепловое воздействие имеет поло-

жительный характер. Летом оно ведет к перегреву, что требует специальной солнцезащиты);

– психологическое воздействие (по результатам психофизических исследований, проводившихся в Дании, Швеции, Голландии [18.23], принято считать, что люди далеко не всегда хотят находиться в инсолируемой комнате, но им нужна уверенность, что солнце может проникать в одну из комнат квартиры).

Инсоляцией называется проникновение прямых солнечных лучей в помещение.

Нормирование инсоляции в России в настоящее время осуществляется по Нормам Минздрава РФ СанПиН [18.24]. Большой вклад в теорию инсоляции и солнцезащиты в архитектуре внесли такие ученые, как Н.В. Оболенский, Д.В. Бахарев, Д.С. Масленников, И.С. Суханов, Б.Ф. Васильев. Гигиеническая сторона Норм по инсоляции определяется на основе работ таких ученых, как В.А. Белинский, Д.В. Бахарев, М.П. Гараджа, Н.М. Данциг, В.Г. Беликова. Нормирование инсоляции, так же как и естественного освещения, позволяет гигиенически обоснованно ограничить стремление инвесторов к чрезмерному повышению плотности застройки.

Нормы инсоляции определяются в часах, в течение которых прямое солнечное излучение непрерывно или с перерывами попадает в расчетную точку. В случае прерывистой инсоляции суммарная продолжительность должна быть увеличена на 0,5 часа при продолжительности одного из периодов не менее 1 часа. Расчетная точка располагается в помещении за остеклением светопроема согласно рис. 18.31. Это условие регламентировано СанПиН. На территории игровых и детских спортивных площадок в жилой застройке, а также на территории общеобразовательных школ и детских дошкольных учреждений (ДДУ) такие точки должны ограничивать 70% территории.

Нормируемая продолжительность инсоляции для различных районов России приведена в табл. 18.14. Инсоляция должна быть обеспечена в одной из жилых комнат одно-, двух- и трехкомнатных квартир или в двух жилых комнатах четырех- и более комнатных квартир, а также в палатах больниц, игровых и групповых комнатах ДДУ и в классах общеобразовательных школ. На территории детских площадок продолжительность инсоляции в указанные в табл. 18.14 сроки должна быть не менее 3 часов.

Таблица 18.14

Нормируемая продолжительность инсоляции и сроки ее обеспечения (СанПиН 2.2.1/2.1.1.1076-01)

п. 2.4.	Нормируемая продолжительность инсоляции устанавливается на определенные календарные периоды с учетом географической широты местности: – северная зона (севернее 58° с.ш.) — с 22.04 по 22.08; – центральная зона (58° с.ш. – 48° с.ш.) — с 22.03 по 22.09; – южная зона (южнее 48° с.ш.) — с 22.02 по 22.10
п. 2.5.	Нормируемая продолжительность непрерывной инсоляции устанавливается дифференцированно: – для северной зоны — не менее 2,5 часов в день; – для центральной зоны — не менее 2,0 часов в день; – для южной зоны — не менее 1,5 часов в день
п. 3.1.	Продолжительность инсоляции в жилых зданиях должна быть обеспечена не менее чем в одной комнате 1–3-комнатных квартир и не менее чем в двух комнатах 4 (и более)-комнатных квартир
п. 3.2.	В зданиях общежитий должно инсолироваться не менее 60% жилых комнат
п. 3.3.	Допускается прерывистость инсоляции, при которой один из периодов должен быть не менее 1,0 часа. При этом суммарная продолжительность нормируемой инсоляции должна увеличиваться на 0,5 часа соответственно для каждой зоны
п. 3.4.	Допускается снижение продолжительности инсоляции на 0,5 часа для северной и центральной зон в двухкомнатных и трехкомнатных квартирах, где инсолируется не менее двух комнат, и в многокомнатных квартирах (4 и более комнат), где инсолируется не менее 3-х комнат, а также при реконструкции жилой застройки, расположенной в центральной, исторической зонах городов, определенных их генеральными планами развития
п. 4.1.	Нормируемая продолжительность инсоляции устанавливается в основных функциональных помещениях общественных зданий
п. 4.2.	К основным функциональным помещениям относятся: – в зданиях ДДУ — групповые, игровые, изоляторы и палаты; – в учебных зданиях школ, ПТУ — классы и учебные кабинеты; – в ЛПУ — палаты (не менее 60% общей численности); – в учреждениях социального обеспечения — палаты, изоляторы
п. 5.1.	На территориях детских игровых площадок, спортивных площадок жилых домов, групповых площадок ДДУ, спортивной зоны, зоны отдыха общеобразовательных школ и школ-интернатов, зоны отдыха ЛПУ стационарного типа продолжительность инсоляции должна составлять не менее 3 часов на 50% площади участка независимо от географической широты

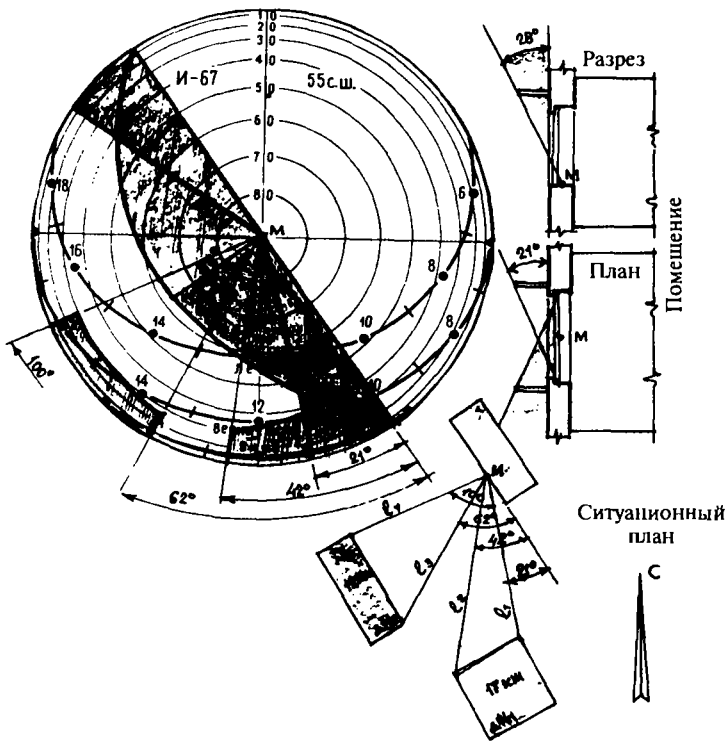


Рис. 18.31. Построение теневых масок сторонних углов окна и теневых масок противостоящих зданий. Продолжительность инсоляции точки M 22.03 (22.09) с 11.40 до 14.20 — 2 ч 20 мин.

Для центральных и исторических районов городов, а также в случае, если в квартире инсолируются две и более жилые комнаты, нормируемая продолжительность инсоляции может быть уменьшена на 0,5 часа. Это не касается ДДУ и общеобразовательных школ.

Расчет продолжительности инсоляции основан на астрономических закономерностях движения Солнца по небосводу. На рис. 18.32 приведена схема траекто-

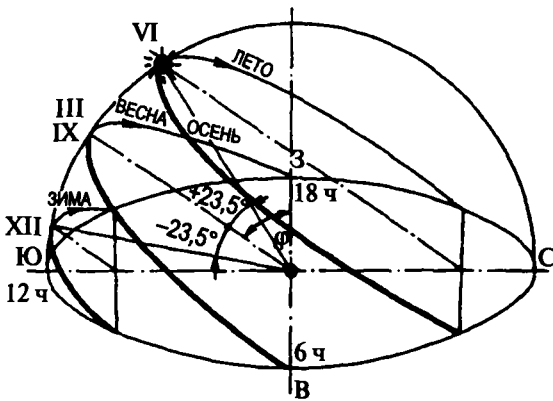


Рис. 18.32. Траектория Солнца в течение характерных дней года и способ определения положения Солнца в полдень в дни летнего и зимнего солнцестояния и в дни весеннего и осеннего равноденствия при заданной географической широте

рий движения Солнца по небосводу в дни осенне-весеннего равноденствия (22 марта и 22 сентября), летнего и зимнего солнцестояния (22 июня и 22 декабря). Угол наклона плоскостей траекторий по отношению к горизонтальной плоскости в данной точке земной поверхности равен $90 - \varphi$, где φ — географическая широта местности.

Положение Солнца на небосводе в любой момент времени может быть рассчитано по формулам:

$$\sin h_0 = \sin G \sin \varphi + \cos G \cos \varphi \cos t; \quad (18.25)$$

$$\cos A_0 = \frac{\cos \varphi \sin G - \cos G \sin \varphi \cos t}{\cos h_0}, \quad (18.26)$$

где φ — географическая широта (южная — со знаком минус); t — часовой угол (15° для каждого часа после полудня; утренние часы со знаком минус); G — склонение ($0-23,5^\circ$), h_0 — угловая высота Солнца; A_0 — азимут Солнца.

Среднее значение склонения для каждого дня в годовом цикле в високосный год можно рассчитать по формуле:

$$G = 23,45 \sin \left(360 \frac{284 + n}{365} \right) = 23,45 \sin [0,986(284 + n)], \quad (18.27)$$

где n — порядковый номер дня в году, считая от 1 января.

Проекция траекторий движения Солнца по небосводу на горизонтальную плоскость называется солнечной картой, которая составляется для данной широты местности в ортографических (рис. 18.33) или в стереографических (рис. 18.34) про-

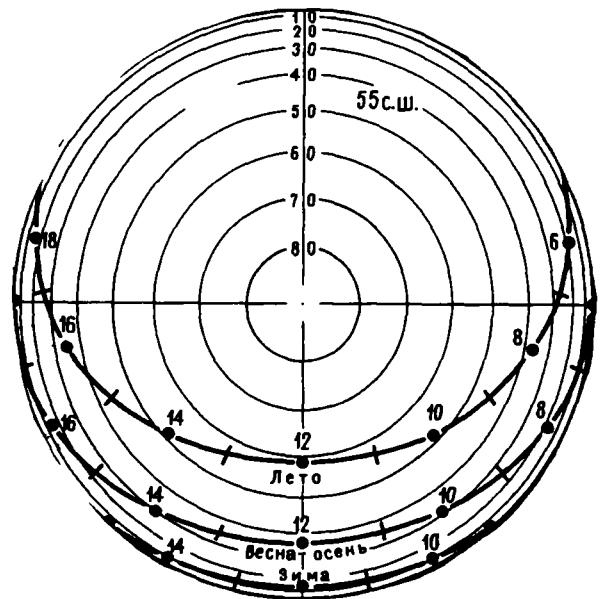


Рис. 18.33. Ортографические проекции. Солнечная карта для $\varphi = 55^\circ$ с.ш.

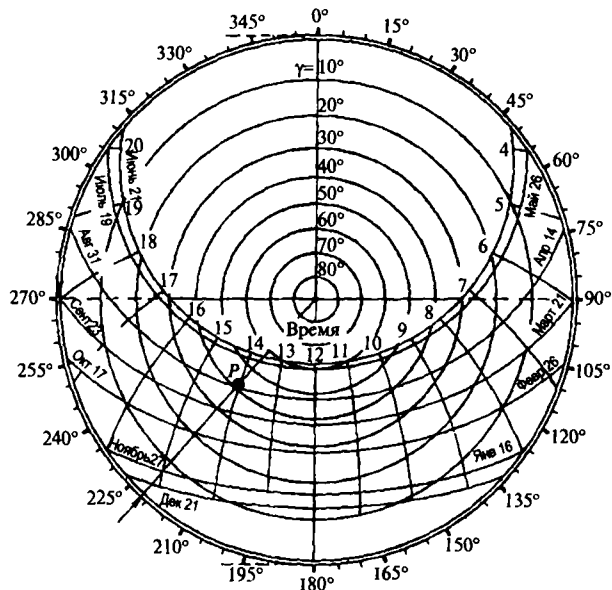


Рис. 18.34. Стереографические проекции. Солнечная карта для $\varphi = 28^\circ$ с.ш. Определение азимута и угловой высоты Солнца, например, 31 августа в 14.00; $\alpha = 222$, $\gamma = 42$

екциях. Концентрические окружности на солнечных картах обозначают кольцевые угловые координаты вертикальных углов высоты солнца над горизонтом.

На солнечную карту (рис. 18.33) наносится линия ориентации фасада и горизонтальный и вертикальный теневые углы светопроема (рис. 18.31). По свободной (не попавшей в теневые углы) части проекции траектории Солнца можно определить продолжительность инсоляции помещения.

Затенение противостоящими зданиями учитывается путем построения на солнечной карте теневых масок этих зданий: измеряются горизонтальные углы и вычисляются вертикальные углы контура окружающей застройки, видимой из расчетной точки, в соответствии с генпланом или ситуационным планом места строительства (см. рис. 18.31). Затем эти углы наносятся на солнечную карту в виде теневых масок. По свободным от теневых масок участкам проекции траектории движения Солнца, разбитым на часы, определяется продолжительность инсоляции помещения.

В проектных организациях России для определения продолжительности инсоляции принято пользоваться так называемыми «инсографиками» (рис. 18.35), которые можно накладывать на генплан и быстро определять продолжительность инсоляции прямо «с листа». Это повышает оперативность работы архитекторов. Недостатком инсографиков является сложность учета затеняющего действия карнизов, балконов и лоджий по сравнению с методом солнечных карт. Тем не менее этот метод считается основным, и его применение регламентируется Нормами СанПиН.

Инсографики строятся для определенной широты местности, для определенных контрольных сроков ин-

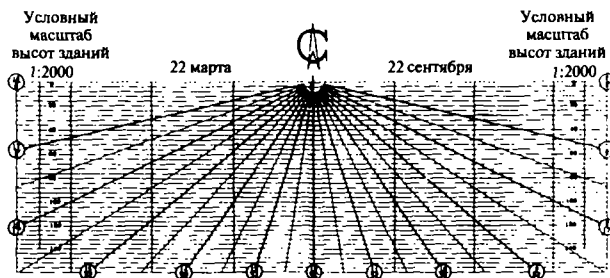


Рис. 18.35. Инсографик для 55° с.ш. на 22.03 (22.09). М. 1:500

соляции в соответствии с табл. 18.14 и для определенного масштаба генплана (1:500) или ситуационного плана (1:2000). Принцип построения инсографиков подробно описан Н.В. Оболенским [18.23]. На инсограмме (рис. 18.35) лучи, выходящие из полюса графика, обозначают направление лучей солнца в конкретное время дня (6, 7, 8... часов). Горизонтальные прямые линии для 22.03 (22.09) или кривые линии для других контрольных сроков показывают превышение верха карниза или парапета кровли противостоящих зданий над расчетной точкой.

Расчетная точка совмещается с полюсом инсографика. Инсографик ориентируется строго по направлению С-Ю на генплане. Части планов зданий или целиком планы зданий, находящиеся ближе к расчетной точке, чем горизонталь, показывающая превышение их над расчетной точкой, затеняют ее. Продолжительность инсоляции определяется по инсограмму «с листа», как показано на рис. 18.36.

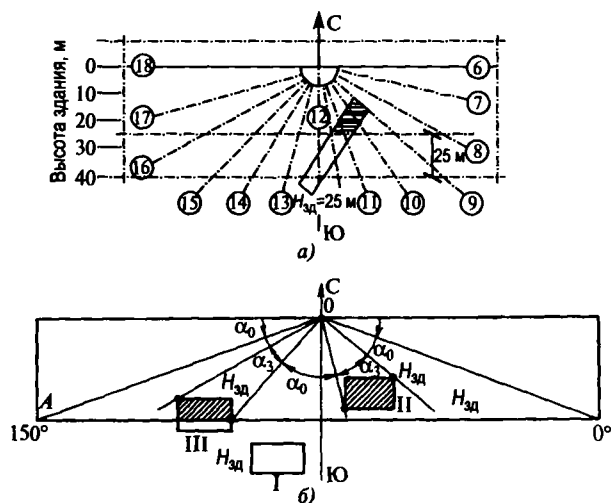


Рис. 18.36. Работа с инсографиком на генплане. Основные случаи расположения зданий относительно затененной точки и линии ограничения, соответствующей превышению их над расчетной точкой: а — одно затеняющее здание; б — два затеняющих здания из трех и азимуты (углы) затенения и инсоляции соответственно

Расчеты продолжительности инсоляции входят составной частью в проект здания или застройки (раздел «Естественное освещение и инсоляция», который утверждается архитектурно-планировочным управлением города при согласовании с городским органом Санэпиднадзора).

Проектирование солнцезащиты является важным средством повышения комфортности внутренней среды в зданиях. Нормы СанПиН 2.2.1/2.1.1 1076-01 требуют обязательного ограничения избыточного теплового воздействия инсоляции в жилых комнатах, помещениях ДДУ, учебных помещениях общеобразовательных школ и средних специальных учебных заведений, санаторно-оздоровительных и учреждениях социального обеспечения, имеющих юго-западную и западную ориентацию светопроемов. Ограничение теплового воздействия должно в этом случае обеспечиваться устройством лоджий или солнцезащитных устройств (СЗУ). Однако и там, где это не регламентировано нормами, устройство солнцезащиты является средством повышения комфортности и снижения энергозатрат на кондиционирование воздуха. СЗУ являются элементом, способным в значительной степени влиять, а иногда и полностью формировать архитектурный облик зданий (рис. 18.37 и 18.38).

СЗУ могут быть стационарными и регулируемыми. Регулируемые СЗУ представляют собой горизонтальные или вертикальные жалюзи с поворачивающимися перьями. Поворот перьев и сдвиг их вверх или вниз могут осуществляться вручную или автоматически под управлением специального устройства, следящего за положением солнца на небосводе. Наиболее рацио-

нально с точки зрения теплозащиты наружное расположение жалюзи. Однако такое расположение требует надежной и прочной конструкции СЗУ для защиты от погодных воздействий. Межстекольное расположение жалюзи ведет к перегреву межстекольного пространства. Внутреннее расположение жалюзи превращает их в источник тепловой радиации внутри помещения, т.к. они нагреваются солнцем. Для снижения этого негативного эффекта межстекольные и внутренние жалюзи должны окрашиваться в белый или очень светлый цвет и выполняться из малотеплоемкого материала.

Стационарные СЗУ являются элементом архитектуры здания и должны быть правильно спроектированы для того, чтобы не усугубить перегрев.

Характерные ошибки при проектировании стационарных СЗУ [18.23].

1. Применение тяжелых бетонных экранов и козырьков, монолитно связанных с несущими конструкциями, и большие плоскости остекления усугубляют перегрев помещений. Горячий воздух, поднимаясь по фасаду, попадет в помещения. Очень светлые СЗУ оказывают слепящее действие за счет отраженного от них прямого солнечного света.

2. Несоответствие геометрических параметров СЗУ требуемым условиям затенения светопроемов. В основе этой ошибки лежит стремление архитекторов придать солнцезащите преимущественно декоративный характер, не проверив эффективность затенения.

3. Применение СЗУ с внутренней стороны светопроемов. Эта ошибка более характерна для регулируемых устройств.

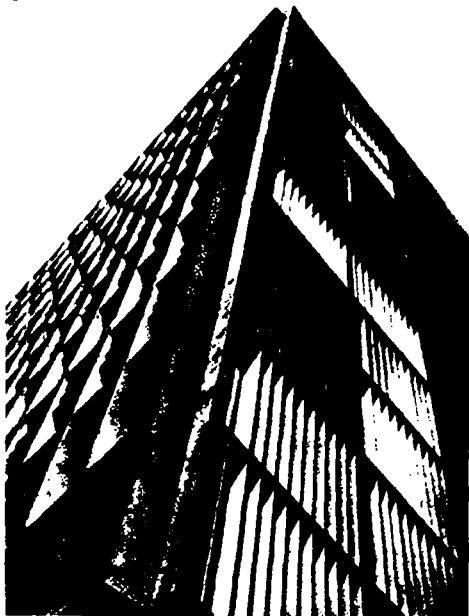


Рис. 18.37. Банк «Боа-Виста», Рио-де-Жанейро, Бразилия. Архитектор Оскар Нимейер. Соответствие вида солнцезащиты ориентации фасадов

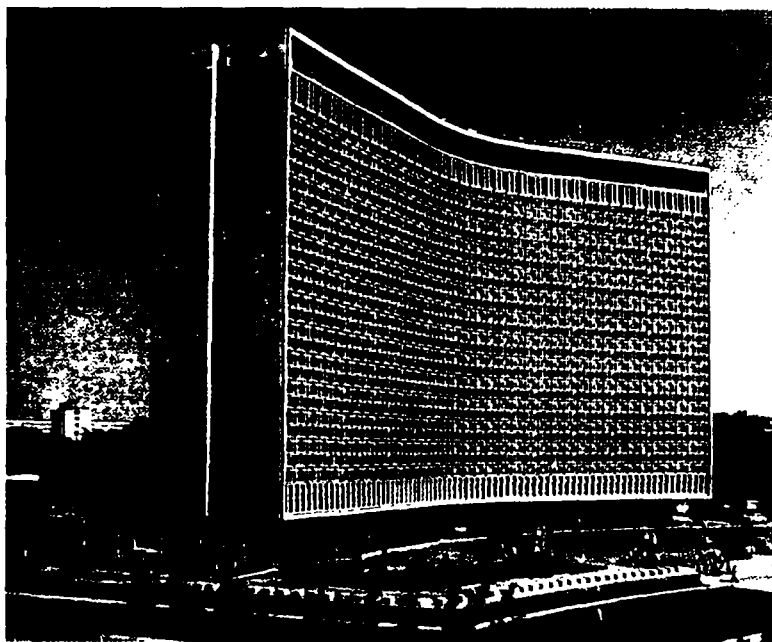


Рис. 18.38. Гостиница «Узбекистан» в Ташкенте. Сотовые СЗУ на юго-западном фасаде

4. Применение наружной солнцезащитной пластики, свойственной архитектуре тропических стран, в зданиях, строящихся в центральных и северных районах.

5. Применение одинаковой наружной солнцезащиты на всех фасадах здания независимо от их ориентации.

6. Применение солнцезащитного остекления. Следует учитывать, что теплоотражающие стекла лишь частично эффективны в снижении перегрева и бесполезны как средство против слепящего действия прямых солнечных лучей. Они не пропускают целебную УФР, значительно снижают освещенность и стоят во много раз дороже обычного оконного стекла. Это же касается и тонированных стекол, к негативным качествам которых добавляется аккумулялирование тепла. Летом такие стекла могут быть дополнительным источником перегрева.

На рис. 18.39 приведены рекомендуемые типы СЗУ в зависимости от ориентации фасадов по странам света.

Размеры СЗУ, их ритм, расположение и углы наклона определяются с помощью солнечных карт или рассчитываются по формулам:

$$\beta = \arctg(\operatorname{ctg} h_0 \cos \alpha); \quad (18.28)$$

$$\gamma = 90 - \alpha, \quad (18.29)$$

где β — угол между плоскостью фасада и проекцией солнечного луча на нормальную к фасаду плоскость (для горизонтальных элементов); γ — угол между линией фасада и азимутом солнца (A_0) (для вертикальных ребер); h_0 — угловая высота солнца над горизонтом; α — угол между азимутом солнца и нормалью к фасаду (см. рис. 18.40).

Существуют методы определения боковых выносов горизонтальных затеняющих элементов свободной формы в зависимости от движения солнца по небосводу (рис. 18.41). Такие козырьки позволяют затенить светопроем в течение только определенного времени.

Расчетное положение солнца (углы h_0 и A_0) определяется для периода перегрева. Период перегрева уста-

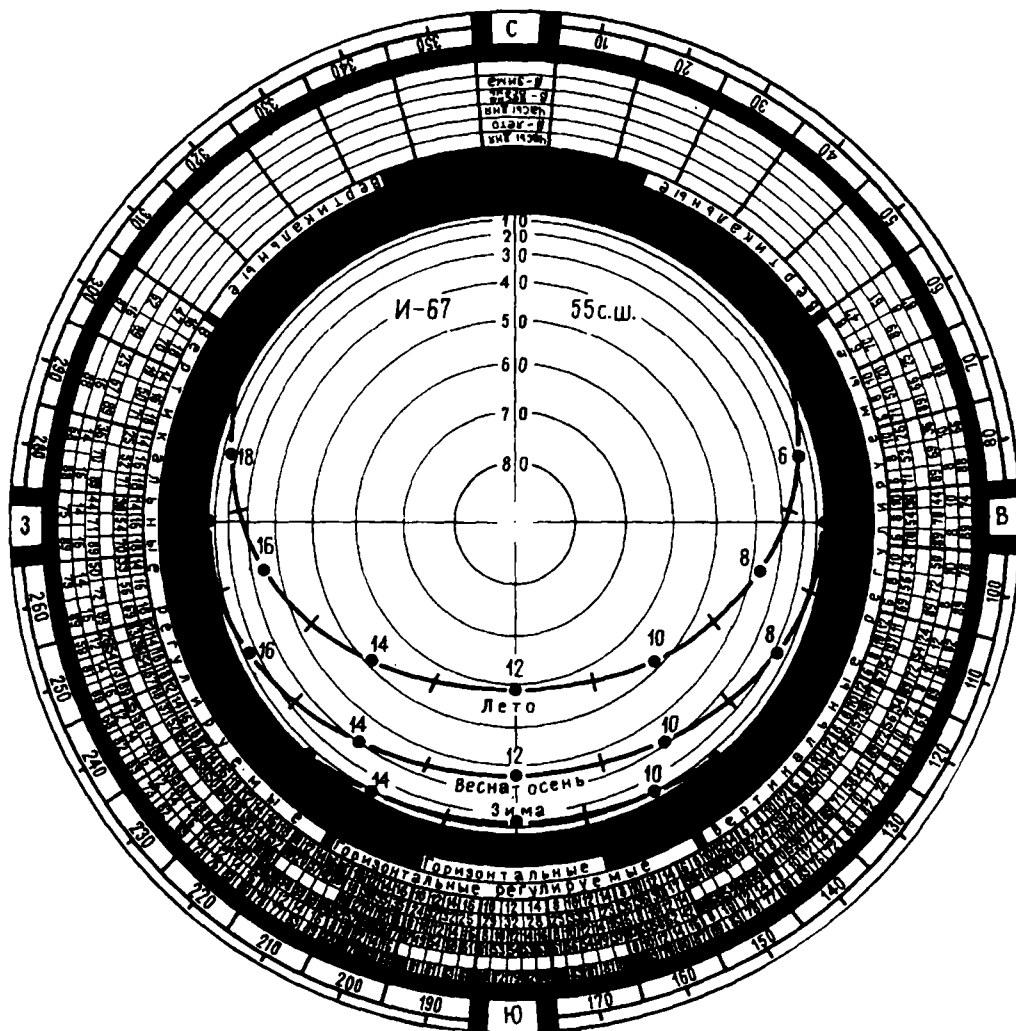


Рис. 18.39. Рекомендуемые типы СЗУ по ориентациям для 55° с.ш. (инсоляметр Н.В. Оболенского)

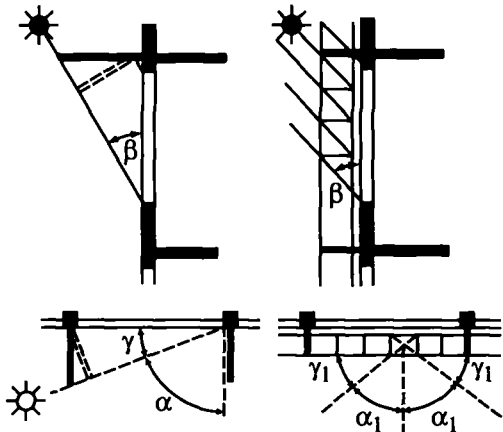


Рис. 18.40. Расчетные схемы «защитных углов» β и γ

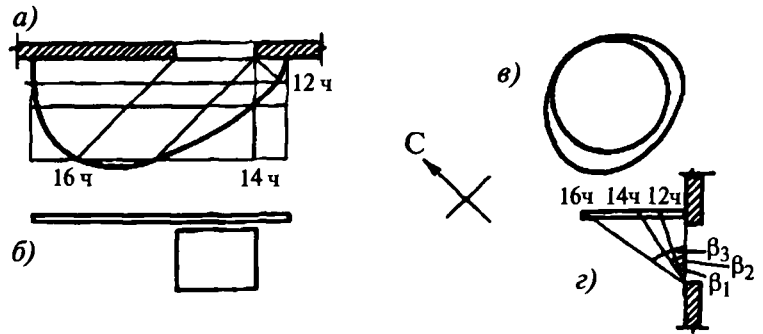


Рис. 18.41. Определение свободной формы козырька в зависимости от движения солнца по небосводу: а — план; б — фасад; в — схема козырька на здании цилиндрической формы; г — схема защитных углов

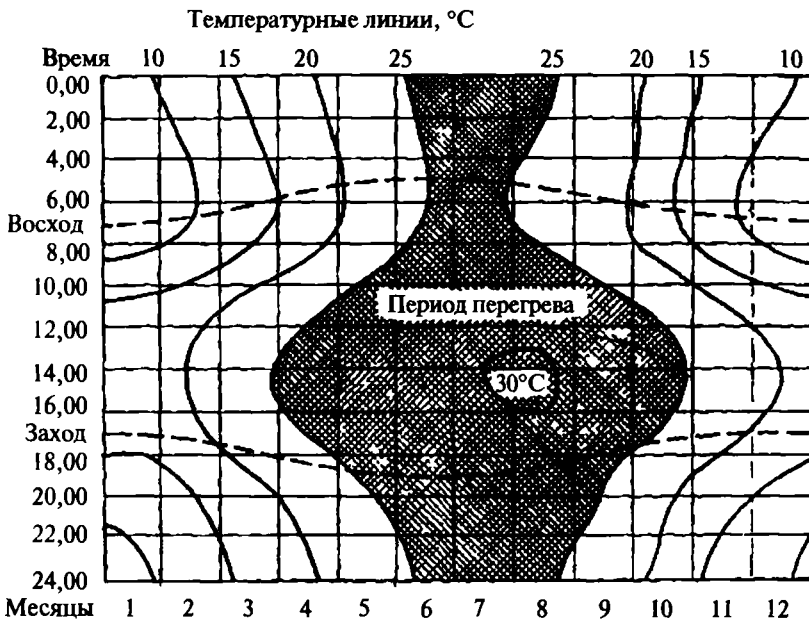


Рис. 18.42. Изотермы на матрице месяцев и часов

наливается по изолиниям температур наружного воздуха в месте строительства (рис. 18.42). Температурой перегрева для России считается $t_H = +28^\circ\text{C}$, т.е. наружная температура, при которой должно обязательно работать искусственное охлаждение в помещении. В других странах эта температура может быть другой в зависимости от влажности воздуха и привычек населения.

18.9. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В РАСЧЕТАХ И ПРОЕКТИРОВАНИИ ЕСТЕСТВЕННОГО И СОВМЕЩЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Развитие науки о естественном освещении зданий привело к тому, что современные представления о физике этого вопроса постепенно приходят к универсаль-

ному понятию о естественном световом поле. Согласно оптической теории естественного светового поля, предложенной Д.В. Бахаревым [18.25], световое поле в какой либо точке помещения на бесконечно малой поверхности (участок плоскости, сфера, полусфера, цилиндр, полуцилиндр, стоящие вертикально) представляет собой размытое оптическое изображение внешней среды, проецируемое в эту точку из внешнего пространства через светопроем. На него накладываются оптические изображения внутренних поверхностей помещения, которые еще более размыты многократными отражениями. Практически из точки помещения, поместив туда приемник излучения (глаз, фотоэлемент с различными насалками), можно «видеть» внешний мир и окружающее пространство, как видит его «камера обскура» [18.23].

Если рассматривать точку внутри помещения как некое бесконечно малое объемное тело, на поверхности которого концентрируются световые потоки от различных окружающих элементов, включая светопроемы, то ее можно представить как тело неравномерной яркости, интеграл которой по его поверхности в соответствующем пересчете даст величину пространственной освещенности. Величина пространственной освещенности, с одной стороны, может быть измерена с помощью современных приборов (рис. 18.43) [18.26], с другой стороны, она может быть рассчитана с помощью формул, разработанных в МГСУ [18.27]. Величины пространственной освещенности могут быть использованы в качестве инструмента для оценки условий зрительной работы [18.26]. Таким образом, оптическая теория естественного светового поля является качественно новым

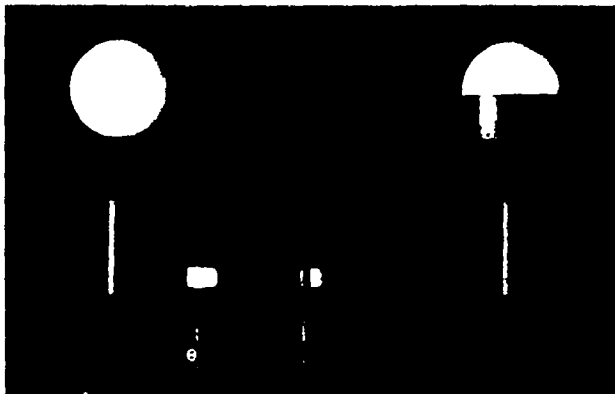


Рис. 18.43. Фотометрические насадки для измерения средней сферической, цилиндрической, полуцилиндрической и средней полусферической освещенности. (Предоставлены фирмой PRC Krochmann GmbH, Берлин.)

этапом развития теории естественного освещения. Она дополняет классическую теорию светового поля А.А. Гершуна, позволяя подойти к точному расчету люксовых характеристик внутренней световой среды как на внутренних поверхностях помещения, так и в точках внутреннего пространства. Зная значения таких характеристик, можно судить о соответствии внутренней световой среды требованиям по решению зрительных задач. Определение этих требований, а также разработка инженерных методов приложения этой теории к решению практических задач ведутся в настоящее время светотехнической школой МГСУ, представители которой работают в технических университетах Магнитогорска (Россия), Макеевки (Украина), Душанбе (Таджикистан), Ханоя (Вьетнам), Улан-Батора (Монголия). Применение теории светового поля для проектирования естественного и совмещенного освещения позволяет:

- 1) снизить требуемые уровни освещенности для выполнения зрительных работ, особенно в случае объемных и рельефных объектов различения, за счет оптимального соотношения пространственной и направленной освещенности. При проектировании естественного освещения это выражается в рациональном выборе типов, размеров и размещения светопроемов;
- 2) преодолеть двойной подход к нормированию бокового и верхнего естественного освещения, обусловленный горизонтальным расположением условной рабочей поверхности;
- 3) разработать новые подходы к проектированию совмещенного освещения.

Все это будет способствовать повышению качества световой среды, значительной экономии энергии на освещение, восполнению теплопотерь и нейтрализации теплопоступлений через светопроемы, а также снижению затрат на устройство систем естественного и искусственного освещения и их эксплуатацию.

Расчеты естественной освещенности в настоящее время могут проводиться вручную инженерными методами, как это было показано выше, а также с помощью

компьютеров. Однако только компьютерные методы позволяют осуществить визуализацию интерьеров помещений, освещаемых естественным светом, или при совмещенном освещении. Существует много расчетных программ для расчетов естественного и совмещенного освещения. Использование той или иной программы обычно диктуется характером той информации, которую хотят получить в результате расчета.

Примером программы для визуализации помещений, освещаемых естественным светом, может служить Программа LARA, разработанная в Нижегородском государственном архитектурно-строительном университете под руководством Д.В. Бахарева [18.28]. Она обеспечивает надежный объективный прогноз будущего зрительного восприятия интерьеров при неординарных и сложных цветоцветовых композиционных решениях (см. п. 18.12).

Для естественного освещения зданий все активнее используются светонаправляющие устройства и материалы, а также световоды, позволяющие освещать естественным светом залы метро неглубокого заложения, подвалы и нижние этажи широких многоэтажных зданий. В качестве светонаправляющих устройств используются светонаправляющие полки, являющиеся одновременно солнцезащитными козырьками. Эти полки улавливают прямой солнечный свет и направляют его на потолок. Оттуда он попадает на рабочую поверхность в глубине помещения. Развитием такого приема является использование плоских клиновидных световодов ВНИСИ, позволяющих более эффективно проводить естественный свет, включая прямой солнечный, в глубину помещения (рис. 18.44) [18.37].

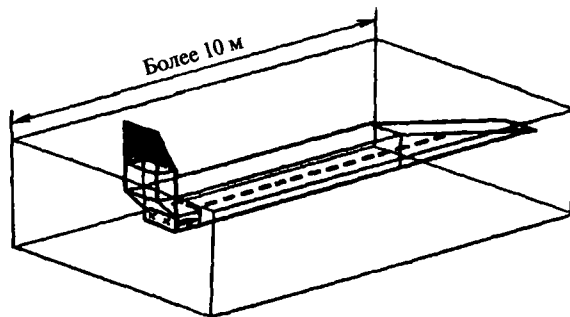


Рис. 18.44. Плоские клиновидные световоды

Голографические оптические элементы (ГОЭ) являются инновационным направлением развития техники солнцезащиты и естественного освещения. Они позволяют обеспечить «прозрачную солнцезащиту», которая практически не препятствует наблюдению наружного пространства, но защищает помещение от прямых солнечных лучей. Одновременно они изменяют направление световых солнечных лучей и направляют их в глубину помещения, а также в помещения, удаленные от фасадов. С помощью ГОЭ можно осветить естественным светом цокольные этажи и подвалы, превратив их в помещения с новыми ценными функциями.

ГОЭ работают на принципе дифракции. В отличие от традиционных оптических элементов, использующих свою форму для отклонения светового потока, ГОЭ меняют свои оптические свойства за счет изменения плотности. Они плоские и очень легкие, т.к. производятся в виде тонких пленок толщиной в несколько микрон. Пленки могут наклеиваться на стекло или прозрачный пластик, создавая прозрачные солнцезащитные и светонаправляющие устройства. Они могут также использоваться в конструкциях абсорберов для нагрева теплоносителя в системах солнечного отопления и горячего водоснабжения. Примеры применения голографических светонаправляющих пленок приведены на рис. 18.45 и 18.46).

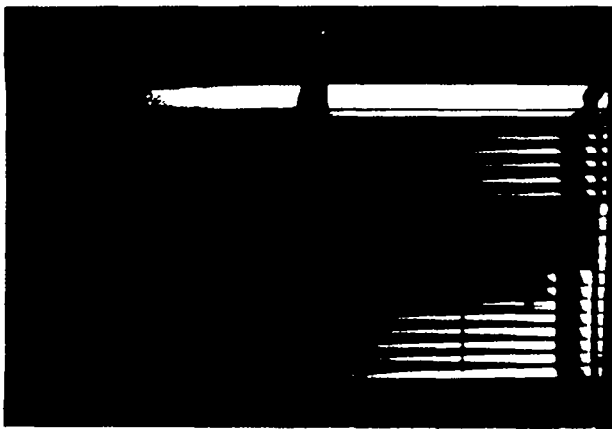


Рис. 18.45. Экспериментальная установка на фасаде университета в Дортмунде (ФРГ). Светонаправляющая система с применением голографической пленки на обычных солнцезащитных устройствах

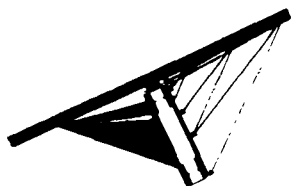


Рис. 18.46. Затеняющее устройство с решетчатыми голограммами и профилем абсорбера

При разработке проектов зданий выполняются разделы «Естественное освещение и инсоляция». Очень часто в стесненной городской застройке выполнение требований Норм СНиП и СанПиН по инсоляции и естественному освещению диктует этажность и объемно-планировочное решение зданий. С одной стороны, проектируемое здание не должно нарушать требований Норм по естественному освещению и инсоляции в окружающей застройке. С другой стороны, окружающая застройка не должна затенять квартиры и другие помещения в проектируемом здании. Солнечные лучи, соответствующие выполнению требований норм по инсоляции, «строят» определенный объем. Разработчики этого метода А.В. Воронов и Н.И. Щенетков назвали этот объем «воздушным замком» [18.29]. Такие «воздушные замки» ограничивают пространство, в которое можно «внести» здание в стесненной городской застройке. Практика построения таких «замков» показывает, что естественный свет и солнце могут формировать неожиданные интересные архитектурные формы и объемы. Этот пример показывает, что естественный свет не только обеспечивает комфорт и требуемые гигиенические и психофизиологические качества интерьеров, но является «строительным материалом», способным формировать объемно-планировочное решение проектируемого здания.

18.10. ЕСТЕСТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ ПОМЕЩЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ПОЛЫХ СВЕТОВОДОВ

Быстро прогрессирующим новым способом ввода в помещения и перераспределения в них прямого солнечного света и рассеянного света неба является применение трубчатых полых световодов [18.30–18.34]. Этот способ за последние годы нашел широкое применение в Англии, Италии, Германии, США, Канаде и Австралии. Наряду с этим выполнен ряд важных экспериментов в одноэтажных и многоэтажных зданиях по созданию и исследованию интегральных систем освещения помещений без достаточного естественного освещения с помощью полых световодов [18.35–18.36]. В этих системах не только естественный, но и свет искусственных источников вводится и перераспределяется по одним и тем же каналам полых протяженных световодов.

Общая классификация известных систем естественного освещения помещений с помощью полых световодов приведена на рис. 18.47.

Любая система естественного освещения помещений с помощью полых световодов состоит из нескольких важнейших узлов: светопринимающего, транспортирующего свет, светоперераспределяющего устройства (СУ). Как видно из классификации, системы могут быть как вертикальными (со светопринимающим узлом на крыше), так и горизонтальными (со светопринимающим узлом на стене здания).

Наибольшее применение нашли простейшие вертикальные системы, состоящие из светоприсмного куполообразного узла, устанавливаемого герметично на

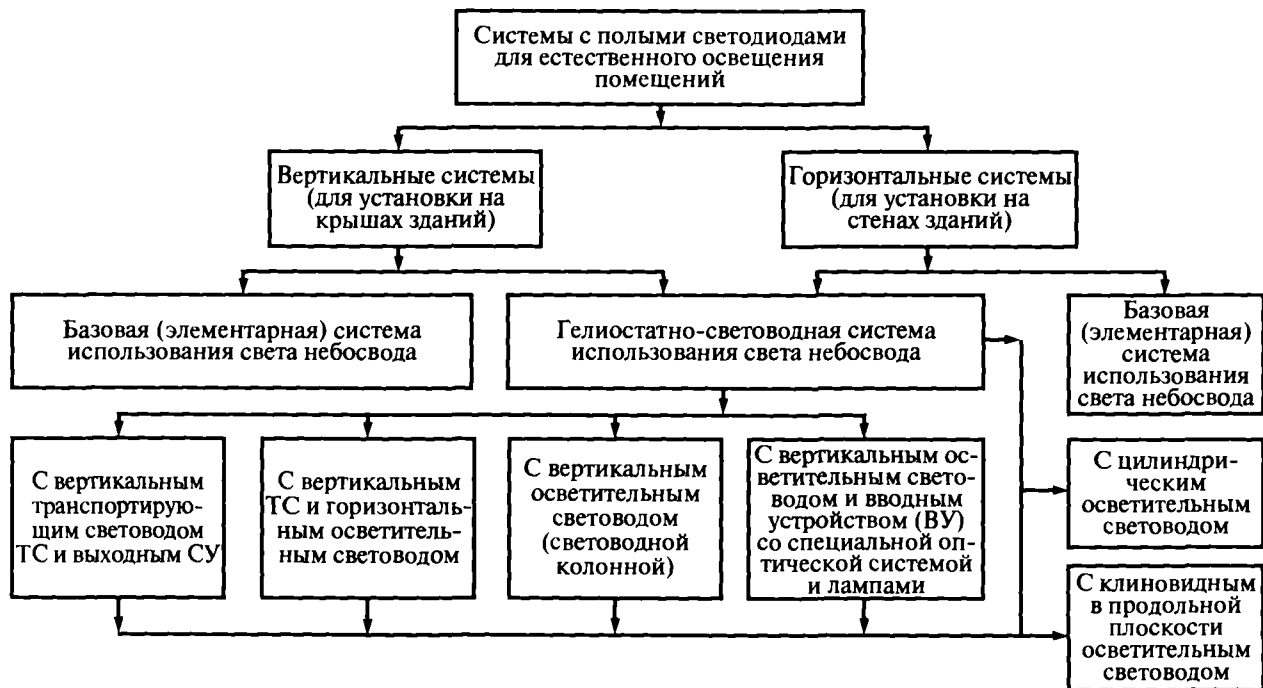


Рис. 18.47. Классификация систем естественного освещения помещений с помощью полых световодов

крыше здания, торцевого трубчатого световода различного поперечного сечения и длины (прямого или колленчатого по длине, круглого или квадратного в сечении) и светорассеивающего выходного окна, располагаемого на потолке освещаемого помещения.

На рис. 18.48–18.51 показаны общие виды и фрагменты узлов таких базовых систем ведущих фирм: Solarspot (Италия), Monodraught (Англия), Talis Tageslichtsysteme (Германия), а на рис. 18.52 – типовой узел, выпускаемый фирмой Alapod (Германия).

В табл. 18.15 даны результаты испытаний подобных систем в различное время года и дня при различном состоянии неба (ясное солнечное, облачное).

Как правило, приемный купол изготавливается из прозрачного ультрафиолестостабилизированного поли-

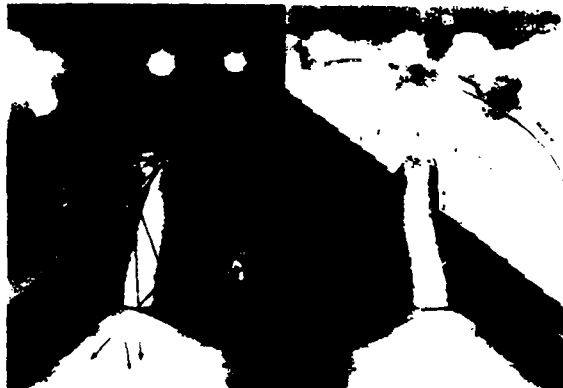
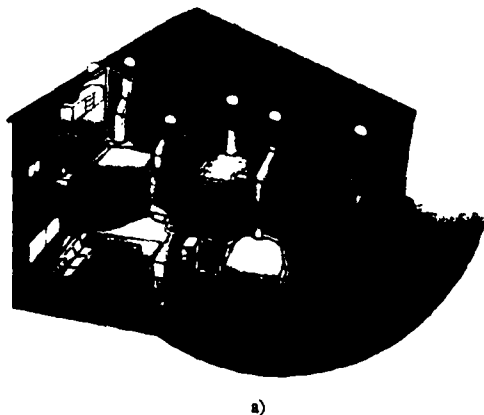


Рис. 18.48. Ввод с помощью световодов в помещения зданий естественного диффузного или направленного света: прием света, перенаправление в световод, транспортирование [18.32]



а)



б)

Рис. 18.49. Освещение с помощью световодов: а – комнат жилого дома; б – производственного помещения

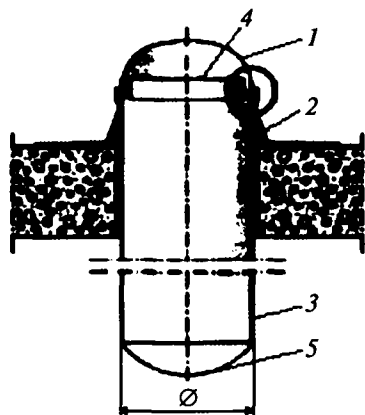
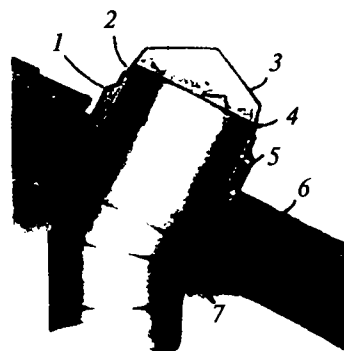


Рис. 18.50. Принципиальная схема конструктивного устройства [18.32]: 1 — купол; 2 — стеклянная система; 3 — проводящий трубчатый канал; 4 — светоперехватывающее устройство; 5 — диффузор [18.32]



a)



б)

Рис. 18.51. «Бриллиантовый» купол: а — световод с изгибом: 1 — держатель; 2, 4, 5 — уплотнители; 3 — купол; б — кровля; 7 — коленчатый световод; б — установка в шиферную кровлю

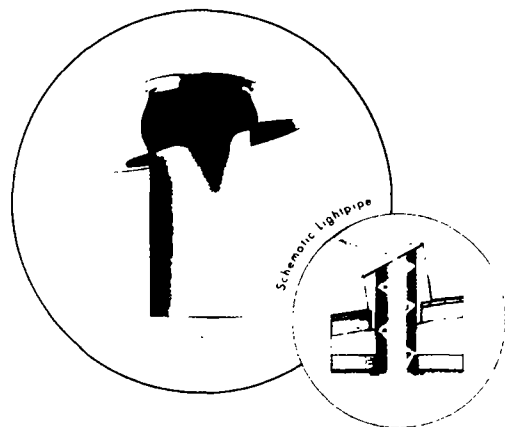


Рис. 18.52. Типовой узел, выпускаемый фирмой Alanod, Германия

Таблица 18.15

Основные параметры систем с полыми световодами разных фирм при различном состоянии неба и в разные времена года

Диаметр световода, мм	Освещенность, лк			Освещаемая площадь, кв. м
	солнечный летний день (105 тыс. лк)	летний облачный день (45 тыс. лк)	ясный зимний день (20 тыс. лк)	
300	740	420	210	14
450	1440	740	320	22
530	1880	930	415	30
200	320	155	70	7,5
330	820	480	245	16
600	2480	1220	530	40
750	3550	1800	900	50
900	5200	2400	1150	60
1000	6300	3400	1350	70

карбоната (ПК), полый световод — из зеркального алюминия толщиной 1–1,5 мм с коэффициентом отражения 0,95. Наиболее эффективные конструкции выполняются из тонколистового алюминия, покрытого изнутри тонкой многослойной интерференционной пленкой с коэффициентом отражения 0,995 (Visible Mirror Film) или из Miro-Silver с $\rho = 0,98$ (см. раздел 6).

Выходное окно-рассеиватель круглой или квадратной формы; плоское или выпуклое, с экранирующей решеткой или без нее выполняется обычно из светорассеивающего полиметилметакрилата (ПММА) или из опризмленного прозрачного ПММА или ПК.

Для повышения эффективности работы подобных базовых световодных систем, особенно для использования естественного света, поступающего с северной стороны, под приемным прозрачным куполом устанавливается призматическая вставка, перераспределяющая внутрь световода падающие под большими углами лучи света.

Размеры подобных серийно выпускаемых систем разных фирм составляют от 200 мм до 1,5 м в диаметре и от 0,5 до 6 м по длине.

Основные достоинства простейших световодных систем — экономия электроэнергии в дневное время, снижение вредных выбросов в атмосферу и благодаря этому обеспечение более комфортной и здоровой световой среды. Наряду с этим они обеспечивают снижение тепловой нагрузки на помещения летом и теплопередачи из помещений зимой по сравнению с использованием стандартных зенитных фонарей, что приводит к значительному уменьшению энергопотребления системами кондиционирования воздуха. Если нормы Великобритании устанавливают для зенитных фонарей значение коэффициента теплопередачи U , равное $1,9 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ для двухкамерных пакетов с аргоновым заполнением (тройное остекление) с пространством между стеклами 16 мм, то световоды наиболее распространенных размеров имеют следующие значения U : при диаметрах 250 мм — 0,312, 350 мм — 0,624, 400 мм — 0,831, 530 мм — 1,515 $\text{Вт/м}^2 \cdot \text{К}$. Кроме того, новые световодные системы позволяют проходить через высокие чердаки и технические этажи, транспортировать естественный свет в любые помещения старых жилых и общественных зданий с фиксированной планировкой.

Благодаря простоте конструкции, эффективности, относительно невысокой цене и отсутствию необходимости в систематической эксплуатации и замене элементов, новые системы находят все расширяющееся применение в школах и детских учреждениях, складах, гаражах и др. основных и вспомогательных помещениях общественных, промышленных и жилых зданий многих стран Европы и Северной Америки.

Существуют подобные же горизонтальные системы, просторные по тому же принципу.

Однако в этих установках световоды использовались только для передачи и распределения естественного света, а искусственное освещение обеспечивалось традиционными методами.

Общим недостатком описанных устройств является также невозможность освещения с их помощью много-

этажных зданий, использования одних и тех же световодов для создания как естественного освещения днем, так и искусственного освещения в сумерки и в темное время суток (т.е. создания интегральных систем освещения). Это означает необходимость иметь в помещениях две различных системы искусственного и естественного освещения.

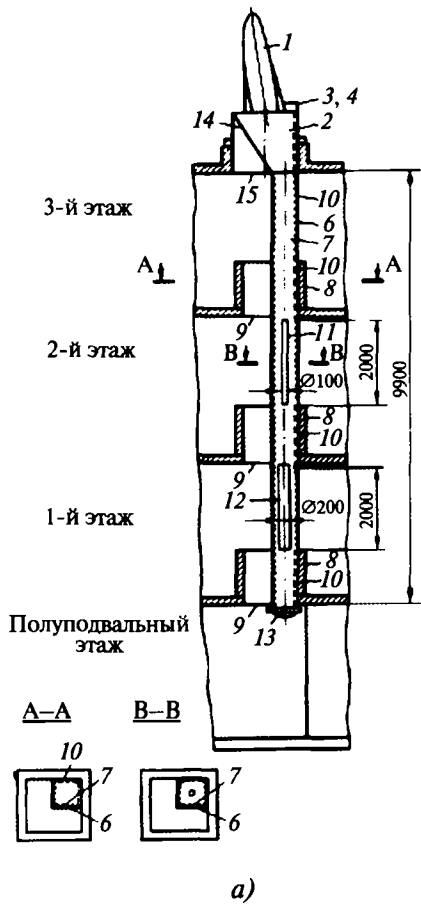
Проблема интегрирования естественного и искусственного освещения — одна из важных проблем современной светотехники. Успешное решение этой проблемы весьма существенно не только для высоких многоэтажных зданий (цехов, универсамов, выставок, музеев), но и для зданий глубокого заложения с периметральным остеклением и большими расстояниями от окон до центральных зон этих зданий, а также сооружений и помещений без естественного света (подземных торговых центров, гаражей, офисов, складов, станций метро и т.п.).

Попытки кардинального решения проблемы ввода солнечного света в помещения без естественного освещения были выполнены с применением гелиостатов и полых протяженных световодов [18.33, 18.34].

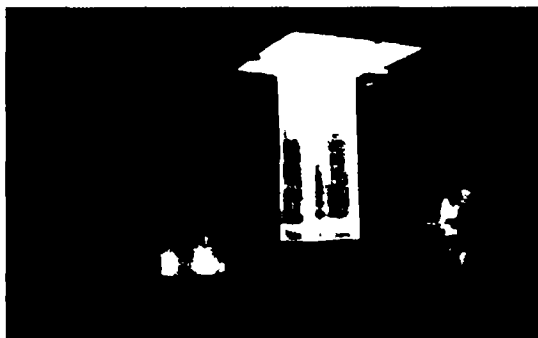
Важным этапом развития этого направления явилось создание установки «Heliobus» в четырехэтажной школе в городе St. Gallen (Швейцария), где были впервые совмещены системы транспортирования и распределения солнечного света и света лампы по одному и тому же вертикально расположенному полюму протяженному световоду (рис. 18.53) [18.37].

Подобное решение было реализовано и в осветительной установке двухэтажной школы в Schiers (Швейцария) (рис. 18.54) [18.37]. Отличие этих двух установок заключалось в использовании гелиостатов двух принципиально разных конструкций. В установке «Heliobus» был использован стационарный гелиостат полностью герметичной конструкции (являющийся фигурой пересечения двух цилиндров одинакового диаметра) и переходное устройство с источниками света, расположенными сверху. В установке школы в Schiers использовались открытые зеркальные гелиостаты, имеющие две оси вращения и постоянно ориентированные на солнце, а источники света располагались внизу, в основании световода, и их световой поток ночью частично уходил в небо, проделав путь, обратный прохождению солнечного света.

При этом в установке «Heliobus» использовался световод с квадратным сечением 625×625 мм и высотой 10 м, а в установке школы Schiers световод эллиптического сечения (65×52 см) и высотой 7 м. В обоих случаях внутренняя поверхность световодов была покрыта призматической пленкой SOLF фирмы 3M (см. раздел 6). Условное число узлов трансформации солнечного света (пропускания, отражения, преломления) в установке «Heliobus» составляло 3, в проекте Schiers-4 (без учета полных внутренних отражений в пленке SOLF). Этот показатель в определенной степени характеризует масштаб потерь светового потока в системе, т.е. ее КПД. И чем он меньше, тем выше КПД при прочих равных условиях.

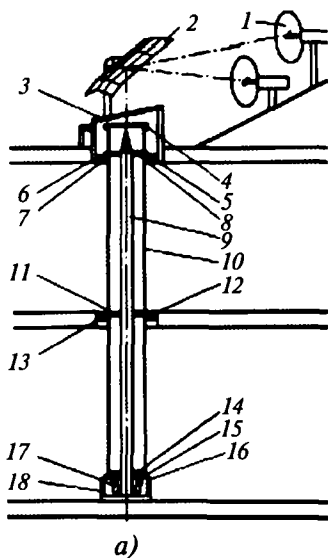


б)

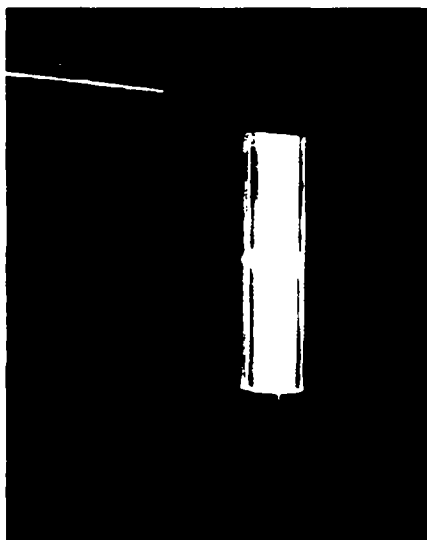


в)

Рис. 18.53. Система интегрального освещения Heliohub: *a* — схема установки; *б* — вид гелиостата; *в* — вид световода. 1 — гелиостат; 2 — вводное устройство (ВУ); 3, 4 — блоки с пускорегулирующей аппаратурой; 5 — перекрытие; 6 — световод; 7 — призматическая пленка SOLF; 8 — строительное ограждение; 9 — междуэтажные перекрытия; 10 — зеркально отражающий алюминий; 11, 12 — внутренние объемные (трубчатые) экстракторы разного диаметра; 13 — светораспределяющий купол из ПММА; 14 — зеркальный элемент ВУ



а)



б)

Рис. 18.54. Система интегрального освещения школы в поселке «Schiers»: *a* — схема установки; 1 — зеркала гелиостатов; 2 — вторичная оптическая система ввода солнечного света; 3 — плоское прозрачное силикатное стекло; 4, 5, 12 — узлы сочленения секций световода; 6, 7, 11, 13, 15 — конструктивные узлы креплений; 8 — конический зеркальный отражатель; 9 — экстрактор; 10 — световод; 14 — термозащитный фильтр; 16, 18 — основание с источниками света с ПРА и ЗУ; 17 — четыре металлогалогенных зеркальных лампы

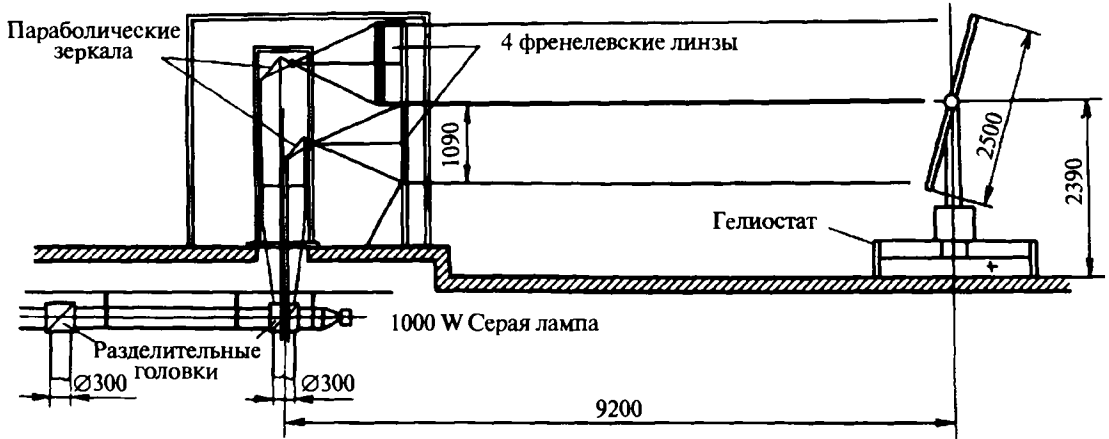


Рис. 18.55. Оптическая схема гелиостата «Arthelio»

Важным шагом в развитии этого направления явилась реализация проекта «Arthelio» Техническим университетом Берлина и фирмой Se'lux в Германии (рис. 18.55) и фирмами Ricerca + Progetto и A.L.C.S в Италии (рис. 18.56) [18.38–18.40].

В Берлине на лестничной клетке здания фирмы Se'lux была оборудована демонстрационная установка с двумя вертикальными световодами диаметром 300 мм и

высотой 14 м. Солнечный свет в световоды вводился с помощью гелиостата в виде плоского открытого зеркала размером $2,4 \times 2,4 \text{ м}^2$ с двумя осями вращения, четырех плоских френелевских линз, концентрирующих солнечный свет на двух криволинейных параболических зеркалах. Эти зеркала направляли пучки света под углом 90° в светораспределительную головку с полупрозрачным плоским зеркалом, направлявшим пучки

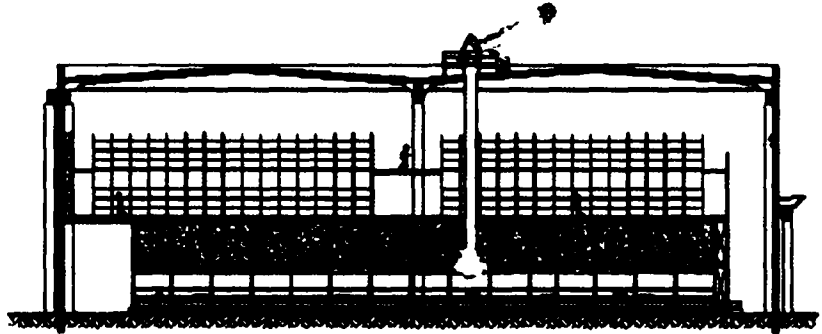
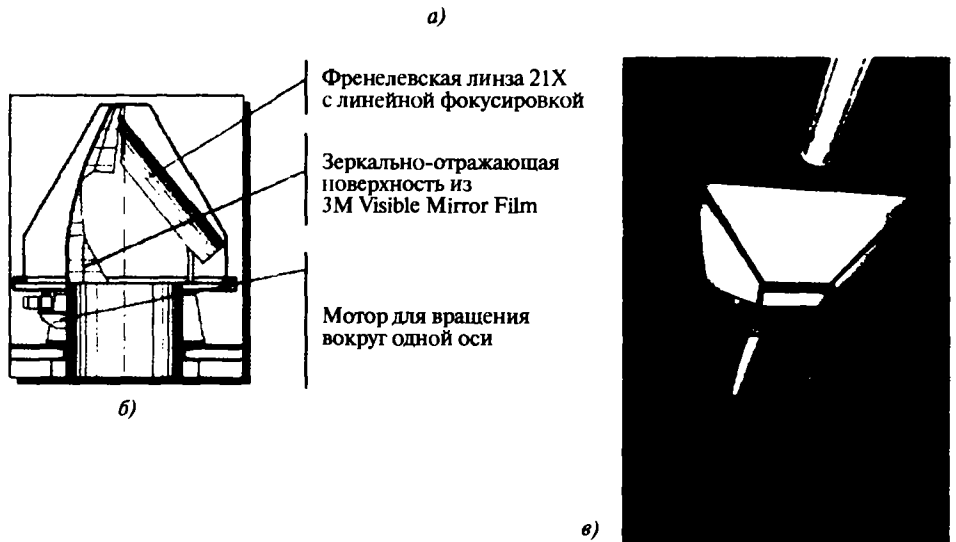


Рис. 18.56. Осветительная установка в здании Европейского центра компании 3М (Карпиано), Италия: а — общий вид; б — оптическая система; в — распределитель и световоды



света в два вертикальных световода. Через это же зеркало в световоды поступал свет безэлектродной сверхвысокочастотной серной лампы.

В этом проекте осуществлялось транспортирование и распределение солнечного и искусственного света по одним и тем же полым световодам, обеспечивая высококачественное смешение и автоматическое регулирование двух видов излучений. Вместе тем, плоское зеркало гелиостата, расположенное на открытом воздухе, подвержено воздействию окружающей среды, а число узлов оптической трансформации солнечного излучения составляет 6 и 7 для двух разных световодов (без учета полных внутренних отражений в пленке SOLF).

Другой вариант проекта «Arthelio», реализованный в г. Карпиано близ Милана (рис. 18.56, б), содержит заключенный в прозрачную защитную оболочку гелиостат (состоящий из френселевской линзы и криволинейной зеркальной поверхности — материал фирмы Visible Mirror Film 3M), направляющий солнечное излучение в вертикальный световод диаметром 900 м и высотой 13 м. Вращение гелиостата обеспечивается только вокруг вертикальной оси, что стало возможным благодаря линзе, фокусирующей требуемым образом солнечное излучение практически при любой высоте солнца. Солнечный свет попадает на центральный пирамидальный рассеиватель, в то время как свет двух серных ламп вводится в горизонтальные световоды и может частично попадать через торцы в совмещенный с ними пирамидальный рассеиватель.

Таким образом, решая разные задачи (освещение вспомогательного помещения и рабочей зоны), эти два варианта проекта «Arthelio» обеспечивают и различное использование солнечного света: в Берлине — по всему помещению, в Карпиано — только в центре помещения, создавая лишь психологическую связь с внешней средой и экономя электроэнергию при освещении дневным светом центральной зоны помещения. Число узлов трансформации солнечного света в установке в Карпиано — 5.

Необходимо отметить также, что в обоих вариантах проекта «Arthelio» система электрического питания источников света находится в освещаемом помещении, их тепловыделение остается в том же помещении, откуда должен проводиться весь процесс обслуживания.

В качестве подхода к новым принципиальным решениям предлагаются три вида интегральных устройств: для высоких одноэтажных зданий, для подземных помещений и помещений широких зданий с периметральным остеклением [18.37].

Во всех случаях формирования этих предложений исходят из необходимости:

- использования простейших герметизированных гелиостатов, требующихся для всех случаев освещения зданий, расположенных в зоне индустриальных городов (без открытых оптических систем);
- использования одних и тех же устройств для транспортирования и перераспределения солнечного света и света ламп;

- минимизации числа «узлов оптической трансформации света»;

- вынесения из освещаемых помещений электрических сетей и всех узлов, требующих обслуживания в процессе эксплуатации;

- исключения выделения тепла (поступающего от солнца и ламп) в освещаемое помещение с целью снижения мощности систем кондиционирования воздуха;

- уменьшения размера отверстий в ограждающих конструкциях для ввода солнечного света [18.40].

В заключение представляется необходимым подчеркнуть одно из важнейших свойств интегральных систем со световодами.

В отличие от всех известных систем искусственного освещения, в принципе создающих стационарные условия освещения, новые интегральные системы в сочетании с солнечным светом создают динамическое, непрерывно меняющееся освещение, отражающее все, что происходит на небосводе — изменение яркости в соответствии с видом и ходом облачности, возникновение движущейся радуги. Все это придает интегральным системам живой, оптимистический вид.

Но не только и не столько этим определяется перспективность интегральных систем освещения с полыми протяженными световодами. Снижение установленной электрической мощности и, главное, потребления электроэнергии (часто в 3–5 раз, как это было в установке «Heliobus») — вот главный экономический эффект от внедрения этих систем.

18.11. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СИСТЕМ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ ЗДАНИЙ

Естественное освещение экономит электроэнергию, затрачиваемую на искусственное освещение помещений. С ростом стоимости электроэнергии это становится важным экономическим фактором. Однако естественное освещение не бесплатно. Светопрозрачное строительство проемов, в особенности современные конструкции окон, являются значительно более дорогими, чем конструкции глухих стен. Несмотря на то, что современные светопрозрачные конструкции обладают высоким сопротивлением теплопередаче, даже вакуумные стеклопакеты зимой пропускают наружу в три раза больше тепла, чем глухие стены. Это требует дополнительных затрат энергии на отопление. Летом наоборот, светопроемы пропускают вовнутрь большое количество тепла. Это в свою очередь требует дополнительных затрат энергии на вентиляцию и охлаждение. Кроме того, естественное освещение требует дополнительных затрат на ремонт и очистку светопроемов.

Оценка затрат на устройство и эксплуатацию естественного освещения зданий включает в себя расчет капитальных затрат на устройство светопроемов, установок отопления, вентиляции и охлаждения, расчет годовых эксплуатационных затрат на очистку и ремонт светопроемов, на дополнительные затраты энергии на отопление, вентиляцию и охлаждение, связанные с наличием светопроемов, а также на электрическое освеще-

нис. Методика оценки экономической эффективности естественного освещения разработана в НИИСтройфизики [18.41]. Упрощенный вариант этой методики приведен в «Своде правил» к СНиП 23-05-95* [18.42]. С помощью этой методики удобно сравнивать эффективность различных вариантов систем.

Так как затраты в стоимостном выражении постоянно меняются, более объективной и постоянной оценкой эффективности системы естественного освещения является энергетическая оценка, разработанная также в НИИСФ [18.41].

Энергетическая и экономическая оценка систем освещения помещений позволяет производить комплексное проектирование освещения зданий, дает возможность подойти к оптимальной интеграции естественного и искусственного освещения зданий в соответствии с его функцией, а также с климатическими условиями места строительства.

18.12. КОМПЬЮТЕРНЫЙ РАСЧЕТ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Разработка компьютерных программ моделирования естественного освещения (ЕО) началась в 60-х гг. прошлого столетия. Этим занимались специалисты по компьютерной графике (КГ) и светотехники.

В КГ потребность в таких программах возникла для синтеза фотореалистичных изображений трехмерных сцен в анимационном кино, компьютерных играх и рекламных видеоклипах. Соответственно этим задачам сформировалась терминология, выражающая художественные приемы сценического освещения. Прямое освещение сцены источниками света именовалось «локальным освещением», а различные приемы градиентной закраски затененных черных участков — «глобальным освещением».

По мере освоения строгих физических методов моделирования световых полей под «глобальным освещением» стали понимать отраженную составляющую освещенности. Использование физических методов расчета не изменило терминологию КГ. Например, интегральное уравнение освещенности, введенное в светотехнике Ямаути в 1926 г., в КГ называют «уравнением визуализации Каджия (Кажия)», который воспользовался им в указанных целях в 1986 г. Применяемые в КГ методы расчета световых полей были разработаны в оптике, фотометрии и светотехнике задолго до появления компьютеров. В настоящем параграфе используется светотехническая терминология.

В России первые расчеты ЕО на ЭВМ появились в 1968 г. [18.43]. Расчеты яркости безоблачного неба и прямой освещенности были выполнены в 1969 г. еще на ламповой ЭЦВМ «Урал-4» [18.44–18.45]. Спектрально-колориметрическая компьютерная модель безоблачного неба была создана в 1982 г. [18.46]. В 1985 г. была разработана ФОРТРАН-программа расчета и визуализаций полей результирующей, прямой и отраженной составляющих ЕО в изолиниях на развертках поверхностей помещений на основе численного решения системы интегральных уравнений освещенности [18.47].

Далее первенство в создании программ расчета ЕО перешло к зарубежным компаниям, располагающим мощными инвестициями и стремительно совершенствующимися аппаратными средствами расчета и визуализации световых полей. В России персональные компьютеры стали общедоступными лишь в середине 90 гг. прошлого века. Поэтому визуализация выполненных ранее расчетов оказалась возможной только в 1997–2000 гг. [18.48–18.49]. Ниже в основном рассматриваются зарубежные программные продукты. Отдельные модули научных версий отечественных программ используются только для тестирования и иллюстрации программных концепций.

Согласно методике ручного расчета, содержащейся в СП 23-102-2003, компьютерная программа, пригодная для нормативных расчетов КЕО в помещениях, должна отвечать следующим минимальным требованиям.

1. Исходными данными для расчета должны быть параметры генерального плана застройки, где находятся расчетные здания. На планах расчетных зданий должна быть показана их внутренняя планировка, содержащая расчетные помещения с изображением светопроемов, балконов и лоджий. Растровое (или векторное) изображение генплана располагается в основном рабочем окне программы (рис. 18.57). Пространственная расчетная схема застройки может быть сформирована из простых геометрических примитивов, моделирующих объекты генплана. Она должна содержать их наружные размеры, абсолютные отметки нуля (пола первого этажа), высоты этажей и средневзвешенные коэффициенты отражения наружных (отражающих) поверхностей зданий, учитывающие отражение материала стен и окон, а также коэффициент отражения земной поверхности. Оптико-геометрические параметры расчетного помещения следует вводить (и сохранять по умолчанию) в окна панели, появляющейся при фиксации курсором и щелчком мыши положения помещения в расчетном здании на генплане застройки. Согласно СП 23-102-2003, конфигурация помещений может ограничиваться прямоугольным параллелепипедом. Расчет КЕО выполняется без учета мебели и оборудования в помещениях и деревьев на участке застройки.

2. Поскольку естественное световое поле в помещении является оптическим изображением внешней среды [18.50–18.52], то за источник ЕО помещений следует принимать облачное небо МКО (по Муну и Спенсер) и светящиеся отраженным светом участки земли и зданий, видимые из точек внутренней поверхности помещения. Расчет относительной результирующей (т.е. с учетом многократных отражений) яркости объектов внешней среды (ОВС), освещаемых небом МКО, должен быть выполнен предварительно. Результаты расчета сохраняются в базе данных для последующих расчетов КЕО в помещениях и контрольной градиентной 2D-визуализации (рис. 18.58).

3. Расчет КЕО в выбранном на генплане расчетном помещении должен выполняться автоматически после ввода параметров помещения (рис. 18.57). Результаты расчета представляются на панели результатов в виде графика распределения КЕО в характерном разрезе по-

мещения на уровне УРП или пола согласно нормативным требованиям к данному помещению. На графике указываются численные значения КЕО в середине и на расстоянии 1 м от удаленной стены помещения. Желательна визуализация помещения. Введенные параметры и результаты расчета сохраняются в файлах для последующего анализа.

4. Объемно-планировочные решения проектируемых зданий, их взаиморасположение и плотность постановки на участке застройки определяются не только нормативными требованиями к ЕО помещений, но и к обеспечению возможности их инсоляции. Поэтому программы, пригодные для инженерных нормативных расчетов ЕО, должны рассчитывать также годовой режим инсоляции помещений (рис. 18.59).

5. Программы расчета ЕО могут содержать модули дизайнерского проектирования и синтеза цветных фотореалистичных изображений помещений и городской застройки для эстетической оценки проекта. Такие модули должны иметь отдельный интерфейс, не усложняющий интерфейса обязательных нормативных расчетов ЕО и инсоляции.

На рынке программной продукции в настоящее время предлагается множество программ архитектурно-дизайнерского проектирования и анимационного синтеза изображений. Все они предусматривают возможность изображения интерьеров и городских пейзажей (экстерьеров) в различных условиях естественного диффузного и солнечного освещения сцен. Большинство таких программ вполне обеспечивает художественные качества изображений и не претендует на их физическую достоверность. Для проверки пригодности программ для нормативных расчетов ЕО были отобраны специализированные программы светотехнического и архитектурного проектирования (см. табл. 18.16), в презентациях которых указывается возможность расчета ЕО.

Достоверность, точность и быстрота расчета и визуализации ЕО оценивались путем сравнения отобранных программ с «эталонным» модулем Domicile, разработанным для отладки отечественной программы Laga, специально предназначенной для инженерных и экспертных нормативных расчетов ЕО и инсоляции.

В Domicile принята простейшая расчетная схема прямоугольного помещения, выходящего незаполнен-

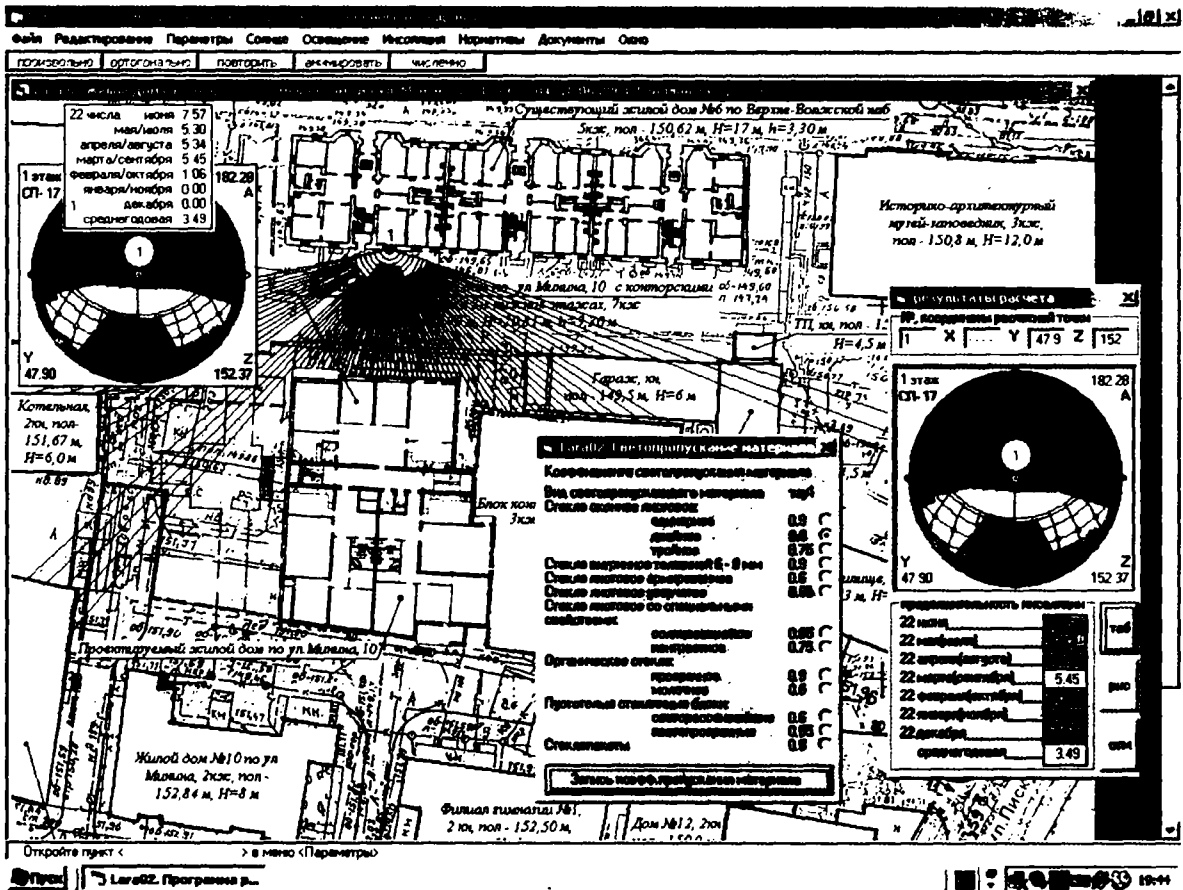


Рис. 18.59. Рабочее поле программы Laga при расчете годового режима инсоляции помещения. В режиме расчета инсоляции после фиксации курсором расчетной точки окна и щелчка мыши практически мгновенно выпадает панель результатов расчета. Экранирующие расчетное помещение объекты генплана указываются веером визирования из расчетной точки. Слева вверху показан пример монтажа результатов расчета. В середине основного окна показана выпадающая панель кнопочного ввода коэффициентов пропускания оконного заполнения (см. панель ввода параметров помещения)

Программы архитектурного и светотехнического проектирования, содержащие расчеты ЕО

Наименование, номер версии, год выпуска	Производитель, сайт	Выполнение требований пунктов ¹ :					Пригодность для нормативных расчетов ЕО и инсоляции
		1	2	3	4	5	
AGi32 1.84, 2005	Lighting Analysts, Inc. США, www.agi32.com	±	+	±	—	±	Пригодна для расчета ЕО
Autodesk VIZ 2005	Autodesk, Inc. США, www.autodesk.com	±	±	—	—	+	Не пригодна
DIALux 4.1.0.0, 2005	DIAL GmbH, ФРГ www.dialux.com	±	—	±	—	±	Не пригодна
Inspirer	Integra, Inc. Япония www.integra.jp	±	±	?	?	+	Не оценивалась
LightScape 3.2	Autodesk, Inc. США, www.autodesk.com	—	±	—	—	+	Не пригодна
Lumen Designer 1.2.17, 2005	США, Lighting Technologies, Inc. www.lighting-technologies.com	±	±	±	—	+	Пока не пригодна
Lumen Micro 2000.2.0, 2001	США, Lighting Technologies, Inc. www.lighting-technologies.com	±	—	—	—	±	Не пригодна
Radiance 3.7.2 2005	Lawrence Berkeley National Laboratory, США radsite.lbl.gov	— ²	+	± ²	—	+	Пригодна для расчета ЕО в качестве расчетного модуля
Relux 2005-2 2005	Relux Informatik AG, Швейцария www.relux.com	±	±	—	±	±	Не пригодна
SuperLite 2, 1993	Regents of the University of California, США btech.lbl.gov/tools/	— ²	+	± ²	—	— ²	Устарела

¹ «+» — полное выполнение требований по данному пункту, «±» — частичное выполнение, «—» — требования пункта не выполняются, «?» — выяснить соответствие не удалось.

² требование может быть выполнено пакетом САПР, использующим Radiance и SuperLite в качестве расчетных модулей (например, ADELIN 3).

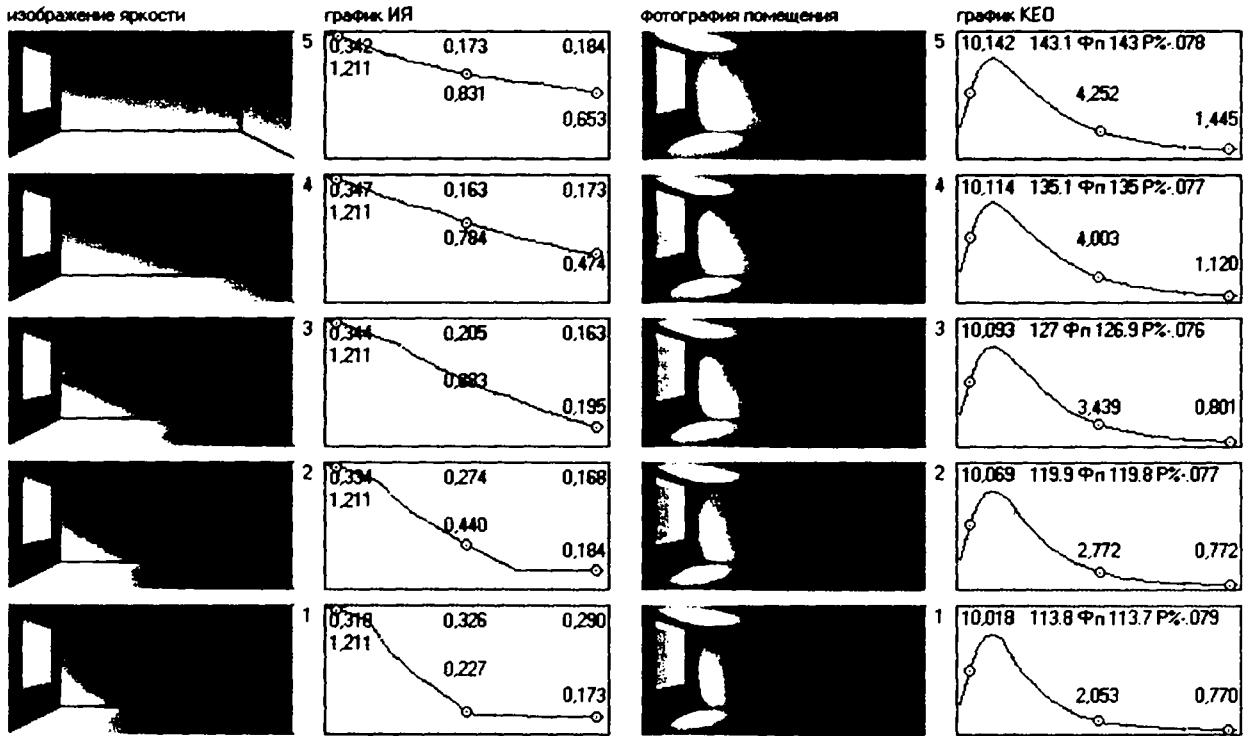
ным светопроемом в бесконечную прямоугольную уличную полость (рис. 18.60). Поля результирующего КЕО и относительной яркости поверхностей определяются решением систем интегральных уравнений освещенности [18.47] отдельно для уличной полости и помещений. Результаты расчета представляются в виде численных файлов, графиков и изображений помещения. Предусмотрена также визуализация поля изображения яркости (ИЯ) ОВС [18.50], демонстрирующая безошибочность аналитического расчета прямой составляющей КЕО по формулам Винера, Муна и Спенсер и выявляющая структуру светового поля в помещении как оптического изображения ОВС. Ниже даются краткие характеристики перечисленных в табл. 18.16 программ и результаты сравнения некоторых из них с Domicile.

AGi32. Коммерческая программа, является усовершенствованной Windows-версией известной DOS-программы AGI. Для расчета результирующей освещенности используется потоковый метод (в терминах КГ — «radiosity»), предложенный в светотехнике Дурньоном в 1928 г. и реализованный им на ЭВМ в 1957 г. Для визуализации зеркального отражения применяется метод трассировки лучей.

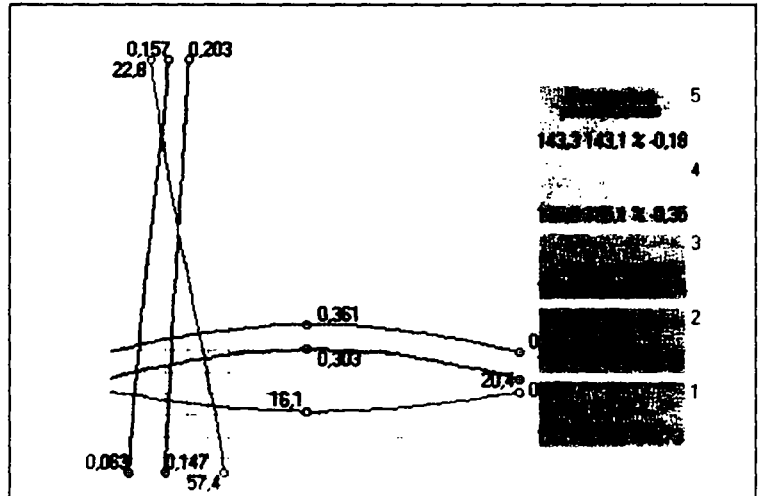
Возможность моделирования ОВС курсорной нажатием по сканированному растровому изображению генплана не предусмотрена. Векторное изображение генплана и расчетная модель могут быть загружены из файлов в форматах DXF и DWG.

Расчетные помещения представляются в виде объекта с широким выбором конфигурации (прямоугольник, полигон, эллипс и т.д. с плоским, шатровым или сводчатым потолком). Для расчета поля КЕО в помещении требуется задать тип окна «Transition» (просм без заполнения, обычное или рассеивающее стекло и т.д.). Возможно задание «виртуальных» окон, не влияющих на коэффициент отражения фасадов зданий, назначенный с учетом их проемности.

В программе реализовано разделение пространства на внешнее и внутреннее. ОВС задаются путем присвоения их поверхностям типа «Daylight Exterior». Расчет ЕО возможен для 18 моделей неба, среди которых 15 моделей МКО, соответствующих публикации МКО S 011/E:2003, модель облачного неба Муна и Спенсер, модель ясного неба Киттлера и модель частично облачного неба, рекомендованная IESNA (The Illumination Engineering Society of North America).



Параметры неба и улицы	
1.	Константные коэффициенты неба $A = 0,42857$ $B = 0,85714$
2.	Количество этажей - 5 высота этажа - 2,8 м шоколя - 1,2 м; парапета - 0,9 м
3.	Высота зданий - 16,1 м; ширина улицы - 16,1 м (относительный разрыв 1 - кратный)
4.	Коэффициенты отражения: фасадов - 0,4 земли (поверхности улицы) - 0,6
5.	Количество узлов аппроксимации - 30
6.	Точность - 0,001; 8 отражений
Параметры помещения	
1.	Высота - 2,5 м; глубина - 5,6 м; ширина - 3,2 м
2.	Коэффициенты отражения: пола - 0,3; потолка - 0,7 стен - 0,5; оконного заполнения - 0
3.	Светопроем: высота - 1,5 м (21 ячеек); ширина - 1,92 м (21 ячеек); подоконник - 786 м (11 ячеек) прилока - 214 м (3 ячеек); простенок - 64 м (7 ячеек)
4.	Превышение УРП над полом (11 ячеек)
5.	Количество узлов аппроксимации (ячеек) - 35
6.	Точность - 0,001; 9 отражений



Продолжительность счета (на Pentium-IV 2,8 ГГц) - 0,64 мин.

22.10.2005

Рис. 18.60. Расчетная схема уличной полости и помещений и графический вывод результатов расчета ЕО модулем Domicile программы Lara. Изображение яркости ОВС управляет распределением КЕО на поверхностях помещения и демонстрирует безошибочность расчета прямой составляющей КЕО

Аппроксимационная точность расчета задается разбивкой поверхностей на конечные элементы (в терминах КГ — патчи). Разбивка может выполняться автоматически, вручную и, при превышении разности освещенности смежных элементов заданного порогового значения, адаптивно. Разбивка по координатам поверхности может варьироваться от $2^1 = 2$ до $2^8 = 256$. Итерационная точность задается балансовым расхождением входящего и поглощенного потока (в терминах КГ —

процентом нераспределенной энергии) и характеризует степень выполнения закона сохранения энергии.

Численные результаты расчета освещенности, яркости и КЕО выставляются в узлах сеток или в точках линий разрезов помещения. Для этого предлагается несколько видов сеток и сечений с автоматической разбивкой или произвольным заданием точек, однако сохранение этих данных в файл не предусмотрено. Сохранить и поместить в документы можно только макси-

мальные, минимальные и средние значения рассчитанных величин, а также их отношения, характеризующие неравномерность освещения.

Таким образом, основными недостатками программы являются: отсутствие возможности ввода растрового чертежа для моделирования объектов генплана и сохранения результатов расчета в файлах для их последующего анализа, необходимость полного пересчета светового поля в застройке при изменении положения помещения и формы вывода результатов.

Программа AGi32 показала наилучшие результаты при тестировании модулем Domicile (рис. 18.61–18.63). При разбивке поверхностей помещения на $2^5 = 32$ и улицы — на $2^8 = 256$ элементов (процессор Pentium-IV (1,8 ГГц)) для расчета яркости ОВС потребовалось около 12 мин, для расчета поля в помещении — 8–9 мин. машинного времени. Структура визуализированного поля оказалась очень близкой к изображению, синтезированному модулем Domicile (рис. 18.64), алгоритм которого, согласно оптической теории светового поля [18.50–18.52], основан на точном аналитическом построении пространственного рисунка размытого изображения ОВС.

Программа может быть использована для нормативного расчета ЕО.

Autodesk VIZ 2005. Основное назначение пакета — моделирование и высококачественная визуализация архитектурных и дизайнерских решений. Autodesk VIZ явился результатом объединения пакета 3DStudio VIZ с LightScapе.

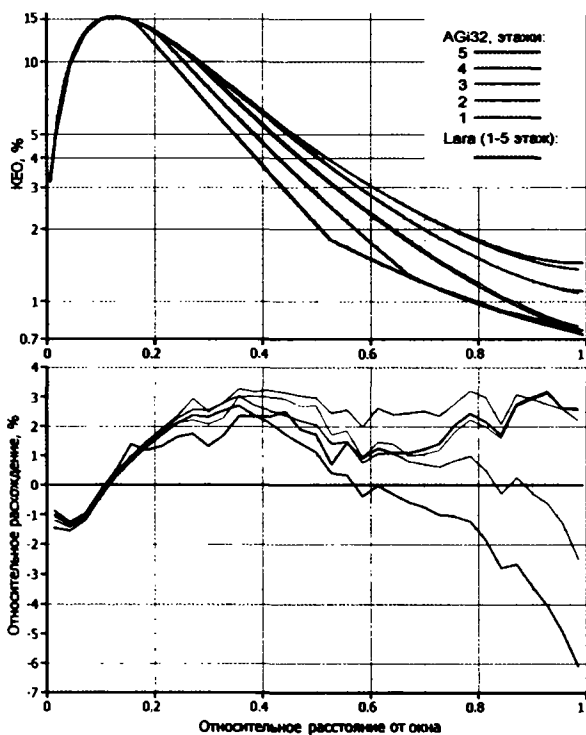


Рис. 18.61. Сравнение результатов расчета КЕО в характерном разрезе помещения программой AGi32 с модулем Domicile

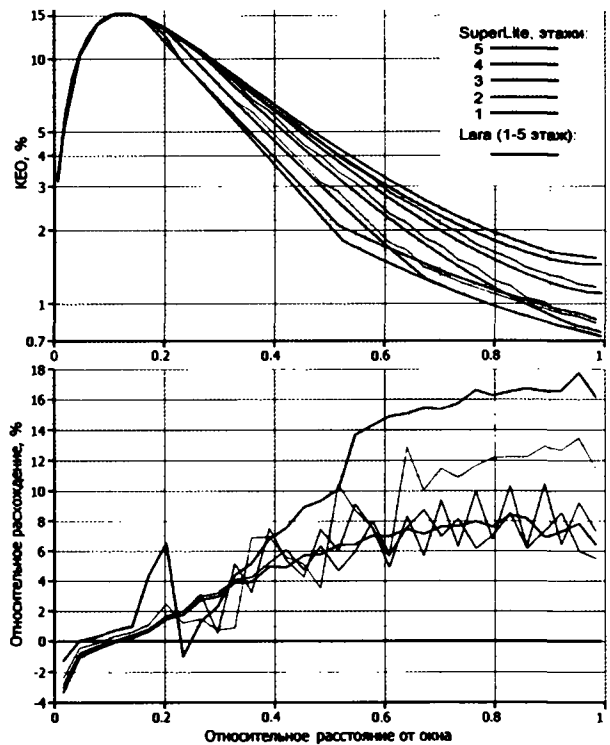


Рис. 18.62. Сравнение результатов расчета КЕО в характерном разрезе помещения программой SuperLite 2.0 с модулем Domicile

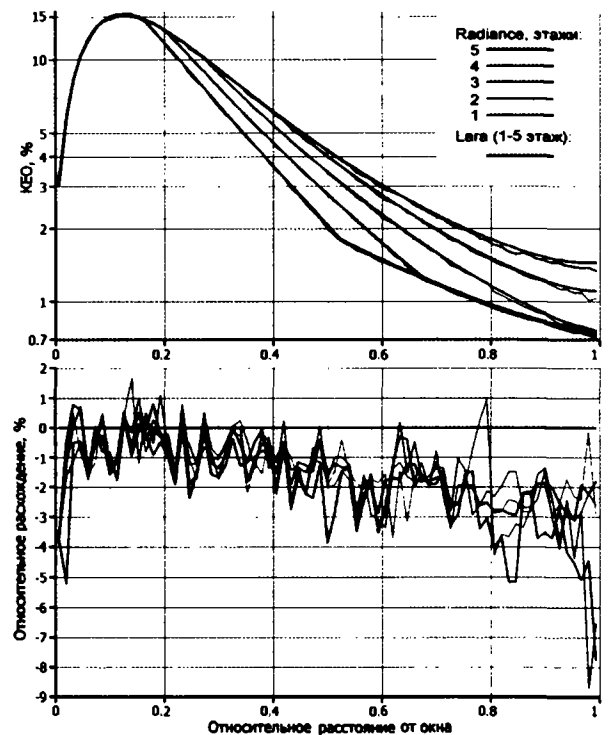


Рис. 18.63. Сравнение результатов расчета КЕО в характерном разрезе помещения программой Radiance с модулем Domicile

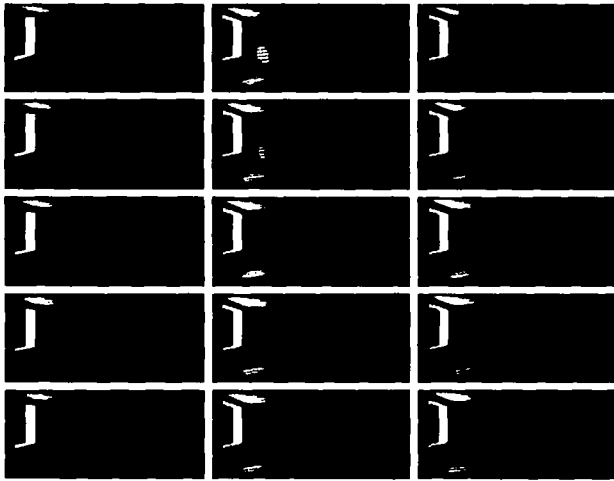


Рис. 18.64. Сравнение структуры световых полей, рассчитанных и визуализированных программами AGI32 (слева), Laga и Radiance (справа)

Для расчета ЕО доступны только модели неба IESNA.

Пакет VIZ 2005 имеет удобный редактор ввода модели, хорошо поддерживает форматы DXF/DWG и будет полезен архитекторам, дизайнерам и специалистам в области художественного светового дизайна. Однако для инженерных расчетов ЕО он не предназначен.

DIALux 4.1. Свободно доступная программа расчета освещения, разработанная компанией DIAL GmbH. Работает в отдельных режимах расчета естественного и искусственного освещения застройки, дорожного полотна и помещений.

В режиме расчета ЕО в застройке программа не позволяет моделировать помещения. В режиме расчета помещений ОВС можно задать трехмерными примитивами, готовыми библиотечными объектами или моделью, импортированной из форматов DXD и SAT. Недостаток такого моделирования ОВС заключается в привязке здания к конкретному блоку помещений и необходимости перекомпоновки всей схемы застройки для расчета ЕО в другом здании.

В DIALux используется метод «светового потока» с выбором «стандартного» или «очень точного» режима расчета. Менеджер результатов позволяет сформировать и вывести на принтер или в файл в формате PDF детальный отчет об анализе освещения в данном проекте.

Предварительный расчет относительной результирующей яркости ОВС не предусмотрен. Отсутствуют возможности загрузки подосновы в растровом формате и вывода численных результатов расчета в файл. Сравнение результатов расчета с модулем Domicile не дало даже качественного соответствия распределения КЕО на поверхностях помещения. Программа непригодна для нормативных расчетов ЕО.

LightScapе 3.2. Коммерческая программа. Первые версии на Unix-платформах разрабатывались для фотореалистичной визуализации на мощных графических станциях компаний Silicon Graphics и Sun. Позднее

программа была пересведена в ОС Windows и предложена архитекторам и дизайнерам для использования на ПЭВМ. В настоящее время макет LightScapе приобретен компанией Autodesk.

Программа реализует метод светового потока для расчета освещенности и в основном предназначена для визуализации интерьеров при искусственном, естественном и совмещенном освещении. Для расчета ЕО используются модели неба IESNA с возможностью выбора «облачности» и цветности света неба и солнца. Сравнение с модулем Domicile показало, что программа в 1,5–2 раза превышает значения КЕО, что, видимо, связано с художественным характером реализации моделей неба. Для нормативных расчетов ЕО программа непригодна.

Lumen Micro 2000. Коммерческая программа. Служила некоторое время стандартом в области расчета искусственного освещения. Модуль расчета ЕО был добавлен в конце 1980-х и далее совершенствовался. Программа имеет продуманный интерфейс, хорошо документирована, содержит множество примеров для быстрого освоения и удобна в работе. Реализован импорт и экспорт файлов формата DXF и DWG, а также экспорт в формат LightScapе для визуализации. Для нормативных расчетов ЕО программа непригодна, поскольку учитывает только затеняющее действие ОВС. Этот недостаток устранен в новейшей продукции Lighting Technologies, Inc. — программе Lumen Designer.

Lumen Designer. Коммерческая программа, представляющая собой дальнейшее развитие программы Lumen Micro компании Lighting Technologies. Имеет сходный с AutoCAD интерфейс, что существенно ускоряет процесс ее освоения. Хорошо реализована поддержка файлов формата DXF и DWG. Возможность загрузки растровой подложки отсутствует.

Поддерживаются три цветные модели неба: ясное и облачное с относительной яркостью, соответствующей моделям МК0, а также модель неба с переменной облачностью. Программа реализует т.н. прогрессивный потоковый метод расчета («progressive radiosity»), с разбивкой поверхностей на треугольные площадки. Предварительный расчет и сохранение данных о яркости ОВС для последующего расчета ЕО в помещениях не предусмотрены.

Помещение моделируется с помощью мастера, позволяющего выбрать его конфигурацию, материал стен, расчетную поверхность и сетку вывода результатов расчета. Результаты выводятся на специальную панель рабочего окна. Полная информация для каждой расчетной точки доступна из модуля просмотра результатов расчета («Grid Results Viewer») и сохраняется в текстовом файле или сводится в таблицу с выводом в формате HTML.

Сравнение, видимо, еще недостаточно отлаженной beta-версии программы с модулем Domicile не дало достоверных результатов для ее оценки. Программа пока не пригодна для инженерных расчетов ЕО.

SuperLite 2.0. Свободно доступная программа. Использует потоковый метод. С момента ее разработки в 1985 г. неоднократно совершенствовалась. Первая версия SuperLite 1.0 для мейнфреймов была разработана

по контракту с лабораторией им. Лоуренса Беркли. Версия SuperLite 1.01 PC для IBM-PC-совместимых компьютеров вышла в 1988 г.

Программа предназначена для расчета и визуализации светового поля в помещениях сложной конфигурации с естественным, искусственным и смешанным освещением. Моделирует фонари и светопросы с тремя типами заполнения и затеняющими конструкциями (балконы, лоджии и т.п.). Расчет ЕО выполняется для любых, в том числе произвольных пользовательских типов неба. Освещенность вычисляется в заданных пользователем плоскостях.

Ввод параметров модели и вывод результатов расчета осуществляется в виде ASCII-файлов. Графический пользовательский интерфейс возможен через пакет ADELINЕ (Advanced Day and Electric Light New Environment), в который SuperLite входит в качестве расчетного модуля.

Сравнение результатов расчета с модулем Domicile показало, что программа сильно завышает расчетные значения КЕО и по этой причине не может быть рекомендована для нормативных расчетов ЕО.

Radiance 3.7.2. Один из самых известных в мире пакетов, разработанный в середине 1980-х в Национальной лаборатории им. Лоуренса Беркли (Центр атомных исследований Министерства энергетики США) Gregory Ward Larson. Представляет собой бесплатно распространяемый многофункциональный пакет, состоящий из набора C-программ, которые могут быть откомпилированы для всех доступных UNIX- платформ. Существует Windows-версия, входящая в дистрибутив «Desktop Radiance». В 2002 г. был открыт свободный доступ к исходному коду Radiance.

Форум Radiance в Интернете объединяет активных пользователей пакета со всего мира и обеспечивает постоянное открытое обсуждение проблем, возникающих при работе. Пакет Radiance неоднократно тестировался специалистами по заданию Международного энергетического агентства (IEA) и других организаций и признан наиболее достоверным средством расчета ЕО.

Работа с Radiance осуществляется на уровне скриптов без использования графического интерфейса пользователя. Подобно SuperLite, графический интерфейс обеспечивают по меньшей мере 7 программ, использующих Radiance в качестве расчетного модуля, в том числе ADELINЕ.

Radiance использует гибридный алгоритм расчета, в основе которого лежат стохастический метод Монте-Карло и детерминированный метод обратной трассировки лучей. Расчеты прямой и зеркально отраженной составляющих выполняются отдельно от расчета диффузной составляющей, вычисляемой для меньшего количества точек с промежуточной интерполяцией и интегрированием по полусфере. Это позволяет исключить случайные шумы на диффузных поверхностях и значительно ускорить вычисления по сравнению с чисто стохастической трассировкой лучей [18.53–18.54]. В настоящее время этот метод (final gathering) используется во многих пакетах визуализации (например, Mental Ray). Radiance обладает практически неограниченной

универсальностью, позволяющей рассчитывать модели любой сложности с любыми физическими характеристиками.

Расчеты ЕО помещений методом Монте-Карло требуют значительных затрат времени, поскольку через оконный проем проникает малая часть лучей, что приходится компенсировать увеличением числа статистических испытаний. Для ускорения расчета в Radiance реализована идея «вторичных источников». Если окно определено как «вторичный источник», то сначала рассчитывается распределение лучей по точкам поверхности окна и всем направлениям для каждой отдельной точки с заданным шагом точек и направлений. Поверхность с таким законом излучения сохраняет возможность обзора ОВС за окном и создает в помещении их перевернутое размытое изображение, т.е. прямую составляющую освещенности. «Вторичные источники» полностью соответствуют пункту 2 требований и, частично, пункту 1, так как позволяют не учитывать окна при расчете яркости ОВС и выполнять последующие расчеты ЕО в помещении на основе предварительно рассчитанного поля яркости в застройке.

Пакет Radiance показал очень хорошие результаты при тестировании (рис. 18.63 и 18.64) и может быть рекомендован для включения в программы нормативных расчетов КЕО в качестве расчетного модуля.

Relux 2005. Универсальная коммерческая программа расчета освещения и инсоляции.

Общая концепция проектирования сходна с DIALux. Программа функционирует в 3 режимах расчета: застройки, дорожного полотна и помещения. В режиме расчета помещения Relux также позволяет задать ОВС. В случае расчета ЕО для помещения, расположенного в другом здании застройки, требуется переконфигурация расчетной модели, что занимает значительное время.

Реализована возможность ввода объектов с использованием подложки в формате WMF (Windows Metafile), в которых могут быть легко преобразованы векторные изображения планов из пакетов проектирования (AutoCAD, ArchiCAD и др.).

Из источников ЕО доступны модели ясного и облачного неба МКО. Расчет освещенности выполняется прогрессивным потоковым методом (progressive radiosity), варьирующим разбивку поверхностей на элементы. Предлагается 4 уровня точности расчета, первый из них ограничивается только расчетом прямой составляющей. Для вывода результатов расчета предлагается несколько видов сеток. Через специальный пункт меню детальный отчет о результатах расчета может быть выведен в файл или распечатан. Реализован анализ ряда экономических показателей.

Relux — единственная из рассмотренных программ, выполняющая расчет инсоляции в заданной точке территории и помещений с учетом затенения ее конструкциями здания и окружающей застройкой. Результаты расчета представляются в виде закраски участка солнечной карты, ограниченного контурами видимых из расчетной точки затеняющих объектов. Расчет годового режима инсоляции не реализован.

Сравнить результаты расчета ЕО с модулем Domicile не удалось из-за сложности моделирования протяженных зданий и работы с ними в этом пакете.

Из недостатков программы следует отметить невозможность вывода числовых данных в файл и значительные затраты времени на моделирование расчетных схем застройки и помещений. Подобно DIALux программа Relux в основном предназначена для расчета искусственного освещения и, фактически, лишь номинально пригодна для расчета ЕО.

Inspire. Универсальный коммерческий пакет расчета освещения и визуализации освещаемых объектов. Достоверность расчетов ЕО подтверждается ссылкой на соответствие тесту МКО ТС.3.33. Пакет Inspire основан на модульной структуре, имеет встроенный редактор моделирования и поддерживает импорт моделей из восьми и экспорт в 3 формата файлов. Расчет может выполняться как стохастическим, так и детерминированным методом.

Демонстрируемые на сайте компании Integra изображения, синтезированные пакетом Inspire, имеют очень высокое качество, однако его точность, удобство интерфейса и пригодность для нормативных расчетов ЕО оценить не удалось. Компания не предоставила пакет для ознакомления.

Обзор, сопоставление и тестирование зарубежных программ, предлагающих средства анализа ЕО помещений, показали, что даже лучшие из них лишь частично соответствуют указанным выше специфическим российским требованиям, которые в значительной мере диктуются особой социально-правовой и экономической ситуацией в стране. Зарубежные программы в основном предназначены для эксклюзивного дизайнерского проектирования уникальных интерьеров и анализа экономичности проектного решения с максимальным использованием ЕО. В России пока более актуальной является другая задача расчета ЕО и инсоляции — техническое обеспечение права граждан на получение нормативного минимума этих природных благ в жилищах в условиях коммерческого стремления к перепланировке существующей застройки. Решение этой задачи требует массовых расчетов ЕО и инсоляции в простых прямоугольных помещениях стандартных российских квартир. Рассмотренные программы оказались практически непригодными для таких расчетов.

Примеры визуализации различных помещений с помощью рассмотренных программ даны на рис. 18.65–18.70.

Анализ зарубежных программ и многолетний опыт проектных и экспертных расчетов, выполненных научной версией отечественной программы Laga, позволили сформулировать ряд актуальных задач разработки и совершенствования программ расчета ЕО.

1. Необходима разработка открытого международного пакета-эталона компьютерного расчета световых полей в пространствах застройки и помещений. Выбор теоретически корректной модели прямоугольного помещения, выходящего светопроемами в полость бесконечной улицы, имеющей простейшую и очевидную для сравнения структуру изображения ОВС на поверхно-



Рис. 18.65. Визуализация помещения сложной формы при солнечном освещении, выполненная программой AGi32



Рис. 18.66. Визуализация открытого холла при солнечном освещении, выполненная программой Autodesk VIZ 2005. Автор: Guillermo Leal Llaguno — Scream!Point



Рис. 18.67. Визуализация интерьера спортзала при солнечном освещении, выполненная программой Autodesk VIZ 2005. Автор: Lon Grohs — Neoscape



Рис. 18.68. Визуализация интерьера помещения офиса при солнечном освещении, выполненная программой Inspiret



Рис. 18.69. Визуализация двора древней базилики, выполненная программой LightScene 3.2. lightscene.net



Рис. 18.70. Визуализация офисного атриума при солнечном освещении, выполненная программой Radiance

стях помещения, оказался неудачным из-за сложности моделирования и расчета светового поля между конечно-протяженными зданиями в программах, использующих произвольную разбивку поверхностей ОВС на элементы. В качестве эталонной модели ОВС следует, видимо, принять четырехугольный двор. Такая модель в тестируемой программе, пригодной для инженерных расчетов ЕО, не должна давать более чем $\pm 5\%$ -го расхождения с эталоном при варьировании параметров. Структура изображения модели должна визуально совпадать с эталоном. Расчет поля в пакете-эталоне должен выполняться детерминированным методом.

2. Необходимо сократить продолжительность расчета светового поля в помещениях. В рассмотренных программах расчет поля в одном помещении требовал 7–90 мин. (!), что совершенно неприемлемо при нормативных расчетах. Расчет результирующей яркости ОВС может требовать порядка 2–3 ч, а расчет и визуализация поля в помещении не должны превышать 1 мин. Как видно на рис. 18.60, где распечатаны показания таймера в модуле Domicile, для этого имеются весьма широкие возможности.

3. При проектных и экспертных расчетах большая часть времени уходит на перевод бумажной документации в растровые или векторные изображения и их обработку в графических редакторах. Для эффективного использования компьютерных технологий необходим скорейший перевод чертежей технической инвентаризации зданий и геодезической подосновы генплана в многослойные изображения на электронных носителях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 18.1. Бельд Г. Свет и здоровье. Светотехника 2003. № 1.
- 18.2. Markus T.A. The function of windows. Building Science. 1967. № 2.
- 18.3. Гончаров Н.П., Киреев Н.Н. Зрительная работоспособность при естественном и искусственном освещении. Светотехника. 1977. № 9.
- 18.4. Киреев Н.Н., Гончаров Н.П. Нормирование совмещенного освещения производственных помещений с учетом неодинаковой эффективности естественного и искусственного освещения. В кн. НИИСФ, Труды института. Вып. 13 (ХХУП). Строительная светотехника. М. 1975.
- 18.5. СНиП П-А.6-72 Строительная климатология и геофизика. М.: Стройиздат. 1973.
- 18.6. Бартенева О.Д., Полякова Е.А., Русин Н.П. Режим естественной освещенности на территории. СССР. Л.: Гидрометиздат. 1971.
- 18.7. СНиП 23-05-95* «Естественное и искусственное освещение». Москва. 2003.
- 18.8. Littlefair P.J. The Luminance Distribution of an Average Sky. Lighting Research & Technology. Vol. 13. № 4. 1981.
- 18.9. Nakamura H., Oki M. Composition of Mean Sky and Its Application of Daylight Prediction. International Commission on Illumination (CIE). 20-th Session. Amsterdam. August 31 – September 8, 1983.
- 18.10. Игава Н., Накамура. Простая модель световой эффективности естественного освещения. Светотехника. 2002. № 4.
- 18.11. IESNA: Lighting Handbook. 9-th edition. 2000. Editor-in-Chief Mark S. Rea. New York.

- 18.12. *Киреев Н.Н., Земцов В.А.* Световые характеристики зенитных фонарей шахтного типа. Тр. НИИСФ. Вып. 20 (XXXIV). Строительная светотехника. 1978.
- 18.13. *Пейн Т.* Развитие полых световодов в Великобритании. Светотехника. 2004. № 3.
- 18.14. *Bauelemente fuer modernes Bauen.* Hans Boerner KG. Kunststoffverarbeitung. 6085 Nauheim, Odenwaldstrasse 11-17. Брошюра фирмы с результатами научно-технических отчетов. ФРГ. 1971.
- 18.15. *Валов В.М., Марантуди И.Н., Соловьев А.К.* Исследование эксплуатационных характеристик зенитных фонарей в цехах метизного производства. Промышленное строительство. 1976. № 1.
- 18.16. *Борискина И.В., Плотников А.А., Захаров А.В.* Проектирование современных оконных систем гражданских зданий. М.: АСВ. 2003.
- 18.17. *Соловьев А.К.* Эффективность применения автоматически регулируемого совмещенного освещения в производственных зданиях с равномерным верхним естественным освещением. Светотехника. 2003. № 3.
- 18.18. *Санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.1/2.1.1. 1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий».* Москва. 2003.
- 18.19. *Свод правил по проектированию и строительству. Естественное освещение жилых и общественных зданий.* СП 23-102-2003. Москва. 2005.
- 18.20. *МГСН 2.06-99.* Естественное, искусственное и совмещенное освещение. (Московские городские строительные нормы). Москва. 1999.
- 18.21. *Бахарев Д.В.* Освещенность от неба конхoidalной яркости. Светотехника. 1989. № 9.
- 18.22. *Объедков В.А., Соловьев А.К. и др.* Лабораторный практикум по строительной физике. М.: Высшая школа. 1979.
- 18.23. *Архитектурная физика.* Под редакцией Оболенского Н.В. М.: Стройиздат. 1997.
- 18.24. *Санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.1/2.1.1 1076-01 «Гигиенические требования по инсоляции и солнцезащите жилых и общественных зданий».*
- 18.25. *Бахарев Д.В.* Оптическая теория естественного светового поля. Светотехника. 1990. № 10; 1991. № 4 и № 8; 1992. № 2 и № 4.
- 18.26. *Alexei K. Solovjev.* Die Anwendung der Lichtfeldtheorie in der Proektierung der Beleuchtung von Arbeitsstaetten. Licht. 1996. № 5.
- 18.27. *Егорченков В.А., Соловьев А.К.* Проектирование систем естественного освещения промышленных зданий с использованием пространственных характеристик световой среды. Промышленное строительство. 1983. № 7.
- 18.28. *Бахарев Д.В., Орлова Л.Н., Ширококов А.Ф.* О визуализации расчета световых полей. Светотехника. 1999. № 5.
- 18.29. *Shchepetkov N.* Architectural and urban Aspects of Daylighting and Sunlighting in Russia. Hellenic Illumination Committee. Proceedings of the 1-st Symposium. Technological Developments of Daylight Applications.
- 18.30. *Айзенберг Ю.Б.* Интегральные системы освещения помещений без достаточного естественного света. Светотехника. 2003. № 1.
- 18.31. *Дженкинс Д., Мунир Т.* Характеристики световодов и светопроемов, используемых в системах естественного освещения. Светотехника. 2003. № 6.
- 18.32. *Бракале Дж.* Естественное освещение помещений с помощью новой пассивной световодной системы «SOLARSPOT». Светотехника. 2005. № 5.
- Пейн Т.* Развитие полых световодов в Великобритании. Светотехника. 2004. № 3.
- 18.33. *Айзенберг Ю.Б., Буоб В. и др.* Система совместного освещения школьного здания солнечным и естественным светом на основе полых световодов. Светотехника. 1996. № 8.
- 18.34. *Айзенберг Ю.Б., Буоб В., Майсен Т.* Гелиостатно-световодная система освещения рекреаций школы. Светотехника. 1996. № 4.
- 18.35. *Whitehead L., Brown D.N., Nodwell R.A.* A new device for distributing concentrated sunlight in building interior. Energy and building, 1984. V. 6.
- 18.36. *Whitehead L. and all.* Development and demonstration of self-aligning, multi-story core daylighting systems. Proceedings of Daylighting Conference. Moscow, 1990.
- 18.37. *Айзенберг Ю.Б.* Интегральные системы освещения помещений без достаточного естественного света. Светотехника. 2003. № 1.
- 18.38. *Kaase H., Kloss S.-H., Mueller T., Rosemann A.* Arthelio — ein Grossforschungsprojekt der Technischen Universitaet Berlin. Licht, 2000, No. 3.
- 18.39. *Мингоцци А., Боттиглиони С., Касалоне Р.* Комбинированная установка «Arthelio» с полыми световодами. Светотехника. 2000. № 1.
- 18.40. *Aisenberg J.B., Bukhman G.B., Korobko A.A., Pjatigorsky V.M.* Experience and perspective of hollow light guide Lighting Systems development and application. Proceedings of CIE Conference, San-Diego, 2004.
- 18.41. *Пособие по расчету и проектированию естественного, искусственного и совмещенного освещения (к СНиП П-4-79).* НИИСФ Госстроя СССР. М.: Стройиздат. 1985.
- 18.42. *СП-23-2003.* «Свод правил к СНиП 23-05-95* «Естественное и искусственное освещение».
- 18.43. *Бахарев Д.В.* Векторное поле тепловой облученности застроенной территории прямой солнечной радиацией. Известия вузов МВиССО СССР. Строительство и архитектура. 1968. № 5.
- 18.44. *Бахарев Д.В.* Расчет редуцированной яркости ясного неба в диапазоне спектра от 290 до 760 нм. Светотехника. 1969. № 1.
- 18.45. *Бахарев Д.В.* Использование ЭВМ при разработке энергетических методов расчета инсоляции в градостроительстве. В кн.: В помощь проектировщику-градостроителю. Киев: Будивельник. 1969. Вып. 2.
- 18.46. *Орлова Л.Н.* Универсальная компьютерная модель яркости безоблачного неба. Светотехника. 1982. № 4.
- 18.47. *Бахарев Д.В.* О математическом моделировании многократных отражений света. Светотехника. 1985. № 7.
- 18.48. *Бахарев Д.В., Орлова Л.Н., Ширококов А.Ф.* О визуализации расчета световых полей. Светотехника. 1999. № 5.
- 18.49. *Бахарев Д.В., Орлова Л.Н., Ширококов А.Ф.* О визуализации спектральной модели безоблачного неба и Солнца. Светотехника. 2000. № 4.
- 18.50. *Бахарев Д.В.* Естественное световое поле в помещении как оптическое изображение внешней среды. Светотехника. 1992. № 4.
- 18.51. *Бахарев Д.В.* Оптический метод расчета естественного освещения. Светотехника. 1996. № 7.
- 18.52. *Бахарев Д.В.* О структуре световых полей. Светотехника. 2005. № 3.
- 18.53. *Ward Larson, G., R. Shakespeare.* Rendering with Radiance. The Art and Science of Lighting Visualization. San Francisco, CA: Morgan Kaufman Publishers. 1998
- 18.54. *Ward G.J.* The Radiance Lighting Simulation and Rendering System. Computer Graphics Proceedings, 1994, ACM SIGGRAPH.

ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И ЭКОЛОГИИ

19.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Проблема энергосбережения в осветительных установках всех стран мира, не только передовых, но и развивающихся, приобрела за последние годы исключительное значение. При этом от успехов в решении этой проблемы во многом зависит будущее человеческой цивилизации не только в связи с постепенным истощением горючих ископаемых, идущих на выработку электроэнергии, но и из-за быстро происходящего загрязнения окружающей среды выбросами в атмосферу вредных веществ (диоксидов углерода и серы, а также ртути), образуемых в результате сжигания топлива при производстве электроэнергии. Известно, что при выработке на тепловых электростанциях (работающих на угле) 1 кВт·ч электроэнергии (ЭЭ) в атмосферу выбрасывается около 1 кг CO₂. В мировом масштабе загрязнение атмосферы выбросами электростанций в значительной мере способствует образованию «парникового эффекта», ведущего в конечном итоге к глобальному потеплению климата на Земле. В результате будет происходить изменение циркуляции ветров и перераспределение осадков, что существенно отразится на жизнедеятельности людей.

Пути решения проблемы: уменьшение выбросов и увеличение поглощения парниковых газов.

Соответствующие международные и национальные организации разработали целый ряд мероприятий, направленных на внедрение энергоэффективных технологий, в том числе реализацию первоочередных шагов по экономии электроэнергии в установках внутреннего и внешнего освещения.

Международное энергетическое агентство ИЕА (International Energy Agency) и Общество экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) вместе с Европейским министерством окружающей среды предложили программу, осуществление которой может снизить затраты электроэнергии на освещение в среднем на 60%. К числу реальных мероприятий повышения энергоэффективности ОУ и, соответственно, снижения выбросов CO₂ во время работы теплоэлектростанций относятся прежде всего:

- широкое внедрение в ОУ жилых и общественных зданий энергоэффективных КЛЛ взамен ЛН;
- переход в ОУ промышленных и общественных зданий на осветительные приборы (ОП) с линейными ЛЛ нового поколения в колбах диаметром 16 мм (типа Т5) с высокой световой отдачей до (105 лм/Вт);

- использование электронных пускорегулирующих аппаратов (ЭПРА) вместо электромагнитных в светильниках с ЛЛ и КЛЛ;

- автоматизированный контроль и управление освещением в зависимости от интенсивности природного света или с помощью датчиков присутствия;

- более эффективное использование естественного освещения за счет применения активных светоперерабатывающих элементов на светопроемах (как боковых, так и потолочных).

Во многих государствах мира приняты и реализуются специальные программы энергосбережения, включающие самостоятельные разделы применительно к электрическому освещению. Так, в настоящее время Европейским советом подготовлены и частично уже действуют 10–12 директив и программ по повышению эффективности использования ЭЭ, охране окружающей среды и переработке отходов производства. Лидирующую роль играет программа «Green Light» («Зеленый свет») США, а также программы энергосбережения Великобритании, Нидерландов, Дании, Швеции [19.1]. На базе программы «Green Light» подготовлены и действуют соответствующие программы Китая, Бразилии, Южной Кореи, Таиланда, Мексики, Чехии. Задачей этих программ является резкое снижение расхода ЭЭ в ОУ (на 20–50%) и выброса вредных веществ в атмосферу. Снижение энергопотребления при реализации этих программ является результатом разностороннего воздействия как на структуру производства и применения светотехнических изделий, так и на качество выпускаемой техники и эффективность ее использования. Однако необходимо подчеркнуть общее для всех этих документов – основная ставка делается на КЛЛ, ЭПРА и новое поколение тонких ЛЛ типа Т5 с ЭПРА.

Важнейшей задачей является законодательное закрепление энергосберегающих требований к светотехническим изделиям и установкам в стандартах, нормах и правилах. В США разработан «Стандарт на эффективное использование электроэнергии для освещения» [19.2], согласно которому допустимое энергопотребление на внутреннее освещение всего здания рассчитывается, исходя из допустимой удельной мощности для каждого помещения данного типа и назначения (например, школы, больницы, офисные здания и др.). Серьезный шаг на пути энергосбережения сделан в МГСН 2.01-99 «Энергосбережение в зданиях», согласно которым вновь создаваемые и реконструируемые ОУ должны соответствовать требованиям новых энергосберегающих норм (см. раздел 7). В качестве энергетического показателя, определяющего рациональное потребление

ние ЭЭ, дана также удельная мощность, Вт/м². Новые энергосберегающие нормы позволят снизить затраты электроэнергии в ОУ зданий на 20–40%.

Повышение энергоэффективности ОУ неразрывно связано с задачей комплексного снижения затрат п ОУ, так как для любого потребителя важно не только снижение энергоемкости, но и срок окупаемости затрат на новую или переоборудуемую ОУ. В конечном итоге эффективность ОУ определяется стоимостью световой энергии, генерируемой за срок службы ОУ и в значительной степени зависящей от затрат на электроэнергию.

Как известно, в любой ОУ структура стоимостных показателей складывается, в принципе, следующим образом:

- капитальные затраты на ОП и ИС — 10+15%;
- затраты на монтаж и обслуживание ОП — 15%;
- стоимость электроэнергии — 70+75%.

Экономия электроэнергии на освещение не должна достигаться за счет снижения норм освещенности, отключения части световых приборов или отказа от использования искусственного освещения при недостаточном уровне естественного света, поскольку потери от ухудшения условий освещения значительно превосходят стоимость сэкономленной электроэнергии. Эффективной следует считать такую ОУ, которая создает высококачественное освещение и сохраняет свои характеристики на протяжении длительной работы при наименьших капитальных и эксплуатационных затратах, в том числе при минимальном энергопотреблении.

19.2. СРЕДСТВА И МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ОУ

Энергоэффективность ОУ зависит от:

- световой отдачи ИС, их срока службы и стабильности характеристик в процессе длительной работы;
- светотехнических и энергетических параметров ОП;
- методов освещения;
- режимов и способов эксплуатации;

- степени использования естественного освещения;
- тарифов на ЭЭ;
- числа часов использования ОУ в год.

Важнейшим фактором снижения энергозатрат в зданиях является комплексное одновременное решение всех инженерных систем (освещения, отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха и др.).

Ниже рассмотрены основные группы вопросов, влияющих на энергопотребление и снижение стоимости световой энергии.

Источники света. Энергетическая эффективность и срок службы различных типов ИС, как известно, резко различаются. За период своей работы разрядные лампы (РЛ) вырабатывают в 50–100 раз больше световой энергии на 1 Вт потребляемой мощности по сравнению с лампами накаливания (см. раздел 3). Основные характеристики различных ИС, влияющие на энергоэффективность ОУ, приведены в табл. 19.1, из которой хорошо видны огромные преимущества разрядных ламп по сравнению с ЛН.

Возможная экономия ЭЭ, которая может быть получена в ОУ за счет замены менее эффективных ИС более эффективными (при сохранении нормируемых уровней освещенности) приведена в табл. 19.2.

В новых и реконструируемых ОУ целесообразно использовать энергоэкономичные ИС, которые за последнее десятилетие получили широкое распространение. В первую очередь это относится к энергоэкономичным ЛЛ мощностью 18, 36 и 58 Вт в колбе диаметром 26 мм (вместо традиционных ламп 20, 40 и 65 Вт в колбе диаметром 38 мм) и новым ЛЛ в колбе диаметром 16 мм, а также МГЛ.

Компактные люминесцентные лампы. Появление и бурное развитие в последние годы КЛЛ, имеющих в 8–12 раз больший срок службы и в 5 раз большую световую отдачу по сравнению с ЛН, показывают необходимость значительного расширения применения этих ламп в наиболее важных и «отзывчивых» сферах — в жилом секторе, а также в коммерческих и общественно-административных зданиях. КЛЛ малых размеров, имеющие встроенные в лампу малогабаритные ЭПРА и

Таблица 19.1

Основные характеристики источников света

Тип источника света	Средний срок службы, ч	Индекс цветопередачи, R_a	Световая отдача, лм/Вт	Удельная световая энергия, вырабатываемая за срок службы (средние значения)	
				Млм·ч/Вт	отн. ед.
Лампы накаливания общего назначения (ЛН)	1000	100	8–17	0,013	1
Люминесцентные лампы (ЛЛ)	10000–20000	57–92	48–104	1,140	88
Компактные люминесцентные лампы (КЛЛ)	5500–15000	80–85	65–87	0,780	60
Дуговые ртутные лампы (ДРЛ)	12000–24000	40–57	19–63	0,738	57
Натриевые лампы высокого давления (НЛВД)	10000–28000	21–60	66–150	2,050	157
Металлогалогенные лампы (МГЛ)	3500–20000	65–93	68–105	1,020	78

Таблица 19.2

Возможная экономия ЭЭ благодаря переходу на более эффективные ИС

При замене ИС	Средняя экономия ЭЭ, %
ЛН на КЛЛ	60–80
ЛН* на ЛЛ**	40–54
ЛН* на ДРЛ	41–47
ЛН* на МГЛ	54–65
ЛН* на НЛВД	57–71
ЛЛ на МГЛ	20–23
ДРЛ на МГЛ	30–40
ДРЛ на НЛВД	38–50

* С учетом снижения нормируемой освещенности для ЛН на одну ступень.

** ЛЛ в колбах диаметром 26 мм.

Таблица 19.3

Сравнительные характеристики КЛЛ и ЛН

ЛН		КЛЛ		Отношение световой отдачи КЛЛ к световой отдаче ЛН, отн. ед.
мощность, Вт	световой поток, лм	мощность, Вт	световой поток, лм	
25	200	5	200	5,0
40	420	7	400	5,4
60	710	11	600	4,6
75	940	15	900	4,8
100	1360	20	1200	4,4
2×60	1460	23	1500	5,4

стандартный цоколь (E27, E14, B22), могут в существующих светильниках напрямую заменять ЛН мощностью от 25 до 1000 Вт. Применение таких КЛЛ может быть наиболее эффективным именно в тех видах ОУ, где сегодня наиболее массовым ИС является ЛН. Такой областью применения является жилой сектор. Сравнительные характеристики КЛЛ и ЛН приведены в табл. 19.3.

Расчетные оценки экономических и экологических выгод массового применения КЛЛ в быту в странах Западной Европы приводят фирмы Philips Lighting и Osram. Так, если в любом из 145 млн. домашних хозяйств стран Европейского союза 3 шт. ЛН мощностью 60 Вт будут заменены эквивалентными по световому потоку тремя КЛЛ мощностью 11 Вт с ЭПРА, то при средней наработке 4 ч/сутки можно получить годовую экономию электроэнергии, эквивалентную ликвидации на европейском континенте десяти теплоэлектростанций мощностью 600 МВт каждая. По расчетам фирмы Osram, замена в 35 млн. домашних хозяйств Германии только одной ЛН 60 Вт на КЛЛ 11 Вт позволила бы за срок службы 10 тыс. ч сэкономить около 17,5 млн. кВт·ч, что равнозначно снижению потребления на ТЭС каменного угля на 5 млн. т/год и, соответственно, сокращению выбросов CO₂ на 15 млн. т ежегодно.

Основным тормозом на пути широчайшего внедрения КЛЛ со встроенным ЭПРА вместо ЛН являлась их относительно высокая цена. Вместе с тем, как показали многовариантные расчеты, выполненные во многих странах, срок окупаемости затрат на такие КЛЛ составляет, в зависимости от стоимости ЭЭ, числа часов использования ламп и их цены, от 1,5 до 4-х лет (см. табл. 19.4).

Анализ данных зарубежных фирм показывает, что за последние 8 лет объемы производства КЛЛ выросли в десятки раз. При этом среднегодовые темпы прироста составляли в последний период 7+24%. Особенно важно также отметить структурные изменения в выпуске КЛЛ. Если в 1990 г. почти 60% КЛЛ предназначалось для работы с независимыми ПРА, то к 2003 г. ситуация коренным образом изменилась: около 60% выпуска составили интегрированные КЛЛ с резьбовым цоколем и встроенным ЭПРА, предназначенные для прямой замены ЛН в существующем парке ОП с ЛН. Одновременно происходит постоянное снижение стоимости КЛЛ.

Новые ЛЛ типа T5 предназначены для работы только с ЭПРА. Параметры этой группы ламп приведены в разделе 3. Основными преимуществами этих ламп с энергоэкологической точки зрения являются: повышенная световая отдача (до 105 лм/Вт); срок службы до

Таблица 19.4

Срок окупаемости затрат (годы) на покупку одной КЛЛ мощностью 20 Вт*

Ежегодная наработка, ч	Стоимость КЛЛ Доллар США	Стоимость 1 кВт·ч электроэнергии (цент)				
		1,2	2	4	6	10
1000	5	5,2	3,125	1,56	1,04	0,625
	10	10,4	6,25	3,12	2,08	1,25
	15	15,6	9,4	4,7	3,12	1,9
	20				4,16	2,5
	30					3,75
1500	5	3,47	2,08	1,04	0,7	0,54
	10	6,94	4,16	2,08	1,4	1,08
	15	6,24		6,24	2,1	1,62
	20				2,8	2,16
	30				4,2	3,24
2000	5	2,6	1,56	0,78	0,52	0,312
	10	5,2	3,12	1,56	1,04	0,62
	15		3,2	2,35	1,56	0,95
	20			3,12	2,08	1,25
	30				3,12	1,87

* Выделены зоны со сроком окупаемости до 2,5 лет.

20 тыс. ч; пониженный спад светового потока (через 10 тыс. ч наработки световой поток снижается не более чем на 5% и остается далес на этом уровне, по сравнению с 20–30% снижения светового потока для обычных ЛЛ); оптимальная температура окружающего воздуха не 22–25°C, как для обычных ЛЛ, а 35°C, т.е. их световая отдача практически не снижается во многих закрытых светильниках; при работе только со специальными ЭПРА потери мощности комплекта лампа-ПРА снижаются на 30–35%; значительно уменьшенное содержание ртути (с 30 до 3 мг).

Следствием этих преимуществ являются снижение установленной мощности ОУ на 20–30% и расхода ЭЭ в них из-за возможности существенного уменьшения коэффициента запаса ОУ и потерь мощности в ОП.

При использовании ЛЛ с повышенной световой отдачей и ЭПРА, а также ОП с КПД не менее 70% можно добиться снижения удельной мощности освещения в среднем с 25 до 10 Вт/м² без ухудшения количественных и качественных светотехнических параметров. Количество ежегодно сэкономленного каменного угля на ТЭС при этом составило бы 8,5 млн. т, а это значит, что объем выбросов CO₂ в атмосферу снизился бы на 25,4 млн. т/год.

Безэлектродные разрядные лампы (см. раздел 3) имеют чрезвычайно большой срок службы (до 100 тыс. ч), обусловленный отсутствием традиционных для разрядных ламп термоэмиссионных катодов. Эти лампы име-

ют также большую световую отдачу (>80 лм/Вт), хорошую цветопередачу ($R_a > 80$) и незначительный спад светового потока в течение срока службы.

Благодаря необычно большому сроку службы безэлектродные лампы являются идеальным источником света для ОУ, в которых светильники размещены на больших высотах и в зонах, труднодоступных для обслуживания. Эксплуатационные расходы на ОУ с безэлектродными лампами резко снижаются в помещениях с круглосуточной эксплуатацией технологического оборудования, а также при использовании новой генерации ИС в светильниках дежурного и аварийного (постоянно работающего) освещения.

Разрядные лампы высокого давления РЛВД вместо ЛН, лампы-светильники типа ДРИЗ вместо ламп типа ДРЛ, шелевые световоды с лампами типа ДРИ или ДРИЗ вместо светильников с ЛН и ЛЛ целесообразно использовать в высоких помещениях с тяжелыми условиями среды.

Целесообразно расширить применение ламп типа НЛВД в ОУ для разрядов IVб, IVв, IVг и ниже (см. СНиП 23-05-95*, табл. 1), а также при смешанном освещении для точных зрительных работ. Возможная экономия ЭЭ при этом может составить 20–45%.

Светодиоды (СД) — наиболее «молодые» источники света, принципиально отличающиеся от тепловых или разрядных излучателей (см. раздел 3). Эти полупроводниковые ИС, излучающие во всем видимом диапазоне

спектра, очень привлекательны с энерго-экологической точки зрения: срок службы до 100 тыс. ч, минимальное энергопотребление, отсутствие ртути и необходимости в ПРА.

До настоящего времени область применения светодиодов ограничивалась в основном устройствами сигнализации, световой индикации, системами отображения информации, а также ограниченным использованием в осветительной технике (для специального местного освещения, световой рекламы, установок типа «звездное небо»).

В настоящее время, благодаря быстрому прогрессу в области СД, фактически формируется новый раздел светотехники — светозлектроника. В долгосрочной перспективе, ориентируясь на вполне достижимые световые отдачи около 100 лм/Вт, вероятный сценарий развития применения твердотельных СД будет следующим.

1. Использование СД в цветных мощных сигнальных устройствах, в качестве автомобильных и дорожных огней.

2. Цветное декоративное, архитектурное и коммерческое освещение, информационные и рекламные устройства, «бегущие строки» (использование разрядных трубок для этих целей станет абсолютно устаревшей технологией).

3. Наружное освещение, освещение туннелей, местное освещение, ОУ вспомогательных помещений и многое другое.

Масштабы экономии ЭЭ могут быть весьма значительными. Даже сегодня использование ОП с СД только во вспомогательных помещениях жилых домов Москвы (лестничные клетки, лифтовые холлы, входы в зданиях) может позволить снизить потребление ЭЭ на 200 млн. кВт·ч.

Пускорегулирующие аппараты (см. раздел 4). Важным фактором уменьшения затрат ЭЭ в ОУ является

снижение потерь в ПРА. Возможное уменьшение расхода ЭЭ за счет увеличения световой отдачи комплекта лампа + ПРА показано в табл. 19.5 и составляет (при применении в светильниках со стандартными ЛЛ и КЛЛ) для ЭмПРА с пониженными потерями — 6–26%, для ЭПРА — 14–55%.

Основными преимуществами ЭПРА по сравнению с ЭмПРА с точки зрения энергосбережения являются не только снижение собственных потерь мощности, но и повышение до 50% световой отдачи и на 20–30% срока службы ламп и уменьшение расхода ЭЭ за счет значительного сокращения суммарной потребляемой мощности.

Учитывая это, можно констатировать, что в перспективе техника освещения будет базироваться в основном на использовании этого вида ПРА.

Европейская ассоциация производителей осветительных приборов CELMA [19.3] предложила осуществлять поэтапное (на протяжении 2002–2006 гг.) сокращение объемов выпуска и применения электромагнитных ПРА (как со стандартным, так и с пониженным уровнем потерь) и широкомасштабное внедрение в новые системы освещения светильников, оснащенных энергоэкономичными ЭПРА.

До 2020 г. в странах Европейского Союза в установках внутреннего освещения с ЛЛ ожидают получить экономию до 12 млрд. кВт·ч/год и снижение эмиссии CO₂ на ТЭС приблизительно на 6 млн. т/год. Реальная экономия электроэнергии в установках внутреннего освещения при широком использовании новых светильников с ЛЛ (с повышенной световой отдачей и с ЭПРА), а также регулирующих систем и эффективных методов естественного освещения может составить 75%, что обеспечит существенное снижение эмиссии CO₂.

Таблица 19.5

Изменение световой отдачи комплекта лампа + ПРА при работе с различными типами ПРА

Мощность лампы P _л , Вт	стандартный электромагнитный ПРА				электромагнитный ПРА с пониженными потерями				электронный ПРА (ЭПРА)				
	сум. мощность комплекта P _Σ , Вт	световой поток Φ, лм	световая отдача η комплекта		сум. мощность комплекта P _Σ , Вт	световой поток Φ, лм	световая отдача η комплекта		сум. мощность комплекта P _Σ , Вт	световой поток Φ, лм	световая отдача η комплекта		
			лм/Вт	%			лм/Вт	%			лм/Вт	%	
ЛЛ (Ø 26 мм) с хорошим качеством цветопередачи													
18	29	1350	46,5	100	24	1350	56,2	120	19	1350	71,0	142	
36	46	3350	72,8	100	42	3350	79,8	109	36	3350	93,0	124	
58	71	5200	73,2	100	66	5200	78,8	107	55	5200	94,5	124	
КЛЛ с выносными ПРА													
7	14	400	28,6	100	11	400	36,3	126	9	400	44,4	155	
9	15	600	40,0	100	13	600	46,1	115	12	600	50,0	125	
11	16	900	56,2	100	15	900	60,0	106	14	900	64,3	114	
18	29	1200	41,3	100	24	1200	50,0	121	20	1200	60,0	145	
24	35	1800	51,4	100	30	1800	60,0	116	27	1800	66,6	129	
36	46	2900	63,0	100	42	2900	69,0	109	39	2900	74,3	118	

Для обеспечения реализации этой программы Европейский парламент издал специальную директиву [19.4], направленную на повышение эффективности использования ЭЭ, в которой сформулированы энергосберегающие требования к балластам для ЛЛ, а также выполнена классификация ПРА с точки зрения энергопотребления (см. раздел 4). При этом наиболее перспективными с энергетической, а также со светотехнической точек зрения являются комплекты ЛЛ типа Т5 с ЭПРА класса А. Одновременно осуществляется 80%-е снижение выбросов в атмосферу. Европейская комиссия ставит задачу довести долю ЭПРА на рынке до 55%.

Осветительные приборы. Правильный выбор ОП при проектировании и монтаже ОУ во многом определяет не только их светотехническую эффективность, надежность и длительность работы, стоимость эксплуатации, но и энергопотребление в ОУ. И связано это не только с характеристиками ИС и параметрами комплекта лампа-ПРА, о чем сказано выше. В значительной степени это зависит от характера светораспределения и формы кривой силы света ОП (подробнее см. раздел 6), а также от правильности выбранного конструктивного исполнения ОП для работы в заданных условиях эксплуатации, т.е. от эксплуатационной группы приборов, определяемой их конструктивно-светотехнической схемой и твердостью используемых материалов (см. раздел 6) [44].

Типовые КСС для внутреннего освещения приведены в разделе 6, для наружного освещения — в разделе 5.

Эффективность той или иной КСС ОП для внутреннего общего освещения зданий и сооружений в значительной степени определяется соотношением L/H , где L — расстояние между ОП, H — высота расположения ОП над расчетной поверхностью. Так, КСС типа К целесообразно использовать при соотношении $L/H = 0,3+0,8$; типа Г — при $L/H = 0,8+1,2$; типа Ш — при $L/H = 1,2+2,0$. Примеры возможной экономии ЭЭ при использовании ОП с различными КСС вместо типа Д приведены в табл. 19.6.

Таблица 19.6

Экономия ЭЭ при использовании ОП с типовыми КСС

Высота помещения, м	Экономия ЭЭ при замене ОП с КСС Д на ОП со следующими КСС (см. раздел 6)	Экономия ЭЭ, %
5,0	Г	15
	К	18
10,0	Г	23
	К	30
15,0	Г	27
	К	33
20,0	Г	30
	К	37

При выборе типа ОП наряду с КСС необходимо принимать во внимание также и значение КПД прибо-

ров и его стабильность в условиях эксплуатации. При этом важную роль играет устанавливающийся внутри ОП тепловой режим, существенно влияющий на световую отдачу многих типов лампы и, прежде всего, ЛЛ. Поэтому в закрытых уплотненных светильниках с ЛЛ целесообразно применять амальгамные лампы, световые характеристики которых в значительно меньшей степени зависят от окружающей температуры. При этом важно отметить, что наименьшие потери световойдачи среди стандартных ЛЛ имеют лампы типа Т5.

В светильниках, не имеющих отражателей, для тяжелых условий среды следует применять рефлекторные ЛЛ, что обеспечивает экономию ЭЭ около 20% по сравнению с вариантом использования в этих же ОП обычных ЛЛ.

Во взрывоопасных помещениях и помещениях с тяжелыми условиями среды целесообразно использовать ОУ со шелевыми световодами, что позволит получить 10–15% экономии ЭЭ (см. раздел 6).

Методы освещения. Правильный выбор системы освещения на стадии проектирования ОУ является важным резервом энергосбережения.

Рекомендуемые по технико-экономическим соображениям области применения разных систем освещения приведены в табл. 19.7 [19.5].

Систему комбинированного освещения целесообразно использовать при необходимости обеспечения на рабочих местах высоких уровней освещенности (500–4000 лк) и в тех помещениях, где площадь, приходящая на одно рабочее место, достаточно велика.

В помещениях с несимметричным расположением технологического оборудования и малой плотностью его размещения целесообразно применение локализованного размещения ОП при системе общего освещения.

При наличии в одном помещении рабочих зон и вспомогательных площадей все вспомогательные зоны следует освещать менее интенсивно, чем рабочие. Возможная экономия электроэнергии в зависимости от соотношения основных и вспомогательных площадей может составлять 20–30% [19.5].

В ОУ большой мощности и со значительной протяженностью сетей целесообразно использование напряжения 660/380 В (система с глухим заземлением нейтралей, без промежуточной трансформации) и специально предназначенные для этого ОП с ПРА на напряжение 380 В.

В мощных ОУ с разрядными лампами высокого давления (сотни и более кВт) для повышения коэффициента мощности целесообразно применение групповых компенсирующих трехфазных конденсаторов, исключающих необходимость коррекции $\cos \varphi$ в каждом светильнике.

Управление освещением (см. раздел 4). Системы управления освещением должны выбираться в соответствии с размерами помещений и типами зданий. Системы автоматического управления (САУ) ОУ позволяют производить регулирование светового потока ИС от 100% до 0%.

Области применения разных систем освещения

Разряд зрительной работы (по СНиП 23-05-95*, табл. 1)	Система освещения		Возможный эффект использования вместо системы общего освещения системы комбинированного освещения, %	
	комбинированного	общего	$\Delta \mathcal{E}$	$\Delta \mathcal{Z}$
I, IIa, IIб	рекомендуется	не рекомендуется	—	—
IIв, IIг	рекомендуется при $S > 4,5 \text{ м}^2/\text{чел}$	рекомендуется при $S \leq 4,5 \text{ м}^2/\text{чел}$	до 50	до 15
III	рекомендуется при $S > 5 \text{ м}^2/\text{чел}$	рекомендуется при $S \leq 5 \text{ м}^2/\text{чел}$	до 25	до 15
IVa, IVб	рекомендуется при $S > 10 \text{ м}^2/\text{чел}$	рекомендуется при $S \leq 10 \text{ м}^2/\text{чел}$	15-20	—
IVв, IVг	не рекомендуется*	рекомендуется	10-15	—

* Для IIв, IIг, III и IV разрядов рекомендуется система комбинированного освещения независимо от S при затенении рабочей зоны или специфических требованиях к освещению.

Примечание. $\Delta \mathcal{E}$ — экономия ЭЭ; $\Delta \mathcal{Z}$ — экономия приведенных годовых затрат; S — площадь, приходящаяся на одного работающего в данном помещении.

Для помещений площадью более 50 м^2 следует применять автоматическое регулирование искусственного освещения в зависимости от естественной освещенности. Оценки возможной экономии ЭЭ при разных способах регулирования искусственного освещения даны в табл. 19.8.

Таблица 19.8

Экономия ЭЭ путем регулирования искусственного освещения в зависимости от естественного

Число рабочих мест	Вид естественного освещения в помещении	Способ регулирования искусственного освещения	Экономия ЭЭ, %
1	Верхнее	Непрерывное	36-27
		Ступенчатое	32-13
2	Боковое	Непрерывное	22-7
		Ступенчатое	12-2
	Верхнее	Непрерывное	31-23
		Ступенчатое	27-11
Боковое	Непрерывное	19-6	
	Ступенчатое	10-2	

Естественное освещение. Естественное освещение помещений должно выполняться по специальным документам (см. раздел 18):

— СНиП 23-05-95* «Естественное и искусственное освещение»;

— МГСН-2.06-97 «Естественное и искусственное освещение».

Роль естественного освещения в зданиях была оценена в полной мере, когда было установлено, что оно может служить одним из важных способов экономии ЭЭ на цели освещения в условиях нарастающего энергетического кризиса в связи с наметившимся истощением традиционных источников энергии (угля, торфа,

газа, нефти, водных ресурсов) и резким ростом стоимости ЭЭ во всех странах мира. Рациональное использование естественного освещения в зданиях в настоящее время рассматривается как важный фактор экономии ЭЭ, при этом обращается внимание на то, что оптимальный результат достигается при комплексном проектировании систем естественного и искусственного освещения, систем отопления и вентиляции с учетом строительного решения зданий и климата места строительства.

Опыт эксплуатации зданий показывает, что за счет более полного использования естественного освещения достигается экономия ЭЭ от 20 до 50%.

Эксплуатация осветительных установок (см. раздел 11). Эффективное использование ЭЭ невозможно без рациональной эксплуатации ОУ. К сожалению, очень часто ОУ, потребляя равное количество ЭЭ, со временем перестает выполнять свои функции, т.к. уровень и качество освещения непрерывно ухудшаются из-за выхода из строя ламп, снижения их светового потока, снижения КПД светильников и деформации исходной КСС, а также ухудшения характеристик отражающих свет поверхностей и светопропускающих конструкций.

Правильная организация эксплуатации ОУ должна базироваться как на применении энергоэффективных изделий, так и определении рациональных режимов технического обслуживания ОУ [19.6]. Ожидаемое реальное снижение расхода ЭЭ при этом может достигать 15-25%.

19.3. ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА ЭКОНОМИИ ЭЭ

Потенциал экономии ЭЭ при совершенствовании перечисленных средств освещения приведен в табл. 19.9.

Таблица 19.9

Потенциал экономии ЭЭ

Мероприятие	Экономия ЭЭ
1. Переход на светильники с эффективными разрядными лампами (в среднем): – использование энергоэкономичных ЛЛ; – использование КЛЛ (при прямой замене ЛН); – переход от ламп ДРЛ на лампы ДНАТ; – улучшение стабильности характеристик ламп (снижение коэффициента запаса ОУ)	20–80 10–15 75–80 50 20–30
2. Снижение энергопотерь в ПРА: – применение электромагнитных ПРА с пониженными потерями для ЛЛ; – применение электронных ПРА	30–40 70
3. Применение светильников с эффективными КСС и высоким КПД	15–20
4. Применение световых приборов нужного конструктивного исполнения с повышенным эксплуатационным КПД — снижение коэффициента запаса (на 0,2–0,35)	25–45

Таблица 19.10

Оценка реальных возможностей экономии ЭЭ

Пути экономии ЭЭ	Оценка возможной экономии ЭЭ, %
<i>Совершенствование средств освещения</i>	
Расширение производства эффективных ИС и области их применения	14,0
Увеличение световой отдачи ИС	6,0
Повышение стабильности характеристик ИС	3,0
Повышение КПД ОП	6,0
Улучшение эксплуатационных свойств ОП	3,5
Расширение производства ОП с эффективными КСС	3,0
Снижение энергопотребления ОП, в частности благодаря использованию ЭПРА	1,5–2,0
<i>Совершенствование способов освещения</i>	
Расширение области применения системы общего локализованного освещения	6,5
Расширение применения систем комбинированного освещения	4,0
Рациональное использование естественного света и систем управления освещением	4,5–4,7

По результатам анализа всех разделов рекомендаций интересно сделать оценки гипотетической экономии ЭЭ, которую можно получить на вновь вводимых предприятиях с учетом прогнозируемого изменения уровня освещенности и при условии совершенствования только одного из средств или способов освещения. Оценка возможной экономии ЭЭ приведена в табл. 19.10.

Из таблицы видно, что максимальная гипотетическая экономия ЭЭ при одновременной реализации всех условий (с учетом их неполной аддитивности) может достигнуть 50%. При этом наиболее эффективными путями являются расширение производства и областей применения разрядных ламп, особенно КЛЛ. На второе место можно поставить рациональное использование естественного света и систем управления освещением.

Как показали расчеты ВНИСИ [19.7], при прогнозируемом развитии способов и средств освещения до 2010 и 2020 гг. возможная экономия ЭЭ в ОУ за счет технического прогресса (повышение световой отдачи и срока службы ламп, повышение стабильности характеристик) и изменения структуры парка действующих

ОП (в направлении повышения доли высокоэффективной современной техники) составит 26% и 45% (соответственно 34,2 и 71,8 млрд. кВт·ч), «светообеспечение» вырастет с 43 до 80 Млн·ч/чел., а расход ЭЭ на выработку 1 Млн·ч снизится с 28 до 12 кВт·ч. При этом парк в основных группах ИС изменится к 2020 г. следующим образом:

- снизится в 1,3 для ЛН и в 1,1 раза для ДРЛ;
- увеличится в 1,5 раза для ЛЛ, в 10 раз для ГЛН и в 23–25 раз для ГЛВД.

Наибольшие темпы роста должны произойти в группе КЛЛ (необходим рост более чем в 250 раз).

19.4. ЭНЕРГОАУДИТ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Важной составляющей системы энергетического менеджмента является энергоаудит — отправная точка развития программы повышения энергоэффективности любого предприятия.

Энергоаудит — это обследование осветительной установки предприятия с целью определения рациональности энергоиспользования, оценки потенциала эне-

госбережения и разработки наиболее эффективных способов его реализации.

Резервом экономии электроэнергии и повышения эффективности ее использования в действующих ОУ является следующее:

1) реконструкция физически и морально устаревших ОУ;

2) совершенствование управления ОУ, направленное на их своевременное включение и выключение с учетом времени работы технологического оборудования (обеденный перерыв, начало и конец смены), а также отключение части ОУ при достаточном естественном освещении и использовании автоматического управления ОУ;

3) принятие мер по снижению перенапряжений в осветительных сетях: так, например, при перенапряжении на 5% сверх номинальной мощности, потребляемая ЛН, возрастает на 8%, а ЛЛ с ЭМПРА — на 10%, срок службы ЛН уменьшается на 50%;

4) использование амальгамных ЛЛ вместо обычных при работе их в условиях повышенной температуры, использование энергоэкономичных ламп и эффективных ОП.

В ОУ указанные мероприятия могут обеспечить экономию электроэнергии в среднем на 5–10%.

Для проведения энергоаудита необходим руководящий материал. Во ВНИСИ разработаны Методические указания по проведению энергоаудита ОУ [19.8], которые распространяются на действующие и вновь смонтированные ОУ внутреннего освещения промышленных и общественных зданий.

Указания составлены с использованием СНиП 23-05-95* «Естественное и искусственное освещение» (изменение № 1 от 29.05.2003); МГСН 2.06-99 «Естественное, искусственное и совмещенное освещение»; МГСН 2.01-99 «Энергосбережение в зданиях»; ГОСТ 24940-96 «Здания и сооружения. Методы измерения освещенности»; «Правил устройства электроустановок» (ПУЭ, издание седьмое); «Правил эксплуатации электроустановок потребителей» (1992 г.). Указания утверждены Департаментом государственного энергетического надзора и энергосбережения РФ 02.11.2001 г.

Методология энергоаудита делится на 4 основных этапа:

1-й этап. Ознакомление с ОУ предприятия, сбор и анализ всей информации по ИС, ОП, ПРА и ЭУ, системам и способам освещения, значениям освещенности, организации эксплуатации и способам обслуживания;

2-й этап. Оценка эффективности ОУ по удельным энергетическим показателям;

3-й этап. Разработка рекомендаций по повышению энергоэффективности ОУ;

4-й этап. Экспертиза разработанных предложений.

Проведению энергоаудита должен предшествовать выход приказа за подписью директора предприятия с указанием сроков его проведения и состава бригады по проведению энергоаудита с обязательным включением в нее независимых специалистов.

Работа по энергоаудиту должна заканчиваться составлением предложений и рекомендаций по повышению энергоэффективности ОУ и оценкой технико-экономических показателей рекомендуемой ОУ. Внедрение рекомендаций по результатам энергоаудита следует считать успешным, если срок окупаемости составленных предложений не превышает 2,5–3 лет.

19.5. ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Стоимость ЭЭ, затрачиваемой на все виды освещения во всем мире, составляет около 230 млрд. долларов в год, из которых 100–135 млрд. долларов могут быть сэкономлены за счет современных технологий [19.9]. Примерно 70% этой экономии приходится на долю электроосвещения, а оставшиеся 30% — на долю керосиновых ламп в развивающихся странах. Сэкономленная электроэнергия эквивалентна мощности, вырабатываемой от 240 до 385 электростанций мощностью 400·10⁶ Вт, а экономия в керосиновом освещении эквивалентна выработке 0,27 млн. т нефти в день. Соответственно, выделение парникового газа за счет освещения составляет около 15% от его всемирного выделения.

На рис. 19.1 приведены данные различных стран о выбросах электростанциями в атмосферу диоксида углерода, при этом от 10 до 20% этих выбросов связаны с ЭЭ, расходуемой в ОУ.

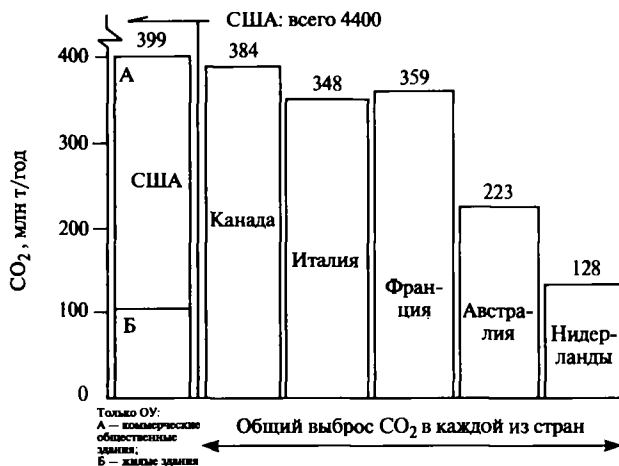


Рис. 19.1. Выбросы диоксида углерода в атмосферу при выработке электроэнергии [19.10]

Рассмотренные выше «энергетически эффективные» меры являются существенным шагом к уменьшению выбросов вредных веществ в атмосферу и к снижению риска, связанного с изменением климата.

По оценкам исследователей Великобритании и США, эмиссия вредных веществ составляет [19.11, 19.12]:

CO₂ — 800–1030 г/кВт,

SO₂ — 5,32–10,0 г/кВт,

NO₂ — 3,4–3,51 г/кВт.

На рис. 19.2 приведена зависимость по годам прогнозируемого снижения выбросов углерода в Великобритании [19.13]. Снижение выбросов углерода с 19 до 16 млн. т возможно за счет ламп, балластов, проектирования, контроля и ограничения искусственного света в дневное время. Чтобы снизить выбросы до 13 млн. т, необходимо улучшить проектирование, более интенсивное использование дневного освещения, отработка систем управления, новые ИС. Для достижения 9 млн. т необходимо использовать новые ИС и «чистые» источники энергии.

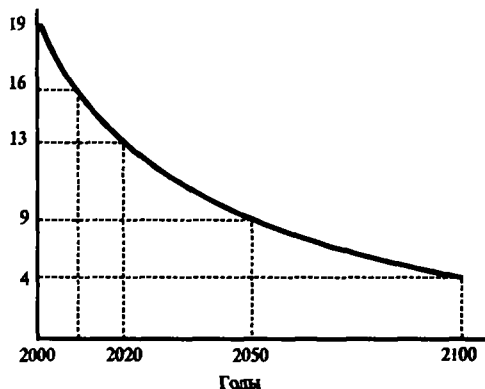


Рис. 19.2. Зависимость по годам прогнозируемого снижения выбросов углерода в млн. т

Использование фотопреобразователей в целях освещения может дать существенный энергетический эффект без ущерба окружающей среде. Так, к примеру, в условиях Польши [19.14] энергия, получаемая солнечной батареей площадью 1 м^2 , расположенной оптимальным образом, составляет $1130 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ в год. Общий КПД системы с такой батареей составляет от 6 до 10%, т.е. с одного квадратного метра можно получить $73,5 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ со средней мощностью $16,7 \text{ Вт}$. Эквивалентная энергия, которая может быть получена таким образом на здании объемом 600 м^3 с солнечной батареей площадью 50 м^2 , составляет $3,6 \text{ МВт} \cdot \text{ч}$. Общий годовой расход ЭЭ в таком здании составляет около $3,0 \text{ МВт} \cdot \text{ч}$, т.е. такое здание можно считать самообеспечивающимся с точки зрения электрической энергии. Однако в отношении стоимости эта система весьма проблематична, так как ее цена достигает 700 долларов за 1 м^2 , а для рассматриваемого здания объемом 600 м^3 составляет 35000 долларов. Допустим, что в Польше имеется не менее миллиона таких зданий. Тогда таким способом можно получить $3,6 \text{ ТВт} \cdot \text{ч}$ ЭЭ и снизить расход каменного угля на 0,9 млн. тонн.

Рассматривая воздействие искусственного освещения на окружающую обстановку, можно выделить три аспекта: энергопотребление, световое загрязнение и образование отходов производства.

Энергопотребление воздействует на окружающую среду посредством:

- расхода невозобновляемых природных ресурсов;
- распространения загрязнения;
- деградации растительного и животного мира.

Производство ЭЭ растет (рис. 19.3) [19.15] без существенного роста эффективности энергопотребления. Следует отметить, что реальная энергоэффективность оборудования для искусственного освещения далека от своего потенциально возможного уровня. Примером может служить использование ламп накаливания, световая отдача которых около 10–15% по сравнению с другими ИС, а их доля на рынке составляет до 80%.

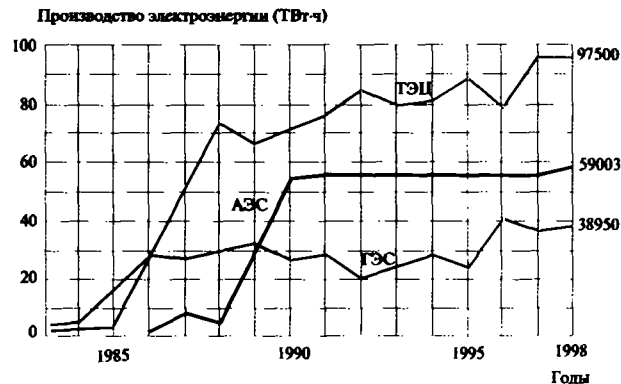


Рис. 19.3. Темпы роста производства ЭЭ

Световое загрязнение. Искусственный свет, кроме своего прямого назначения, оказывает ряд вредных действий:

- вторгается в естественные пространства и изменяет условия окружающей среды, в которой находятся живые существа, воздействует на привычные условия питания, воспроизводства, миграции и т.д., создавая соответствующую опасность для экологического баланса;
- увеличивает яркость ночного неба, снижая контраст и затрудняя наблюдение звезд, как в научных, так и в чисто познавательных целях;
- разрушает привычки людей, создавая трудности для ночного отдыха.

На рис. 19.4 [19.16] показана карта ночного вида Европы из космоса. Отчетливо видны «очаги» светового загрязнения — крупные города, густонаселенные регионы. Ограничение ночной засветки небосклона возможно путем использования для наружного освещения светильников с уменьшенной долей светового потока в верхнюю полусферу.

Отходы производства. Здесь можно выделить два аспекта:

- вредные для окружающей среды материалы (ртуть, стронций, свинец и т.д.), входящие в состав ИС. Кроме того, так как ИС не являются длительно работающими элементами оборудования, их частая замена увеличивает производимые отходы;
- увеличивающееся потребление балластов и других электронных элементов создает свои специфические проблемы. Переработка этих отходов сложна и дорога. В то же время следует отметить заметные усилия промышленности в направлении снижения количества этих компонентов в составе продукции.

Каждую ночь наша планета
излучает громадное
количество искусственного
света. Вот так, например,
выглядит ночная Европа из
космоса. Отчетливо видны
«очаги» светового
загрязнения – крупные
города, густонаселенные
регионы.



Рис. 19.4. Вид ночной Европы из космоса

Серьезной проблемой эксплуатации ОУ является утилизация вышедших из строя комплектующих изделий. Наиболее часто выходят из строя ИС. Способы утилизации ртутьсодержащих ламп рассмотрены в разделе 11.

Современное осветительное оборудование, кроме ИС, содержит мало материалов, которые можно считать опасными. В данном случае главной заботой является повторное использование материалов.

Европейский парламент ратифицировал директивы по утилизации отходов [19.17]. Суть директив состоит в защите окружающей среды. Светильники с ЛЛ упоминаются в директивах особо. Основным требованием является демонтаж, а также повторное использование балластов. Директивы требуют значительного расширения технической конструкторской документации, в которой должно быть предусмотрено:

- повторное использование высокоэффективных компонентов (например, высокочастотных электронных балластов);
- ограничение применения любых сопряженных с риском материалов (во время производства, использования и утилизации);
- снижение до минимума веса изделия и упаковки;
- обеспечение легкой сортировки и обработки вышедших из строя изделий;
- повышение энергетической эффективности применяемой техники.

Необходимо, чтобы на всех этапах производства, использования и утилизации изделий окружающей среде был нанесен минимальный ущерб.

Таким образом, энергосбережение и сохранение окружающей среды являются важнейшими факторами развития светотехнической науки, техники и производства [19.18, 19.19].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

19.1. *Бертольди П., Беррутто В.* Европейская программа «Green Light» — «Зеленый свет». Светотехника, 2001. № 6.
19.2. *ASHRAE/IES 90.1-1989.* Energy efficient design of new buildings except low-rise residential buildings.

19.3. *CELMA* — Европейское объединение производителей светотехнических изделий. Светотехника. 2003. № 2.

19.4. *Directive 2002/91/EC of European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings.*

19.5. *Энергосбережение* в освещении. Под ред. проф. Ю.Б. Айзенберга. М., Знак. 1999.

19.6. *Erken Schmidt.* Lampenwechsel in Beleuchtungsanlagen. Sonderdruck aus: Handbuch für Beleuchtung 15. Ergänzungs-lieferung März 2002. Philips AEG.

19.7. *Айзенберг Ю.Б., Рожкова Н.В., Федюкина Г.В.* Оценка перспективных возможностей энергосбережения в светотехнических установках России. Светотехника. 2001. № 3.

19.8. *Рожкова Н.В., Федюкина Г.В.* Методические указания по проведению энергоаудита осветительных установок. Под ред. Айзенберга Ю.Б. Новости светотехники. Выпуск 2 (40). Москва 2004. Дом Света.

19.9. *Миллс Э.* Потенциальные возможности всемирного энергосбережения в освещении. Светотехника. 2002. № 6.

19.10. *Миллс Э.* Государственная политика и программы США в области энергоэффективного освещения. Светотехника. 1995. № 4–5.

19.11. *Weir G. and Muneer T.,* Life Cycle Analysis of double-glazed windows; Energy Conversion and Management, 39 (1), 243–356 (1998).

19.12. *Rubin E.S. and Davidson C.L.,* Introduction to Engineering and the Environment, McGraw-Hill, Boston 2001.

19.13. *Уайт Т.* Стабильность окружающей среды и освещение. Светотехника. 2004. № 5.

19.14. *Гжонковский Я.* Возможности экономии электрической энергии на освещение в Польше. Светотехника. 2002. № 2.

19.15. *Сан Мартин Р.* Некоторые важные проблемы светотехники. Светотехника. 2004. № 3.

19.16. *Катаева Т.* Темные небеса. Иллюминатор. 2002. № 2.

19.17. *Лис П.* Директивы по использованию отходов после выработки электрического и электронного оборудования. Светотехника. 2005. № 1.

19.18. *Айзенберг Ю.Б.* Проблема энергосбережения в осветительных установках. Светотехника. 1998. № 6.

19.19. *Айзенберг Ю.Б.* Энергосбережение и техническая политика в области светотехники. Светотехника. 2005. № 6.

РАЗДЕЛ ДВАДЦАТЫЙ

СВЕТ И ЗДОРОВЬЕ

Введение. В данном разделе приводятся современные медико-гигиенические положения, характеризующие свет как фактор, влияющий на жизнедеятельность и здоровье людей.

Величины оптимальных, гигиенически рекомендуемых или предельно допустимых показателей качества световой среды в местах обитания человека в данный раздел включены лишь частично, т.к. полностью они содержатся в других разделах Справочной книги, а также в официальных документах — строительных и санитарных нормах, регламентирующих требования к естественному и искусственному освещению зданий и территорий, и в методических указаниях и руководствах Министерства здравоохранения страны по применению ультрафиолетового излучения для оздоровления людей и среды обитания.

20.1. СВЕТ — ЭЛЕМЕНТ ЖИЗНЕННОЙ СРЕДЫ ЧЕЛОВЕКА. ГИГИЕНА ОСВЕЩЕНИЯ — ОТРАСЛЬ ПРОФИЛАКТИЧЕСКОЙ МЕДИЦИНЫ

Свет как неотъемлемый элемент жизненной среды человека влияет на здоровье людей любого возраста, любой этнической группы, при любых видах и условиях работы, занятий и отдыха.

Воздействие света на человека определяется, с одной стороны, количественными и качественными параметрами световой среды, с другой — закономерностями физиологической оптики, возрастной анатомии, психофизиологии зрения и фотобиологии.

Излучения всей оптической области спектра — видимого, ультрафиолетового и инфракрасного диапазонов — участвуют в биологических процессах организма, необходимы для человека и оказывают благоприятное влияние на здоровье в достаточно широких пределах интенсивностей.

Длительное выключение или ограничение, так же как и избыток этих излучений, оказывают отрицательное действие на состояние здоровья.

Опосредованное влияние на здоровье людей свет оказывает и по тому, как он влияет на воздушную среду и предметное окружение, изменяя их химический состав, температурные характеристики и обсемененность микроорганизмами.

От условий освещения во многом зависит также комфортность среды, влияющая на эмоциональное состояние человека, уровень его активности, самочувст-

вие и настроение, немаловажные для поддержания физического и психического здоровья.

Учет влияния света на здоровье человека является главной задачей специальной отрасли профилактической медицины — гигиены освещения, научно обоснованные рекомендации которой направлены на оптимизацию световой среды в местах обитания человека.

Развитию этой отрасли медицины посвящены работы Н.Ф. Галанина, Д.А. Зильбера, Н.М. Данцига, Я.Э. Нейштадта, Л.И. Конкина, Е.М. Белостоцкой, Ф.М. Черниловской, А.П. Забалуевой и продолжателей их школы: В.К. Беликовой, Н.Б. Гушиной, Ю.И. Проконенко, А.А. Сафиулина, Ю.Д. Жилова, З.А. Скобаревой, Л.М. Текшевой, Р.Г. Никельберг и других отечественных ученых [20.1–20.11], с позициями которых перекликаются исследования врачей, физиологов и психологов в нашей и других странах мира [20.12–20.18].

Научная и научно-практическая разработка проблем оптимизации световой среды проводится, как правило, врачами-гигиенистами совместно со специалистами в области физиологии, клинической медицины, эпидемиологии и психологии, светотехнической и биологической отраслей науки с учетом современных достижений и перспектив развития осветительной техники, архитектуры и градостроительства.

Повышению роли света в охране здоровья людей способствует внедрение научно обоснованных гигиенических рекомендаций в нормы освещения (естественного, искусственного и совмещенного в помещениях и наружного освещения на дорогах и территориях), в мероприятия по профилактике светового голодания у людей, пребывающих в условиях дефицита естественного света, в санитарно-противоэпидемические мероприятия по использованию бактерицидного облучения, а также в практику клинического использования светотерапии.

В основе всех гигиенических рекомендаций лежит учет биологической эффективности разных участков оптического спектра (рис. 20.1).

20.2. ВИДИМЫЙ СВЕТ — ЕГО ЗНАЧИМОСТЬ И МЕХАНИЗМ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

Наиболее существенным для человека участком оптического спектра является *видимый свет*, т.е. излучения с длинами волн от 380 нм до 780 нм (см. раздел 1).

Видимый свет обеспечивает возможность зрительного восприятия, дающего до 90% информации об окружающем мире, влияет на тонус центральной и периферической нервной системы.

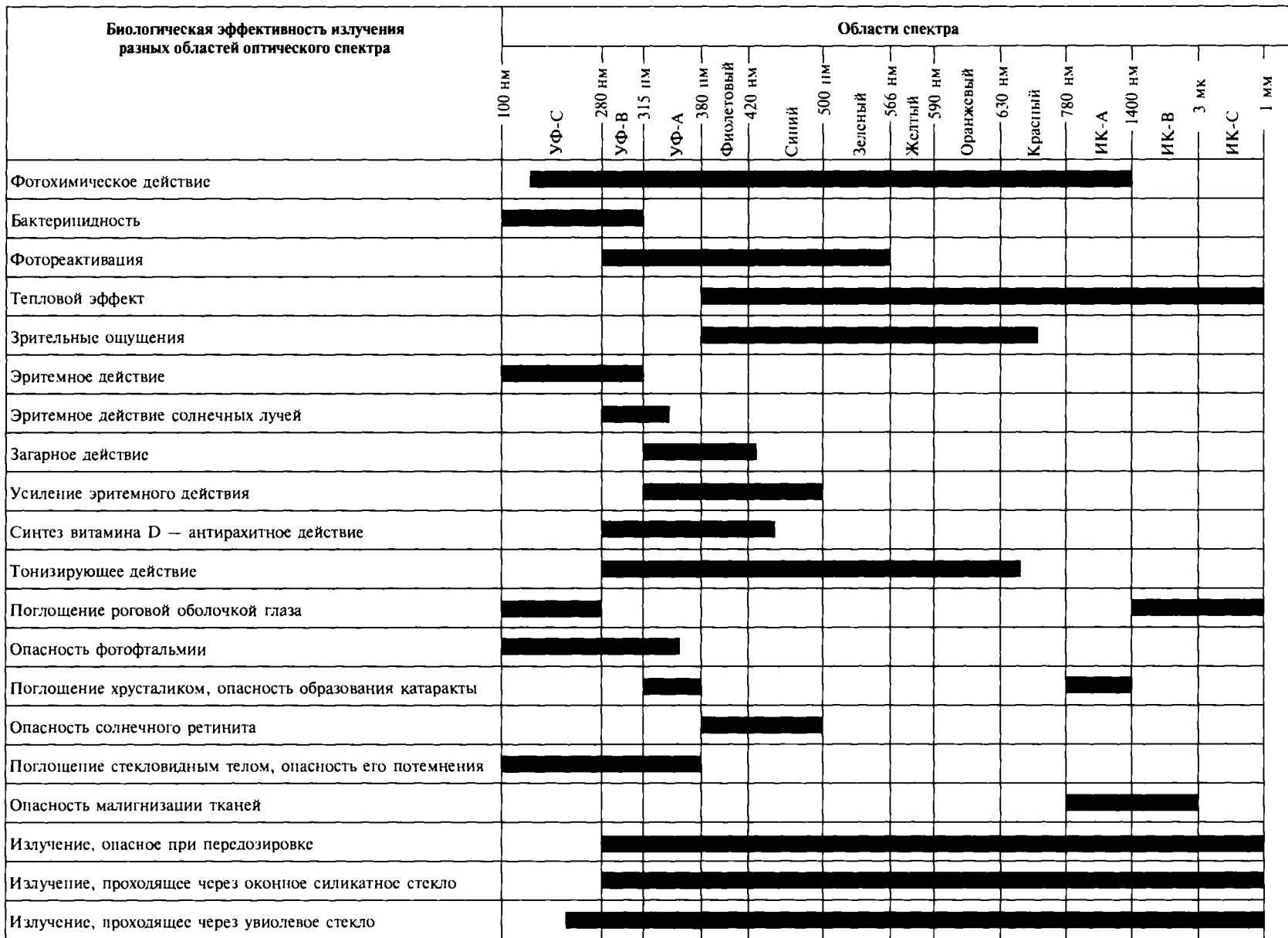


Рис. 20.1. Биологическая эффективность излучения разных областей оптического спектра

Нейроанатомия и свет

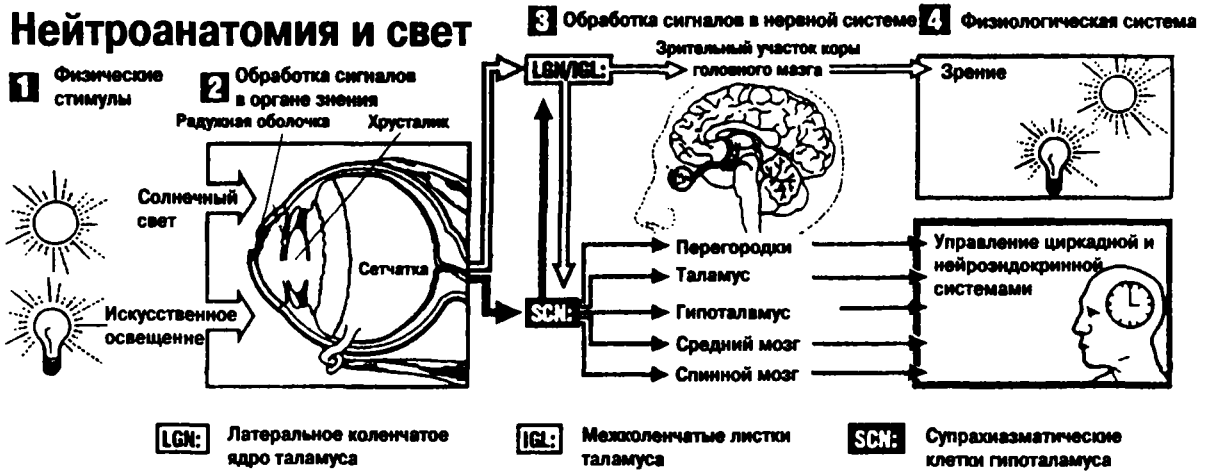


Рис. 20.2. Упрощенная схема нейроанатомических особенностей зрительных и незрительных воздействий света, воспринимаемого глазом

ферической нервной системы, на обмен веществ в организме, сго иммунные и аллергические реакции, на работоспособность и самочувствие человека.

На уровне современных воззрений, восприятие света сетчаткой глаза происходит двояким образом. Основными фоторецепторами сетчатки являются нервные клетки, чувствительные к свету, — «палочки», реагирующие главным образом на свет, и «колбочки», с которыми связано различение не только света, но также формы и цвета предметов. Связь палочек и колбочек с волокнами зрительного нерва осуществляется посредством «ганглиозных клеток», структурные элементы которых — синапсы — являются конечным звеном в структуре сетчатки. Сетчатка является частью мозга, выдвинутой на периферию для восприятия света с последующей передачей световых сигналов, трансформируемых в нервные импульсы, в кору больших полушарий головного мозга, где формируются зрительные образы [20.19].

Относительно недавно установлено, что свет воспринимается не только палочками и колбочками, но и иными элементами сетчатки, обладающими свойствами фоторецепции, но не участвующими в формировании зрительного восприятия. В основном эти элементы передают энергию света в незрительные отделы головного мозга, которые регулируют нейроэндокринную систему организма, определяют циркадные биоритмы жизнедеятельности, сбой которых приводит к серьезным нарушениям здоровья [20.20], и влияют на общее ощущение бодрости, трудоспособности и жизнестойкости, определяющее психологическое благополучие человека — одно из основных составляющих понятия *здоровье*.

Основным регистрируемым эффектом воздействия света на незрительные фоторецепторы сетчатки является подавление активности мелатонина — «гормона сна», опосредованно регулирующего циркадную и нейроэндокринную систему организма.

Установлено, что незрительные фоторецепторы максимально чувствительны к относительно коротковолновым излучениям видимого света и расположены в основном в нижних зонах сетчатки глаза, что определяет наибольшую эффективность биологического воздействия света, содержащего коротковолновые излучения и поступающего в глаз сверху.

Схематично разные воздействия света представлены на рисунке-схеме (рис. 20.2), а функции спектральной световой эффективности — на рис. 20.3.

Помимо сетчатки глаза свет воспринимается и экстраретинальными рецепторами, прежде всего кожей, через которую свет воздействует на кровь, протекающую в кровеносных сосудах кожи, и оказывает при этом выраженное биологическое влияние.

Примерами, подтверждающими эту форму воздействия света на организм, является то, что сеансы гелиотерапии и светотерапии, которые проводятся, как правило, с полной экранировкой глаз от воздействующего света, оказывают несомненное оздоравливающее действие, и то, что на световые облучения реагируют и совершенно слепые люди.

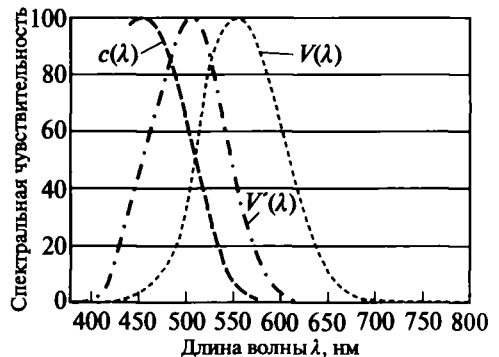


Рис. 20.3. Функция спектральной световой эффективности для дневного $V(\lambda)$ и ночного $V'(\lambda)$ зрения и подавления мелатонина $c(\lambda)$ (циркадное действие)

20.3. ГИГИЕНИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННОГО И ИСКУССТВЕННОГО СВЕТА

Наиболее адекватен для зрительного восприятия и для здоровья человека естественный свет — свет солнца и небосвода, к которому организм генетически предрасположен в результате всего развития жизни на земле. С естественным светом связано ощущение бодрости, «подъема духа», ясности видения, всего того, что психологически соответствует светлomu времени суток.

Безусловная психологическая предпочтительность естественного света человеком основана на объективных показателях, характеризующих механизм фоторецепции. Установлено, что энергетические уровни зрительных пигментов, этих молекулярных ловушек световой энергии в мембранах светочувствительных клеток глаза, оптимальны для поглощения квантов естественного света [20.21].

В условиях естественной световой среды, динамичной в течение суток, сформирован суточный циркадный фотопериодизм в обмене веществ, в выделении гормонов сна и бодрствования, в уровне активности мозга и в других функциях организма каждого человека [20.20, 20.21].

Велико гигиеническое значение и искусственного света как фактора, влияющего на состояние здоровья и самочувствие человека.

По образному выражению академика С.И. Вавилова, «искусственный свет фактически удлиняет сознательное существование человека и в этом его великое значение» [20.22].

Искусственный свет дополняет и в известной степени заменяет собою недостаточный или отсутствующий естественный свет, делая возможной активную жизнь человека в темное время суток или в условиях вынужденного пребывания без естественного света — в период полярной ночи, в подземных и иных объектах без естественного освещения, в темных зонах помещений, рассчитанных на использование совмещенного освещения, и т.п.

Он обеспечивает возможность ориентации в пространстве, определенный уровень зрительной работоспособности и психофизиологической активности, предупреждает бытовой, производственный и уличный травматизм, корректирует проявления фотопериодизма, регулируя циклы активизации гормонов сна и бодрствования (мелатонина и кортизола) у лиц со сменным режимом работы, а также у людей, быстро перемещающихся через несколько часовых поясов (при трансконтинентальных перелетах за короткое время, исключающее возможность физиологической адаптации к смене времени суток).

Искусственный свет достаточно легко регулируется по интенсивности, направленности, цветности, позволяя создавать комфортную световую среду для работы или для отдыха.

Для повышения гигиенической значимости искусственного света он должен имитировать (что уже отчасти происходит) естественный свет, приближаясь к нему по интенсивности, динамике и спектру светового пото-

ка, вплоть до обогащения, при необходимости, влимого света ультрафиолетовым излучением [20.1, 20.4, 20.14, 20.18].

Однако современные технические средства, энергетические и экономические возможности общества таковы, что создание биологически полноценного искусственного освещения в широкой практике пока невозможно.

20.4. БИОЛОГИЧЕСКАЯ НЕАДЕКВАТНОСТЬ ЕСТЕСТВЕННОГО И ИСКУССТВЕННОГО СВЕТА

Несмотря на относительно высокие уровни освещенности, создаваемые современными осветительными установками с газоразрядными источниками света, излучающими свет по спектру более близкий к естественному, чем свет ламп накаливания, состояние людей, выполняющих напряженную зрительную или умственную работу при искусственном освещении хуже, чем при естественном, о чем свидетельствуют наблюдения как отечественных, так и зарубежных исследователей. Отмечаются ухудшение самочувствия, снижение работоспособности, повышение утомления, нарастающая раздражительность, частые головные боли [20.15, 20.23]. Отмечены даже более тяжелые проявления токсикоза у беременных женщин, работающих при искусственном освещении [20.24].

При физиолого-гигиенических исследованиях, проведенных при одинаковом, достаточно высоком уровне освещенности (500 лк) от естественного или искусственного «дневного» освещения люминесцентными лампами, отмечено достоверное преимущество естественного освещения по показателям мышечной и зрительной работоспособности, точности координации движений, состояния психомоторики, сердечно-сосудистой системы и электрического сопротивления кожи [20.25].

Часто встречающееся объяснение более благоприятного воздействия естественного света на человека психологическим настроением при наличии визуальной связи через светопроемы с внешним миром является недостаточным. Об этом свидетельствуют исследования реакции людей на одинаковые уровни естественного и искусственного света, проведенные чешскими и российскими гигиенистами. Эксперименты проводились в помещении с постоянным дозированным поступлением света через светопроемы, перекрытые автоматически регулируемые по степени пропускания непрозрачными или полупрозрачными экранами, полностью исключающими визуальный контакт испытуемых лиц с заоконным пространством [20.23, 20.26, 20.27].

Результаты, полученные при поступлении на рабочие места естественного света, во всех экспериментах были неизменно лучшими, чем при искусственном освещении той же интенсивности.

Не только полная замена естественного света искусственным, но и частичная денатурация световой среды негативно сказываются на состоянии человека, особенно при его значительной рабочей нагрузке.

Материалы экспериментальной оценки утомления людей, выполнявших длительную напряженную зрительную работу в условиях совмещенного освещения, свидетельствуют о прямой зависимости уровня утомления от степени денатурации света при неизменном уровне освещенности от комплексного светового потока. Чем меньшую долю светового потока составляет естественный свет, тем большее утомление вызывает работа, проявляясь большим снижением функции зрения, активности центральной и вегетативной нервной системы и уровней самооценки психологического состояния (по 11 физиологическим и психологическим показателям).

Наименьшее утомление развивается в условиях естественного освещения, наибольшее — при полностью искусственном. Разница по ряду функций достигает 20–30%. Показатели утомления при комбинированном световом потоке занимают срединное положение, с выраженной тенденцией зависимости от степени денатурации света.

Усредненные данные по показателям динамики зрительных функций, функций центральной и вегетативной нервной системы и количественного выражения самооценки психологического состояния испытуемых при освещенности 500 лк с разными соотношениями естественного и искусственного света представлены на рис. 20.4. При освещенностях в 300 и 1000 лк тенденция зависимости психофизиологического состояния работающих людей от степени денатурации световой среды проявилась так же, как и при 500 лк (рис. 20.5).

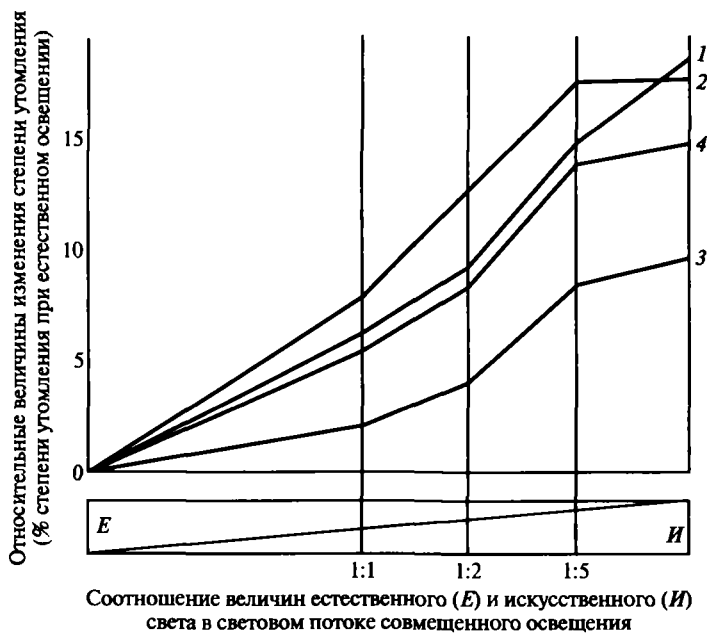


Рис. 20.4. Изменение степени утомления людей от зрительной работы при замене части естественного света искусственным (уровень освещенности постоянный — 500 лк): 1 — показатели утомления по динамике функций центральной нервной системы; 2 — показатели утомления по динамике зрительных функций; 3 — показатели утомления по динамике самооценки психологического состояния; 4 — усредненные показатели утомления

При разных условиях суммарной освещенности от естественного и искусственного света объективные и субъективные проявления дискомфорта световой среды наступают в тех случаях, когда естественным светом обеспечивается освещенность менее 250–300 лк. Эти данные совпадают с результатами изучения биохимических показателей полиарников. Последние свидетельствуют о том, что во время полярного дня при естественной освещенности ниже 300 лк биоритмы жизнедеятельности человека протекают по типу, характерному для полярной ночи [20.28].

То что организм человека реагирует на полную и даже частичную денатурацию световой среды при неизменном уровне освещенности, свидетельствует не только о психологической, но и о биологической неадекватности естественного и искусственного света.

Негативное влияние на людей замены естественного света искусственным проявляется в натурных условиях в практике использования большезальных рабочих помещений площадью до 300 кв. м и более, с боковым освещением. Такие помещения имеются в современных не только промышленных, но и общественных (административных, проектных и т.п.) зданиях. Большая часть сотрудников в подобных помещениях вынуждена выполнять напряженную зрительную и умственную работу на рабочих местах, расположенных вдали от окон — в условиях совмещенного освещения, сочетающегося с рядом других неблагоприятных факторов многолюдных рабочих помещений.

У людей, работающих в зонах с совмещенным освещением, с постоянным дефицитом естественного св-

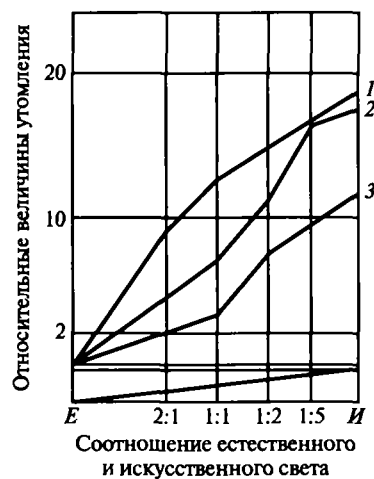


Рис. 20.5. Зависимость утомления от соотношения естественного и искусственного света: 1 — при освещенности 300 лк; 2 — при освещенности 500 лк; 3 — при освещенности 1000 лк

та, развивается повышенное утомление (летом на 20%. зимой на 33% больше, чем у лиц, работающих в том же помещении, но с достаточным естественным освещением рабочих мест), снижается устойчивость к стрессовым ситуациям и отмечаются повышенная заболеваемость респираторными инфекциями, более частые рецидивы гипертонической болезни и других хронических заболеваний, увеличивается число жалоб на головные боли и т.п.

Все это свидетельствует о том, что биологическая неадекватность естественного и искусственного освещения не может не отражаться на состоянии здоровья людей, длительно испытывающих недостаток естественного света [20.5, 20.10, 20.12, 20.15, 20.16, 20.27].

Физической основой, определяющей биологическую неадекватность естественного и искусственного света, является принципиальная разница в спектрах излучения — максимально заполненный по всему диапазону излучений естественный свет с природной динамикой соотношения излучений разной длины волны, то есть хроматичности света, на протяжении светлого времени суток не сравним с ограниченным линейчатым спектром излучения искусственных источников света (включая трехполосные варианты современных люминесцентных ламп), содержащим к тому же неестественные ртутные линии. Современные лампы эффективны для обеспечения условий для зрительного восприятия, но общебиологическое воздействие их излучений на организм невысоко из-за дефицита излучений в коротковолновой области спектра.

О «меньшей плотности лучистого потока» при искусственном освещении, в отличие от естественного, как факторе, несущем неблагоприятные последствия для здоровья при длительном пребывании человека в условиях преимущественно искусственного освещения, имеются указания во многих публикациях [20.6, 20.12, 20.15, 20.18, 20.23].

Помимо спектральных характеристик, неблагоприятное воздействие на людей оказывает монотонность искусственного света, а при использовании разрядных ламп, питаемых токами промышленной частоты, и заметная на глаз микронульсация светового потока, не только вызывающая стробоскопический эффект, затрудняющий зрительное восприятие движущихся деталей механизмов и тем провоцирующий случаи производственного травматизма, но и сбивающая естественные ритмы нервных процессов в коре головного мозга, что затрудняет психические реакции и умственную деятельность человека.

20.5. «СВЕТОВОЕ ГОЛОДАНИЕ». ЕГО ПРОЯВЛЕНИЕ И МЕРЫ ПРОФИЛАКТИКИ

Длительное пребывание в условиях дефицита естественного света приводит к нарушению физиологического равновесия в организме человека и к развитию патологического состояния, получившего название «световое голодание» или «солнечное голодание» (см. также раздел 16). Оно проявляется нарушением угле-

водного, белкового и особенно минерального обмена веществ, с ухудшением состояния костно-мышечной системы, ослаблением иммунитета к воздействию любых болезнетворных факторов бактериологической (вирусной, бактериальной, грибковой), химической, радиационной и иной природы, а также снижением общего тонуса организма, быстрой утомляемостью, повышением количества брака в работе и в общем ухудшении самочувствия.

Явления светового голодания, наблюдающиеся ярче всего у жителей Севера и Заполярья, распространены в средних широтах у людей, частично или полностью лишенных в дневные часы естественного света — у работающих на подземных объектах, в наземных безоконных зданиях и в зданиях с недостаточным естественным освещением рабочих мест, а зачастую у многих жителей больших промышленных городов, где из-за загрязнения атмосферного воздуха выбросами промышленных предприятий и автотранспорта велики потери солнечной радиации (преимущественно коротковолнового диапазона), усугубляющиеся затенением зданий и придомовых территорий при современной плотной городской застройке многоэтажными зданиями, а также из-за спенифического образа жизни горожан, которые все большую часть времени проводят в закрытых помещениях, не только служебных, но и досуговых, торговых, спортивных и в закрытых объемах транспортных средств, сводя к минимуму время пребывания под открытым небом.

Особо неблагоприятно световое голодание для организма детей и подростков, нарушение иммунитета и минерального (фосфорно-кальциевого) обмена у которых может привести к повышенной заболеваемости и к стойкому деформированию костной системы (конечностей, ребер, позвоночника и др.), то есть к ранним и поздним проявлениям рахита из-за нехватки витамина D, для фотохимического биосинтеза которого из провитамина необходимо достаточное и регулярное воздействие на кожу ультрафиолетовой радиации — неотъемлемой составляющей солнечного света.

С целью компенсации дефицита естественного света и предупреждения светового голодания рекомендуется профилактическое ультрафиолетовое облучение с использованием искусственных УФ-источников различного типа [20.1, 20.29, 20.30].

Показания и противопоказания к применению УФ-облучения людей приведены в документах, утвержденных Министерством здравоохранения страны: «Указания по профилактике светового голодания человека» и Методические указания «Профилактическое ультрафиолетовое облучение (УФО) людей (с применением искусственных источников ультрафиолетового излучения)». Оба документа разработаны на основе глубоких исследований эффективности и критериев безопасности УФО [20.5, 20.29, 20.31].

Профилактическое УФО введено в практику космических полетов для сохранения здоровья космонавтов при все возрастающей длительности их полетов [20.32].

Для предупреждения нарушений здоровья у людей, работающих на подземных объектах и в помещениях

без естественного света с небольшой численностью персонала (шахтеров, персонала пунктов управления военной техникой, команд подводных лодок и т.п.), эффективны профилактические УФ-облучения в фотариях с использованием ртутных ламп типа ПРК или эритемных ламп [20.1, 20.29, 20.33, 20.34]. Фотарии могут применяться также в детских учреждениях, в медпунктах спортивных сооружений, в пансионатах различного назначения и т.п.

Иным приемом проведения профилактического УФ-облучения является использование в помещениях с длительным пребыванием людей либо эритемных люминесцентных ламп совместно с осветительными, либо полифункциональных ламп, генерирующих одновременно видимый свет и ультрафиолет в областях УФ-А и УФ-В [20.35]. Обеспечение необходимых доз облучения и предупреждение переоблучения людей основываются на расчетах при проектировании светооблучательных установок и на метрологическом контроле в процессе их эксплуатации.

Положительным моментом такого решения является возможность широкого распространения профилактического УФ-облучения. Отрицательным — сложность квалифицированного контроля за ограничением УФО для лиц, имеющих медицинские противопоказания к нему, а также за реакцией на УФО людей с разным цветом кожи в рабочих коллективах, состоящих из лиц разных этнических групп.

В производственных зданиях применение светооблучательных установок эффективно в помещениях с фиксированным расположением рабочих мест, где может быть обеспечена защита глаз работающих от УФИ экранирующими решетками облучательных приборов, ибо эритемное УФИ вызывает флуоресценцию глазных сред, снижающую световую, цветовую и контрастную чувствительность зрения [20.36]. Для компенсации этого явления требуется повышение освещенности, для его уменьшения — максимально возможная экранировка глаз от прямого и отраженного УФИ (очки с силикатными стеклами, индивидуальными козырьками, применением в конструкции и отделке оборудования поверхностей, не допускающих интенсивного отражения УФИ).

Эффективность применения профилактического УФО доказана уже многими исследованиями.

Опыт профилактики светового голодания у детского населения (более 5000 детей) средней полосы и Севера — Москвы, Мончегорска, Мурманска, Архангельска, острова Диксон — показал высокую эффективность обогащения светового потока УФ-излучением в детских садах, в интернатах и в школах [20.5]. На Севере у детей, подвергавшихся УФО, к концу полярной ночи показатели здоровья (фосфорно-кальциевого обмена, состояния крови, показателей иммунитета) были значительно лучше, чем у детей контрольных групп, активно витаминизировавшихся, но не получавших УФО.

Эти данные широко представлены в сборниках материалов всесоюзных конференций по биологическому действию и гигиеническому значению ультрафиолетового

излучения, издававшихся с 1950 по 1975 годы издательствами «Медицина» и «Наука» [20.29].

Роль УФО в уменьшении общей и респираторной заболеваемости детей иллюстрируют данные, приведенные на рис. 20.6, где под терминами «чистый» и «грязный» районы представлены районы г. Москвы с разным уровнем загрязнения атмосферного воздуха в один из годов наблюдения.

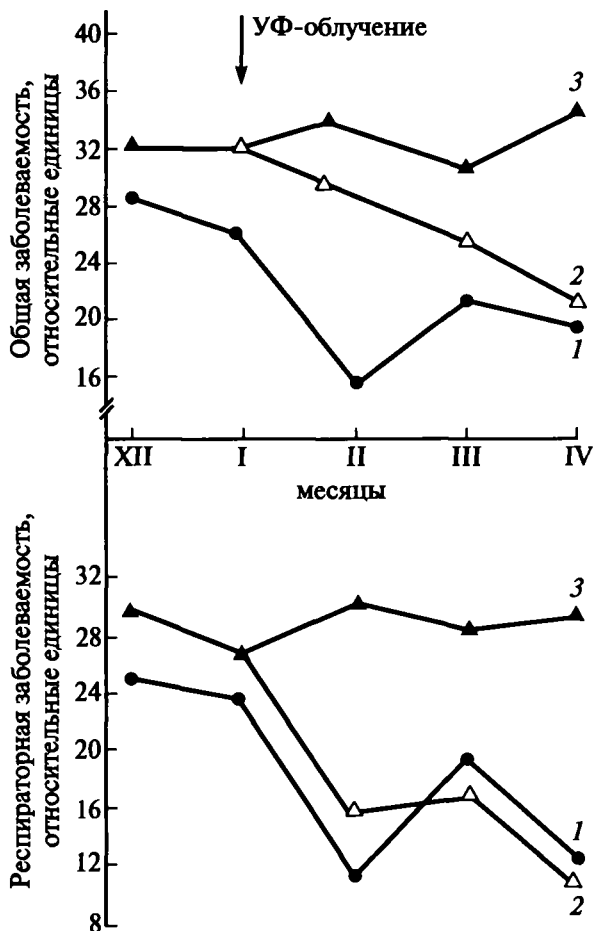


Рис. 20.6. Влияние УФ-облучения на заболеваемость детей: 1 — «чистый» район; 2 — «грязный» район с УФ-облучением; 3 — «грязный» район без УФ-облучения

Многолетние наблюдения гигиенистов показали, что даже в помещениях, имеющих естественное освещение, профилактическое применение в осенне-зимний период длинноволнового УФО снижает заболеваемость взрослых людей гриппом, ангиной, катаром дыхательных путей. Данные, относящиеся к снижению заболеваемости людей, работающих в общественных зданиях, представлены на рис. 20.7.

Анализ заболеваемости рабочих промышленных предприятий показал, что при эритемном облучении людей непосредственно на рабочих местах в течение

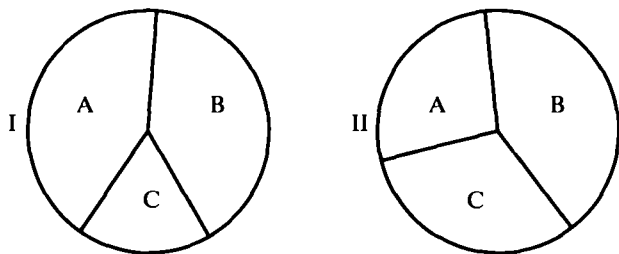


Рис. 20.7. Заболеваемость гриппом, ангиной и катаром дыхательных путей при эритемном ультрафиолетовом облучении (I) и без него (II): А — доля людей которые не болели; В — доля людей которые болели 1 раз; С — доля людей которые болели 2 раза и более

8 часов в день снижение случаев респираторной заболеваемости составило 18,7%, с уменьшением времени нетрудоспособности на 24,6%, по сравнению с необлучавшимися людьми. Особенно большой эффект снижения респираторных заболеваний дала комбинация эритемного облучения людей с бактерицидным облучением воздуха рабочих помещений. В этом случае достигается снижение заболеваемости на 54,3%, а уменьшение времени нетрудоспособности — более чем на 63%. Хорошие результаты даст и дополнительное бактерицидное облучение гардеробных, где на стыке смен имеет место большое скопление людей [20.31].

Помимо профилактики респираторных заболеваний, оздоравливающее влияние профилактического УФО проявляется в повышении устойчивости организма к воздействию производственных ядов и химических загрязнителей атмосферного воздуха в городах (окиси углерода, бензола, сернистого газа, фенола и др.). Доказанная специальными токсикологическими исследованиями гигиенистов, эта сторона защитной роли УФ-облучений определяет целесообразность их широкого применения для охраны здоровья людей, подвергающихся химической интоксикации [20.37].

20.6. ОЗДОРАВЛИВАЮЩЕЕ ВЛИЯНИЕ БАКТЕРИЦИДНЫХ СВОЙСТВ СВЕТА

Положительное бактерицидное воздействие присуще разным излучениям оптического спектра, но максимальный эффект проявляется в области длин волн 205–315 нм.

Использование бактерицидного облучения в гигиенических целях является важнейшим противоэпидемическим мероприятием, охраняющим здоровье людей, в том числе от заболеваний, возбудители которых устойчивы к воздействию средств специфической профилактики — от гриппа, острых респираторных вирусных инфекций, туберкулеза и др.

Важность применения бактерицидного УФО продолжает возрастать, ибо в последние годы в мире наблюдается ухудшение санитарно-эпидемиологического благополучия в связи с появлением новых и с мутациями давно известных вирусных возбудителей заболеваний (китайские гриппы и др.), а также в связи со сни-

жением иммунитета человека из-за увеличения техногенной нагрузки на окружающую среду. По данным ВОЗ количество инфекционных заболеваний продолжает сохраняться на высоком уровне и составляет 38% всех заболеваний в мире [20.38, 20.39].

Немаловажную роль в снижении иммунитета человека играет и широко распространенное «световое голодание».

Наибольший оздоровительный эффект дает использование бактерицидного УФО в помещениях с большим скоплением людей и с повышенным риском распространения аэрогенных инфекционных заболеваний, а также заболеваний, переносимых микроорганизмами кишечной группы [20.1, 20.3, 20.7, 20.39, 20.40].

Обеспечение реального противоэпидемического барьера путем сочетания санитарного режима эксплуатации помещений с бактерицидным УФО воздушной среды и поверхностей необходимо прежде всего в лечебных учреждениях и роддомах, в детских учреждениях, на объектах общественного питания, на предприятиях пищевой промышленности, торговли пищевыми продуктами и т.д., а также в производственных помещениях и лабораториях, где имеется риск распространения инфекционных заболеваний среди персонала и потребителей соответствующей продукции.

Как указывается в разделе 16 Справочной книги, бактерицидное облучение воздуха и поверхностей может осуществляться как стационарными, так и переносными облучателями.

Охрана здоровья людей при этом требует гарантированной защиты глаз и кожных покровов от попадания на них бактерицидного излучения, обладающего резко выраженным абиотическим действием [20.1, 20.12, 20.21]. Это требование выполняется двумя путями: применением либо бактерицидного облучения помещений в отсутствие людей, либо за счет тщательной экранировки источников УФИ в воздуховодах приточной вентиляции, за козырьками УФ-завесов в переходных тамбурах и т.п., либо использованием рециркуляторов закрытого типа.

Гигиенической проблемой всех описанных приемов УФ-дезинфекции воздуха в помещении остается образование озона, а также возможность загрязнения воздуха парами ртути при повреждении ламп.

Эффективно используется бактерицидное действие коротковолнового УФ-излучения для обеззараживания питьевой воды, воды пищевых производств, воды плавательных бассейнов и сточных вод [20.38].

20.7. ГИГИЕНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ НОРМИРОВАНИЯ ОСВЕЩЕНИЯ

Гигиенический подход к нормированию любых видов освещения и ультрафиолетового облучения заключается в оптимизации световой среды с целью сохранения здоровья людей.

В соответствии с Федеральным законом «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» № 52-ФЗ от 30.03.99 требования норм должны обеспечивать критерии безопасности и безвредности факто-

ров среды обитания для человека, предупреждение угроз жизни или здоровью человека, а также возникновения и распространения заболеваний. Такой подход всегда характерен для гигиенистов при разработке норм освещения и УФ-облучения.

Обеспечение скорости и точности зрительного восприятия с наименьшим напряжением зрения, предупреждение или уменьшение воздействия факторов, вызывающих слепимость и нервозность, минимизация зрительного и общего утомления на фоне все возрастающей трудовой и информационной нагрузки современного человека, а также обеспечение благоприятного биологического действия света на жизненные функции организма человека и на среду его обитания — основные цели гигиенической оптимизации световой среды путем нормирования ее количественных и качественных параметров.

Разработка отечественных норм и правил естественного и искусственного освещения, начиная с 20-х годов XX столетия и до настоящего времени, проводится совместно светотехниками, архитекторами и гигиенистами с учетом достижений как в области научного обоснования гигиенических рекомендаций, так и в области разработки новых средств и приемов освещения, строительства зданий, и с учетом технико-экономических и энергетических возможностей общества (см. раздел 7).

Разные интенсивности излучения всех областей оптического спектра характеризуются триадой гигиенических критериев — «дефицит» — «оптимум» — «избыток». «Оптимальные» интенсивности являются идеаль-

ными для здоровья, «дефицитные» и «избыточные» требуют применения мер, снижающих их возможное негативное воздействие на человека (табл. 20.1).

Рис. 20.8 и 20.9 иллюстрируют триаду гигиенических критериев в подходе к нормированию физических

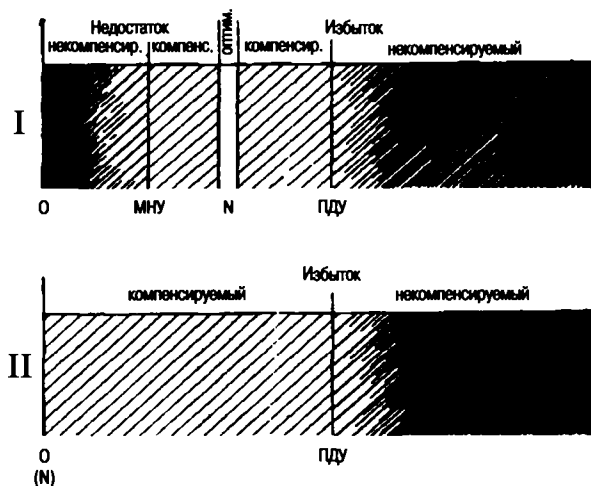


Рис. 20.8. Различие в подходах к нормированию факторов окружающей среды, имеющихся в природе (I) и новых для человека (II). Верхняя часть рисунка (I) относится к нормированию физических факторов среды (слева направо дан уровень выраженности фактора)

Обозначения: N — норма, соответствующая оптимуму; МНУ — минимально-необходимый уровень; ПДУ — предельно-допустимый уровень; О — отсутствие фактора [20.41]

Таблица 20.1

Гигиенические критерии в оценке и нормировании световой среды

Количественные критерии	Видимый свет		УФИ эритемной области		УФИ бактерицидной области	
	Проявления воздействия (эффекты)	Меры компенсации	Проявления воздействия (эффекты)	Меры компенсации	Проявления воздействия (эффекты)	Меры компенсации
Дефицит	Психологический дискомфорт, зрительное напряжение, общее и зрительное утомление, функциональные нарушения зрения (миопия и др.), нарушения осанки, недостаточная биологическая эффективность	Необходимость компенсации с учетом возрастных особенностей зрения, применение УФО	«Световое голодание» — недостаточное образование витамина D ₃ , нарушение обмена веществ, снижение иммунитета	Компенсирующее УФО, «D»-витаминизация для повышения иммунитета	Отсутствие достаточного бактерицидного воздействия на патогенную микрофлору	Применение дополнительных дезинфицирующих средств, усиление санитарного режима
Оптимум	Зрительный и психологический комфорт, минимизация утомления от зрительной работы, достаточная биологическая эффективность	—	Оздоровляющее действие, устойчивость к инфекциям и химическим загрязнителям среды	—	Обеззараживание воздушной среды и поверхностей — выраженный санитарно-противоэпидемический эффект	—
Избыток	Слепимость, повышенное утомление, трудность работы с видеомониторами, стрессогенность	Экранировка зрения и экранов видеомониторов, применение солнцезащитных устройств	Фотоофтальмия, резкая эритема	Соблюдение норм УФО, экранировка глаз, защитная одежда	Ожоги глаз и кожи, малинизация тканей, озонирование воздуха	Защита глаз и кожи, минимизация контакта с УФ-С-излучением, усиление воздухообмена (вентиляция)

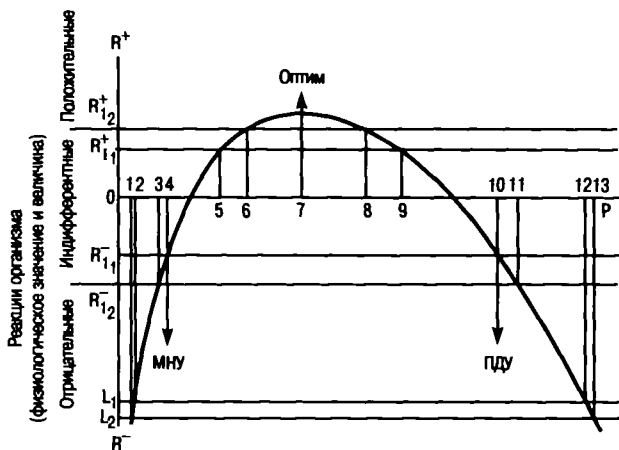


Рис. 20.9. Зависимость реакции организма от уровней выраженности факторов. Представленная кривая общего вида (полная параболы) характерна для физических факторов окружающей среды. Обозначения: P — уровень выраженности фактора (интенсивность, доза и т.п.); R — величина реакции организма (R^+ — благоприятной, R^- — неблагоприятной). На пересечениях параболы с обозначенными границами находятся основные параметры для гигиенической оценки фактора [20.41]

факторов среды (в том числе света), схематически намечая при этом зоны компенсируемых и некомпенсируемых отклонений от оптимума в сторону недостатка или избытка интенсивности воздействующего фактора.

Определение ширины зоны оптимума и допустимых отклонений от нее для разных объектов пребывания человека является одной из основных задач физиолого-гигиенического нормирования освещения.

Гигиеническое нормирование физических факторов среды графическим методом (рис. 20.9) [20.41, 20.42] может найти применение в будущих физиолого-гигиенических исследованиях.

Конкретные величины гигиенически рекомендуемых параметров освещения зависят от характера и назначения помещения, вида, сложности и длительности выполняемой в них зрительной работы, от зрительного потенциала работающих, их возраста и состояния здоровья.

При решении проблемы нормирования освещения все большее внимание учеными разных стран уделяется связи «Свет—Здоровье», учитывающей общебиологическое влияние света на организм, определяющее здоровье и самочувствие человека и разные потребности в количестве и качестве освещения у людей в разном возрасте. Такой подход обусловлен необходимостью сохранения здоровья подрастающего поколения, с одной стороны, и глобальным старением населения, с другой стороны.

Необходимость учета возрастных особенностей детей и подростков

Особое значение учет возрастного фактора имеет при нормировании освещения помещений для детей и

подростков, где безусловно оправданы повышенные требования к оздоравливающему воздействию света на растущий организм. Особо высоки здесь требования к условиям зрительного восприятия в период выработки зрительных навыков и продолжающегося роста глаза и формирования оптической рефракции глаз (которые заканчиваются у детей в разных климатических условиях и в разных этнических группах населения лишь к 18–24 годам жизни).

Известно, что недостаточное или некачественное освещение способствует развитию близорукости из-за вынужденной позы, приближающей глаза и голову к рассматриваемым объектам при чтении, письме, рисовании, ради увеличения угловых размеров рассматриваемых объектов.

Рис. 20.10 демонстрирует строение глаза и изменение положения его элементов при дальней и ближней аккомодации.

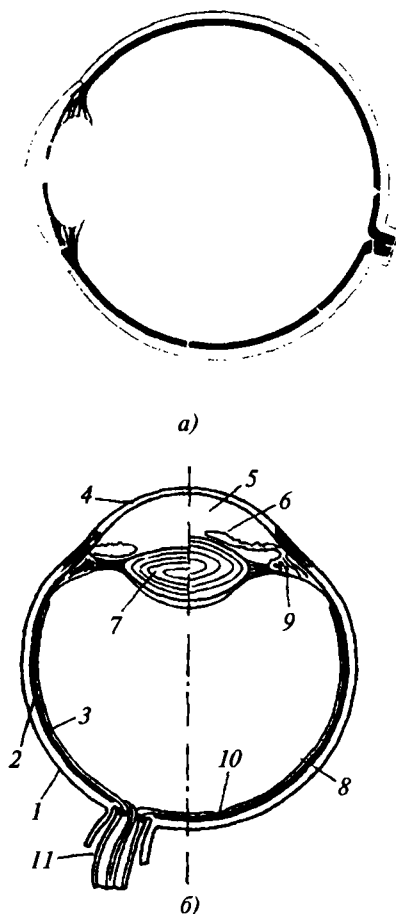


Рис. 20.10. Глаз человека и его схема: a — глаз человека; b — схема глаза: 1 — склера; 2 — сосудистая оболочка; 3 — сетчатка; 4 — роговица; 5 — влага передней камеры; 6 — радужная оболочка; 7 — хрусталик; 8 — стекловидное тело; 9 — ресничное тело; 10 — центральная ямка сетчатки; 11 — зрительный нерв [20.19]. Слева от оси глаза — дальняя аккомодация, справа — ближняя аккомодация

Кривизну хрусталика изменяют внутренние цилиарные мышцы глаза по сигналу от мозговых центров зрительного анализатора. Частое и длительное фиксирование близких объектов изменяет тонус цилиарных мышц, чем создается постоянная установка на «смотрение вблизи» — формируется миопическая рефракция — «школьная близорукость», которой особенно подвержены дети, генетически предрасположенные к этому дефекту зрения (рис. 20.11).

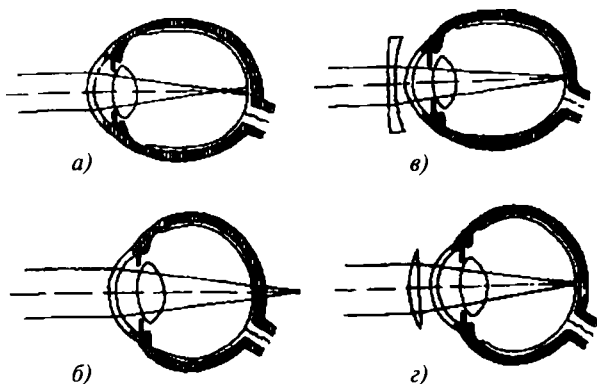


Рис. 20.11. Оптические недостатки глаза и их исправление: а — близорукий глаз; б — дальнозоркий глаз; в — близорукий глаз, исправленный рассеивающим стеклом; г — дальнозоркий глаз, исправленный собирающим стеклом

Кроме рефракционной миопии, у детей легче, чем у взрослых, развивается «осевая близорукость» с удлинением переднезадней оси глаза. Ее причиной является то, что при установке на «смотрение вблизи» глаза сильно конвергируют — зрительные оси сводятся вовнутрь. Наружные мышцы глаза, обеспечивающие конвергенцию, оказывают с боков давление на глазные яблоки, зажимают вены, отводящие кровь, и тем увеличивают внутриглазное давление, растягивающее и деформирующее глаз. Увеличение переднезадней оси глаза приводит к необратимой близорукости.

Особо выраженное изменение конфигурации глаза происходит при слабости наружной оболочки глаза — склеры, что является одним из проявлений нарушения фосфорно-кальциевого обмена в организме при дефиците витамина D в результате УФ-недостаточности при «световом голодании» ребенка.

Число близоруких среди учащихся школ возрастает от младших классов к старшим более чем в 3 раза. Удельный вес близоруких детей среди школьников южных районов страны (Ставропольский край и др.) составляет 18–20%, в северных районах приближается к 40%. Среди выпускников школ Норильска число близоруких к началу 90-х годов XX века достигло 58% [20.43, 20.44].

Приведенные данные относятся к периоду до компьютеризации учебного процесса и внешкольных занятий, которая, в свою очередь, неблагоприятно скажется на формировании нормальной рефракции у детей и подростков.

Близорукость детей впоследствии сочетается с ранним развитием катаракты (помутнения хрусталика), резко ухудшающей зрение. Без своевременной и постоянной коррекции зрения близорукость может привести к развитию содружественного косоглазия с нарушением бинокулярного зрения, необходимого для определения формы и удаленности объектов.

Вынужденная поза, провоцирующая развитие близорукости, приводит к формированию дефектов осанки с искривлением позвоночника, особо выраженных при нарушениях фосфорно-кальциевого обмена из-за недостатка витамина D вследствие «светового голодания». Эти нарушения приводят к дефектам костеобразования, вплоть до развития остеомаляции.

Число детей и подростков, имеющих сколиотическую осанку (боковое искривление позвоночника), увеличивается с 1-го по 9-й классы от 7,29% до 28,57%. Стойкий сколиоз формируется у 5–6% выпускников школ.

Искривления позвоночника, в свою очередь, негативно сказываются на состоянии периферической нервной системы, регулирующей работу внутренних органов в течение всей последующей жизни человека, и вызывают раннее развитие остеохондроза.

Таким образом, обеспечение благоприятной световой среды для детей и подростков при постоянно растущей их учебной нагрузке имеет большое значение для сохранения здоровья подрастающего поколения на долгие годы.

Необходимость учета возрастных особенностей людей старше 40 лет

В нормировании условий освещения рабочих помещений в промышленных и общественных зданиях все большее значение имеет учет среднего и максимального возраста работников, с увеличением которого растут потребности в количестве и качестве освещения для сохранения достаточно высокой работоспособности, предупреждения излишнего утомления и роста производственного травматизма.

Средний возраст трудоспособного населения (без учета работающих пенсионеров), судя по данным переписи населения, постоянно растет и уже в 1970 г. вплотную приблизился к 40 годам — возрастной границе физиологически обусловленного ослабления зрения. Причем количество лиц старше 40 лет (в пределах граници пенсионного возраста) составило 34,2%, т.е. более трети. Продолжающееся старение населения не оставляет сомнения в том, что количество лиц старше 40 лет среди работающих будет расти и впредь, кроме того, все большую долю будут составлять люди, достигшие пенсионного возраста [20.45].

Особого внимания заслуживает учет возраста сотрудников административных учреждений, где работа заключается в напряженной зрительной и умственной деятельности, часто связана с необходимостью принятия быстрых и правильных решений. Средний и максимальный возраст работающих в министерствах, ведомствах, проектно-конструкторских организациях, в научно-исследовательских институтах и т.п. особенно ве-

лики, ибо лица, достигшие пенсионного возраста, продолжают работать здесь еще по 5–10 и более лет, а молодых людей в этих коллективах относительно мало.

Возрастные изменения зрения представляют собою сложный комплекс нарастающих с годами апато-физиологических и биохимических процессов, затрудняющих зрительное восприятие [20.19].

Начиная с 40-летнего возраста, у все большей части людей, имевших ранее эмметропическую рефракцию глаз, при которой все рассматриваемые объекты фокусировались на сетчатке, развивается гиперметропия, перемещающая фокусировку рассматриваемых объектов в точки, лежащие за сетчаткой, что снижает четкость их восприятия.

Развитие гиперметропической рефракции, связанной с уплощением хрусталика, сопровождается потерей силы аккомодации из-за увеличения жесткости склерозирующегося хрусталика, теряющего способность изменять свою кривизну для фокусировки на сетчатке разноудаленных объектов. Эта форма патологии зрения — пресбиопия — «старческая дальнозоркость» требует постоянной оптической коррекции для сохранения достаточного уровня зрительной работоспособности.

Наряду с пресбиопией с возрастом наступают изменения, не подлежащие коррекции: снижается абсолютное и спектральное пропускание света глазными средами в результате пожелтения роговицы и хрусталика. Наступает помутнение глазных сред, увеличивается рассеяние света в глазу, образующее вуалирующую пленку, снижается контрастная чувствительность зрения, особенно при воздействии на глаза ярких ИС [20.46].

Средние значения относительного коэффициента пропускания света глазными средами в зависимости от возраста представлены в табл. 20.2 [20.46].

Таблица 20.2

Возраст (годы)	30	40	50	60	70	80
Относительный коэффициент пропускания света	1,00	0,78	0,50	0,44	0,31	0,21

С возрастом происходят и глубокие анатомические процессы дистрофии сетчатки — постепенно уменьшается количество световоспринимающих рецепторов, возрастает расстояние между оставшимися, что снижает разрешающую способность сетчатки. Замедляются и биохимические процессы восстановления зрительных пигментов, обеспечивающих трансформацию энергии света в энергию нервных импульсов [20.19, 20.21].

Кроме того, с возрастом ослабляется реакция зрачка, регулирующая освещенность сетчатки и влияющая на остроту зрения; сужается поле зрения, а на уровне мозговых центров замедляются процессы распознавания зрительных образов.

Возрастные изменения зрения у части пожилых людей сочетаются с врожденными аномалиями зрения, с последствиями перенесенных травм глаза, с осложнениями на зрение ряда общих заболеваний (сахарного диабета и др.). В итоге количество лиц старше 40 лет с ослабленным зрением достигает 60% и более.

Относительные показатели потребности в количестве света для выполнения зрительной работы у людей разного возраста представлены на рис. 20.12 [20.12].

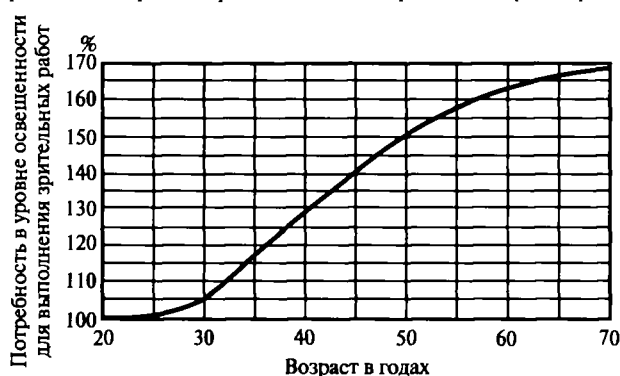


Рис. 20.12. Зависимость требуемого уровня освещенности от возраста [20.12]

Зависимость от уровня освещенности контрастной чувствительности зрения и устойчивости хроматического различения у молодых и у пожилых людей — на рис. 20.13 и 20.14 [20.45].

Для людей с возрастными изменениями зрения оптимальные уровни освещенности практически вдвое превышают таковые для молодых людей с нормальным

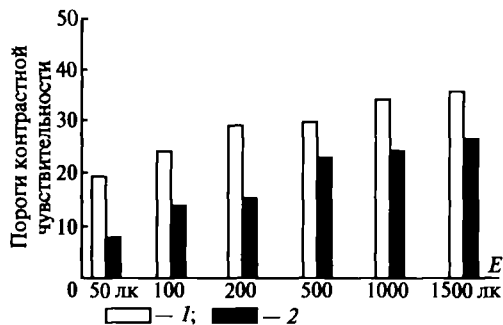


Рис. 20.13. Уровни видимости при разных освещенностях: 1 — у молодых людей с нормальным зрением; 2 — у пожилых людей [20.45]

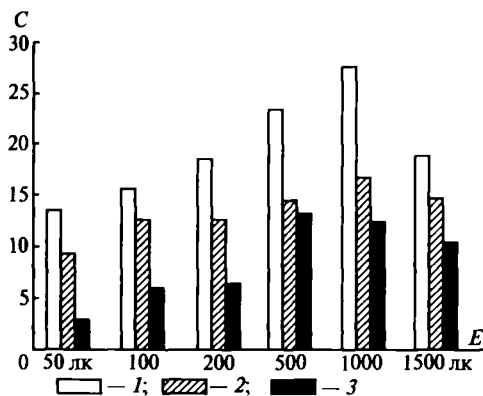


Рис. 20.14. Устойчивость хроматического различения при разных освещенностях: 1 — у молодых людей с нормальным зрением; 2 — у молодых людей с ослабленным зрением; 3 — у пожилых людей с ослабленным зрением [20.45]

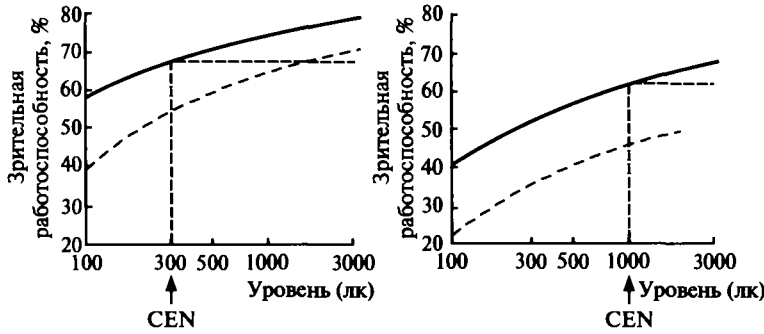


Рис. 20.15. Взаимосвязь между относительной зрительной работоспособностью (%) и уровнем освещенности (лк) для зрительной задачи средней трудности (слева) и высокой трудности (справа). Сплошная линия — молодые люди; пунктирная линия — старший возраст; CEN — норма Европейского стандарта «Освещение рабочих мест» [20.13]

зрением, но даже в Европейском стандарте «Освещение рабочих мест» (CEN), подготовленном в 2001 г., потребности в освещении у лиц старшего возраста не учтены [20.13] (рис. 20.15).

Отзывчивость на повышение освещенности у пожилых людей меньшая, чем у молодых, что сказывается и на показателе утомления (рис. 20.16).

В отечественных нормах с 1995 г. для тех помещений в промышленных и общественных зданиях, где более половины работающих составляют люди старше 40 лет, предусмотрено повышение освещенности на рабочих местах на одну ступень принятой шкалы освещенностей (п. 7.22д [44]), что является начальным этапом гигиенической оптимизации норм освещения с учетом потребности людей с возрастным ослаблением зрения.

Анализ многочисленных данных, полученных разными авторами в разных странах, показал, что нормальная эмметропическая рефракция глаз встречается лишь у одной четверти взрослого населения, — у остальных зрение ослаблено [20.47], в связи с чем расчет норм

лишь на потребности в освещении людей с нормальным зрением является некорректным и устаревшим.

Нормирование *естественного освещения и инсоляции* (раздел 18) должно основываться на генетически обусловленной предрасположенности человека к пребыванию в условиях естественного света, на выраженной биологической эффективности и неоспоримом оздоравливающем воздействии на организм человека и на окружающую его среду энергии солнечного света.

Помещения с длительным пребыванием людей должны иметь достаточное естественное освещение. Прежде всего это относится к жилым комнатам домов и общежитий, номерам гостиниц, интернатов и пансионатов, к спальным помещениям санаториев и домов отдыха, к групповым и игровым комнатам в детских дошкольных учреждениях, к классам и кабинетам школ и училищ, к палатам лечебно-профилактических учреждений, к кабинетам врачей, ведущих прием больных, к смотровым и перевязочным.

Перечень рабочих помещений без естественного света должен быть максимально ограничен.

Регламентируемые уровни естественного освещения (КЕО) должны быть обеспечены на всей площади помещения, на всех рабочих местах (за исключением помещений с совмещенным освещением на части их площади).

Инсоляция, неразрывно связанная с естественным освещением, оказывает бактерицидное влияние на среду и благотворное психоэмоциональное воздействие на человека. В то же время инсоляция не должна создавать слепящих эффектов и оказывать чрезмерного теплового воздействия. Прямые солнечные лучи не должны осложнять работу с видеотерминалами. Этот фактор световой среды следует регулировать стационарными или управляемыми солнцезащитными устройствами, использование которых не должно приводить к нарушению норм естественного освещения.

Наиболее благотворное воздействие оказывает 3-часовая непрерывная инсоляция помещения. При прерывистом режиме ее продолжительность должна быть увеличена, и один из непрерывных периодов должен быть не менее 1 ч. Режим инсоляции должен быть регламентирован в жилых зданиях, в детских дошкольных учреждениях и в детских домах, в учебных учреждениях начального и среднего образования, в лечебно-профилактических, санаторно-оздоровительных и курортных учреждениях, в домах-интернатах для инвалидов и престарелых.

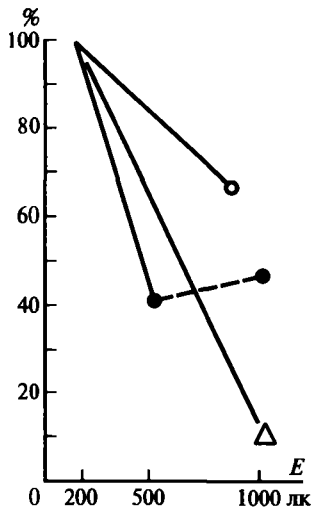


Рис. 20.16. Степень уменьшения зрительного утомления людей с нормальным и с ослабленным зрением, выполнявших напряженную зрительную работу корректорского типа, при повышении освещенности от 200 лк до 500 и 1000 лк (по усредненным показателям динамики зрительных функций от начала к концу работы): (•) — молодые люди с нормальным зрением; (Δ) — молодые люди с ослабленным зрением; (◦) — пожилые люди с ослабленным зрением [20.45]

Нормативная продолжительность инсоляции устанавливается в зависимости от природных условий, с учетом географической широты местности, на определенные календарные периоды года [20,48]. Недостаточная инсоляция помещений приводит к необходимости применения облучательных светотехнических установок, информация о которых содержится в разделе 16 Справочной книги.

Нормирование *совмещенного* освещения, при котором в зоне помещения, удаленной от светопроемов, недостаточное естественное освещение в светлое время рабочего дня постоянно дополняется искусственным, должно регламентировать сферу возможного применения этого вида освещения, минимально допустимую степень отклонения от нормы естественного освещения в «подсвечиваемой» зоне помещения и требования к условиям искусственного освещения этой зоны. В производственных помещениях, в которых выполняются работы I—III разрядов (высокой точности) должно предусматриваться совмещенное освещение всех рабочих мест для постоянного обеспечения высоких уровней освещенности, уменьшающих напряжение зрения работающих.

В других производственных помещениях, а также в помещениях общественных зданий совмещенное освещение должно предусматриваться при невозможности обеспечения нормированных величин КЕО из-за климатических условий или специфических объемно-планировочных решений здания (многоэтажных зданий большой ширины, больших залов помещений с большой глубиной заложения и т.п.).

Нормы не должны допускать совмещенного освещения в жилых комнатах домов и общежитий, гостиных, в спальнях помещений санаториев и домов отдыха, в групповых и игровых детских дошкольных учреждений, в классах и учебных кабинетах школ, в палатах лечебно-профилактических учреждений, в палатах и спальнях комнат интернатов, пансионатов для престарелых и инвалидов и т.п., то есть в тех помещениях, где особо велика оздоравливающая роль полноценного естественного освещения.

Нормы совмещенного освещения должны предусматривать использование ламп, спектр излучения которых близок к естественному свету, ограничивать допустимый коэффициент пульсации светового потока минимальной величиной и обеспечивать односторонность естественного и искусственного света.

Нормирование *искусственного* освещения должно обеспечивать такие условия световой среды, которые будут оказывать благоприятное влияние на физическое и психическое здоровье человека, исключая излишнее напряжение зрения и нервной системы, уменьшая общее и зрительное утомление от выполняемой зрительной работы и обеспечивая при том достаточно высокий уровень зрительной работоспособности.

Искусственное освещение должно быть предусмотрено во всех помещениях зданий любого назначения — как в основных функциональных помещениях, так и в коридорах, переходах, на лестничных маршах и т.п., ибо помимо создания условий для работы при отсутствии

или недостаточности естественного света, оно должно обеспечивать безопасность пребывания людей в здании, предупреждая возможные случаи травматизма.

Регламентируемые параметры должны соответствовать назначению освещаемого помещения, сложности зрительных задач, определяемой размером объектов различения, контрастом между объектом и фоном, требуемой скоростью различения, продолжительностью зрительной нагрузки, и зрительному потенциалу работающих, учитывающему возраст и состояние зрения.

Требования к основному рабочему освещению должны включать в себя минимально допустимый уровень освещенности, показатели равномерности освещения на рабочем месте и по помещению в целом (предупреждающие утомляющую перадаптацию глаз к разным яркостям), ограничения слепящих яркостей в поле зрения и пульсаций светового потока от разрядных источников света.

При необходимости должна быть регламентирована цветность излучения используемых ламп и качество цветопередачи.

В целях охраны здоровья нормируемый уровень освещенности должен повышаться сверх рассчитываемого по указанным показателям сложности зрительной работы в тех случаях, когда зрительная работа высокой точности выполняется более половины рабочего дня; при повышенной опасности производственного травматизма; при повышенных санитарных требованиях к объекту; при работе или производственном обучении подростков; при отсутствии в помещении естественного света; при быстро движущихся объектах наблюдения или при постоянном поиске мелких объектов, а также в помещениях, где более половины работающих старше 40 лет.

Для лиц старшей возрастной группы большое значение имеет и ограничение слепящей яркости в поле зрения, ибо она вызывает рассеяние света в мутнеющих средах глаза, значительно снижая контрастную и цветовую чувствительность зрения.

Качество цветопередачи имеет большое значение в производственных цехах текстильной и полиграфической промышленности, влияя на цветоразличение основных объектов работы и, соответственно, на напряжение зрения работающих. Чрезвычайно большое значение качество цветопередачи источников света имеет в лечебно-диагностических учреждениях, где оно влияет на диагностическую работу медперсонала при визуальном осмотре патологических высыпаний на коже и слизистых оболочках больных людей, при оценке состояния раневых поверхностей и изменяющегося в процессе болезни цвета кожи пациентов.

Нормы должны регламентировать распределение освещения по помещению для обеспечения психологически благоприятного ощущения насыщенности помещения светом.

Нормы искусственного освещения должны содержать требования к устройству аварийного освещения. Последнее должно обеспечивать безопасность людей в случае внезапного отключения рабочего освещения, что чревато травматизмом разного рода, как из-за возможного продолжения работы станков, так и из-за

плохой видимости возможных препятствий на путях эвакуации людей из помещений здания или с территории предприятия.

Отсутствие аварийного освещения может привести к опасному нарушению режима работы детских учреждений и учреждений здравоохранения.

В перспективном пересмотре норм искусственного освещения гигиенически оптимальным направлением остается максимально возможное приближение искусственной световой среды к естественной, что особо важно для помещений, не имеющих естественного освещения, и, прежде всего, для помещений, размещаемых в подземных горизонтах города. Количество и номенклатура подобных объектов увеличиваются во многих крупных городах. Помимо некоторых промышленных предприятий и военных объектов, в подземных горизонтах размещаются транспортные, торговые, зрелищные, административные учреждения, музеи, предприятия общественного питания, службы быта и др., что резко увеличивает число лиц, лишенных в течение рабочего дня солнечного света и подверженных «световому голоданию», нарушающему здоровье. Прибегая к услугам размещенных под землей общественных объектов, более или менее долго в них находится большая часть населения.

Психофизиологическая реакция людей на отсутствие естественного света и зрительной связи с внешним миром усугубляется в подземных объектах тягостным ощущением замкнутости пространства, «замурованности», осознания пребывания под землей.

В подземных объектах необходима наибольшая имитация естественной световой среды путем повышенных уровней освещенности, обеспечения насыщенности помещения светом, использования ламп, цветность излучения которых близка к полуденной фазе естественного света. Здесь, как и в других помещениях без естественного света, целесообразен переход на динамичный режим освещения, как по интенсивности, так и по цвету [20.18, 20.49].

Нормирование *наружного* освещения должно обеспечивать достаточную освещенность проезжей и пешеходной части улиц, площадей и мест прохода людей на придомовых территориях, на территориях промышленных, общественных и административных зданий, школ и других учебных заведений, детских дошкольных учреждений, больниц и поликлиник, рынков и ярмарок, а также спортивных и культурных объектов и рекреационных территорий (парков, бульваров, скверов и т.п.).

Наружное освещение придомовых территорий должно обеспечивать ясное видение травмогенных препятствий в виде выбоин, участков обледенения, плохо закрытых люков подземных коммуникаций и т.п., способствовать предупреждению случаев нарушения общественного порядка и содействовать вечернему отдыху жителей близлежащих домов во дворах, увеличивая время их пребывания на свежем воздухе.

Нормирование освещения улиц, дорог и площадей с транспортным движением обеспечивает условия видимости, позволяющие предупреждать дорожно-транспортные происшествия (ДТП), которые приводят к

травмированию и гибели водителей транспортных средств и пешеходов. На дорогах любых категорий регламентируется усиленное освещение вблизи пешеходных переходов и мест повышенного скопления людей.

Помимо интенсивности освещения, нормы регламентируют меры, ограничивающие слепящее действие светильников наружного освещения, а также засветку ими окон жилых зданий и палат лечебных учреждений.

Нормами не допускается воздействие повышенных яркостей установок архитектурного рекламного освещения и освещения витрин на глаза водителей транспорта и пешеходов, ибо такое воздействие нарушает адаптацию глаз, снижает контрастную чувствительность зрения и повышает опасность возникновения ДТП.

Нормы наружного освещения обеспечивают не только четкость и быстроту восприятия визуальной ситуации на дороге, но и охрану здоровья водителей путем снижения стрессогенного психофизиологического нервного напряжения.

При нормировании наружного освещения также имеет значение возрастной фактор, так как многие водители относятся к лицам, имеющим возрастные изменения зрения и скорости восприятия, требующие повышенных уровней освещения и защиты от слепящего действия ярких источников света.

В целом, характеризуя критерии нормирования разных видов освещения, современная наука основывается на том постулате, что гармоничное освещение, близкое к естественному, в конечном счете обуславливает длительное сохранение здорового зрения [20.5, 20.12].

20.8. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВНУТРЕННЕГО ОСВЕЩЕНИЯ

Разрядные источники видимого света и ультрафиолетового излучения, используемые во внутренних помещениях, могут оказывать как благоприятное, так и неблагоприятное воздействие на среду пребывания людей.

К благоприятным относится, прежде всего, обеззараживающее действие бактерицидного облучения, обеспечивающего гибель или снижение вирулентности болезнетворных микроорганизмов, присутствующих в воздухе и на поверхностях в помещениях.

К неблагоприятным эффектам УФ-облучения относятся образование и накопление в воздухе помещения озона и других фотооксидантов, что требует соответствующего контроля за составом воздуха и усиленной вентиляции [20.1, 20.5, 20.38].

Имеет экологическую значимость и присутствие в разрядных лампах свободной ртути, ядовитые пары которой загрязняют воздушную среду помещений при повреждении ламп. Этот же фактор представляет опасность для рабочих при нарушении техники безопасности в процессе изготовления люминесцентных, бактерицидных и иных разрядных ламп, а также для других слоев населения при неправильной утилизации значительных количеств отработанных ламп.

Гигиенически благоприятным решением этих экологических проблем является использование в разрядных лампах вместо свободной ртути амальгамы, а при произ-

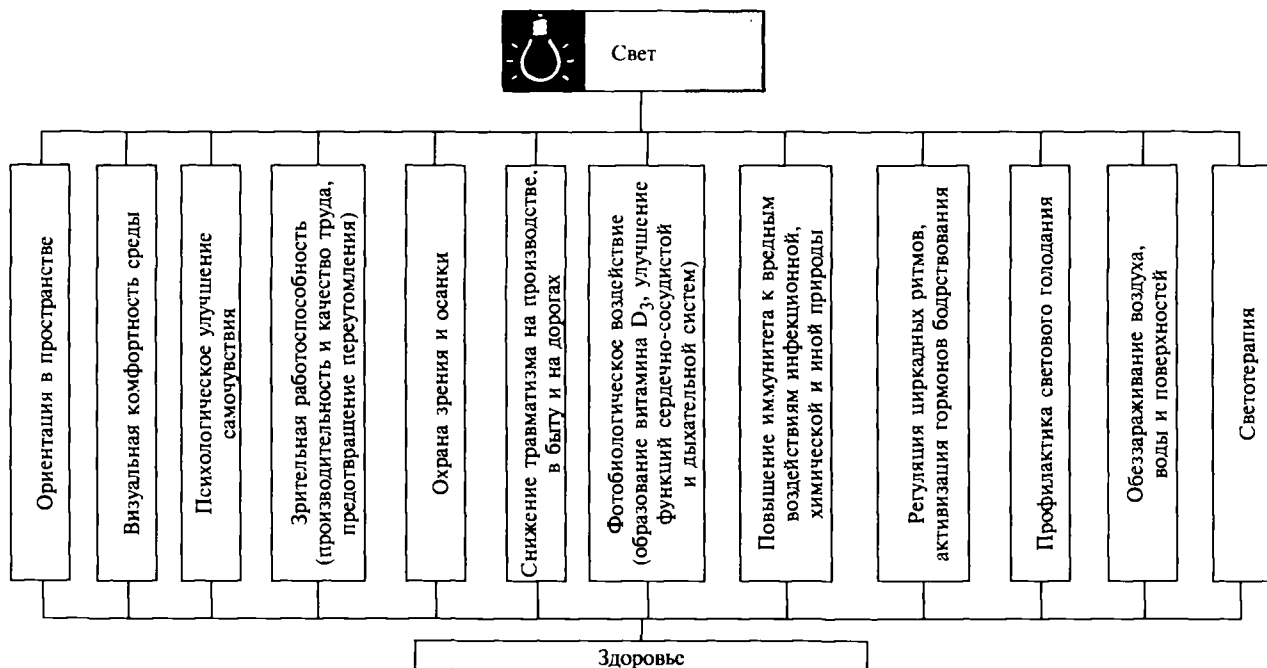


Рис. 20.17. Роль света в обеспечении биологического благополучия людей

водстве бактерицидных ламп специального стекла, которое поглощает озонобразующее излучение [20.38].

20.9. СВЕТОТЕРАПИЯ. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЕТА В КЛИНИЧЕСКОЙ МЕДИЦИНЕ

Свет является действенным лечебным фактором. Уже в древности в таких странах с развитой медициной, как Греция, Ассирия и Египет, практиковались терапевтические солнечные ванны, в том числе в специальных залах с модификацией цветности света для лечения различных болезненных состояний человека.

Гелиотерапия и теперь широко используется в курортном лечении как средство, повышающее иммунитет, исправляющее нарушения минерального обмена и содействующее общему укреплению здоровья у взрослых и детей, больных тяжелыми формами туберкулеза.

Развитие облучательных установок (см. раздел 16) позволяет осуществлять светотерапевтическое лечение в любых районах страны и в любое время года — в соляриях и физиотерапевтических кабинетах, благодаря использованию ламп, генерирующих видимое и ультрафиолетовое излучение в нужном диапазоне длин волн, селективно подбираемых для лечения конкретных заболеваний.

Наряду с традиционной светотерапией кожных заболеваний и нарушений минерального обмена, светотерапия используется в борьбе с сезонными и внесезонными депрессиями — все более распространяющейся формой патологии в современном цивилизованном обществе с характерными для него особенностями экологии, стрессогенных нагрузок и образа жизни.

В клинических условиях селективные источники света используются в практике аутогемотерапии при лечении сепсиса, перитонита, энцефалита, гипербилирубинемии новорожденных. ИК-облучение проводится при назначении местных прогревающих процедур.

Особым направлением использования света является применение лазеров в хирургии, офтальмологии и в фотодинамической онкотерапии, использующей активированные светом лекарственные препараты, которые после соответствующего облучения приобретают способность избирательно разрушать клетки опухолей.

Заключение. Свет — важнейший фактор жизненной среды человека. Он обладает мощным потенциалом воздействия на физиологическое и психологическое состояние, на самочувствие и здоровье людей разного возраста в любых жизненных ситуациях (рис. 20.17).

В настоящее время, когда созданы не всегда оптимальные, но уже приемлемые условия для зрительной работы, все большее значение придается роли света в обеспечении биологического благополучия людей.

Понятие «Свет и Здоровье» рассматривается как единая проблема, что должно учитываться в разработке перспективных норм освещения и новых средств и приемов освещения мест обитания человека.

В этом направлении необходима дальнейшая совместная работа светотехников, медиков, психологов, фотобиологов и специалистов в других областях знания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 20.1. *Галанин Н.Ф.* Лучистая энергия и ее гигиеническое значение. Л. Медицина. 1969.
- 20.2. *Зильбер Д.А., Волоцкой Н.В., Кнорринг Г.М.* Люминесцентное освещение. М.-Л. 1955.

- 20.3. *Данциг Н.М.* Гигиеническое нормирование освещения жилых и общественных зданий. М. АМН СССР. 1948.
- 20.4. *Данциг Н.М.* Освещение жилых и общественных зданий. В многотомнике «Коммунальная гигиена». т. III. М.: Медгиз. 1963.
- 20.5. *Данциг Н.М.* Биологическое действие и гигиеническое значение света. Вестник АМН СССР. 1972. № 1.
- 20.6. *Нейштадт Я.Э.* Новые источники света и их действие на человека. М.: Медгиз. 1952.
- 20.7. *Нейштадт Я.Э.* Бактерицидное ультрафиолетовое излучение. М.: Медгиз. 1956.
- 20.8. *Черниловская Ф.М.* Освещение промышленных предприятий и его гигиеническое значение. Л. 1971.
- 20.9. *Жилов Ю.Д., Назарова Е.Н.* Нормирование видимой радиации в гигиене труда. Гигиена и санитария. 1984. № 9.
- 20.10. *Скобарева З.А.* Оптические факторы. В кн. «Гигиена окружающей среды». М.: Медицина. 1985.
- 20.11. *Кравков С.В.* Глаз и его работа. Психофизиология зрения. Гигиена освещения. 4-е изд. М.-Л. 1950.
- 20.12. *Фиш Иохим.* Свет и здоровье. М.: Дом Света. 2001.
- 20.13. *Ван ден Бельд Г.* Свет и здоровье. Светотехника. 2003. № 1.
- 20.14. *Ван Боммель В., Ван ден Бельд Г., Ван Оойджен М.* Промышленное освещение и производительность труда. Светотехника. 2003. № 1.
- 20.15. *Кларк Н.Г.* Свет и здоровье. Светотехника. 1999. № 5.
- 20.16. *Ронки Л.Р.* Зрение и освещение. Начало XXI века. Светотехника. 2001. № 6.
- 20.17. *Брейнард Г.К., Гликман Г.Л.* Биологическое влияние света на здоровье и поведение человека. Светотехника. 2004. № 1.
- 20.18. *Ронки Л.Р., Шанда Я.* Некоторые исследования изменчивости дневного света. Светотехника. 2004. № 4.
- 20.19. *Физиология сенсорных систем. Ч. 1. Физиология зрения.* В серии «Руководство по физиологии». Л.: Наука. 1971.
- 20.20. *Брейнард Дж.К., Бернекер К.А.* Влияние света на физиологию и поведение человека. Светотехника. 1996. № 1–2.
- 20.21. *Конев С.В., Вологовский И.Д.* Фотобиология. Минск. БГУ. 1979.
- 20.22. *Вавилов С.И.* Глаз и Солнце. М. АН СССР. 1976.
- 20.23. *Скобарева З.А., Текшева Л.М.* Гигиенические аспекты совмещенного освещения. Светотехника. 1983. № 4.
- 20.24. *Марусов А.П.* Сравнительная характеристика влияния искусственного и естественного освещения рабочих мест на течение беременности, осложненной поздним токсикозом. В сб. «Человек и свет». Саранск. МГУ. 1982.
- 20.25. *Скобарева З.А., Текшева Л.М.* Биологические аспекты гигиенической оценки естественного и искусственного освещения. Светотехника. 2003. № 4.
- 20.26. *Кртилова А., Балик С.* Гигиенические аспекты совмещенного освещения. Братислава. CSVTS. 1978. (на чешском языке) — (Krtilova A., Balik S.).
- 20.27. *Кртилова А., МатOUSEК И., Монзер Л.* Свет и освещение. Прага. Авиенум. 1981 (на чешском языке) — (Krtilova A., Matousek J., Monzer L. «Svetlo a osvetlovani». Praha, Avicenum.
- 20.28. *Мошкин М.П.* Влияние естественного светового режима на биоритмы у полярников. Физиология человека. 1984. № 1.
- 20.29. *Ультрафиолетовое излучение.* Биологическое действие и использование естественного и искусственного УФИ в лечебно-профилактических и гигиенических целях. Под ред. Н.М. Данцига. М. Медицина. 1971.
- 20.30. *Афанасьева Р.Ф., Бармин В.В., Гаврилкина Г.Н., Мудрак Е.И., Сарычев Г.С.* Об использовании профилактического ультрафиолетового облучения. Светотехника. 2000. № 1.
- 20.31. *Беляев И.И., Бородинова А.А., Мамонтова Н.В.* Снижение респираторной заболеваемости с помощью ультрафиолетового облучения. Светотехника, 1986. № .
- 20.32. *Афанасьева Р.Ф., Гаврилкина Г.Н.* Методика и облучательная техника компенсации «солнечного голодания» населения страны. Светотехника. 2004. № 4.
- 20.33. *Сарычев Г.С.* Облучательные светотехнические установки. М.: Энергоатомиздат. 1992.
- 20.34. *Прикупец Л.Б.* Современные источники УФ излучения для установок и процессов фотобиологического действия. Светотехника. 2004. № 4.
- 20.35. *Скобарева З.А., Текшева Л.М., Усвятцова Е.П., Федоров В.В.* Разработка и гигиеническая оценка полифункциональных люминесцентных ламп. Светотехника. 1984. № 9.
- 20.36. *Скобарева З.А.* Состояние некоторых функций зрения при воздействии длинноволнового УФ излучения. Светотехника. 1967. № 3.
- 20.37. *Габович Р.Д., Мотузков И.Н., Михайлюк И.А., Швайко И.И.* Эффективность профилактического УФ облучения рабочих, контактирующих с производственными ядами. Врачебное дело. 1978. № 8.
- 20.38. *Костюченко С.В., Красночуб А.В., Кудрявцев Н.Н.* Новое поколение бактерицидных облучателей для обеззараживания воздуха и воды на базе высокоэффективных амальгамных ламп. Светотехника. 2004. № 4.
- 20.39. *Вассерман А.Л.* Применение ультрафиолетового излучения для обеззараживания воздуха. Светотехника. 2004. № 1.
- 20.40. *Вассерман А.Л., Шандала М.Г., Юзбашев В.Г.* Ультрафиолетовое излучение в профилактике инфекционных заболеваний. М.: Медицина. 2003.
- 20.41. *Принципы и методы гигиенического регламентирования физических факторов окружающей среды.* В кн. «Гигиена окружающей среды». М.: Медицина. 1985.
- 20.42. *Природные факторы и резистентность организма.* Научный обзор. Под ред. докт. мед. наук Ю.И. Прокопенко. М.: МЗ СССР. 1982.
- 20.43. *Данциг Н.М.* Гигиена зрения учащихся школ. М.: Медгиз. 1961.
- 20.44. *Базарный В.Ф.* Зрение у детей. Новосибирск. 1991.
- 20.45. *Данциг Н.М., Лазебная Е.О., Скобарева З.А.* О нормировании искусственного освещения с учетом возрастных особенностей зрения. Светотехника. 1976. № 7.
- 20.46. *Адриан В.* Острота зрения как основа зрительной работоспособности. Светотехника. 2003. № 2.
- 20.47. *Роземблом Ю.З.* Рефракция, аккомодация и зрение. В кн. «Клиническая физиология зрения». М.: Русомед. 1993.
- 20.48. *СанПиН 2.2.1/2.1.1.1076-01.* Гигиенические требования к инсоляции и солнцезащите жилых и общественных зданий и территорий. М.: Минздрав России. 2002.
- 20.49. *Данциг Н.М., Скобарева З.А.* Гигиенические и психофизиологические аспекты освещения подземных объектов города. Вестник Акад. медицинских наук СССР. 1973. № 10.

РАЗДЕЛ ДВАДЦАТЬ ПЕРВЫЙ

ПОДВОДНОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

Последние годы характеризуются активным развитием геолого-геофизических исследований и поиском полезных ископаемых в Мировом океане.

Промышленно развитые страны с шестидесятых годов XX века пачали работы по освоению морских месторождений. Основное внимание при этом уделяется шельфу и глубоководным районам, богатым стратегически важными полезными ископаемыми [21.1]. При исследовании и освоении Мирового океана ведущая роль отводится разработкам подводных аппаратов. С их помощью ведутся работы на шельфе (до 200 м), континентальном склоне (до 1800 м) и ложе океана — абиссальных равнинах до 6000 м (абиссаль — зона наибольших морских глубин, начинающаяся с глубины 3 км).

На стадиях детальной разведки морских полезных ископаемых наиболее надежным с точки зрения минимизации риска считается использование необитаемых, привязанных или автономных, подводных аппаратов, оснащенных средствами визуального наблюдения и регистрации [подводная фото- и телевизионная съемка с использованием подводных световых приборов (ПСП)] [21.2].

Для подводного освещения применяются в основном три типа СП: стационарный светильник общего освещения для производства работ в пределах достаточно большой площади, переносной светильник индивидуального назначения для освещения рабочего места и прожектор, предназначенный для освещения удаленных объектов.

Специальные подводные катадиоптрические лампы начали создавать с 1937 года. При контакте с водой колба нагретой лампы охлаждается, поэтому объем колбы может быть меньше, чем при работе в воздушной среде. Требуемое светораспределение создавалось без дополнительных отражающих или преломляющих устройств за счет нанесения светоотражающего металлического покрытия на часть колбы лампы со стороны, противоположной цоколю. Свет от тела накала попадал на зеркальную поверхность, отражался от нее и через прозрачную часть колбы, испытав преломление на границе газ—стекло—вода, выходил в окружающее пространство. Различное светораспределение создавалось за счет изменения профиля колбы, формы и места расположения тела накала. На этом принципе создавались светильники общего освещения. Светильники местного освещения конструировались на основе ламп, у которых в колбе с металлическим покрытием сбоку оставлялось прозрачное окно. Такие лампы действовали как небольшие прожекторы. Для создания мощного прожектора зали-

вающего света металлическое покрытие на колбе лампы наносилось со стороны цоколя [21.3].

Основными факторами, определяющими оптические характеристики морской воды, являются чистая вода, взвешенные частицы различного происхождения, растворенное органическое вещество, пигменты фитопланктона. Оптические свойства чистой воды слабо зависят от термодинамических характеристик и мало меняются с глубиной. Концентрация оптически активных компонентов зависит от гидрофизических, биологических и химических процессов, которые меняются в зависимости от глубины, что и определяет стратификацию (расслоение) оптических характеристик. В некоторых случаях удается выделить основной компонент морской воды, оказывающий определяющее влияние на одну или несколько оптических характеристик. Например, взвешенные частицы играют основную роль в ослаблении и рассеянии света. Распределение последних по глубине идентично вертикальному распределению взвешенных частиц различного происхождения.

В верхнем (до 100 м) слое воды профили вертикального распределения интенсивности излучения на различных длинах волн подобны друг другу. Это свидетельствует об определяющем влиянии взвешенных частиц на ослабление света во всем видимом диапазоне спектра на этих небольших глубинах. В связи с селективностью ослабления излучения взвешенными частицами абсолютное значение показателя ослабления уменьшается с ростом длины волны.

На вертикальное распределение показателя рассеяния излучения оказывают влияние разные фракции морской взвеси. Поэтому на глубинах порядка 60—75 м в распределении наблюдается максимум, совпадающий со слоем пониженной прозрачности воды. Мелкие частицы распределены по глубине более равномерно, чем фитопланктон.

Показатель поглощения излучения и интенсивность флюоресценции растворенной органики связаны с наличием в морской воде желтого вещества. (Желтое вещество — растворенные в морской воде органические компоненты, поглощающие свет наиболее сильно в области коротких длин волн. С увеличением длины волны поглощение излучения уменьшается по экспоненциальному закону). Однако их вертикальные распределения существенно различаются. Интенсивность флюоресценции растворенной органики в открытых районах океана имеет минимум у поверхности, а затем возрастает с глубиной. Различные вертикальные профили показателя поглощения излучения и интенсивности флюоресценции свидетельствуют об отсутствии

связи между поглощающим органическим веществом и его флюоресцирующим компонентом [21.4, 21.5].

Поскольку оптимизация спектра излучения ИС увеличивает эффективность и дальность действия ПСП, контрастность подводной картины и улучшает цветопередачу, применению новых источников света в последние годы уделяют большое внимание. Основными приемниками излучения под водой служат: глаз человека, наблюдающего через иллюминатор; фотопленка; фотокатод передающей телевизионной трубки. С учетом спектрального пропускания морской воды (иллюминатор практически не искажает спектра) подводные приемники можно разделить на две группы. К первой относятся чувствительные преимущественно к зеленой (или сине-зеленой) части спектра — это глаз, черно-белые телевизионные приемники, черно-белые кино- и фотопленки типа ортохром и в большей мере панхром. Ко второй — чувствительные к излучению трех областей спектра (синей, зеленой и красной) и требующие цветового баланса в этих областях, необходимого для высококачественной цветопередачи: цветные кино- и фотопленки, приемники цветного телевидения [21.6].

Под **дальностью видимости** понимают наибольшее расстояние от глаза до освещенного объекта, когда глаз различает детали последнего. Предельная дальность освещения в несколько раз больше дальности видимости. Дальность видимости для случая почти предельного исчезновения наблюдаемого предмета больше, чем дальность хорошего видения всего лишь примерно на 20%. Из-за дымки обратного рассеяния повышение силы света в 10 или в 10^5 раз увеличивает дальность видимости только на 15% и в 2 раза соответственно [21.3]. Согласно закону Аллара, с увеличением расстояния между предметом и приемником уменьшается яркость предмета, пока она не становится меньше порога чувствительности приемника. В воде, вследствие многократного рассеяния лучей, исходящих от объекта, фон всегда присутствует. Кроме того, от лучей, идущих в направлении наблюдения, создается снижающая контраст **световая дымка** [21.4, 21.7, 21.8].

Ослабление излучения компенсируется увеличением мощности пучка. Расширение пучка света зависит от свойств среды и простыми способами не компенсируется. Для подавления дымки обратного рассеяния наиболее эффективны два способа: **способ стробирования излучения по дальности** и **способ поляризационной дискриминации**. Способ стробирования излучения по дальности состоит в применении импульсного лазера, посылающего на цель пачку импульсов длительностью несколько наносекунд, и приемника этих импульсов, синхронизированных друг с другом. Импульсы проходят до цели через помеху — мутную рассеивающую среду, отражаются от элементов среды и цели и попадают в приемник, который открывается только в расчетный момент времени прихода сигнала от цели. Отраженные от помехи импульсы приходят в приемник, когда он еще закрыт. По времени прихода сигнала от цели определяется дальность.

Способ поляризационной дискриминации заключается в поляризации излучения источника света, которое после отражения от наблюдаемого объекта попада-

ет в анализатор, установленный рядом с приемником излучения. Анализатор не пропускает в приемник часть излучения, рассеянного средой. Тем самым уменьшает влияние дымки обратного рассеяния.

Если кратко сформулировать способы улучшения систем подводного наблюдения с использованием искусственного освещения, то можно отметить следующее.

Наиболее эффективно использование для освещения объектов под водой малоугловых сканирующих световых пучков. Передача контрастов улучшается с применением сканирующих приемников с узким полем зрения, так как сужаются пределы интегрирования рассеянного излучения, участвующего в создании освещенности точки изображения и идущего от различных участков поверхности объектов.

Система с двойным сканированием (источника света синхронно с приемником излучения) является наиболее перспективной, особенно с разнесенными в пространстве источником и приемником и в сочетании со стробированием по дальности. Системы наблюдения в проходящем свете, в которых осуществляется построение теневого изображения объектов при расположении наблюдателя за объектом на одной линии с ним и источником света, свободны от влияния дымки обратного рассеяния. Тень объекта наблюдается на светлом фоне источника.

Сравнивая два метода, отметим, что в случае использования метода поляризационной дискриминации дымки обратного рассеяния удается в основном избавиться от влияния рассеяния первой кратности, что важно и эффективно для непрерывного освещения, когда приемник находится на небольших расстояниях (несколько метров) от освещаемого объекта. Для регистрации удаленных объектов более подходит метод стробирования по дальности со сканированием изображения, в котором максимальная разрешающая способность реальных наблюдательных систем со сканированием изображения ограничивается конечной угловой апертурой световых пучков и уширением сканирующего пятна вследствие рассеяния [21.9].

Подводное телевидение позволяет получать информацию непосредственно, что делает его весьма ценным поисковым средством. К середине шестидесятых годов подводное телевидение стало применяться для визуального обнаружения [21.10].

В увеличении дальности видимости под водой большую роль играют приемники излучения. В настоящее время ведутся работы по созданию новых приемников, обладающих световой и контрастной чувствительностью и минимальным уровнем собственных шумов. Применяются фотоумножители и диссекторы, работающие в режиме счета отдельных квантов света, что позволяет улучшить отношение сигнал/шум (диссектор изображения — электронная трубка с лазером. Применяется в системах слежения. Изображение теплоизлучающего объекта строится на фотокатод при помощи объектива). Создаются подводные наблюдательные системы, работающие в условиях исключительно слабого освещения [21.11].

21.1. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ПОДВОДНЫМ СВЕТОВЫМ ПРИБОРАМ

Подводные СП непрерывного и импульсного действия наиболее часто применяются при добыче полезных ископаемых, при подводном ремонте судов, проведении водолазных работ, для фотографии, съемок кино, черно-белого и цветного телевидения. Они обеспечивают эффективное функционирование подводных лодок, автономных аппаратов и применяются на глубинах до 6 км.

Имеется большое количество отечественных разработок ПСП, общие свойства которых будут здесь рассмотрены. Они созданы в последние годы. ПСП, разработанные до 1980 г., описаны в [21.12, 21.13].

В зависимости от целей работ, которые проводятся на разных глубинах, изменяется конструкция ПСП. Во внимание принимаются прочность корпуса прибора, возможность использования тех или иных оптических элементов (а следовательно, и возможность создания световых пучков с необходимыми КСС), мощность источника света, параметры электрического питания и многое другое. Поэтому ПСП целесообразно разделять на мелководные с глубиной погружения до нескольких десятков метров, для средних глубин — до нескольких сот метров, и глубоководные — для глубин 1–6 км.

В качестве мелководных могут применяться ПСП простой конструкции: в герметичном кожухе или с открытым отражателем, контактирующим с водой, и лампой, которая также омывается водой. Могут применяться лампы-фары, погружаемые в воду, и конструкции приборов с открытым отражателем и источником света, размещенным в дополнительном герметичном стеклянном корпусе. В некоторых вариантах обязательна герметизация патрона лампы и токоподводящих устройств.

В приборах для средних глубин повышены требования к прочности конструкции по отношению к гидростатическому давлению [21.14]. Усиливается герметизация корпуса светового прибора, сокращаются размеры корпуса и плоских стеклянных элементов, которые в отдельных случаях заменяются более прочными, имеющими куполообразную форму. Лампы-фары для таких глубин не применяются.

На больших глубинах используются конструкции с открытым отражателем и источником света в герметичном стеклянном корпусе, либо с закрытым выходным отверстием и с компенсирующей жидкостью внутри прибора [21.15].

По способам установки и крепления в комплекте подводного устройства световые приборы можно разделить на стационарные, которые крепятся на корпусе подводной лодки или на грунте, буксируемые с установкой на рыболовных тралях и подводных снарядах, и переносные (ручные) для водолазов и пловцов-подводников [21.16].

Поскольку вода является хорошим проводником электрического тока, возникает необходимость защиты электрической части прибора [21.17–21.19]. Поэтому первым требованием к конструкции является герметизация определенных внутренних объемов, где располо-

жены электрические контакты. При погружении в воду давление на прибор растет пропорционально глубине и достигает большого значения. Следовательно, вторым требованием является прочность оболочек и устойчивость их формы при работе под большим давлением. Учитывая полную видимость под водой из-за значительного поглощения и рассеяния света, третьим требованием к приборам является их высокая светотехническая эффективность. Поскольку морская вода представляет собой агрессивное химическое вещество, к световым приборам предъявляется четвертое требование — высокая коррозионная устойчивость применяемых материалов. Пятое требование к ПСП, устанавливаемым на буксируемых средствах — это обеспечение оптимальных значений гидродинамических характеристик конструкции [21.20]. Для стационарных применений светильник может иметь форму шара [21.21].

Кроме этих обязательных требований, к подводному световому прибору предъявляется и ряд других, например, положительная плавучесть, вибростойкость и ударостойкость. В частности, ударостойкость чаще всего повышают путем размещения между отражателем и корпусом ПСП амортизирующего слоя эластичного материала, стойкого к морской воде [21.22].

По виду герметизации светооптической части ПСП можно разделить на три группы (рис. 21.1). В первую входят приборы с открытой светооптической частью, когда поверхности деталей находятся в контакте с водной средой. Вторая группа характеризуется тем, что светооптическая часть приборов полностью герметизирована. К третьей группе относятся приборы с герметизированным источником света и открытой оптической частью.

Приборы первой группы могут работать на глубинах не более 300 метров. Приборы второй группы сложны по конструкции. Кроме того, плоское защитное стекло имеет ограничение по прочности. Внешнее давление воды и внутренний нагрев стекла создают одинаковые по знаку напряжения. Поэтому, хотя приборы второй группы могут применяться и на больших глубинах, они достаточно дороги. Наиболее простыми и перспективными являются приборы с герметизированным источником света и открытой светооптической частью. Малый герметизируемый объем позволяет сделать компактный ПСП, который может работать на больших глубинах [21.23, 21.24].

Световой прибор типа СГС-57 является стационарным и герметичным СП открытого исполнения и крепится на платформе водолазного колокола (рис. 21.1, а). Он состоит из корпуса-отражателя 2 с защитной сеткой 1, корпуса 3 с разрезной обоймой, герметизированного патрона 4 с лампой и стойки 7. Корпус-отражатель 2 — латунный, эллипсоидальной формы с хромированной отражающей поверхностью. С корпусом 3 он соединен с помощью заклепок. Крепление осуществляется на патроне 4 с помощью разрезной обоймы, стягиваемой болтом, вставляемым в отверстие 5. К стакану разрезной обоймы корпуса 3 приварена ось 6 для крепления прибора к стойке 7. Защитная металлическая сетка 1 соединена винтами с наруж-

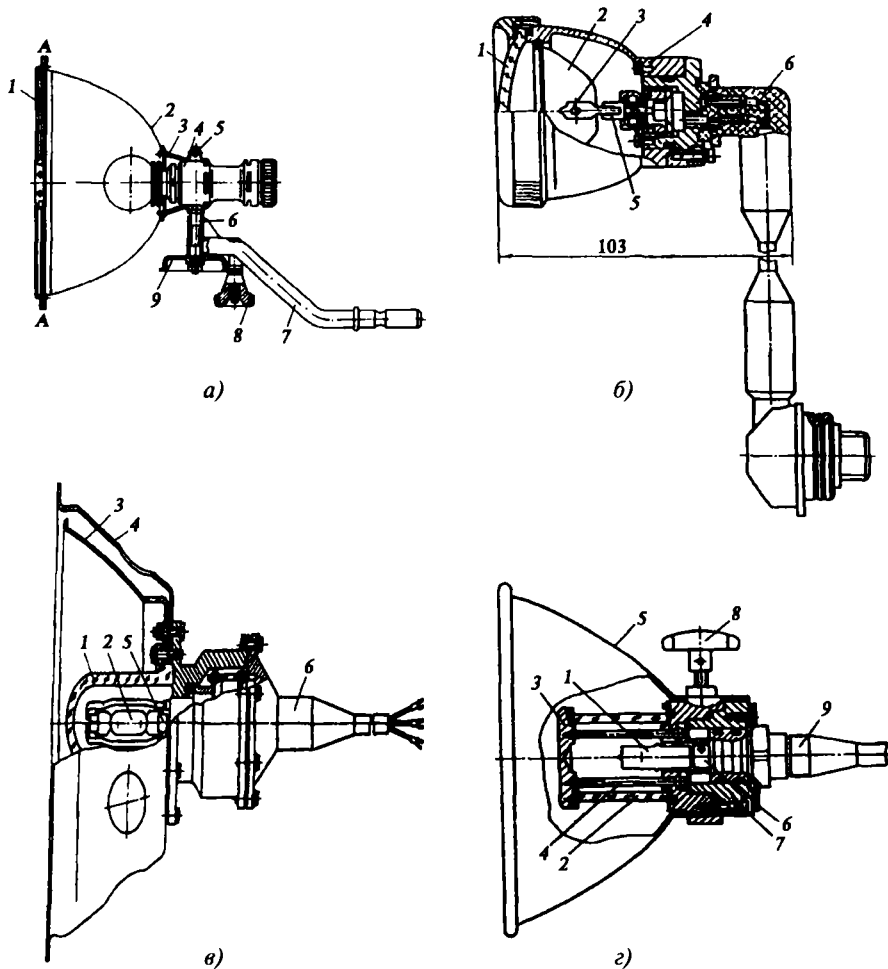


Рис. 21.1. Варианты конструкций ПСП первой группы (световой прибор типа СГС-57) (а), второй группы с герметичной светооптической частью (б) и третьей группы (в, г) с открытой оптической частью и герметизированным ИС с помощью стеклянного колпака (в) или стеклянного цилиндра (г): 1 — защитная сетка; 2 — латунный корпус-отражатель; 3 — корпус; 4 — герметичный патрон с лампой; 5 — отверстие; 6 — ось; 7 — стойка; 8 и 9 — узлы крепления ПСП (а); 1 — купольное защитное стекло; 2 — отражатель; 3 — лампа; 4 — соединительная муфта; 5 — патрон; 6 — кабельный ввод (б); 1 — стеклянный колпак; 2 — лампа; 3 — отражатель; 4 — корпус; 5 — патрон; 6 — кабельный ввод (в); 1 — лампа; 2 — стеклянный цилиндр; 3 — крышка; 4 — держатель крышки; 5 — отражатель; 6 — патрон лампы; 7 — корпус прибора; 8 — поворотная ручка; 9 — кабельный ввод (г)

ным кольцом корпуса-отражателя 2. Она защищает колбу лампы от механических повреждений.

Приборы второй группы, с закрытой плоским или купольным стеклом оптической частью, создаются только на основе ГЛН и имеют в основном компактную конструкцию и небольшую массу. Некоторые приборы этого типа заполнены полиметилсилоксановой жидкостью типа ПМС-100. Другие имеют длинный кабельный ввод, увеличивающий их габариты. Приборы снабжены зеркальным параболическим отражателем (редко диффузным или фасетным). В приборе, представленном на рис. 21.1, б, применено купольное стекло.

В приборах третьей группы ИС герметизирован, а оптическая часть открыта. ПСП, показанный на рис. 21.1, в, имеет в своем составе лампу типа ДРТСФ-250. Сила света прибора в угле 15° составляет 50 ккд, а осевая сила света достигает 150 ккд. Ресурс прибора — не менее 2×10^4 ч.

В другом ПСП этой же группы (рис. 21.1, г) имеются два режима работы — «поиск» и «общее освещение», осуществляемые поворотом ручки на 180° . Отражатель перемещается в одно из крайних положений (левое или правое), угловая ширина светового пучка изменяется

при этом с 27 до 35° . Сила света уменьшается с 8 до 1 ккд. Диаметр выходного отверстия равен 182 мм, ресурс прибора $8 \cdot 10^3$ ч при наработке лампы типа КГМ12-100-1 — 210 ч. Глубина погружения 320 м. Питание прибора может быть автономным или от сети постоянного тока.

В системах подводного телевидения используются ПСП с лампами типа ДРТСФ. Разработаны и внедрены в серийное производство лампы этого типа мощностью 125, 250 и 400 Вт.

21.2. ПОДВОДНЫЕ СВЕТОВЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ФОТОГРАФИРОВАНИЯ И СИГНАЛИЗАЦИИ

Первый опыт подводного фотографирования был произведен в 1893 году, когда Луи Бутан поместил фотоаппарат в водонепроницаемый бокс. С помощью бочки, стеклянного колпака и горелки для поджигания магниевого порошка были сделаны первые подводные фотографии. Интенсивное применение фотографии началось после разработок импульсных батарей или аккумуляторов. Это сняло трудности, связанные с подачей

электроэнергии по специальным герметичным кабелям к подводным светильникам с лампами накаливания.

В настоящее время типовой комплект подводной аппаратуры состоит из автоматической фотокамеры, заключенной в водонепроницаемый бокс (обычно с плоскопараллельным иллюминатором), герметичной (с помощью стеклянного колпака) импульсной лампы с энергией не менее 100 Дж и устройства подачи сигнала с съемки. Оно может быть разных типов и срабатывает, например, при касании грузом дна, либо от задающего таймера, либо по сигналу с судна и т.д. В этом случае ПСП вмонтирован в водонепроницаемый блок.

Из-за сильного ослабления света водой подводная съемка выполняется на небольших расстояниях (не более двух-трех десятков метров) от фотографируемого объекта. Качество фотографического изображения подводного объекта зависит от составляющих единую систему элементов, таких как вода, иллюминатор, светофильтр, объектив, фотоматериал, световой прибор. Большую роль играет взаимное расположение объекта съемки, фотокамеры и светового прибора [21.25, 21.26].

Как уже отмечалось, стробирование по дальности является эффективным методом подавления оптических помех, в том числе и дымки обратного рассеяния, и увеличения дальности видимости. Его применение ограничивает сложность электронной аппаратуры. Дальнейшее уменьшение длительности зондирующих световых импульсов по сравнению с уже достигнутой позволит еще более уменьшить влияние дымки обратного рассеяния. Данный метод может быть использован в дальнометрии. Изменяя момент времени открытия затвора приемника, можно определить расстояние до интересующего объекта. Таким же способом можно снимать рельеф дна или другой наблюдаемой поверхности в воде или с летательного аппарата, так как оптические помехи на границе воздух—вода исключаются, как и любые другие [21.27].

Среди элементов, используемых при фотографировании, плоскопараллельный иллюминатор более предпочтителен из-за простоты изготовления и отсутствия требований по центровке. В случае применения полусферических, плоско-вогнутых и других сложных иллюминаторов необходимо выдержать прецизионную точность установки объектива.

Для подводных приборов световой сигнализации и фотографирования применяется ПСП импульсного действия. Для световой сигнализации используется ПСП (рис. 21.2), у которого импульсная лампа типа ИСК-25 окружена полусферической стеклянной оболочкой. Электрическая связь с накопителем осуществляется через кабели. Излучение источника света исходит в верхнюю полусферу (первый тип оптической схемы приборов) [21.28]. В автономном варианте подводного светосигнального прибора [21.29] он может быть выполнен с водоактивируемым источником тока разового действия, который содержит электрическую систему, использующую в качестве электролита морскую воду, причем положительный электрод системы — медный, а отрицательный — магниевый. Электроды, разделенные сепараторами, размещены в водонепроницаемом корпусе.

Как уже отмечалось, при подводном фотографировании необходимо создать такие условия, чтобы обеспечить максимальный контраст в изображении объекта. Этим определяются интенсивность излучения, его спектральный состав, угол расхождения пучка света и направленности объектива фотоаппарата, размещение источника света и фотоаппарата относительно объекта [21.29]. Качество изображения улучшается с увеличением силы света и при правильном выборе спектрального состава излучателя. К положительному результату приводят также приближение ПСП к объекту фотографирования и отнесение его в сторону от этого объекта.

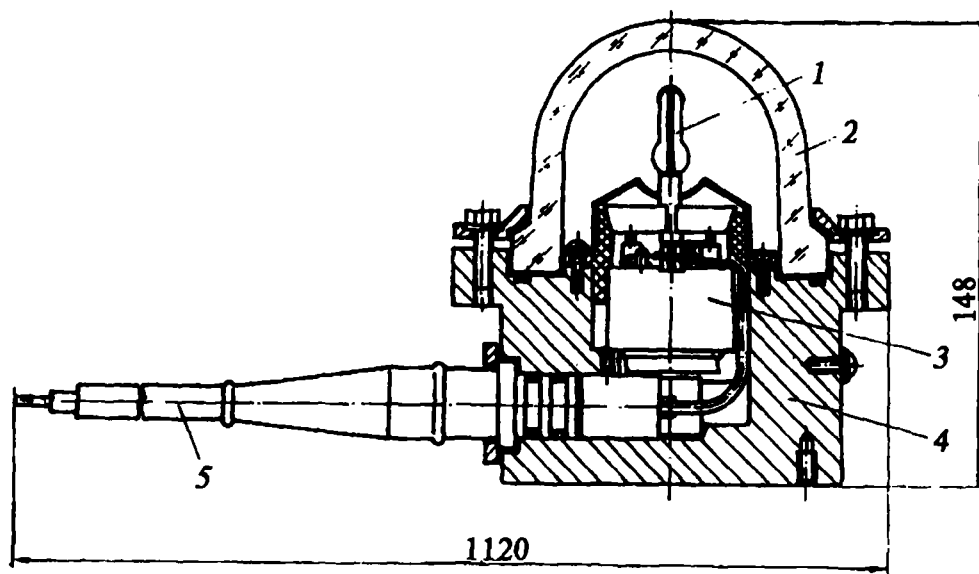


Рис. 21.2. Светосигнальный подводный импульсный прибор: 1 — лампа типа ИСК-25; 2 — стеклянная оболочка; 3 — импульсный трансформатор; 4 — корпус прибора; 5 — кабель

Для прозрачной воды (коэффициент ослабления излучения $\epsilon_\lambda < 0,3 \text{ м}^{-1}$) коэффициент передачи контраста воды будет выше при использовании для подсветки объекта коротковолнового (400–530 нм) излучения. При съемке в мутной воде ($\epsilon_\lambda \geq 0,3 \text{ м}^{-1}$) предпочтение надо отдавать длинноволновому излучению (600–700 нм), для которого коэффициент передачи контраста воды в этом случае выше. Оно может быть рекомендовано и при наличии турбулентности в среде [21.4].

Подводная фотосъемка характеризуется высокой информативностью, большой разрешающей способностью, возможностью изменения масштаба на снимках и размножения полученного материала. Стереосъемка дает объемные изображения участков морского дна, повышает точность измерения подводных объектов, позволяет провести картирование микрорельефа. Использование фотографий рельефа и их дешифрирование создает предпосылки для определения характеристик подводных геологических объектов (форма, тон, цвет, количество на единицу площади в процентах — концентрация и весовое содержание на квадратный метр — продуктивность). Кроме этих параметров, получаемых по изображениям морского дна, классифицируются и важные геологические признаки: тип микро-распределения, его размеры, удлинение и ориентация, примерный морфотип [21.2].

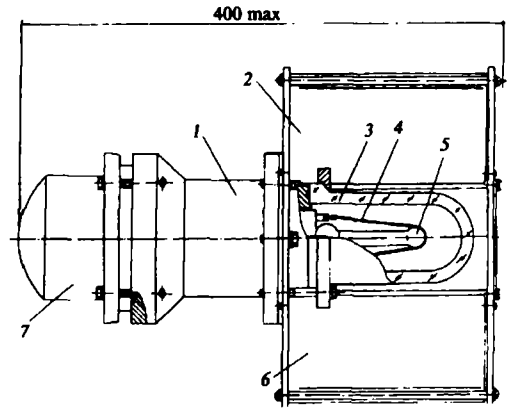
Для подводной фотографии разработано достаточно большое число импульсных ПСП.

Наиболее распространенным при конструировании ПСП является второй тип оптической системы, когда импульсная лампа располагается вдоль осевой линии круглосимметричного отражателя [21.30].

Для создания ПСП с КСС, при которой освещается зона поверхности, близкая по форме к прямоугольной, используются координатно-цилиндрические отражатели с U-образной импульсной лампой типа ИФК2000 (рис. 21.3 и 21.4) (третий тип оптической схемы). Лампа герметизируется стеклянным колпаком (рис. 21.3, а) или стеклянным цилиндром (рис. 21.4). Отражатель состоит из двух пластин, которые крепятся на корпусе. Патрон лампы установлен в узле кабельного ввода вместе с импульсным трансформатором. В ПСП (рис. 21.3, б) пластины отражателя имеют вогнутую форму, а кабельный ввод перпендикулярен осевой линии прибора. В ПСП (рис. 21.4) форма пластин отражателя плоская, а кабельный ввод осуществлен вдоль осевой линии прибора.

Четвертый тип оптической системы ПСП близок к предыдущему, поскольку также используется координатно-цилиндрический отражатель в виде двух плоских пластин и линейная импульсная лампа (рис. 21.5). Лампа окружена стеклянным цилиндром, который герметизируется с двух сторон. Токопроводы также размещаются с двух сторон, что несколько усложняет конструкцию прибора. По этой причине четвертый тип оптической системы в последние годы не применяется в ПСП импульсного действия.

Наиболее совершенной в настоящее время является конструкция прибора «Радуга И» (рис. 21.6). Она создана на основе двух (внутреннего и внешнего) коорди-



а)



б)

Рис. 21.3. Продольный разрез (а) и фотография (б) ПСП импульсного действия: 1 — импульсный трансформатор; 2 и 6 — вогнутые пластины отражателя; 3 — стеклянный колпак; 4 — поджиг; 5 — лампа ИФК2000; 7 — заглушка;

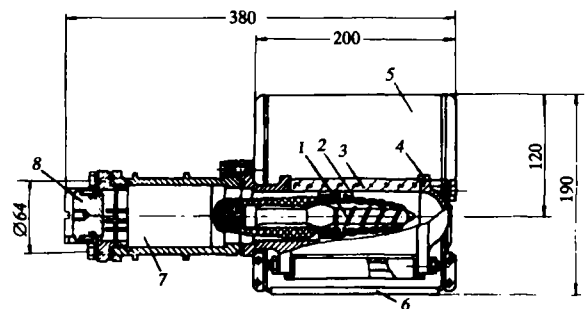
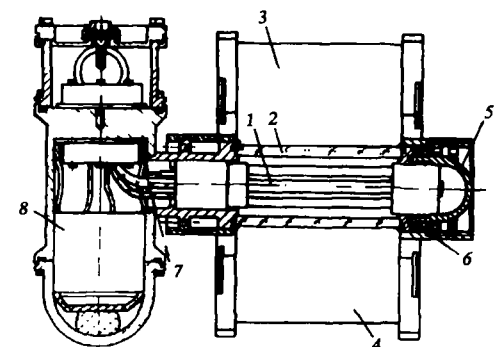


Рис. 21.4. Продольный разрез ПСП импульсного действия: 1 — лампа; 2 — держатель лампы; 3 — стеклянный цилиндр; 4 — металлическая заглушка стеклянного цилиндра; 5 и 6 — отражательные пластины; 7 — импульсный трансформатор; 8 — заглушка на месте кабельного ввода



а)



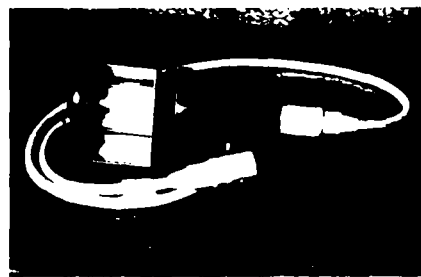
б)

Рис. 21.5. Продольный разрез (а) и фотография (б) ПСП импульсного действия с линейной лампой: 1 — лампа типа ИФП600-2; 2 — стеклянный цилиндр; 3 и 4 — плоские пластины отражателя; 5 — металлический колпак; 6 — металлический полый цилиндр; 7 — токовый подвод; 8 — зажигающее устройство типа ЗУ-1000

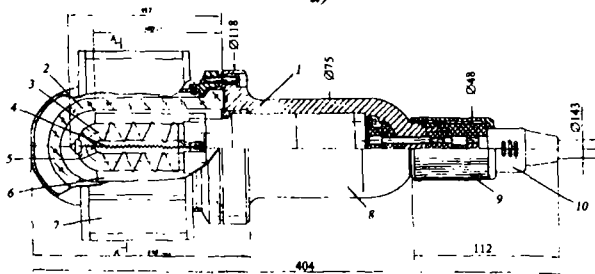
натно-цилиндрических отражателей (пятый тип оптической системы). Один из них находится внутри стеклянного колпака и представляет собой устройство из двух вогнутых пластин, соединенных друг с другом сторонами большего размера. В поперечном сечении (рис. 21.6, в) видно, что каждая вогнутая пластина отражателя частично окружает одну из разрядных трубок.

Внешний отражатель сделан из двух пластин, являющихся продолжением корпуса прибора полуцилиндрической формы. Приборы с двумя отражателями различной конструкции создают больше возможностей для получения светораспределения заданной сложной формы.

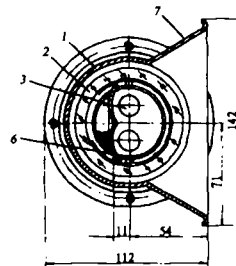
Из экспериментальных импульсных ПСП, созданных с применением новых технических решений [21.31], рассмотрим приборы, представленные на рис. 21.7–21.9. В ПСП (рис. 21.7) спиральная кварцевая колба лампы имеет форму жгута [21.32]. Верхняя ее часть приварена к цилиндрической кварцевой оболочке, которая через уплотнения крепится к металлической камере. В последней расположены токопроводы и средства крепления лампы, а также средства крепления несущего прибор троса и кабеля пускорегулирующей и



а)



б)



в)

Рис. 21.6. Фотография (а) импульсного ПСП типа «Рада-И» и его чертеж с продольным (б) и поперечным (в) сечениями: 1 — корпус оптической части прибора; 2 — стеклянный колпак; 3 — импульсная лампа типа ИФК2000; 4 — держащая лампу пружина; 5 — электрод зажигания разряда; 6 — внутренний отражатель; 7 — внешний отражатель; 8 — корпус с импульсным трансформатором; 9 — соединительная муфта; 10 — кабельный ввод

питающей аппаратуры. Указанная защитная оболочка изготавливается обычно из кварцевого стекла, а камера — из нержавеющей стали или титана, способных выдержать высокие давления воды (например, на значительных морских глубинах) и не подвергающихся коррозии.

Наиболее строгие требования предъявляются к конструкции прозрачной оболочки, закрывающей лампу. Выполнение такого защитного колпака толстостенным (для глубоководных погружений прибора) несколько снижает его светопропускание и световой КПД всего прибора. Фотография ПСП со спиральной лампой в виде жгута, но без отражателя, показана на рис. 21.8.

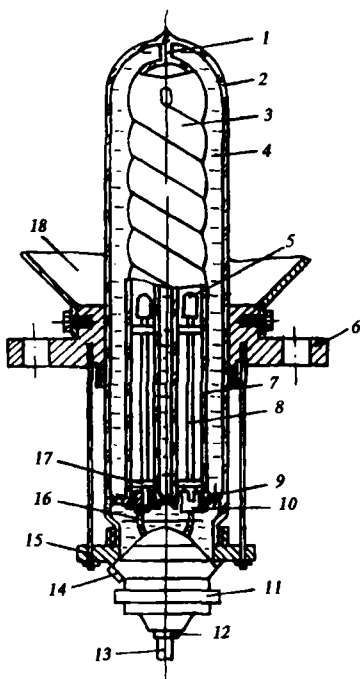


Рис. 21.7. Продольный разрез ПСП с импульсной трубчатой лампой в форме зжута: 1 — перегородка между лампой и колбой; 2 — герметичный корпус; 3 — спиральная лампа; 4 — жидкость; 5 — электрод лампы; 6 — фланец; 7 — ножка колбы лампы; 8 — металлическая шпилька; 9 — перегородка между двумя объемами; 10 — колпачок токового подвода к лампе; 11 — компенсатор давления; 12 — средство крепления токоведущего кабеля; 13, 14 — отверстие с пробкой для заливки жидкости; 15 — нижняя торцевая стенка; 16 — провод токового подвода к лампе; 17 — токовый подвод к лампе; 18 — отражатель [21.31]

Внутренний объем корпуса заполнен оптически прозрачной жидкостью с высокой теплопроводностью. В качестве такой жидкости можно использовать дистиллированную воду или водоспиртовую смесь, а также полиметилсилоксановую жидкость.

В ПСП закрытого типа при заполнении колпака оставляют небольшое газовое пространство (пузырь), которое наряду с демпфирующими прокладками, герметизирующими перегородку, уменьшает воздействие разрушающего давления среды, расширяющейся при нагревании в процессе работы лампы.

Отсек, в котором расположены токопроводы и кабель пускорегулирующей и питающей аппаратуры, заполняется газом с высокими электроизоляционными свойствами.

При погружении прибора в воду на различные глубины компенсатор передает давление забортной воды через жидкость на колбу источника света. При включении лампы и выделении ею тепла жидкость нагревается и увеличивается в объеме. Это увеличение снимается компенсатором, выполняющим одновременно функции передачи внешнего давления внутрь корпуса. Отвод тепла от источника света осуществляется жидко-

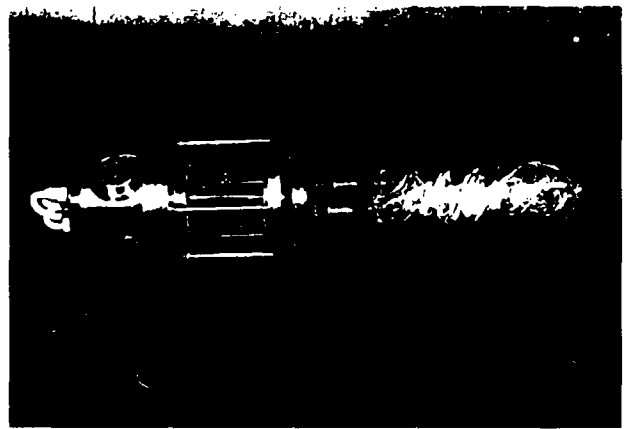


Рис. 21.8. Фотография ПСП со спиральной лампой без отражателя

стью при ее естественной циркуляции из верхней камеры корпуса в нижнюю, торцевая стенка которой выполнена теплопроводной и контактирует с забортной водой.

На рис. 21.9 изображен ПСП с импульсной разрядной лампой в форме шаровой пространственной спирали, которая размещена в прозрачном герметичном корпусе, отделенном от металлической камеры перегородкой-отражателем в форме конуса. Через перегородку по трем продольным каналам проходят ножки лампы и кварцевая трубка с никелевой проволокой, являющейся электродом зажигания разряда лампы, т.е. перегородка-отражатель, герметично разделяя корпус светового прибора на два отсека, различающихся условиями теплообмена, одновременно выполняет функции крепежного основания разрядной лампы.

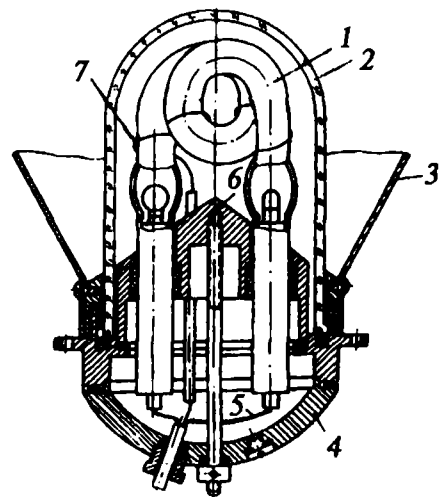


Рис. 21.9. Продольный разрез ПСП с импульсной трубчатой лампой в виде пространственной спирали: 1 — лампа; 2 — кварцевая оболочка; 3 — отражатель; 4 — металлическая заглушка; 5 — токовый подвод к лампе; 6 — конический отражатель; 7 — электрод зажигания лампы

Описанные импульсные ПСП позволяют решать все известные на сегодняшний день задачи, стоящие перед приборами такого типа на практике. Например, импульсный ПСП «Радуга И» работает в составе глубоководного программно-управляемого комплекса «Радуга» на научно-исследовательском судне «Геленджик» НПО «Южморгеология» и позволяет получать в режимах «стерео», «моно» и многозональной съемки примерно $3 \cdot 10^4$ фотоснимков. Период съемки в автоматическом режиме 15 или 30 с. Площадь изображения морского дна, регистрируемая одной фотокамерой, $16,6 \text{ м}^2$ при ее отстоянии 6 м.

21.3. ИСКУССТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ ПРИ КИНО- И ТЕЛЕСЪЕМКЕ ПОД ВОДОЙ

Важным средством подводных исследований является киносъемка с искусственными источниками света, поскольку кинематографическая регистрация изображения проводится на значительных глубинах, куда естественное освещение практически не проникает [21.33, 21.34].

Первая киносъемка под водой была осуществлена в 1921 году [21.35] кинокамерой, помещенной в водонепроницаемый корпус диаметром 1,5 м. Кинооператор находился в этом же корпусе, который был связан с кораблем посредством складной телескопической трубы. Электропитание осветительных приборов подводилось с корабля. С появлением легкого водолазного снаряжения возникла необходимость в автономном электрическом питании ПСП. Осветительные приборы для киносъемки по электрическому питанию подразделяются на два вида: с автономным питанием или с питанием по кабелю от корабля. При автономном питании батареи размещаются в корпусе самого агрегата вместе с кинокамерой и двигателем. Отличительная особенность одной из первых таких киноторпед — использование короткодуговой ксеноновой лампы мощностью 1,2 кВт со световым потоком $3,2 \cdot 10^4$ лм и цветовой температурой 5600 К. Батарея серебряно-цинковых аккумуляторов имела емкость 400 А·ч при напряжении 24 В. От этой батареи питался электродвигатель, вращающий гребной вал. Кинокамера и осветитель жестко устанавливались таким образом, чтобы их положение не менялось. При этом световой прибор освещал несколько сбоку поле объекта, на которое была направлена кинокамера [21.35].

Жак Ив Кусто систематически применял осветительные приборы с кварцево-галогенными лампами накаливания мощностью 750 Вт. ПСП объединялись по 2–3 прибора. Иногда под воду опускалось до 15 таких осветительных приборов, питаемых по кабелю с корабля.

Для киносъемок под водой часто использовались самолетные лампы-фары мощностью 1 кВт и напряжением 110 В с питающим кабелем длиной 30 м. Все электрические соединения изолировались и укреплялись слоем эпоксидной смолы.

При выборе СП открытого или закрытого типа, нужно иметь в виду, что конструкция открытого отражателя, соприкасающегося с водой, проще и прибор

дешевле. Но из-за поглощения света водой на пути от лампы к отражателю и от него до выходного отверстия его оптическая эффективность ниже, чем у закрытого прибора, наполненного воздухом (для загрязненной воды снижение оптической эффективности может достигать десятков процентов).

Рабочая глубина погружения световых приборов при профессиональной киносъемке не превышает 60 м. Поскольку эффективность ПСП закрытого типа выше, чем открытого, то в нашей стране впервые для подводной киносъемки в Научно-исследовательском кинофотоинституте (НИКФИ) разработаны ПСП закрытого типа.

Для подводной киносъемки предпочтение отдается объективам с фокусным расстоянием от 11 до 50 мм, имеющим сравнительно большие углы поля зрения. Практически подводная киносъемка производится на расстоянии от 1 до 7 м. Требуемую освещенность объекта в люксах определяют по известной в кинотехнике формуле

$$E = 13400 \Omega_{\text{эф}}^2 / S, \quad (1)$$

где $\Omega_{\text{эф}}$ — эффективное относительное отверстие объектива, S — чувствительность киноплёнки в пределах 32–90 ед. ГОСТ. Для расчета по этой формуле $\Omega_{\text{эф}}$ должно находиться в пределах $1/2,8$ – $1/4,5$.

Углы рассеяния излучения ПСП определяются из типичных условий киносъемки под водой: расстояний между кинокамерой, источником света и объектом съемки.

Типы телевизионных подводных систем делятся на три класса: малогабаритные переносные водолазные камеры (на глубинах 30–40 м), стационарная подводная аппаратура, устанавливаемая на дне моря, и движущиеся телекамеры (самоходные или устанавливаемые на буксируемых аппаратах) [21.36].

Основным недостатком систем подводного ТВ является сравнительно небольшое предельное расстояние между приемно-передающей системой и объектом наблюдения. Дальность действия существующих ТВ-систем менее 100 м даже в очень чистых океанских водах (при $e_{\lambda} < 0,1 \text{ м}^{-1}$). Для многих систем она не превосходит дальности визуального наблюдения [21.37]. Тем не менее, ТВ имеет ряд преимуществ перед визуальным наблюдением под водой: возможность работы на любых глубинах, неограниченное время работы, документальность, автономность. Особенно перспективно подводное ТВ при переходе к бескабельным линиям передачи информации, которые позволят работать при больших расстояниях между объектом наблюдения и оператором.

Классификация систем подводного телевидения в основном базируется на характеристиках направленности излучателя и приемника (рис. 21.10). В системе типа I фотодетектором служит ФЭУ. Изображение формируется в процессе сканирования узкого (в основном лазерного) пучка света, а ФЭУ воспроизводит мощность поступающего на него сигнала как функцию направления пучка. Размер элементов, на которые разлагается изображение, определяется углом начальной

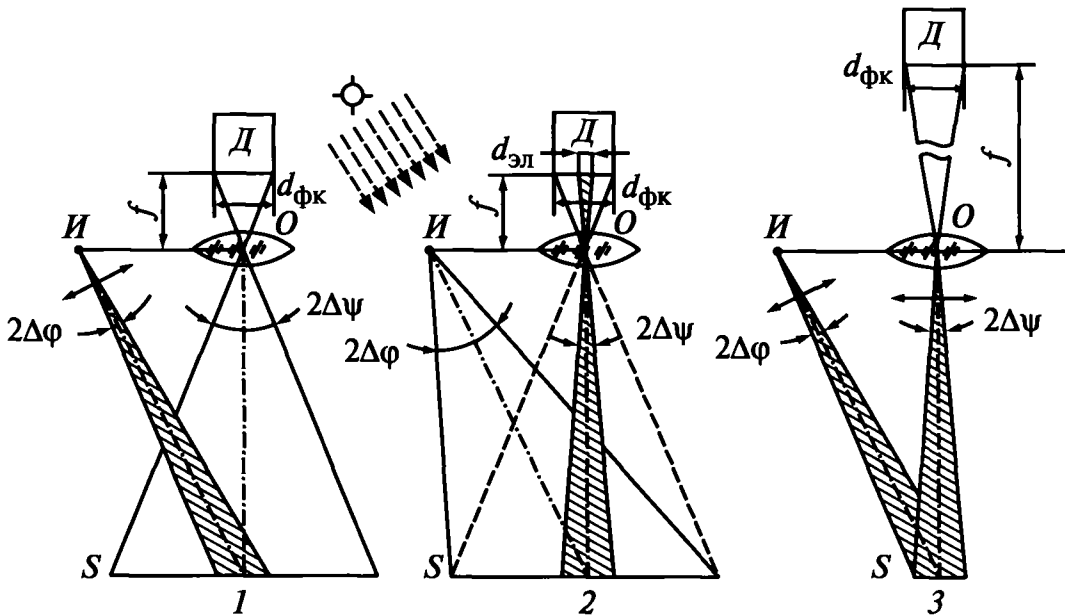


Рис. 21.10. Классификация систем подводного телевидения по диаграммам направленности: I — точка расположения источника излучения; O — оптический центр приемной оптической системы; D — фотодетектор; S — плоскость предмета наблюдения; $2\Delta\phi$ — угол начальной расходимости пучка подсветки; $2\Delta\psi$ — угол обзора, равный апертурному углу приемника, $2\Delta\psi = 2 \arctg(d_{\text{ФК}}/2f)$; $d_{\text{ФК}}$ — диаметр рабочей части фотокатода ФЭУ; f — фокусное расстояние объектива [21.4]

расходимости пучка освещения ($2\Delta\phi$). Система типа 2 выполняется на основе передающей телевизионной трубки или ЭОП, работающего в режиме усилителя яркости. Равномерное освещение плоскости предмета источником света осуществляется в пределах угла обзора. Разложение изображения в системе с передающей телевизионной трубкой производится «бегущим» электронным пучком после предварительного накопления сигнала на мишени, а в случае использования ЭОП — за счет параллельного приема на большое число независимых диаграмм.

В системе типа 3 приемник имеет узкую КСС, которая сканируется синхронно с пучком подсветки таким образом, чтобы оси пучка освещения мишени и приемника пересекались на плоскости предмета. Угол обзора определяется углом сканирования, а число элементов в кадре — соотношением между телесными углами и КСС.

Все системы могут использовать непрерывные и импульсные источники света. Наиболее широкое распространение получили системы типа 2 с широкополосными источниками излучения с естественным солнечным излучением (рис. 21.10).

Качество телевизионного изображения, дальность видимости и разрешающая способность зависят от отношения сигнал/шум [21.38].

Использование водолазами телевизионной аппаратуры упрощает выполнение аварийно-спасательных работ, укорачивает время осмотра подводных частей кораблей, судов и гидротехнических сооружений, а также обследование затонувшей военной техники [21.39].

В водолазный телевизионный комплекс, который обеспечивает получение, передачу и воспроизведение видеоинформации в единой системе, входят телевизионная камера в герметичном боксе, источник подсветки и кабель связи (подводная часть), а также пульт управления с видеоконтрольным устройством (монитором), видеоманитофон и другие вспомогательные устройства (надводная часть).

С помощью цветного телевидения облегчается поиск и осмотр подводных объектов, так как глаз человека способен различать в два раза больше градаций цвета, чем яркости. Однако чувствительность применяемых цветных трубок (20–50 лк) примерно на порядок ниже, чем черно-белых. Кроме того, если для черно-белого телевидения источники света могут быть монохроматическими, то для цветного требуются источники, дающие U-образный световой спектр.

В связи с тем, что для искусственного освещения при кино- и телесъемке используются ПСП постоянного излучения, рассмотрим их характеристики и конструкции.

21.4. ПОДВОДНЫЕ СВЕТОВЫЕ ПРИБОРЫ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

По способу применения ПСП непрерывного действия можно разделить на три группы. К первой относятся светильники общего применения, предназначенные для освещения относительно больших площадей. Их используют для осмотра окружающего пространства, днища судов, водолазных работ. Светильники могут

быть выполнены в стационарном варианте или устанавливаться на подводных аппаратах. Вторая группа состоит из светильников индивидуального использования типа небольших фонарей локального действия. К третьей группе можно отнести подводные прожекторы для освещения удаленных объектов.

В обобщенном виде совокупность возможных конструктивных элементов ПСП такова. Любой ПСП состоит из нескольких модулей: оптического, герметизирующего, корпусного, гермоводного, кабельного, герморазъемного и электропитающего. Оптический модуль содержит варианты взаимного расположения лампы и отражателя, различные типы источников света и отражателя, стеклянных защитных элементов и преобразующих оптическое излучение элементов. Причем не исключено, что оптический модуль может иметь световоды. Герметизирующий модуль состоит из кожуха и герметизирующих элементов (резиновые кольца и прокладки) [21.14]. В корпусном модуле расположены зажигающее лампу устройство и светотехническая арматура (патрон, цоколь, токоподвод к лампе). Гермоводный модуль характеризуется герметичным тоководом [21.17–21.19], а кабельный модуль — различными типами кабелей. Электропитающий модуль может быть автономным [21.29], сетевым или иметь пускорегулирующую аппаратуру.

Среди элементов оптического модуля различные типы отражателей ПСП и их сочетание с ИС являются стандартными и описаны в [21.40]. Непрерывно совершенствуются для целей подводного освещения источники света, защитные и преобразующие излучение оптические элементы.

В первых конструкциях ПСП использовались ЛН мощностью от нескольких десятков до нескольких сотен ватт, ртутные газоразрядные шаровые лампы сверхвысокого давления мощностью 250–1000 Вт и шаровые ксеноновые газоразрядные лампы [21.3, 21.13, 21.41]. Затем в ПСП стали широко применяться (вплоть до настоящего времени) ГЛН мощностью 200–1000 Вт. Малогабаритность, более высокая световая отдача (20–30 лм/Вт), мгновенное разгорание, достаточная механическая прочность и большой срок службы, отсутствие блоков зажигания и питания, а также акустических помех при горении, простота эксплуатации — предопределили непрерывный интерес к ГЛН среди разработчиков и потребителей ПСП.

В табл. 21.1 приведены характеристики наиболее часто используемых в ПСП постоянного излучения ИС с наполнениями: ртутно-таллиевым (тип ДРТСф250), натриевым (ДНаТ 250), йодидом диспрозия (ДМГ250), а также ГЛН (КГМ220-500-2), а на рис. 21.11 показаны спектральные кривые чувствительности приемников, пропускания воды и иллюминатора.

Созданные к настоящему времени ПСП непрерывного действия с точки зрения оптических систем составляют три группы. Первая из них характеризуется открытой светооптической частью с параболическим отражателем, вторая — параболическим отражателем и закрытой светооптической частью, третья — координатно-цилиндрическим отражателем. ПСП третьей

Таблица 21.1

Характеристики источников света для ПСП постоянного излучения [21.40]

Наименование параметра	Тип ИС			
	ДРТСф	ДНаТ	ДМГ	КГМ220
Номинальная мощность, не более, Вт	250	250	250	500
Световой поток, лм	20000	21000	16000	11000
Напряжение на лампе, В	100–140	80–115	100–135	220
Размеры светящего тела, мм	∅ 18×40	∅ 8×56	∅ 16×21	∅ 3,6×24
Высота светового центра, мм	65	65	65	53
Средний срок службы, ч	800	1200	500	200
Тип цоколя	P28s	P28s	P28s	P28s

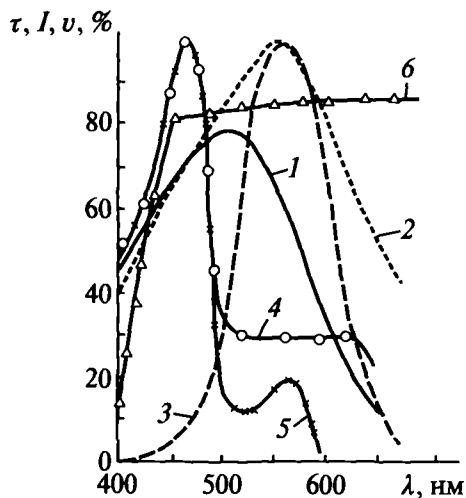


Рис. 21.11. Спектральные кривые: 1 — пропускание слоя слабо замутненной морской воды толщиной 6 м; 2 — чувствительность фотокатода черно-белой телевизионной перелажущей трубки типа видикон; 3 — дневная кривая видности глаза; 4 — чувствительность черно-белой фотопленки типа панхром; 5 — чувствительность фотопленки типа ортохром; 6 — пропускание иллюминатора толщиной 20 мм [21.42]

группы имеют выходное отверстие прямоугольной формы и предназначены для работы с телекамерами мало- и полнокадрового черно-белого и цветного телевидения. Лампа в приборах окружена стеклянным колпаком или цилиндром и установлена вдоль оптической оси.

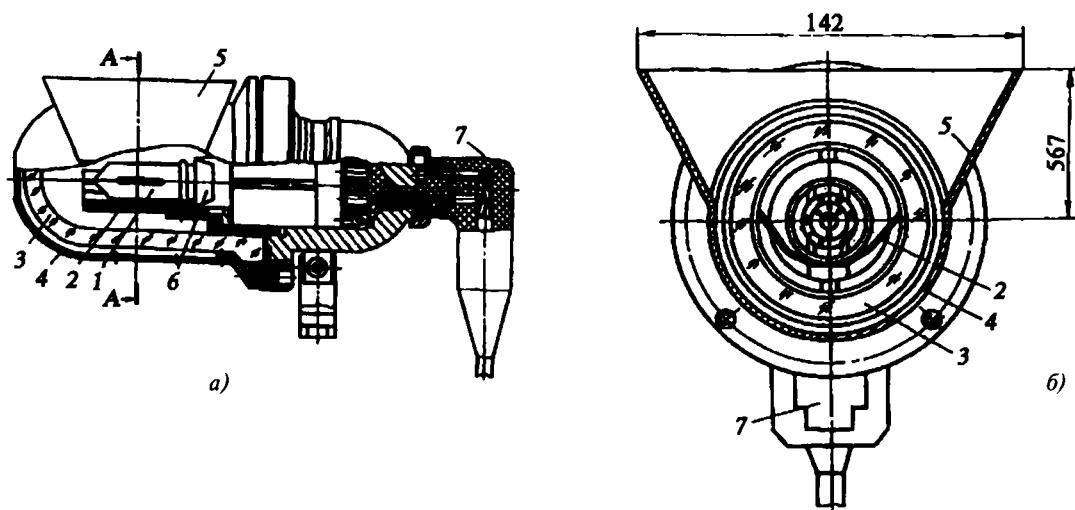


Рис. 21.12. Конструкция ПСП с двумя отражателями: продольный (а) и поперечный (б) разрезы: 1 — лампа; 2 — внутренний отражатель; 3 — стеклянная оболочка; 4 — кожу; 5 — внешний отражатель; 6 — патрон; 7 — кабельный ввод

На рис. 21.12 представлена конструкция ПСП с двумя разными отражателями. Один из них размещен внутри стеклянного колпака и состоит из нескольких прямоугольных пластин, соединенных друг с другом. В поперечном сечении профиль отражателя представляет собой ломаную линию, близкую к цилиндрической или параболической форме.

Оптические схемы ПСП непрерывного действия близки к схемам импульсных ПСП и незначительно от них отличаются (например, более частым применением диффузных и фасетных отражателей, перемещением отражателя относительно лампы, изменением формы отражателя).

Из-за невысокой прозрачности вод Мирового океана дальность действия ПСП постоянного действия невелика и находится в пределах 3–8 м.

Поскольку расчет подводной системы наблюдения сводится к нахождению связи между распределением освещенности в плоскости изображения на фотокатод передающей телевизионной трубки, задаваемой при разработке ПСП, и КСС приборов, то после создания ПСП с требуемыми характеристиками достигается высокое качество телевизионного изображения. То же относится и к визуальному наблюдению.

Силу света ПСП в воде или на воздухе легко определить пересчетом, если известно одно из этих значений. Поскольку вода характеризуется более узкой индикатрисой рассеяния, то сила света ПСП в воде будет больше в n^2 раз, где n — показатель преломления воды.

21.5. ЦВЕТопЕРЕДАЧА ПОД ВОДОЙ

Загрязнение воды и ее селективность при поглощении оптического излучения ухудшают цветопередачу под водой [21.5].

На рис. 21.13 дано спектральное распределение коэффициентов ослабления оптически чистой морской воды и воды с различной степенью загрязненности. Под оптически чистой морской водой в отечественной научной литературе понимается вода с соленостью 35‰, не содержащая никаких взвешенных частиц и органических веществ в растворенном или коллоидном состоянии. Видно большое значение $\epsilon(\lambda)$ для коротких длин волн 380–420 нм и более высокое в красной об-

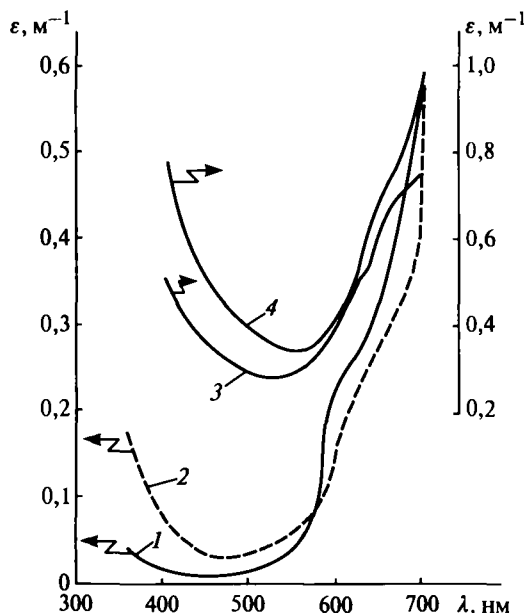


Рис. 21.13. Зависимость от длины волны излучения коэффициента ослабления оптически чистой воды (1), отфильтрованной прибрежной воды (2), прибрежной воды средней чистоты (3) и мутной воды (4) [21.4, 21.6]

ласти спектра, начиная с $\lambda > 600$ нм. Меньше всего поглощается излучение с $\lambda = 460\text{--}540$ нм, причем для более мутной воды минимум поглощения несколько сдвигается в сторону более длинных волн этого узкого диапазона [21.6].

Поскольку существует спектральная селективность в ослаблении излучения, проходящего через воду, то в зависимости от толщины слоя воды спектр прошедшего излучения все время меняется. Чем загрязненнее вода, тем больше она поглощает излучение в сине-зеленой и желто-красной областях спектра. На рис. 21.14 это поглощение показано для воды с разной степенью загрязненности. Расчет проводился по формуле Бугера, а значения коэффициентов ослабления брались из рис. 21.13. Альбеда моря в данных расчетах не принималось во внимание. В трехмерном изображении (рис. 21.14) левая горизонтальная ось координат обозначает расстояние (l , м), которое свет проходит в воде, правая горизонтальная ось координат — длину волны излучения (λ , нм), а вертикальная ось — амплитуду излучения (I , отн. ед.).

Наилучшие условия цветопередачи создаются в случае, когда на приемник от освещаемого объекта посту-

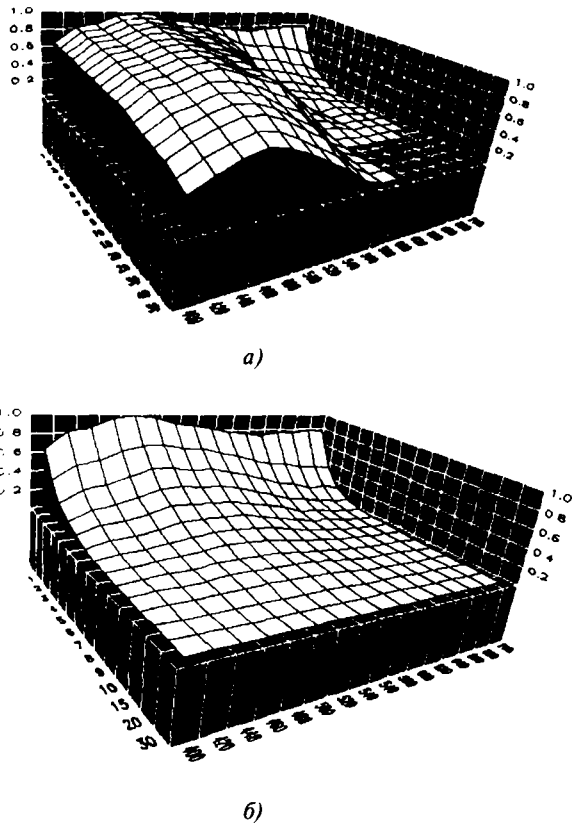


Рис. 21.14. Изменение спектра естественного излучения при его поглощении оптически чистой водой (а), и прибрежной водой средней чистоты (б) с увеличением глубины моря

пает излучение со спектром как у дневного естественного излучения, создаваемого солнцем и небом. В течение дня фазы дневного света меняются. Их несколько: свет ясного неба; прямой солнечный свет; свет ясного неба и солнца; свет облачного неба. На рис. 21.15 даны спектральные распределения излучения солнца и неба при различных погодных условиях. Видно, что они несколько отличаются друг от друга, хотя и не очень сильно.

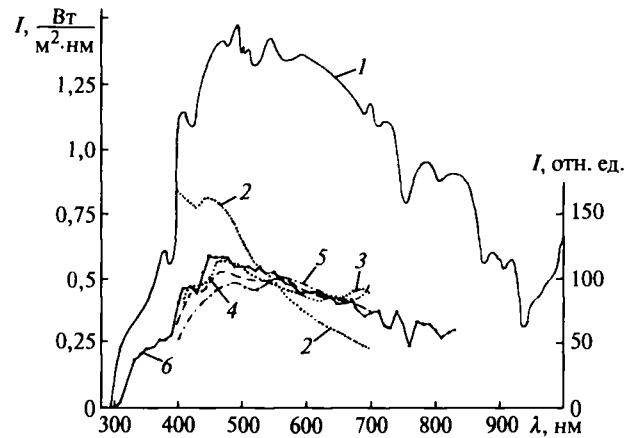


Рис. 21.15. Спектральное распределение плотности мощности в одном нанометре прямой солнечной радиации (I) на уровне моря и относительное спектральное распределение излучения для неба в зените (2); солнца + неба (3); пасмурного неба (4); прямого солнечного излучения (5) [21.43] и стандартного излучения D_{65} МКО (6) [21.45]. Для кривой (1) шкала слева, для кривых (2–6) — справа

Для того, чтобы можно было сравнивать между собой результаты цветовых измерений, международная комиссия по освещению (МКО) ввела несколько стандартных источников света и излучений. Для данного случая наиболее близко подходит стандартное излучение D_{65} МКО, которое представляет собой фазу дневного света с коррелированной цветовой температурой 6500 К (рис. 21.15). Оно было получено на основе многочисленных спектрометрических измерений дневного света, сделанных в различных районах США, Канады и Великобритании. Изменение высоты солнца в течение периода времени между двумя часами после восхода и за два часа до заката, а также изменение состояния неба от облачного до ясного, мало влияют на относительное спектральное распределение энергии суммарного дневного света, падающего на горизонтальную поверхность, во всем диапазоне видимого спектра. Фазы суммарного дневного света в основном соответствуют диапазону коррелированных цветковых температур ИС от 6000 до 7000 К, причем 6500 К (для излучателя D_{65}) является хорошим приближением к среднему значению. Стандартное излучение D_{65} в коротковолновой области видимого диапазона (рис. 21.15) близко к излучению солнца + неба, а в области более 560 нм — к сме-

шанному излучению солнца, ясного неба и пасмурного неба.

Между коррелированной цветовой температурой T_c и относительным спектральным распределением энергии $S(\lambda)$ дневного света существует важная функциональная связь: для каждой определенной фазы дневного света, характеризующейся своей цветностью и T_c , существует единственное распределение $S(\lambda)$. Подобное соотношение существует и для тепловых излучателей (в частности, для абсолютно черного тела), лучистый поток которых зависит только от температуры тела накала ИС [21.43].

Возвращаясь к условиям наилучшей цветопередачи, будем считать, что они реализуются, если на приемник от освещаемого объекта поступает свет со спектром, как у стандартного излучения D_{65} .

В случае, когда свет распространяется в среде (например, в морской воде), селективно поглощающей и рассеивающей излучение лишь некоторых участков спектра, то будет наблюдаться искажение спектрального распределения исходного излучения [21.44].

На практике при цветных съемках под водой для достижения хорошей цветопередачи используют цветные светофильтры, которые изменяют спектр ИС таким образом, чтобы получить на входе в приемник (глаз, фотопленка, кино- и телекамера) излучение со спектром естественного света, (например, D_{65}) [21.45].

Такой подход резко уменьшает эффективность всей системы из-за поглощения части излучения. Кроме того, нарушение баланса цвета под водой не всегда можно компенсировать с помощью светофильтров, если не известны расстояния: источник света — объект — приемник. Поглощение красных лучей на длине более 6 м настолько существенно, что полная коррекция становится вообще невозможной: чтобы сохранить цветовой баланс нужно практически полностью подавить сине-зелено-желтое излучение.

Более эффективный способ заключается в подборе ИС, суммарное излучение которых имеет спектр с интенсивным светом в тех полосах, которые соответствуют сильному поглощению воды. Другими словами, нужно создать такое исходное подсвечивающее излучение (назовем его оптимальным), чтобы после прохождения его под водой до объекта и далее до приемника, на вход приемника поступал свет со спектром стандартного излучения D_{65} . Именно такой свет нужен для работы на больших глубинах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 21.1. *Глумов И.Ф.* Минеральные ресурсы океана. Природа. 1992. № 6.
- 21.2. *Игнатов А.М., Стерняев В.Н., Крутов А.Л.* и др. Глубоководные оптико-электронные системы и средства навигационного обеспечения, используемые на подводных аппаратах. Обзорная информация. Мингео СССР. М., 1986.
- 21.3. *Гершун А.А.* Подводное освещение. В кн. Избранные труды по фотометрии и светотехнике. М.: Физматгиз. 1958.
- 21.4. *Оптика океана.* Т. 2. Прикладная оптика океана. М.: Наука. 1983.
- 21.5. *Иванов А.П.* Физические основы оптики моря. Минск: Наука и техника. 1975.
- 21.6. *Иванов А.* Введение в океанографию. М.: Мир. 1978.
- 21.7. *Ерлов Н.Г.* Оптика моря. Л.: Гидрометеиздат.
- 21.8. *Ерлов Н.Г.* Оптическая океанография. М.: Мир. 1970.
- 21.9. *Соколов О.А.* Видимость под водой. Л.: Гидрометеиздат. 1974.
- 21.10. *Жуков Р.Ф., Кондратович А.А., Белов А.А.* Системы, приборы и устройства подводного поиска. М.: Воениздат. 1972.
- 21.11. *Гульков В.Н., Зайцев В.А., Кропоткин М.А.* и др. Оптико-физические средства исследования океана. Л.: Судостроение. 1984.
- 21.12. *Подводные световые приборы.* Под ред. Н.В. Чернышовой. Светотехнические изделия. Т. 13. Вып. 1. М.: Информэлектро. 1970.
- 21.13. *Стопцов Н.А., Груздев М.А.* Средства подводного освещения. Л.: Судостроение. 1985.
- 21.14. *Бильжо Г.В., Бокман М.А., Водолазко А.И.* Авт. свид. № 985558 (СССР). Световой прибор (его варианты). Бюлл. изобр. 1982. № 48.
- 21.15. *Диамант Л.Р., Сысун В.В.* Авт. свид. № 674104 (СССР). Температурный компенсатор изменения объема жидкости. Бюлл. изобр. 1979. № 26.
- 21.16. *Баранова А.П., Теряев Н.С., Черняк А.Ш.* и др. Подводный световой прибор с гидролампой. Светотехника. 1986. № 8.
- 21.17. *Сибнев Б.А.* Авт. свид. № 632881 (СССР). Осветительное устройство. Бюлл.изобр. 1978. № 42.
- 21.18. *Диамант Л.Р., Подобед В.С., Прокудин В.С.* и др. Авт. свид. № 792381 (СССР). Герметичный штепсельный разъем. Бюлл. изобр. 1980. № 48.
- 21.19. *Чернявский Е.И., Романов С.С., Гамарник И.И.* и др. Авт. свид. № 962681 (СССР). Устройство ввода проводов в водозащищенный светильник. Бюлл. изобр. 1982. № 36.
- 21.20. *Диамант Л.Р., Ким М.Ю.* Авт. свид. № 868249 (СССР). Подводный световой прибор. Бюлл. изобр. 1981. № 36.
- 21.21. *Егоров В.Г.* Авт. свид. № 926415 (СССР). Глубоководное осветительное устройство. Бюлл. изобр. 1982. № 17.
- 21.22. *Гнездилов В.Ф.* Авт. свид. № 274021 (СССР). Подводный светильник. Бюлл. изобр. 1970. № 21.
- 21.23. *Хэксмен Д., Коди Д.* Подводный инструмент. Л.: Судостроение. 1985.
- 21.24. *Водолазко А.И., Воронков В.И., Диамант Л.Р.* и др. Авт. свид. № 901719 (СССР). Подводный световой прибор. Бюлл. изобр. 1982. № 4.
- 21.25. *Бабак Э.В., Иванов П.Д., Котлецов Б.Н.* Подводная фотография. Л.: Машиностроение. 1969.
- 21.26. *Underwater imaging, photography and visibility: Proceedings.* Bellingham WA: Society of Photooptical Engineers. 1991.
- 21.27. *Legeckis R.* Application of synchrological satellite data to the study of the Gulf Stream. Geophys. Res. Lett. 1975. V. 2. № 10.

21.28. *Басов Ю.Г., Горбалетов Е.С., Прокудин В.С.* и др. Импульсные подводные световые приборы. Светотехника. 1993. № 4.

21.29. *Байрачный Е.В., Березин Г.Б., Духовской В.Г.* и др. Авт. свид. № 394259 (СССР). Подводный автономный световой прибор. Бюлл. изобр. 1973. № 34.

21.30. *Басов Ю.Г., Калинин Ю.С., Прокудин В.С.* Герметичный импульсный светильник для подводного фотографирования. Техника кино и телевидения. 1986. № 12.

21.31. *Водолазко А.И., Диамант Л.Р., Сысун В.В.* и др. Авт. свид. № 588449 (СССР). Подводный световой прибор. Бюлл. изобр. 1978. № 2.

21.32. *Басов Ю.Г., Сысун В.В.* Авт. свид. № 373792 (СССР). Газоразрядный источник света. Бюлл. изобр. 1973. № 14.

21.33. *Пель В.Г.* Искусственное освещение при подводной киносъемке. Техника кино и телевидения. 1974. № 8.

21.34. *Mobley C.D.* Light and water: A radiative transfer in natural waters. San Diego: Academic Press. 1994.

21.35. *Rebikoff D.* Exploration sous-marine. Paris: Arthaud. 1952.

21.36. *Вершинский Н.В.* Подводное телевидение. М.-Л.: Госэнергоиздат. 1960.

21.37. *Zege E.P.* Image transfer through a scattering medium. New York: Springer Verlag. 1991.

21.38. *Ястребов В.С., Соболев Г.П., Смирнов А.В.* и др. Системы и элементы глубоководной техники подводных исследований. Справочник. Л.: Судостроение. 1981.

21.39. *Вишняков В.А., Меренов И.В.* Глубоководная водолазная техника. Л.: Судостроение. 1982.

21.40. *Справочник по светотехнике.* Под ред. Ю.Б. Айзенберга. М.: Энергоатомиздат. 1983.

21.41. *Подводные световые приборы.* Сборник статей. М.: Информстандартэлектро. 1968.

21.42. *Чернышова Н.В.* Новые источники света непрерывного горения для подводного освещения. Электротехническая промышленность. Сер. Светотехнические изделия. 1972. № 6 (14).

21.43. *Стопцов Н.А., Бойцов В.И., Шелепин В.Н.* Связь под водой. Справочное пособие. Л.: Судостроение. 1990.

21.44. *Слесарев О.М., Рыбников А.В.* Водолазное дело: Справочник. СПб.: ТОО «Агентство «Игрек»: ООО «Игрек» М. 1996.

21.45. *Джадд Д., Вышецки Г.* Цвет в науке и технике. М.: Мир. 1978.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ПУБЛИКАЦИИ МКО



COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION INTERNATIONALE BELEUCHTUNGSKOMMISSION

October 2005

CIE PUBLICATIONS

Available Publications

No.	TITLE
01-1980	Guide lines for minimizing urban sky glow near astronomical observatories (Joint publication IAU/CIE)
13.3-1995	Method of measuring and specifying colour rendering properties of light sources (incl. disc D008-1995)
15:2004	Colorimetry, 3rd ed. (incl. CD-ROM)
16-1970	Daylight
17.4-1987	International lighting vocabulary, 4th ed. (Joint publication IEC/CIE)
18.2-1983	The basis of physical photometry, 2nd ed.
19.21-1981	An analytic model for describing the influence of lighting parameters upon visual performance, 2nd ed., Vol. 1.: Technical foundations
19.22-1981	An analytic model for describing the influence of lighting parameters upon visual performance, 2nd ed., Vol. 2.: Summary and application guidelines
23-1973	International recommendations for motorway lighting
31-1976	Glare and uniformity in road lighting installations
32-1977	Lighting in situations requiring special treatment (in road lighting)
33-1977	Depreciation of installation and their maintenance (in road lighting)
34-1977	Road lighting lantern and installation data: photometrics, classification and performance
38-1977	Radiometric and photometric characteristics of materials and their measurement
39.2-1983	Recommendations for surface colours for visual signalling, 2nd ed.
40-1978	Calculations for interior lighting: Basic method
41-1978	Light as a true visual quantity: Principles of measurement
42-1978	Lighting for tennis
43-1979	Photometry of floodlights
44-1979	Absolute methods for reflection measurements
45-1979	Lighting for ice sports
46-1979	A review of publications on properties and reflection values of material reflection standards
47-1979	Road lighting for wet conditions
48-1980	Light signals for road traffic control

No.	TITLE
49-1981	Guide on the emergency lighting of building interiors
51.2-1999	A method for assessing the quality of daylight simulators for colorimetry
52-1982	Calculations for interior lighting: Applied method
53-1982	Methods of characterizing the performance of radiometers and photometers
54.2-2001	Retroreflection: Definition and measurement
55-1983	Discomfort glare in the interior working environment
57-1983	Lighting for football
58-1983	Lighting for sports halls
59-1984	Polarization: Definitions and nomenclature, instrument polarization
60-1984	Vision and the visual display unit work station
61-1984	Tunnel entrance lighting: A survey of fundamentals for determining the luminance in the threshold zone
62-1984	Lighting for swimming pools
63-1984	The spectroradiometric measurement of light sources
64-1984	Determination of the spectral responsivity of optical radiation detectors
65-1985	Electrically calibrated thermal detectors of optical radiation (absolute radiometers)
66-1984	Road surfaces and lighting (joint technical report CIE/PIARC)
67-1986	Guide for the photometric specification and measurement of sports lighting installations
69-1987	Methods of characterizing illuminance meters and luminance meters: Performance, characteristics and specifications
70-1987	The measurement of absolute luminous intensity distributions
72-1987	Guide to the properties and uses of retroreflectors at night
73-1988	Visual aspects of road markings (joint technical report CIE/PIARC; French translation: Aspects visuels des marquages routiers is available from PIARC)
74-1988	Roadsigns
75-1988	Spectral luminous efficiency functions based upon brightness matching for monochromatic point sources, 2° and 10° fields
76-1988	Intercomparison on measurement of (total) spectral radiance factor of luminescent specimens
77-1988	Electric light sources: State of the art — 1987
78-1988	Brightness-luminance relations: Classified bibliography
79-1988	A guide for the design of road traffic lights
80-1989	Special metamerism index: Change in observer
81-1989	Mesopic photometry: History, special problems and practical solutions
82-1990	CIE History 1913–1988
83-1989	Guide for the lighting of sports events for colour television and film systems

No.	TITLE
86-1990	CIE 1988 2° spectral luminous efficiency function for photopic vision
87-1990	Colorimetry of self-luminous displays — A bibliography
88:2004	Guide for the lighting of road tunnels and underpasses, 2nd ed.
89-1991	Technical Collection 1990: 89/1 Results of a CIE detector response intercomparison 89/2 Photobiological effects of sunlamps 89/3 On the deterioration of exhibited museum objects by optical radiation 89/4 Guide for the measurement of underground mine lighting
90-1991	Sunscreen testing (UV.B)
93-1992	Road lighting as an accident countermeasure
94-1993	Guide for floodlighting
95-1992	Contrast and visibility
96-1992	Electric light sources — State of the art — 1991
97-1992	Maintenance of indoor electric lighting systems
98-1992	Personal dosimetry of UV radiation
99-1992	Lighting education
100-1992	Fundamentals of the visual task of night driving
101-1993	Parametric effects in colour-difference evaluation
102-1993	Recommended file format for electronic transfer of luminaire photometric data
103-1993	Technical Collection 1993: 103/1 Colour appearance analysis 103/2 Industrial lighting and safety at work 103/3 Reference action spectra for ultraviolet induced erythema and pigmentation of different human skin types 103/4 Biologically effective emissions and hazard potential of desk-top luminaires incorporating tungsten halogen lamps 103/5 The economics of interior lighting maintenance 103/6 Clarification of maintained illuminance and associated terms
104-1993	Daytime running lights
105-1993	Spectroradiometry of pulsed optical radiation sources
106-1993	CIE Collection in Photobiology and Photochemistry: 106/1 Determining ultraviolet action spectra 106/2 Photokeratitis (reprint) 106/3 Photoconjunctivitis (reprint) 106/4 A reference action spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin (reprint) 106/5 Photobiological effects in plant growth (reprint) 106/6 Malignant melanoma and fluorescent lighting (reprint) 106/7 On the quantification of environmental exposures: limitations of the concept of risk-to-benefit ratio 106/8 Terminology for photosynthetically active radiation for plants
107-1994	Review of the official recommendations of the CIE for the colours of signal lights
108-1994	Guide to recommended practice of daylight measurement (incl. disc)
109-1994	A method of predicting corresponding colours under different chromatic and illuminance adaptations
110-1994	Spatial distribution of daylight — Luminance distributions of various reference skies

No.	TITLE
111-1994	Variable message signs
112-1994	Glare evaluation system for use within outdoor sports and area lighting
113-1995	Maintained night-time visibility of retroreflective road signs
114-1994	CIE Technical Collection in photometry and radiometry (1994): 114/1 Survey of reference materials for testing the performance of spectrophotometers and colorimeters (reprint) 114/2 International intercomparison on transmittance measurement — Report of results and conclusions (reprint) 114/3 Intercomparison of luminous flux measurements on HPMV lamps 114/4 Distribution temperature and ratio temperature 114/5 Terminology relating to non-selective detectors 114/6 Photometry of thermally sensitive lamps
115-1995	Recommendations for the lighting of roads for motor and pedestrian traffic
116-1995	Industrial colour difference evaluation
117-1995	Discomfort glare in interior lighting
118-1995	CIE Collection in colour and vision: 118/1 Evaluation of the attribute of appearance called gloss (reprint) 118/2 Models of heterochromatic brightness matching (reprint) 118/3 Brightness luminance relations 118/4 CIE Guidelines for co-ordinated research on evaluation of colour appearance models for reflection print and self-luminous display image comparisons 118/5 Testing colour appearance models: Guidelines for co-ordinated research 118/6 Report on color difference literature 118/7 CIE guidelines for co-ordinated future work on industrial colour-difference evaluation
119-1995	Proceedings of the 23rd Session of the CIE, New Delhi 1995, Vol. 1
121-1996	The photometry and goniophotometry of luminaires
122-1996	The relationship between digital and colorimetric data for computer-controlled CRT displays
123-1997	Low Vision
CD123-1997	Low Vision (CD-ROM)
124-1997	CIE Collection in Colour and Vision, 1997 124/1 Colour notations and colour order systems 124/2 On the course of the disability glare function and its attribution to components of ocular scatter 124/3 Next step in industrial colour difference evaluation — Report on a colour difference research meeting
125-1997	Standard erythema dose
126-1997	Guidelines for minimizing sky glow
127-1997	Measurement of LEDs
128-1998	Guide to the lighting for open-cast mines
129-1998	Guide for lighting exterior work areas
130-1998	Practical methods for the measurement of reflectance and transmittance
132-1999	Design methods for lighting of roads (incl. disc)
133-1999	Proceedings of the 24th Session of the CIE, Warsaw 1999 (2 vol.)
CD133-1999	Proceedings of the 24th Session of the CIE, Warsaw 1999 (CD-ROM)

No.	TITLE
134-1999	CIE Collection in Photobiology and Photochemistry 134/1 Standardization of the terms UV-A1, UV-A2 and UV-B 134/2 UV protection of the eye 134/3 Recommendation on photobiological safety of lamps. A review of standards
135-1999	CIE Collection 1999: Vision and Colour, Physical Measurement of Light and Radiation 135/1 Disability glare 135/2 Colour rendering, TC 1-33 closing remarks 135/3 Supplement 1-1999 to CIE 51-1981, Virtual metamers for assessing the quality of simulators of CIE illuminant D50 135/4 Some recent developments in colour difference evaluation 135/5 Visual adaptation to complex luminance distribution 135/6 45°/0° Spectral reflectance factors of pressed polytetrafluoroethylene (PTFE) powder
136-2000	Guide to the lighting of urban areas
137-2000	The conspicuity of traffic signs in complex backgrounds
138-2000	CIE Collection in Photobiology and Photochemistry 2000 138/1 Blue light photochemical retinal hazard 138/2 Action spectrum for photocarcinogenesis (non-melanoma skin cancers) 138/3 Standardized protocols for photocarcinogenesis safety testing 138/4 A proposed global UV index
139-2001	The influence of daylight and artificial light on diurnal and seasonal variations in humans — a bibliography
D139-2001	The influence of daylight and artificial light on diurnal and seasonal variations in humans — a bibliography (Disc version)
140-2000	Road lighting calculations
141-2001	Testing of supplementary systems of photometry
142-2001	Improvement to industrial colour-difference evaluation
143-2001	International recommendations for colour vision requirements for transport
144:2001	Road surface and road marking reflection characteristics
145:2002	The correlation of models for vision and visual performance
146/147:2002	CIE Collection on Glare 2002 146 CIE equations for disability glare 147 Glare from small, large and complex sources
148:2002	Action spectroscopy of skin with tunable lasers
149:2002	The use of tungsten filament lamps as secondary standard sources
150:2003	Guide on the limitation of the effects of obtrusive light from outdoor lighting installations
151:2003	Spectral weighting of solar ultraviolet radiation (incl. disc)
152:2003	Proceedings of the 25th Session of the CIE, San Diego 2003 (Vol. 1 Part 1 & Vol. 1 Part 2 + CD-ROM)
CD152:2003	Proceedings of the 25th Session of the CIE, San Diego 2003 (full set on CD-ROM)
153:2003	Report on an intercomparison of measurements of the luminous flux of high-pressure sodium lamps
154:2003	The maintenance of outdoor lighting systems
155:2003	Ultraviolet air disinfection
156:2004	Guidelines for the evaluation of gamut mapping algorithms

No.	TITLE
157:2004	Control of damage to museum objects by optical radiation
158:2004	Ocular lighting effects on human physiology and behaviour
159:2004	A colour appearance model for colour management systems: CIECAM02
160:2004	A review of chromatic adaptation transforms
161:2004	Lighting design methods for obstructed interiors
162:2004	Chromatic adaptation under mixed illumination condition when comparing softcopy and hardcopy images
163:2004	The effects of fluorescence in the characterization of imaging media
164:2005	Hollow light guide technology and applications
165:2005	CIE 10 degree photopic photometric observer
166:2005	Cognitive colour
167:2005	Recommended practice for tabulating spectral data for use in colour computations
168:2005	Criteria for the evaluation of extended-gamut colour encodings
CIE Discs:	
D001-1988	Disc version of CIE photometric and colorimetric data (Publ. 18.2, and 86 tables)
D002-2004	Disc version of CIE colorimetric and colour rendering data (Publ. 13.3 and 15 tables)
D005-1994	A method for assessing the quality of D65 daylight simulators for colorimetry (based on Publ. 51)
D007-1994	A method of predicting corresponding colours under different chromatic and illuminance adaptations (Computer program to Publ. CIE 109)
D008-1995	Computer program to calculate CRIs (to Publ. CIE 13.3)
Standards:	
ISO 10526/CIE S 005/E-1999: CIE standard illuminants for colorimetry	
ISO 10526/CIE S 005/F-1999: Illuminants colorimétriques normalisés CIE	
CIE S 005/D-1998: CIE Normlichtarten für Farbmessung	
ISO/CIE 10527-1991(E): Colorimetric observers (S002, 1986)	
ISO/CIE 10527-1991(F): Observateurs de référence colorimétriques (S002, 1986)	
CIE S 004-2001: Colours of light signals	
ISO 16508/CIE S 006.1/E-1999: Road traffic lights — Photometric properties of 200 mm roundel signals	
ISO 16508/CIE S 006.1/F-1999: Feux de circulation — Caractéristiques photo-métriques de feux de signalisation avec un diamètre de 200 mm	
ISO 17166/CIE S 007/E-1999: Erythema reference action spectrum and standard erythema dose	
ISO 17166/CIE S 007F-1999: Spectre d'action érythémale de référence et dose érythémale normalisée	
CIE S 007/D-1998: Erythemale Referenzwirkungsfunktion und standardisierte Erythemdosis	
ISO 8995/CIE S 008-2001: Lighting of indoor work places	

No.	TITLE
	CIE S 009/E:2002: Photobiological safety of lamps and lamp systems
	CIE S 009/F:2002: Sécurité photobiologique des lampes et des appareils utilisant les lampes
	CIE S 009/D:2002: Photobiologische Sicherheit von Lampen und Lampensystemen
	ISO 23539/CIE S 010/E:2005: Photometry — The CIE system of physical photometry
	ISO 15469/CIE S 011/E:2003: Spatial distribution of daylight — CIE standard general sky
	ISO 23603/CIE S 012/E:2005: Standard method of assessing the spectral quality of daylight simulators for visual appraisal and measurement of colour (incl. disc)
	CIE S 013/E:2003: International Standard Global Solar UV Index
	S 015/E:2005: Lighting of outdoor work places
	S 016/E:2005: Lighting of outdoor work places — Lighting requirements for safety and security
	Draft Standards:
	DS 014-1.2:2004 Colorimetry — Part 1: CIE Standard Colorimetric Observers
	DS 014-2.2:2004 Colorimetry — Part 2: CIE Standard Illuminants
	DS 019.2:2005 Photocarcinogenesis action spectrum (non-melanoma skin cancers)
	Special publications:
x005-1992	Proceedings of the CIE Seminar'92 on Computer programs for light and lighting
x006-1991	Japan CIE Session at PRAKASH 91
x007-1993	Proceedings of the CIE Symposium'93 on advanced colorimetry
x008-1994	Urban sky glow, a worry for astronomy
x009-1995	Proceedings of the CIE Symposium'94 on advances in photometry
x010-1996	Proceedings of the CIE Symposium'96 on colour standards for image technology
x011-1996	Special volume 23rd Session of the CIE, New Delhi, November 1–8, 1995, Late papers
x012-1997	Proceedings of the NPL — CIE-UK Conference: Visual scales, photometric and colorimetric aspects
x013-1997	Proceedings of the CIE LED Symposium'97 on Standard methods for specifying and measuring LED characteristics
x014-1998	Proceedings of the CIE Expert Symposium'97 on Colour standards for imaging technology
x015-1998	Proceedings of the 1st CIE Symposium on lighting quality
x016-1998	Measurements of optical radiation hazards
x017-2000	Special volume 24th Session of the CIE, Warsaw 1999, Late papers
x018-1999	Proceedings of the CIE Symposium'99 «75 Years of CIE Photometry»
CDx018-1999	Proceedings of the CIE Symposium'99 «75 Years of CIE Photometry» (CD-ROM)
x019-2001	Proceedings of three CIE Workshops on criteria for road lighting
x020-2001	Proceedings of the CIE Symposium 2001 «Uncertainty evaluation — Methods for analysis of uncertainties in optical radiation measurement»
x021:2001	Proceedings of the CIE Expert Symposium 2000 «Extended range colour spaces»

No.	TITLE
x022:2001	Proceedings of the 2nd CIE Expert Symposium on LED measurement «Standard methods for specifying and measuring LED and LED cluster characteristics»
x023:2002	Proceedings of two CIE Workshops on photometric measurement systems for road lighting installations
x024:2002	Proceedings of the CIE/ARUP Symposium on Visual Environment
CDx024:2002	Proceedings of the CIE/ARUP Symposium on Visual Environment (CD-ROM)
x025:2003	Proceedings of the CIE Symposium 2002 on «Temporal and Spatial Aspects of Light and Colour Perception and Measurement»
CDx025:2003	Proceedings of the CIE Symposium 2002 on «Temporal and Spatial Aspects of Light and Colour Perception and Measurement» (CD-ROM)
x026:2005	Proceedings of the CIE Symposium 2004 on «LED Light Sources: Physical Measurement and Visual and Photobiological Assessment» (incl. CD-ROM)
x027:2004	Proceedings of the CIE Symposium 2004 on «Light and Health: non-visual effects» (incl. CD-ROM)

ПРИЛОЖЕНИЕ 2. СПИСОК СТАНДАРТОВ

**МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЕ И ГОСУДАРСТВЕННЫЕ СТАНДАРТЫ РОССИИ
НА СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗДЕЛИЯ И ЭЛЕКТРОУСТАНОВОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА**

№№ пп	Обозначение документа	Наименование документа	Срок введения стандарта и номер постановления
СВЕТОВЫЕ ПРИБОРЫ			
1	ГОСТ 17677-82 Изм. № 1 (1986), № 2 (1987), № 3 (1989)	Светильники. Общие технические условия	01.01.83 № 2771
2	ГОСТ Р МЭК 60598-1-2003	Светильники. Часть 1. Общие требования и методы испытаний	01.01.2004 № 51-ст.
3	ГОСТ 8607-82 Изм. № 1 (1983), № 2 (1987), № 3 (1988)	Светильники для освещения жилых и общественных помещений. Общие технические условия	01.01.84 № 4220
4	ГОСТ 15597-82 Изм. № 1 (1984), № 2 (1988)	Светильники для производственных зданий. Общие технические условия	01.01.84 № 3899
5	ГОСТ 8045-82 Изм. № 1 (1985), № 2 (1987), № 3 (1988)	Светильники для наружного освещения. Общие технические условия	01.01.84 № 1844
6	ГОСТ Р МЭК 60598-2-3-99	Светильники. Часть 2. Частные требования. Раздел 3. Светильники для освещения улиц и дорог	01.2001 № 259-ст
7	ГОСТ Р МЭК 598-2-1-97	Светильники. Часть 2. Частные требования. Раздел 1. Светильники стационарные общего назначения	01.01.98 № 86
8	ГОСТ Р МЭК 60598-2-2-99	Светильники. Часть 2. Частные требования. Раздел 2. Светильники встраиваемые	01.2001 № 258-ст
9	ГОСТ Р МЭК 60598-2-4-99	Светильники. Часть 2. Частные требования. Раздел 4. Светильники переносные общего назначения	01.2001 № 260-ст
10	ГОСТ 6047-90	Прожекторы общего назначения. Общие технические условия	01.01.92 № 2684
11	ГОСТ Р МЭК 60598-2-5-99	Светильники. Часть 2. Частные требования. Раздел 5. Прожекторы заливающего света	01.2001 № 261-ст
12	ГОСТ 26360-84	Прожекторы судовые. Общие технические условия	01.01.86 № 4508
13	ГОСТ 28288-89	Светильники со встроенными трансформаторами для ламп накаливания. Общие технические условия	01.01.91 № 3102
14	ГОСТ Р МЭК 598-2-6-98	Светильники. Часть 2. Частные требования. Раздел 6. Светильники со встроенными трансформаторами или преобразователями для ламп накаливания	01.07.98 № 20
15	ГОСТ 28682-90	Светильники переносные для использования в саду. Общие технические условия	01.07.92 № 2617
16	ГОСТ Р МЭК 598-2-7-98	Светильники. Часть 2. Частные требования. Раздел 7. Светильники переносные для использования в саду	01.07.98 № 21
17	ГОСТ 7110-82 Изм. № 1 (1998)	Светильники ручные. Общие технические условия	01.01.84 № 3900
18	ГОСТ Р МЭК 598-2-8-97 Изм. 1 (2003)	Светильники. Часть 2. Частные требования. Раздел 8. Светильники ручные	01.01.98 № 91
19	ГОСТ Р МЭК 598-2-9-98	Светильники. Часть 2. Частные требования. Раздел 9. Светильники для фото-киносъемки (непрофессиональной)	01.01.99 № 312

№№ пп	Обозначение документа	Наименование документа	Срок введения стандарта и номер постановления
20	ГОСТ 28444-90	Светильники переносные детские игровые. Общие технические условия	01.01.92 № 222
21	ГОСТ Р МЭК 598-2-10-98	Светильники. Часть 2. Частные требования. Раздел 10. Светильники переносные детские игровые	01.01.99 № 83
22	ГОСТ Р МЭК 598-2-17-97	Светильники. Часть 2. Частные требования. Раздел 17. Светильники для внутреннего и наружного освещения сцен, телевизионных, кино- и фотостудий	01.01.98 № 92
23	ГОСТ 27453-87	Светильники для плавательных бассейнов и аналогичного назначения. Технические требования	01.01.89 № 4009
24	ГОСТ Р МЭК 60598-2-18-98	Светильники. Часть 2. Частные требования. Раздел 18. Светильники для плавательных бассейнов и аналогичного назначения	01.01.99 № 60
25	ГОСТ Р МЭК 598-2-19-97 Изм. № 1 (1988)	Светильники. Часть 2. Частные требования. Раздел 19. Светильники вентилируемые. Требования безопасности	01.01.98 № 93
26	ГОСТ 30337-95 (МЭК 598-2-20-82)	Гирлянды световые. Общие технические условия	01.01.95 № 66
27	ГОСТ Р МЭК 598-2-20-97 Изм. № 1 (2003)	Светильники. Часть 2. Частные требования. Раздел 20. Гирлянды световые	01.01.98 № 94
28	ГОСТ 27900-88	Светильники для аварийного освещения. Технические требования	01.01.90 № 3821
29	ГОСТ Р МЭК 60598-2-22-99	Светильники. Часть 2. Частные требования. Раздел 22. Светильники для аварийного освещения	01.01.2001 № 319-ст
30	ГОСТ Р МЭК 60598-2-23-98 Изм. № 1 (2003)	Светильники. Часть 2. Частные требования. Раздел 23. Системы световые сверхнизкого напряжения для ламп накаливания	01.01.99 № 61
31	ГОСТ Р МЭК 60598-2-24-99	Светильники. Часть 2. Частные требования. Раздел 24. Светильники с ограничением температуры поверхности	01.01.2001 № 320-ст
32	ГОСТ Р МЭК 598-2-25-98	Светильники. Часть 2. Частные требования. Раздел 25. Светильники для использования в клинических зонах больниц и других медицинских учреждений	01.07.98 № 22
33	ГОСТ Р МЭК 60570-99 Изм. № 1 (2003)	Шинопроводы для светильников	01.07.2001 № 349-ст
34	ГОСТ Р МЭК 60570-2-1-99	Шинопроводы для светильников. Часть 2. Комбинированные шинопроводы. Раздел 1. Шинопроводы классов I и III	01.07.2001 № 350-ст
35	ГОСТ 4677-82 Изм. 1 (1988), № 2 (1990)	Фонари. Общие технические условия	01.01.84 № 2276
36	ГОСТ 24471-80 Изм. № 1 (1981), № 2 (1987), № 3 (1990)	Приборы световые рудничные нормальные. Общие технические условия	01.01.82 № 5972
37	ГОСТ 16703-79 Изм. 1 (1981)	Приборы световые. Термины и определения	01.07.80 № 2715
38	ГОСТ 26092-84 Изм. № 1 (1987)	Приборы световые. Установочные и присоединительные размеры	01.01.85 № 508
39	ГОСТ Р 50447-92	Светильники для освещения аквариумов. Общие технические условия	01.01.94 № 1555

№№ пп	Обозначение документа	Наименование документа	Срок введения стандарта и номер постановления
40	ГОСТ 25695-91	Светофоры дорожные. Типы, основные параметры	01.01.93 № 2307
41	ГОСТ 10264-82 Изм. 1 (1988)	Арматура светосигнальная. Общие технические условия	01.01-84 № 5306
РАСSEИВАТЕЛИ ДЛЯ СВЕТИЛЬНИКОВ			
1	ГОСТ 10036-75 Изм. № 1 (1979), № 2 (1986), Изм. № 3 (1986)	Рассеиватели, защитные и декоративные стекла из силикатного стекла для светильников. Общие технические условия	01.01.77 № 2756
2	ГОСТ 9503-86 Изм. № 1 (1987)	Рассеиватели и защитные стекла для светильников. Присоединительные размеры	01.01.88 № 2531
ПУСКОРЕГУЛИРУЮЩИЕ АППАРАТЫ, ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ И ЗАЖИГАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА			
1	ГОСТ Р МЭК 920-97	Аппараты пускорегулирующие для трубчатых люминесцентных ламп. Общие требования и требования безопасности	01.01.98 № 264
2	ГОСТ Р МЭК 921-97	Аппараты пускорегулирующие для трубчатых люминесцентных ламп. Требования к рабочим характеристикам	01.01.98 № 265
3	ГОСТ Р МЭК 60922-98	Устройства для ламп. Аппараты пускорегулирующие для разрядных ламп (кроме трубчатых люминесцентных ламп). Общие требования и требования безопасности	01.07.98 № 23
4	ГОСТ Р МЭК 923-98	Устройства для ламп. Аппараты пускорегулирующие для разрядных ламп (кроме трубчатых люминесцентных ламп). Требования к рабочим характеристикам	01.07.98 № 24
5	ГОСТ Р МЭК 924-98	Аппараты пускорегулирующие электронные, питаемые от источников постоянного тока, для трубчатых люминесцентных ламп. Общие требования и требования безопасности	01.01.99 № 84
6	ГОСТ Р МЭК 925-98	Аппараты пускорегулирующие электронные, питаемые от источников постоянного тока, для трубчатых люминесцентных ламп. Требования к рабочим характеристикам	01.01.99 № 85
7	ГОСТ Р МЭК 926-98 Изм. № 1 (2003)	Устройства вспомогательные для ламп. Зажигающие устройства (кроме стартеров тлеющего разряда). Общие требования и требования безопасности	01.01.99 № 62
8	ГОСТ Р МЭК 927-98	Устройства вспомогательные для ламп. Зажигающие устройства (кроме стартеров тлеющего разряда). Требования к рабочим характеристикам	01.01.99 № 63
9	ГОСТ Р МЭК 928-98 Изм. № 1 (2003)	Устройства для ламп. Аппараты пускорегулирующие электронные, питаемые от источников переменного тока, для трубчатых люминесцентных ламп. Общие требования и требования безопасности	01.01.99 № 64
10	ГОСТ Р МЭК 929-98	Устройства для ламп. Аппараты пускорегулирующие электронные, питаемые от источников переменного тока, для трубчатых люминесцентных ламп. Требования к рабочим характеристикам	01.01.99 № 65
11	ГОСТ Р МЭК 1046-98	Устройства вспомогательные для ламп. Преобразователи электронные понижающие, питаемые от источников постоянного или переменного тока, для ламп накаливания. Общие требования и требования безопасности	01.01.99 № 310

№.№ п/п	Обозначение документа	Наименование документа	Срок введения стандарта и номер постановления
12	ГОСТ Р МЭК 1047-98	Устройства вспомогательные для ламп. Преобразователи электронные понижающие, питаемые от источников постоянного или переменного тока, для ламп накаливания. Требования к рабочим характеристикам	01.01.99 № 311
13	ГОСТ 16809-88	Аппараты пускорегулирующие для разрядных ламп. Общие технические условия	01.01.90 № 4356
14	ГОСТ Р МЭК 1048-94	Конденсаторы для цепей трубчатых люминесцентных ламп и других разрядных ламп. Общие требования и требования безопасности	01.01.95 № 76
15	ГОСТ Р МЭК 61050-99	Трансформаторы для трубчатых разрядных ламп с напряжением холостого хода, превышающим 1000 В (прежнее название – Неоновые трансформаторы). Общие требования и требования безопасности	01.01.2001 № 262-ст
16	ГОСТ 8799-90	Стартеры для трубчатых люминесцентных ламп. Технические условия	01.01.92 № 2687
17	ГОСТ Р МЭК 60155-99	Стартеры тлеющего разряда для люминесцентных ламп	01.06.2000 № 199-ст
ПАТРОНЫ ДЛЯ ЛАМП И СТАРТЕРОВ			
1	ГОСТ 2746-90 (МЭК 238-87)	Патроны резьбовые для электрических ламп. Общие технические условия	01.01.93 № 2217
2	ГОСТ Р МЭК 60238-99	Патроны резьбовые для ламп	01.01.2001 № 321-ст
3	ГОСТ 2746.1-88 Изм. № 1 (1990)	Патроны резьбовые пластмассовые серии E14 и E27. Технические условия	01.01.90 № 3093
4	ГОСТ 9806-90 (МЭК 400-87)	Патроны для трубчатых люминесцентных ламп и стартеров. Общие технические условия	01.01.93 № 2717
5	ГОСТ Р МЭК 60400-99	Патроны для трубчатых люминесцентных ламп и стартеров	01.01.2001 № 322-ст
6	ГОСТ 18396-88 Изм. № 1 (1990)	Патроны для люминесцентных ламп и стартеров. Технические условия	01.01.90 № 3095
7	ГОСТ Р МЭК 61184-99	Патроны байонетные	01.2001 № 263-ст
ЭЛЕКТРОУСТАНОВОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА			
1	ГОСТ 7396.1-89 (МЭК 83-75) Изм. № 1 (1992)	Соединители электрические штепсельные бытового и аналогичного назначения. Основные размеры	01.07.90 № 885
2	ГОСТ 7396.2-91 (МЭК 884-2-1-87)	Соединители электрические штепсельные бытового и аналогичного назначения. Частные требования к вилкам с предохранителями. Общие технические условия	01.01.92 № 305
3	ГОСТ 7397.2-91	Выключатели для бытовых и аналогичных стационарных электрических установок. Частные требования к выключателям для бытовых электрических звонков. Общие технические условия	01.07.92 № 2286
4	ГОСТ Р МЭК 61058.1-2000	Выключатели для электроприборов. Часть 1. Общие требования и методы испытаний	01.01.2001. № 103ст

№№ пп	Обозначение документа	Наименование документа	Срок введения стандарта и номер постановления
5	ГОСТ 8594-80 Изм. № 1 (1986), № 2 (1989), № 3 (1992)	Коробки для установки выключателей и штепсельных розеток при скрытой электропроводке. Общие технические условия	01.01.82 № 351
6	ГОСТ 17557-88	Колодки клеммные светотехнически. Общие технические требования	01.07.89 № 3734
7	ГОСТ Р 50827-95	Корпусы для аппаратов, устанавливаемые в стационарные электрические установки бытового и аналогичного назначения. Общие требования и методы испытаний	01.01.96 № 542
8	ГОСТ Р 51322.1-99 (МЭК 60884-1-94)	Соединители электрические штепсельные бытового и аналогичного назначения. Часть 1. Общие требования и методы испытаний	01.01.2001 № 876-ст
9	ГОСТ Р 51322.2.2-99 (МЭК 60884-2.2-89)	Соединители электрические штепсельные бытового и аналогичного назначения. Часть 2. Дополнительные требования к розеткам для приборов и методы испытаний	01.01.2001 № 877-ст
10	ГОСТ Р 51322.2.4-99 (МЭК 60884-2.4-93)	Соединители электрические штепсельные бытового и аналогичного назначения. Часть 2. Дополнительные требования к вилкам и розеткам для системы БСНН и методы испытаний	01.01.2001 № 878-ст
11	ГОСТ Р 51322.2.5-99 (МЭК 60884-2.5-95)	Соединители электрические штепсельные бытового и аналогичного назначения. Часть 2. Дополнительные требования к переходникам (адаптерам) и методы испытаний	01.01.2001 № 879-ст
12	ГОСТ Р 51322.2.6-99 (МЭК 60884-2.6-97)	Соединители электрические штепсельные бытового и аналогичного назначения. Часть 2-6. Дополнительные требования к розеткам с выключателями с блокировкой для стационарных установок и методы испытаний	01.01.2001 № 880-ст
13	ГОСТ Р 51324.1-99 (МЭК 60669-1-98)	Выключатели для бытовых и аналогичных стационарных электрических установок. Часть 1. Общие требования и методы испытаний	01.01.2001 № 798-фт
14	ГОСТ Р 51324.2.1-99 (МЭК 60669-2-1-96)	Выключатели для бытовых и аналогичных стационарных электрических установок. Часть 2-1. Дополнительные требования к полупроводниковым выключателям и методы испытаний	01.01.2001 № 799-фт
15	ГОСТ Р 51324.2.2-99 (МЭК 60669-2-2-96)	Выключатели для бытовых и аналогичных стационарных электрических установок. Часть 2-2. Дополнительные требования к выключателям с дистанционным управлением (ВДУ) и методы испытаний	01.01.2001 № 801-фт
16	ГОСТ Р 51324.2.3-99 (МЭК 60669-2-3-97)	Выключатели для бытовых и аналогичных стационарных электрических установок. Часть 2-3. Дополнительные требования к выключателям с выдержкой времени (таймеры) и методы испытаний	01.01.2001 № 802-ст
17	ГОСТ Р 51325.1-99 (МЭК 60320-1-94)	Соединители электрические бытового и аналогичного назначения. Часть 1. Общие требования и методы испытаний	01.01.2001 № 803-ст
18	ГОСТ Р 51325.2.2-99 (МЭК 60320-2-2-98)	Соединители электрические бытового и аналогичного назначения. Часть 2-2. Дополнительные требования к вилкам и розеткам для взаимного соединения в приборах и методы испытаний	01.01.2001 № 804-ст
19	ГОСТ Р 51325.2.3-2002 (МЭК 60320-2-3-98)	Соединители электрические бытового и аналогичного назначения. Часть 2-3. Дополнительные требования к соединителям степснн защиты свыше IPX0 и методы испытаний	01.01.2001 № 38-ст

№№ пп	Обозначение документа	Наименование документа	Срок введения стандарта и номер постановления
20	ГОСТ Р 51539-99 (МЭК 61242-95)	Удлинитель бытового и аналогичного назначения па кабельных катушках. Общие требования и методы испытаний	01.01.2001 № 875-ст
ЛАМПЫ			
1	ГОСТ 1608-88	Лампы накаливания судовые. Технические условия	01.01.90 № 3094
2	ГОСТ 2023.1-88 Изм. № 1 (1989), № 2 (1992) № 3 (1995)	Лампы для дорожных транспортных средств. Требования к размерам, электрическим и световым параметрам	01.01.90 № 3497
3	ГОСТ 2023.2-88 Изм. № 1 (1989), № 2 (1992)	Лампы для дорожных транспортных средств. Эксплуатационные требования	01.01.90 № 3497
4	ГОСТ 2239-79 Изм. № 1 (1982), № 2 (1983), № 3 (1985), № 4 (1987), № 5, 6 (1989), № 7 (1991)	Лампы накаливания общего назначения. Технические условия	01.01.81 № 1625
5	ГОСТ 6825-91 Изм. № 1 (1995)	Лампы люминесцентные трубчатые для общего освещения	01.01.93 № 316
6	ГОСТ Р МЭК 60081-99	Лампы люминесцентные двухцокольные. Эксплуатационные требования	01.01.2001 № 318-ст
7	ГОСТ 10771-82 Изм. № 1 (1987), № 2 (1989)	Лампы накаливания светоизмерительные рабочие. Технические требования	01.01.83 № 477
8	ГОСТ 27682-88 Изм. № 1 (1992)	Лампы ртутные высокого давления	01.01.89 № 1035
9	ГОСТ 28427-90 Изм. № 1 (1996), № 2 (1997)	Лампы электрические и стартеры. Общие технические требования для экспорта	01.01.91 № 46
10	ГОСТ 28711-90	Лампы накаливания для бытового и аналогичного общего освещения. Эксплуатационные требования	01.01.95 № 2751
11	ГОСТ Р МЭК 60064-99	Лампы накаливания вольфрамовые для бытового и аналогичного общего освещения. Эксплуатационные требования	01.01.2001 № 3170-ст
12	ГОСТ 28712-90	Лампы накаливания для бытового и аналогичного общего освещения. Требования безопасности	01.01.95 № 2752
13	ГОСТ Р МЭК 60432-1-99	Требования безопасности для ламп накаливания. Часть 1. Лампы накаливания вольфрамовые для бытового и аналогичного общего освещения	01.01.2001 № 222-ст
14	ГОСТ Р МЭК 60432-2-99	Требования безопасности для ламп накаливания. Часть 2. Лампы вольфрамовые галогенные для бытового и аналогичного общего освещения	01.01.2002 № 223-ст
15	ГОСТ Р МЭК 60901-99	Лампы люминесцентные одноцокольные. Эксплуатационные требования	01.01.2002 № 270-ст
16	ГОСТ Р МЭК 61199-99	Лампы люминесцентные одноцокольные. Требования безопасности	01.01.2002 № 271-ст
17	ГОСТ 12.2.007.13-2000	ССБТ. Лампы электрические. Требования безопасности	01.01.90 № 1984
18	ГОСТ Р МЭК 60968-99	Лампы со встроенными пускорегулирующими аппаратами для общего освещения. Требования безопасности	01.01.2002 № 224-ст

№№ пп	Обозначение документа	Наименование документа	Срок введения стандарта и номер постановления
19	ГОСТ Р МЭК 61195-99	Лампы люминесцентные двухцокольные. Требования безопасности	01.01.2001 № 225-ст
20	ГОСТ 15049-81 Изм. № 1 (1988)	Лампы электрические. Термины и определения	01.01.83 № 5968
21	ГОСТ 17616-82 Изм. № 1 (1988), № 2 (1989), № 3 (1992)	Лампы электрические. Методы измерения электрических и световых параметров	01.01.83 № 3481
22	ГОСТ 25834-83 Изм. № 1 (1986), № 2 (1993)	Лампы электрические. Маркировка, упаковка, транспортирование и хранение	01.01.85 № 2686
23	ГОСТ 27428-87	Кварцево-галогенные лампы. Метод измерения температуры лопатки	01.01.89 № 3725
24	ГОСТ 17100-79 Изм. № 1 (1982), № 2 (1983), № 3 (1987), № 4 (1990), № 5 (1991), № 6 (1997)	Цоколи для источников света. Технические условия	01.01.80 № 226
25	ГОСТ 28108-89 Изм. № 1 (1990)	Цоколи для источников света. Типы, основные и присоединительные размеры, калибры	01.01.90 № 1044
26	ГОСТ Р 50470-93 (МЭК 360-87)	Стандартный метод измерения температуры на цоколе лампы	
27	ГОСТ Р 51674-2000 (МЭК 60983-95)	Лампы миниатюрные	01.01.2002 № 319-ст

ПРИЛОЖЕНИЕ 3. МЕЖДУНАРОДНАЯ СИСТЕМА ОБОЗНАЧЕНИЙ

МЕЖДУНАРОДНАЯ СИСТЕМА ОБОЗНАЧЕНИЙ ТИПОВ И МОДИФИКАЦИЙ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА (Технический доклад МЭК1231.1993-07) INTERNATIONAL LAMP CODING SYSTEM (ILCOS) (Technical Report IEC1231/1993-07)

I

ЛАМПЫ НАКАЛИВАНИЯ (ЛН)

- IA – крупногабаритные (диаметр колбы >45 мм)
- IB – средне- и малогабаритные (диаметр колбы ≤45 мм)
- IN – прочие (без отражателя)
- I_A – с грушевидной колбой
- I_B – со свечевидной колбой
- I_BA – со свечевидной колбой (с отогнутым концом)
- I_BF – с «витой» свечевидной колбой
- I_C – с конической колбой
- I_G – со сферической колбой
- I_M – с грибовидной колбой
- I_P – с круглой цилиндрической колбой
- I_T – с трубчатой цилиндрической колбой
- IR – зеркальные (с внутренним отражающим слоем)
- IRR – обычные зеркальные
- IRA – зеркальные с грушевидной колбой
- IRP – со сферическим зеркалированным куполом колбы
- IPAR – зеркальные в прессованной колбе (типа PAR)
- IPARD – зеркальные типа PAR с дихроичным отражающим слоем (пропускающим ИК-излучение)

ЦВЕТ ИЛИ ФАКТУРА СТЕКЛА КОЛБЫ

- /C – бесцветная колба
- /F – с фактурой «под мороз»
- /W – белая (матированная: опаловая, молочная)
- /R – красная
- /B – синяя
- /G – зеленая
- /Y – желтая
- /V – фиолетовая
- /O – оранжевая
- /S – серебряная
- /G – золотая
- N/ – из неодимового стекла

ТЕЛО НАКАЛА

- //AX – аксиальное
- //TR – поперечное
- //RS – для тяжелых условий эксплуатации (виброударопрочное)

ПРИМЕРЫ ОБОЗНАЧЕНИЙ

- IAA/F – с грушевидной колбой диаметром >45 мм и фактурой стекла «под мороз»
- IAM – с грибовидной колбой диаметром >45 мм
- IBBA/C – со свечевидной бесцветной колбой с отогнутым концом
- IAG – со сферической колбой
- IBC – с конической колбой
- IRR/R – обычная зеркальная с красным куполом колбы
- IRA/S – в грушевидной колбе с зеркалированным куполом под «серебро»
- IAA/C-40-220/230-E27-60 – ЛН в бесцветной грушевидной колбе, 40 Вт, 220/230 В, цоколь E27, сокращенно: IAA/C-40 диаметр колбы 60 мм

- IBB/W-60-220/230-E14-35 – ЛН в опаловой свечевидной колбе, 60 Вт, 220/230 В, цоколь E14, сокращенное: IBB/W-60 диаметр колбы 35 мм
 IRR-60-240-B22d-125/30 – обычная зеркальная ЛН, 60 Вт, 240 В, цоколь B22d тип R125, сокращенное: IRR-60 угол рассеяния светового пучка 30°

Н**ГАЛОГЕННЫЕ ЛАМПЫ НАКАЛИВАНИЯ (ГЛН) (кроме автомобильных)**

- HS – 1-цокольные
 HD – 2-цокольные
 HA – зеркальные с внешним металлическим отражателем
 HR – зеркальные с внешним дихроичным стеклянным отражателем (пропускающим ИК-излучение)
 HM – зеркальные с внешним стеклянным алюминированным отражателем
 HI – 1-цокольные с внутренним металлическим отражателем
 H_P – для СП проекторного типа
 H_S – для фото-, кино- и видеосъемок
 H_F – для ОП заливающего света (наружного и внутреннего освещения)
 H_A – для аэродромных сигнальных СП
 H_T – для дорожно-транспортных сигнальных СП
 H_G – общего назначения
 H_I – зеркальные с фронтальным стеклом (приваренным к кромке стеклянного отражателя)
 HE – с горелкой во внешней колбе, 1-цокольные
 HEGB – с внешней колбой свечевидной формы
 HEGT – с внешней трубчатой колбой
 HEGPAR – с горелкой в прессованной зеркальной колбе типа PAR
 HEGPARD – с прессованной колбой типа PAR и дихроичным зеркальным слоем

ПРИМЕРЫ ОБОЗНАЧЕНИЙ

- HSP – 1-цокольная для проекционных СП
 HDF – 2-цокольная («софитная») для ОП заливающего света
 HRG – зеркальная с дихроичным стеклянным отражателем (общего применения)
 HMG1 – зеркальная со стеклянным алюминированным отражателем и фронтальным стеклом
 HSG-20-12-G4-22 – 1-цокольная ГЛН общего применения, 20 Вт, 12 В, цоколь G4, высота светового центра 22 мм
 HDS-800-220/230-R7s-74,9 – 2-цокольная ГЛН для студийных ОП, 800 Вт, 220/230 В, цоколь R7s, высота светового центра 74,9 мм
 HRG1-50-12-GX5,3-51/30 – зеркальная ГЛН общего применения с дихроичным стеклянным отражателем, фронтальным стеклом, 50 Вт, 12 В, цоколь GX5,3, диаметр отражателя 51 мм, угол рассеяния светового пучка 30°

V**АВТОМОБИЛЬНЫЕ ЛН**

Применяются международные обозначения, регламентированные документами МЭК/ЕЭК (IEC/ECSE)

F**ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ЛАМПЫ (ЛЛ)**

- FD – линейные 2-цокольные
 FDR – с внутренним отражающим слоем
 FDN – только для работы с высокочастотным электронным ПРА
 FU – U-образные
 FC – кольцевые
 FS – 1-цокольные ЛЛ — компактные (КЛЛ)
 FSD – 2-трубчатые (1-канальные) КЛЛ
 FSQ – 4-трубчатые (2-канальные) КЛЛ
 FSS – «квадратные» КЛЛ (типа «2D»)
 FSM – многоканальные КЛЛ
 FSG – КЛЛ со сферической внешней колбой
 FS_H – только для работы с высокочастотным электронным ПРА
 FB – КЛЛ со встроеным ПРА

- FBT – КЛЛ со встроенным ПРА и цилиндрической внешней колбой
 FBC – КЛЛ со встроенным ПРА — кольцевые
 FBG – КЛЛ со встроенным ПРА и сферической внешней колбой
 FBR – КЛЛ со встроенным ПРА и внешним отражателем

ПРИМЕРЫ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- FD-36-EG13-25/1200 – линейная 2-цокольная ЛЛ, 36 Вт, внешний starter (E), с предварительным подогревом катодов, цоколь G13, диаметр колбы 25 мм, длина 1200 мм
 FD-36/30/1B-E-G13-25/1200 – та же ЛЛ, но с указанием характеристик цветности излучения:
 сокращенное: FD-36/301B 30 — $T_{\text{цв}} = 3000 \text{ K}$, 1B — класс цветопередачи ($R_a = 80-89$)
 FD-40-L/P/L-G13-38/1200 – линейная 2-цокольная ЛЛ, 40 Вт, для бесстартерных схем (L/),
 сокращенное: FD-40-L/P с предварительным подогревом катодов (./P/./), низкоомные катоды (./L) цоколь G13, диаметр 38 мм, длина 1200 мм
 FU-40-E-2G13-41-38/600 – U-образная ЛЛ, 40 Вт, внешний starter, с предварительным подогревом катодов,
 сокращенное: FU40 цоколь 2G13-41, диаметр трубки 38 мм, длина 600 мм
 FC-40-L/P/L-G10q-32/406 – кольцевая ЛЛ 40 Вт, бесстартерного пуска, предварительный подогрев катодов,
 сокращенное: FC-40-L низкоомные катоды, цоколь G10q, диаметр трубки 32 мм, диаметр лампы 406 мм
 FSD-7-I-G23-30/15/135 – КЛЛ 1-канальная, 7 Вт, встроенный starter (I), цоколь G23, размер поперечного
 сокращенное: FSD-7-I сечения разрядного канала $30 \times 15 \text{ мм}$, длина лампы 135 мм
 FSQ-18-IG24d-2-30/30/175 – КЛЛ 2-канальная, 18 Вт, встроенный starter (I), цоколь G24d-2, сечение
 сокращенное: FSQ-18-I разрядного канала $30 \times 30 \text{ мм}$, длина лампы 175 мм
 FSS-16-I=GR8-140/140/27 – КЛЛ «квадратной» формы, (например, типа 2D фирмы Thorn), 16 Вт,
 сокращенное: FSS-16 встроенный starter, цоколь GR8, размеры разрядного канала $140 \times 140 \times 27 \text{ мм}$
 FBT-18-220/230-T27-73/150 – КЛЛ со встроенным ПРА в цилиндрической внешней колбе (T), 18 Вт, 220 В,
 сокращенное: FBT-18 цоколь E27, диаметр 73 мм, длина 150 мм
 FBG-11-220-E27-112/178 – КЛЛ со встроенным ПРА, в сферической внешней колбе, 11 Вт, 220 В, диаметр
 сокращенное: FBG-11 112 мм, длина 178 мм
 FBC-18-220/235-E27-165/100 – кольцевая КЛЛ со встроенным ПРА, 18 Вт, 220/230 В, цоколь E27, диаметр
 сокращенное: FBC-18 165 мм, высота 100 мм

S

НАТРИЕВЫЕ ЛАМПЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ (НЛВД)

- ST – с трубчатой бесцветной колбой
 SE – с эллипсоидной колбой и диффузно рассеивающим покрытием
 SC – с эллипсоидной бесцветной колбой
 SD – 2-цокольная («софитная»)
 SR – с внутренним отражателем
 S_Q – для замены ламп типа ДРЛ (без замены ПРА в уличных и промышленных светильниках)
 S_M – с исправленной цветностью излучения
 S_H – с высоким R_a
 S_T – с двумя автономными горелками
 В обозначения НЛВД дополнительно вносятся (после мощности):
 L – напряжение на лампе $< 70 \text{ В}$;
 H – напряжение на лампе $70-180 \text{ В}$;
 E – напряжение на лампе $> 180 \text{ В}$;
 /E – лампы с внешним ЗУ;
 /I – лампы со встроенным ЗУ;
 /S – лампы с внешним ЗУ и повышенным пусковым напряжением

ПРИМЕРЫ ОБОЗНАЧЕНИЙ

- ST-150-H/E-E40-53/211 – НЛВД в цилиндрической бесцветной колбе, 150 Вт, $U_{\text{л}} = 100 \text{ В}$, внешнее ЗУ,
 сокращенное: ST-150 цоколь E40, диаметр 53 мм, длина 211 мм
 SEM-70-H/E-E27-70/156 – НЛВД в эллипсоидной колбе со светорассеивающим покрытием,
 сокращенное: SEM-70 с исправленной цветностью, 70 Вт, $U_{\text{л}} = 90 \text{ В}$, внешнее ЗУ, цоколь E27, диаметр 70 мм, длина 156 мм
 SEQ-210-H-E40-91/227 – НЛВД в эллипсоидной светорассеивающей колбе, для замены ламп типа ДРЛ
 сокращенное: SEQ-210 в функционирующих светильниках, 210 Вт, $U_{\text{л}} = 100 \text{ В}$, цоколь E40, диаметр 91 мм, длина 227 мм

L НАТРИЕВЫЕ ЛАМПЫ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ (НЛНД)

- LS – 1-цокольные (с U-образной горелкой)
 LD – 2-цокольные (с линейной горелкой)
 LSE – 1-цокольные типа «Е» (для включения с гибридным ПРА)

ПРИМЕР ОБОЗНАЧЕНИЯ

- LS-90-BY22d-68/528 – НЛНД с U-образной горелкой, 90 Вт, цоколь BY22d, диаметр колбы 68 мм, длина лампы 528 мм

Q РТУТНЫЕ ЛАМПЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ (РтЛВД)

- QT – в цилиндрической бесцветной колбе
 QE – в эллипсоидной колбе с люминофором
 QC – в эллипсоидной бесцветной колбе
 QG – в сферической колбе с люминофором
 QR – с внутренним отражающим слоем
 QB – со встроенным балластом
 QBR – со встроенным балластом и внутренним отражающим слоем

ПРИМЕРЫ ОБОЗНАЧЕНИЙ

- QE-125-H-E27-76/178 – РтЛВД в эллипсоидной колбе с люминофором, 125 Вт, $U_{\text{л}} = 125$ В (H),
 сокращенное: QE-125 цоколь E27, диаметр 76 мм, длина лампы 178 мм
 QE-700-E-E40-152/357 – РтЛВД в эллипсоидной колбе, с люминофором, 700 Вт, $U_{\text{л}} = 140$ В (E),
 сокращенное: QE-700 цоколь E40, диаметр колбы 152 мм, длина лампы 357 мм

M МЕТАЛЛОГАЛОГЕННЫЕ ЛАМПЫ (МГЛ)

- MT – в бесцветной цилиндрической внешней колбе
 ME – в эллипсоидной колбе с люминофором или в колбе типа «BT»
 MC – в бесцветной эллипсоидной колбе или в колбе типа «BT»
 MR – с внутренним отражающим слоем
 MD – 2-цокольная («софитная») во внешней колбе
 MN – 2-цокольная («софитная») без внешней колбы

ПРИМЕРЫ ОБОЗНАЧЕНИЙ

- MT-70/30/1B-H-G12-26/76 – МГЛ в бесцветной цилиндрической колбе, 70 Вт, $T_{\text{цв}} = 3000$ К (30),
 сокращенное: MT-70/30 $R_a = 80-89$ (класс цветопередачи), $U_{\text{л}} > 70$ В, цоколь G12, диаметр колбы 26 мм, длина лампы 76 мм
 MD-150/42/1B-H-Rx7s=24/25/132/H – МГЛ 2-цокольная, с внешней колбой, 150 Вт, $T_{\text{цв}} = 4200$ К,
 сокращенное: MD-150 $R_a = 80-89$, $U_{\text{л}} \geq 100$ В, цоколь Rx7s=24, диаметр колбы 25 мм, номинальное расстояние между цоколями 132 мм, для горизонтального положения горелки (/H)
 ME-400-H-E40-122/292-NQG – МГЛ в эллипсоидной колбе с люминофором, 400 Вт, $U_{\text{л}} > 180$ В, цоколь E40, диаметр колбы 122 мм, длина лампы 292 мм, для работы с балластом лампы типа ДРЛ той же мощности

X СПЕЦИАЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

- XX – ксеноновые лампы ВД и СВД
 XIR – ИК-излучатели
 XUV – УФ-излучатели
 XFD – ЛЛ со специальным спектром излучения (например, бактерицидного, эритемного действия)

СПИСОК ОБЩИХ СОКРАЩЕНИЙ

АВР	– автоматический ввод резерва	МЭК	– Международная электротехническая комиссия
АЗ	– административные здания	НЛВД	– натриевая лампа высокого давления
АО	– аварийное освещение	НЛНД	– натриевая лампа низкого давления
АЭО	– аварийное и эвакуационное освещение	НО	– наружное освещение
ВАХ	– вольт-амперная характеристика	ОЗ	– общественное здание
ВРУ	– вводно-распределительное устройство	ОИ	– оптическое излучение
ВЧ	– высокая частота	ОП	– осветительный прибор
ГЛН	– галогенная лампа накаливания	ОСУ	– облучательная светотехническая установка
ГЛНН	– галогенные лампы низкого напряжения	ОУ	– осветительная установка
ГРЩ	– главный распределительный щит	ПИБРЭ	– Правила изготовления взрывозащищенного и рудничного электрооборудования
DALI	– система Digital Adressable Lighting Interface	ПК	– персональный компьютер
ДКсТ	– дуговая ксеноновая трубчатая лампа	ПММА	– полиметилметакрилат (оргстекло)
ДРЛ	– дуговая ртутная люминесцентная лампа (с исправленной цветностью)	ПС	– полистирол
ЗР	– зрительная работоспособность	ПТ	– производительность труда
ИЗУ	– импульсное зажигающее устройство	ПУЭ	– Правила устройства электроустановок
ИК	– инфракрасное (излучение)	ПЭТФ	– полиэтилентерефталат
ИЛ	– импульсная лампа	РЛ	– разрядная лампа
ИС	– источник света	РЛВД	– разрядная лампа высокого давления
ИСО	– международная организация по стандартизации	РЛНД	– разрядная лампа низкого давления
КЕО	– коэффициент естественной освещенности	РЛСВД	– разрядная лампа сверхвысокого давления
КЛЛ	– компактные люминесцентные лампы	СанПиН	– санитарные нормы и правила
КОУ	– комплектное осветительное устройство со щелевым световодом	СД	– светодиод
КПД	– коэффициент полезного действия	СН	– строительные нормы
КСС	– кривая силы света	СП	– световой прибор
КТП	– комплектная трансформаторная подстанция	ТП	– трансформаторная подстанция
ЛВЖ	– легковоспламеняемая жидкость	ТЭР	– технико-экономический расчет
ЛЛ	– люминесцентная лампа	УЗО	– устройство защитного отключения
ЛН	– лампа накаливания	УФ	– ультрафиолетовое (излучение)
МГЛ	– металлогалогенная лампа	ЭВМ	– электронная вычислительная машина
МГСН	– Московские городские строительные нормы	ЭЛП	– электролюминесцентная панель
МКО	– Международная комиссия по освещению	ЭмПРА	– электромагнитный пускорегулирующий аппарат
МО	– местное освещение	ЭО	– эвакуационное освещение
		ЭПРА	– электронный пускорегулирующий аппарат
		ЭУ	– электроустановочное устройство
		ЭЭ	– электроэнергия

СПИСОК ОСНОВНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. «Справочная книга по светотехнике». Под ред. Ю.Б. Айзенберга. М.: Энергоатомиздат. 1995.
1. *Гершун А.А.* Избранные труды по фотометрии и светотехнике. М. Физматгиз. 1958.
2. *Кравков С.В.* Глаз и его работа. М.-Л.: Изд-во АН СССР. 1950.
3. *Майзель С.О.* Трансформация лучистой энергии в сетчатке человеческого глаза. М.-Л.: Госэнергоиздат. 1963.
4. *Мешков В.В.* Осветительные установки. М.-Л.: Госэнергоиздат. 1947.
5. *Мешков В.В.* Основы светотехники. Ч. 1. М.: Энергия. 1979.
6. *Мешков В.В., Матвеев А.Б.* Основы светотехники. Ч. 2. М.: Энергоатомиздат. 1989.
7. *Гуревич М.М.* Введение в фотометрию. М.: Энергия. 1968.
8. *Сапожников Р.А.* Теоретическая фотометрия. М.: Энергия. 1977.
9. *Тиходеев П.М.* Световые измерения в светотехнике. М.-Л.: Госэнергоиздат. 1962.
10. *Волькенштейн А.А.* Визуальная фотометрия малых яркостей. М.: Энергия. 1965.
11. *Мешков В.В., Епанешников М.М.* Осветительные установки. М.: Энергия. 1972.
12. *Епанешников М.М.* Электрическое освещение. М.: Энергия. 1973.
13. *Кнорринг Г.М.* Светотехнические расчеты в установках искусственного освещения. Л.: Энергия. 1973.
14. *Гуторов М.М.* Основы светотехники и источники света. М.: Энергия. 1968.
15. *Волоцкой Н.В., Кнорринг Г.М., Рябов М.С., Шайкевич А.С.* Электрическое освещение производственных и гражданских зданий. М.: Энергия. 1964.
16. *Шайкевич А.С.* Качество промышленного освещения и пути его повышения. М.-Л.: Госэнергоиздат. 1962.
17. *Рябов М.С., Циперман Л.А.* Электрическая часть осветительных установок. М.: Энергия. 1966.
18. *Клюев С.А.* Освещение производственных помещений. М.: Энергия. 1979.
19. *Дудиомов М.С.* Проекторное освещение. М.-Л.: Госэнергоиздат. 1978.
20. *Лурье М.Г., Райцельский Л.А., Циперман Л.А.* Устройство, монтаж и эксплуатация осветительных установок. М.: Энергия. 1976.
21. *Гусев Н.М., Макаревич В.Г.* Световая архитектура. М.: Стройиздат. 1973.
22. *Гусев В.М.* Естественное освещение зданий. М.: Госстройиздат. 1961.
23. Справочник по осветительной технике. Под ред. Л.Д. Белькинда. М.: ОНТИ. Главная редакция энергетической лит., 1935.
24. Справочная книга по светотехнике. Под ред. В.С. Кулебакина. М.: Изд-во АН СССР. Т. I. 1956. Т. II. 1958.
25. Справочная книга для проектирования электрического освещения. Под ред. Г.М. Кнорринга. Л.: Энергия. 1976.
26. Международный светотехнический словарь. 4-е изд. 1987.
27. Импульсные источники света. Под ред. И.С. Маршака. М.: Энергия. 1978.
28. *Рохлин Г.Н.* Разрядные источники света. М.: Энергоатомиздат. 1991.
28. *Рохлин Г.Н.* Разрядные источники света. М.: Энергоатомиздат. 1991.
29. *Литвинов В.С., Рохлин Г.Н.* Тепловые источники оптического излучения. М.: Энергия. 1975.
30. *Уэймаус Д.* Газоразрядные лампы. М.: Энергия. 1977.
31. Ртутные лампы высокого давления. М.: Энергия. 1971.
32. *Штурм Г.К.* Пускорегулирующая аппаратура и схемы включения люминесцентных ламп. М.: Изд-во иностр. лит., 1961.
33. *Штурм Г.К.* Пускорегулирующая аппаратура и схемы включения люминесцентных ламп. М.: Изд-во иностранной лит. 1961.
33. *Фугенфиров М.И.* Электрические схемы с газоразрядными лампами. М.: Энергия. 1974.
34. *Скобелев В.М., Афанасьева Е.И.* Источники света и пускорегулирующая аппаратура. М.: Энергия. 1973.
35. *Скобелев В.М., Афанасьева Е.И.* Источники света и пускорегулирующая аппаратура. М.: Энергоатомиздат. 1986.
35. *Карякин Н.А.* Световые приборы прожекторного и проекторного типов. М.: Высшая школа. 1966.
36. *Карякин Н.А.* Световые приборы. М.: Высшая школа. 1975.
37. *Трембач В.В.* Световые приборы. М.: Высшая школа. 1972.
38. *Жилинский Ю.М., Свенцицкий И.Н.* Сельскохозяйственная светотехника. М.: Колос. 1972.
39. *Айзенберг Ю.Б.* Световые приборы. М.: Энергия. 1980.
40. *Айзенберг Ю.Б.* Основы конструирования световых приборов. М.: Энергоатомиздат. 1996.
41. *Долгополов В.И.* Светотехнические материалы. М.: Энергия. 1972.

42. Мельников Ю.Ф. Светотехнические материалы. М.: Высшая школа. 1976.
43. Розенталь Э.С. Электроустановочные изделия. М.: Энергия. 1975.
44. СНиП 23-05-95*. Естественное и искусственное освещение. Строительные нормы и правила. Светотехника. 2003. № 2.
45. Правила устройства электроустановок (ПУЭ-80). Разд. 6, 7. Электрическое освещение. 2002. С.-П. ДЕАН.
46. ГОСТ 15049-81. Лампы электрические. Термины и определения.
47. ГОСТ 2239-79. Лампы накаливания электрические общего назначения. Технические условия.
48. ГОСТ 6825-91. Лампы люминесцентные трубчатые для общего освещения.
49. ГОСТ 27682-88. Лампы ртутные высокого давления.
50. ГОСТ 14254-69. Оболочки. Степени защиты.
51. ГОСТ 17677-82. Светильники. Общие технические условия.
52. ГОСТ 16703-79. Приборы световые. Термины и определения.
53. Правила изготовления взрывозащищенного и рудничного электрооборудования. М.: Энергия. 1969.
54. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. М.: Атомиздат. 1972.
55. Указания по проектированию и эксплуатации установок искусственного ультрафиолетового облучения на промышленных предприятиях. Инструктивные указания по проектированию электротехнических промышленных установок. Тяжпромэлектропроект. 1975. № 6.
56. МГСН 2.06-99. Естественное, искусственное и совмещенное освещение. Москва. 1999.
57. Пособие к МГСН 2.06-99. Расчет и проектирование искусственного освещения помещений общественных зданий. Москомархитектура. 1999.
58. МГСН 2.01-99. Энергосбережение в зданиях. Нормативы по теплозащите и тепловодоэнергоснабжению. Москва. 1999.
59. ВСН 59-88. Электрооборудование жилых и общественных зданий. Нормы проектирования. Светотехника. 1989. № 6. № 7.
60. Профилактическое ультрафиолетовое облучение людей (с применением искусственных источников ультрафиолетового излучения). Методические указания. Светотехника. 1989. № 5. Указания по проектированию, расчету и эксплуатации фотариев. Светотехника. 1989. № 9. Указания по проектированию и расчету ультрафиолетовых облучательных установок длительного действия. Светотехника. 1989. № 11.
61. Луизов А.В. Глаз и свет. Л.: Энергоатомиздат. 1983.
62. Гуревич М.М. Фотометрия (теория, методы, приборы). Л.: Энергоатомиздат. 1983.
63. Глезер В.Д. Зрение и мышление. Л.: Наука. 1985.
64. Тимофеев Ю.П., Фридман С.А., Фок М.В. Преобразование света. М.: Наука. 1985.
65. Денисов В.П., Мельников Ю.Ф. Технология и оборудование производства электрических источников света. М.: Энергоатомиздат. 1983.
66. Пляскин П.В., Федоров В.В., Буханов Ю.А. Основы конструирования электрических источников света. М.: Энергоатомиздат. 1983.
67. Литвинов В.С. Оптимизация источников света массового применения. М.: Энергоатомиздат. 1990.
68. Федоров В.В. Люминесцентные лампы. М.: Энергоатомиздат. 1991.
69. Краснопольский А.Е., Соколов В.Б., Троицкий А.М. Пускорегулирующие аппараты для разрядных ламп. М.: Энергоатомиздат. 1988.
69. Краснопольский А.Е., Соколов В.Б., Троицкий А.М. Пускорегулирующие аппараты для разрядных ламп. М.: Энергоатомиздат. 1988.
70. Розенталь Э.С. Электроустановочные устройства. М.: Энергоатомиздат. 1987.
71. Кроть Ц.И., Мясоедова Е.И., Терешкевич С.Г. Качество промышленного освещения. М.: Энергоатомиздат. 1990.
73. Оболенский Н.В. Архитектура и солнце. М.: Стройиздат. 1988.
73. Левитин К.М. Эффективность освещения и световой сигнализации автодорожных средств. М.: Энергоатомиздат. 1990.
74. Тищенко Г.А. Осветительные установки. М.: Высшая школа. 1984.
75. Лямцов А.К., Тищенко Г.А. Электроосветительные и облучательные установки. М.: Колос. 1983.
76. Пособие по расчету и проектированию естественного, искусственного и совмещенного освещения (к СНиП 11-4-79). НИИСФ. М. Стройиздат. 1985.
77. Сарычев Г.С. Облучательные светотехнические установки. М.: Энергоатомиздат. 1992.
78. Козлов В.Н. Технология производства световых приборов. М.: Энергоатомиздат. 1990.
79. СанПиН 2.2.1/21.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий. М. Министерство здравоохранения Российской Федерации. 2003.
80. СНиП 31.05-2003. Общественные здания общего назначения.
81. СН245-71. Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий.
82. DIN EN 12464-1/2003. Свет и освещение. Освещение рабочих мест.
83. ISO 8995/CIE S 008/E2001 «Lighting of indoor work places». Стандарт по внутреннему освещению.
84. Справочная книга по светотехнике. Под ред. Ю.Б. Айзенберга. — 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат. 1995.
85. IESNA, Lighting Handbook, 9-th Edition, N-J, 2000.
86. ГОСТ 24940-96. Межгосударственный стандарт. Здания и сооружения. Методы измерения освещенности. М.: ГУП ЦПП. 1977.
87. ГОСТ 26824-86. Здания и сооружения. Методы измерения яркости. М.: Изд-во стандартов. 1986.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Абсорбер 856
Автоматически регулируемое совмещенное освещение 832, 846
Автотранспортный туннель (АТ) 689
Адаптация 744
– световая 31
– темновая 30
– циркадная 744
Адиспаропия 34, 300
Аккумулирование тепла 853
Актиничная доза облучения 752
Актинометрическая станция 821
Акустический резонанс 216
Альbedo
– моря 915
– подстилающей поверхности 821
Амальгама 129, 137
Аппарат защиты 371
Арматура осветительная 245
Архитектурное освещение (АО) 538
– – водоемов 569
– – заливающее 539
– – иллюминационное 543
– – колоннад 553
– – контурное 543
– – кровли 553
– – культовых сооружений 557
– – ландшафтное 544
– – локальное 541
– – многогранных объектов 556
– – монументов 561
– – мостов 557
– – силуэтное 543
– – скульптур 561
– – фасадов зданий и сооружений 553
– – фонтанов 569
– – цилиндрических объектов 555
Архитектурный облик здания 852
Атриум 825
Аттестация рабочих мест (АРМ) 447
Ахроматический колер 846
Аэрация 824, 840

Б

Бакт 29
Бактерицидная доза излучения 740
Бактерицидное воздействие 848
Беспереплетное остекление 847
Биспираль 96, 119
Блеск 33
Блескость 350
– дискомфортная 350
– слепящая 350
– отраженная 296, 306
Близорукость учащихся 896
Бортовое светосигнальное оборудование (БСО) 800
Быстрота
– обнаружения 318
– различения 33

В

Вводно-распределительное устройство (ВРУ) 371, 406
Вводное устройство (инжектор) световодов 273, 274, 281
– одностороннее 273, 274
– двухстороннее 273, 274
Вектор
– световой 30, 309
– телесного угла 30
– цвета 69
Вероятность зрительного обнаружения 290, 320
Взрывоопасная зона 481
Взрывозащищенный СП 258
– – повышенной надежности против взрыва 258
– – взрывонепроницаемый 258
– – особо взрывобезопасный 258
Видимость 288, 290, 300, 320
Визуальная маркировка пути 680
Визуальный контроль 506
Вит 29
Витамин D 738
Витражная конструкция 829
Воздействие эритемное 848
Воздушная линия 390
Воздушный замок 856

- Восприятие
 – скульптуры 847
 – экспонатов 847
 Воспроизводимость результатов измерений 38
 Время запаздывания 174, 175
 Вуалирующая пелена 31
 Выставочная зона 847
 Высшие гармоники 204
- Г**
- Галогенный цикл 107, 108
 Галофосфат кальция (ГФК) 121
 Гармонизация 775
 Гелиостат 859
 Геометрический КЕО 835
 Герпес 737
 Гетроструктура 180
 Гигиеническое нормирование 895
 Главный абонент здания 376
 Глаз человека 895
 Годовое число использования максимума осветитель-
 ной нагрузки 423
 Головка светодиодная 770
 Голографический оптический элемент 855
 Гониофотометр 47
 Горелка 139, 142, 146, 148, 161
 Государственный реестр средств измерений 37
 Градиент потенциала 116
 Градуировка 36
 Группа твердости светотехнических материалов 263
 Группы административных районов по ресурсам свето-
 вого климата 833
 Групповая линия 380
 – сеть 371
- Д**
- Дальнозоркость старческая 897
 Дальность видимости светового сигнала 769
 Датчики движения 589
 Датчик
 – освещенности 227
 – присутствия 228
 Д-витаминизация 894
 Двойная переадаптация 832
 Декоративная опора 545
 Денатурация световой среды 890
 Диапазон измерений СИ 36
 Диод светоизлучающий (светодиод) 65, 89, 180
 Диоксид углерода 874, 882
 Дискомфорт 31, 304
 Диссектор изображения 907
 Диффузор 858
 Длина волны 67
 – – доминантная 67
- – центральная 67
 – – центроидная 67
 Длительность импульса 28
 Доза облучения 740
 Долговечность СП 262
- Е**
- Единство измерений 35
 Естественное освещение 820
 – – гигиеническая роль 820
 – – измерение 821
 – – оценка систем 862
 – – расчет 835
 – – световое поле 854
 – – системы 820, 823
 – – спектр 820
 – – энергетическая роль 820
- Ж**
- Жалюзи 852
 Желтое вещество 903
 Желтуха 741
 Жесткие поперечины контактной сети 762
 Жилые помещения 846
- З**
- Заградительный огонь 418
 Загрязненность 839
 Закон Брюстера 27
 – Грассмана 69
 – квадратов расстояний 41, 337
 – косинусного изменения освещенности 41
 – Планка 87
 – смещения цветов 69
 – Тальбота 33, 44
 Здание
 – административное 581
 – общественное 581
 Заземлитель
 – искусственный 401
 – естественный 401
 Зажигание разряда 116
 Зазор воздушный 235
 Заселенность инверсная 191
 Затенение рабочей поверхности 465
 Затраты годовые приведенные 440
 Защита
 – осветительной сети 395
 – от инсоляции 839
 – сетей наружного освещения 656
 Защитная оболочка 130, 131
 Защитное стекло светильника НО 670
 Здоровье 888
 Зенитное расстояние 822

Зенитные фонари 821, 824, 830
 — — ленточные 824, 840
 — — панельные 824
 — — точечные 824
 Знак безопасности 428
 Зона расположения ОП 466
 Зона холодная 137, 169
 Зоны
 — с боковым освещением 834
 — с верхним освещением 834
 Зрительная индукция 31
 — задачи в ОЗ 581
 — инерция 33
 — поиск 511
 — работа 465, 507
 — работоспособность 32, 288, 290, 299, 898
 — связь 846
 — утомление 296, 300

И

Излучение (радиация) 21
 — видимое 21
 — вынужденное 189
 — инфракрасное 21
 — когерентное 90, 190
 — монохроматическое 21
 — непрерывное 117
 — нерезонансное 117
 — оптическое 21, 38, 89
 — резонансное 116, 121, 154
 — спонтанное 89, 90, 190
 — ультрафиолетовое 21
 Излучательная способность 87
 Излучатель
 — светлый 709
 — темный 709
 Изменение зрения возрастное 897
 Измерения КЕО 848
 Измерение
 — абсолютное 56
 — интегральное 56, 81
 — относительное 56
 — спектральное 56, 81
 Измерительная головка 39, 48
 — прибор 37, 58
 — установка 37
 Измерительный преобразователь 37
 — — первичный 37
 Импульсное зажигающее устройство 208
 — — параллельного поджига 209
 — — последовательного поджига 209
 — — с балластным дросселем в качестве импульсного трансформатора 209
 — — основные параметры 209
 Изоляция температур 854

Изолированная нейтраль 401
 Иллюминатор 907
 Имитация солнечного излучения 717
 Импульс зажигания 174
 Импульсные сигнальные огни 805
 Инвертор 213
 Индекс 342
 — — позиции по Гуту 349
 — — помещения 342
 — — позиции 304
 — — цветопередачи 79, 90, 92
 — — цветопередачи, общий 298, 307
 Индикатриса 26
 Инженерный расчет КЕО 839
 Инсографик 853
 Инсоляция 848, 850, 898
 Интегрирующая сфера 47, 59
 Интерфейс 231
 Интерферометр Сисам 83
 — Фурье-спектрометр 83
 Источник
 — излучения 54, 57, 58, 73
 — питания 370
 Источники света
 — фонарей 793
 — фар 785

К

Кабель телефонный 388
 — бронированный 388
 — контрольный 388
 — небронированный 388
 Кабельная линия 389
 Калибровка 36
 Камера 344
 Камера-обскура 854
 Канава смотровая 771
 Кандела 24
 Катаракта 737
 Катафот (световозвращатель) 270
 Категория загрязнения среды 444
 — размещения СП 261
 Катод оксидный 121
 Катодное пятно 121
 Квантовое отношение 122
 Квантовый выход 121, 182
 Класс защиты от поражения электрическим током 256
 Класс условий труда 448
 Класс СП по светораспределению 252
 — — — прямого света 252
 — — — преимущественно прямого света 252
 — — — рассеянного света 252
 — — — преимущественно отраженного света 252
 — — — отраженного света 252
 Классификация СП 245–248
 Клаустрофобия 820
 Климатическое исполнение СП 246, 261

- Козырек 770
 Колбочки 888
 Колодки клеммные 234, 242
 Колонна световая 857
 Колориметр 75, 76, 77
 Колориметрия 39, 69
 Кольцевая угловая координата 851
 Компаратор 37
 Компенсатор давления 910
 Компенсация
 – реактивной мощности 210
 – параллельная 210
 – последовательная 210
 – УФ недостаточности 418
 Комплексная конденсаторная установка 406
 Комплексное нормирование освещения 299, 306
 Комплексный показатель 299
 Конструктивно-светотехническая схема ОП 457
 Контраст 831
 – объекта различения 289
 Контрастность изображения 450
 Контроллер 227, 230
 Контрольный участок 683
 Конхоиды 836
 Концепция АО объекта 538
 Координаты
 – цветности 70, 74
 – цвета 70
 Корректор коэффициента мощности 213, 217
 – фар 792
 Коррозионная стойкость материалов 267
 Кососвет 457
 Коэффициент
 – вариации 352
 – геометрической схемы измерения 53, 55
 – диффузного отражения 54
 – – пропускания 54
 – естественной освещенности 289, 325
 – живучести ламп (Lamp Survival Factor, LSF) 442, 445
 – запаса 289, 294, 329
 – затенения 509
 – зеркального отражения 53
 – контрастности 695
 – минимальной освещенности 344
 – мощности 204, 213, 217, 398
 – направленного пропускания 53
 – неравномерности 351
 – ослепленности 31, 296, 323
 – отражения 53
 – – облицовочных материалов 549
 – – рабочей поверхности 291
 – передачи контраста 296
 – – – воды 908
 – периферийного освещения 680
 – повышения температуры 264
 – поглощения 54
 – полезного действия 438, 439
 – полезного действия СП 263
 – продольной равномерности 679
 – пропускания 53
 – – глазных сред 455
 – пульсации 348
 – – освещенности 298, 306
 – общей равномерности 679
 – светового климата 833
 – снижения светового потока ламп 438, 442, 445
 – спроса 367
 – угловой 340
 – усиления силы света 250
 – формы КСС 252
 – эксплуатации осветительной установки (Maintenance Factor, MF) 294, 442, 445
 – энергетической яркости 54
 – яркости 22, 54, 677
 – – дорожных покрытий 315
 Красное отношение 90, 139, 141, 143
 Кривая силы света (КСС) 24, 249
 Критерий отказа осветительной установки 438
 Критическая частота слияния мельканий 33
 Крюитгофа номограмма 307
- Л**
- Лазер газовый 192, 194
 – жидкостной 197
 – плазменный 194
 – полупроводниковый 196
 – твердотельный 195
 Лазерная глассадная система 814
 Ламинирование 827
 Лампа безэлектродная 92, 115, 120, 165, 169
 – вспомогательная 62
 – высокого давления 113, 115, 118, 138
 – высокой интенсивности 91, 113, 162, 165
 – зеркальная 104, 106, 131
 – импульсная 92, 113, 115, 170
 – люминесцентная 91, 165
 – – компактная 91, 92, 131
 – – прямая 91, 120
 – – фигурная 120
 – металлогалогенная 92, 144
 – накаливания 94
 – – галогенная 107
 – натриевая высокого давления 92, 156
 – – низкого давления 154
 – неоновая 187
 – низкого давления 113, 115, 120
 – разрядная 91, 113
 – – капиллярная 115, 138
 – – трубчатая 115, 138, 162
 – – шаровая 115, 143, 163

- рефлекторная 91, 131, 161
 - ртутно-вольфрамовая 142
 - ртутная высокого давления 138
 - – с исправленной цветностью 91, 115, 139
 - – сверхвысокого давления 115, 143
 - спектральная 92, 186
 - тлеющего свечения 92, 115, 185
 - цветная 129, 151
 - фара 92, 106, 112
 - Ландшафтный офис 840
 - Линза-рассеиватель 770
 - Лоджия 847
 - Лучистая энергия 39
 - Люкс 25
 - Люксметр 41, 48
 - Люмен 24
 - Люмен-метод 836
 - Люминесценция 89
 - Люминофор
 - ламповый 89, 117, 121, 122
 - узкополосный 122
- М**
- Малые световые формы 547
 - Маркировка ламп 98, 108, 122
 - Математические модели 217
 - Материалы светоотражающие 268
 - светопреломляющие 269
 - Международные методы оценки дискомфорта 304
 - – качества цветопередачи 308
 - нормы освещения 288
 - требования к эксплуатации 442
 - Международная организация по стандартизации (ISO) 35
 - Меланома 737
 - Мера физической величины 37
 - Места установки знаков безопасности 429
 - Метамеризм 69
 - Метод
 - излучательности 332, 346
 - измерений 37
 - – дифференциальный 37
 - – замещением 38, 59, 60
 - коэффициента использования 341
 - непосредственной оценки 37
 - нулевой 37
 - сравнения с мерой 37
 - точечный 337
 - трассировки лучей 332, 347
 - Методы освещения 638
 - УФ обеззараживания 756
 - Метрология 35
 - законодательная 35
 - практическая (прикладная) 35
 - теоретическая 35

- Механическая безопасность СП 250
- Механические воздействия на СП 250
 - требования к светильникам НО 683
- Микроклимат 840
- Моделирование АО 547
 - натурное 547
 - компьютерное 547
- Модель черного тела 85, 86
- Молирование 827
- Монотонность световой среды 831
- Монохроматор 81
- Монтаж, наладка и эксплуатация ОУ 648
- Монтажно-эксплуатационные характеристики СП 265

Н

- Нагрузка осветительная 367
- Накачка лазера 190
- Напряжение
 - зажигания 90, 115
 - осветительной сети 368
 - шага 401
- Насадка оптическая 283
- Насыщенность светом помещения 839
 - цвета 548
- Небосвод
 - искусственный 848
 - конхoidalный 836
 - пасмурный 821
- Нейтроанатомия и свет
- Неравномерность распределения
 - освещенности 297, 635
 - яркости 298
- Нормативные материалы по проектированию 412
- Нормы освещения АЗ 294
 - библиотек и архивов 618
 - ЛПУ 600
 - наружного освещения 653
 - предприятий торговли 621
 - спортивных сооружений 629
 - школ и дошкольных учреждений 610
- Нормирование
 - естественного освещения 898
 - совмещенного освещения 899
- Нормирование освещения 288
 - жилых зданий 310
 - наружного утилитарного 313
 - общего 288, 323
 - общественных зданий 300
 - отраслевое 294
 - промышленных зданий 289
- Нормативы на светораспределение
 - – основных фар 776
 - – сигнальных фонарей 776
 - – противотуманных огней 779

О

- Облачность десятибалльная 848
- Облучательная светотехническая установка (ОСУ) 708
 - — — фотофизического действия 708
 - — — сушки 711
 - — — ИК нагрева 718
 - — — фотохимического действия 719
 - — — фотобиологического действия 728
 - — — для растений 729
 - — — для сельскохозяйственных животноводческих применений 744
 - — — профилактического УФ облучения 738
 - — — бактерицидного действия 751
- Облучательный прибор 746
- Облучение
 - эритемное 418
 - бактерицидное 893
 - ультрафиолетовое 893
- Облученность 25
- Обозначение ламп 98, 108, 122, 147, 155
- Оболочка защитная 131
- Обслуживание осветительной установки 440, 443
- Объект различения 289, 319, 855
- Огонь
 - высокой интенсивности 805
 - аэронавигационный 805
 - малой интенсивности 805
 - предупреждения столкновений 805
 - осевой 802
 - заградительный 811
- Оконная конструкция 828
- Омологация 775
- Опоры
 - контактной сети 763
 - наружного освещения 698
- Оптическая система светильника НО 684
- Оптическое изображение размытое 854
- Организация проектирования 412
- Осветительная установка 288
 - — локомотива 767
 - средства 637
- Освещение
 - аварийное 413, 425, 899
 - акцентирующее 309
 - баскетбольных площадок 631
 - велотреков 631
 - гардинное 831, 843
 - глобальное 332, 344
 - дежурное 414
 - динамичное 310
 - дискретное 832
 - железнодорожных станций 762
 - комбинированное 292, 840
 - локальное 343
 - лыжных трамплинов и горнолыжных трасс 631
 - междупутей 672
 - местное 292, 310, 848
 - микрорайонов 661
 - наземных переходов 660
 - ночное 533
 - объектов стрелкового спорта 631
 - открытых бассейнов 631
 - охранное 413, 416
 - парков, скверов, бульваров 662
 - пассажирских вагонов и салонов электро- и дизель-поездов 767
 - платформ 766
 - пересездов 766
 - переносное 486
 - пересечений в разных уровнях 661
 - — и закруглений 657
 - площадок для волейбола и бадминтона 631
 - подземных пешеходных переходов 661
 - проектирование 839
 - производственных помещений объектов железнодорожного транспорта 770
 - путей и горловин 764
 - рабочее 413
 - резервное 427
 - для передач цветного телевидения 630
 - столов для настольного тенниса 631
 - схемы 661
 - теннисных кортов 631
 - территорий путевого развития станций 763
 - тревожное 533
 - футбольных стадионов 631
 - хоккейных полей 631
 - эвакуационное 413, 425
- Освещенность 22, 40
 - критическая 822
 - направленная 855
 - плоскости 289, 300, 302
 - полусферическая 30
 - полуцилиндрическая 320, 682
 - пространственная 29, 854
 - рассеянная 821
 - сферическая 30, 303, 309
 - цилиндрическая 30, 289, 303, 311, 340
 - эксплуатационная 438, 442
 - энергетическая 81
- Ослепление 781
- Ослепленность 31
- Отказ СП 262
- Относительная спектральная световая эффективность 40
- Отражатель
 - параболоидный 782
 - сложный 784
 - со свободной поверхностью 782
 - эллипсоидный 782

Отражение 26
 – диффузное 53
 – зеркальное 53
 – изотропное 53
 – смешанное 53

П

Палочки 888
 Панель
 – светодиодная 184
 – электролюминесцентная 187
 Пантограф 771
 Патрон 233
 Период перегрева 853
 Пирозлектрические преобразователи 81
 Плазма 116
 Пленки призматические (материалы) 269
 Площадки для контейнеров и тяжеловесных грузов 766
 Погрешность результата измерений 36, 38
 Поверка 36
 Поверочная схема 36
 – – государственная 36
 – – локальная 36
 Подвеска тросовая ОП 763
 Подвесной потолок 521, 590
 Подложка 184
 Пожарная безопасность СП 257
 Показатель
 – блескости, обобщенный UGR 296, 304, 350
 – дискомфорта 303, 350
 – комплексный 299
 – ослепленности 31, 296, 323, 349
 – преломления 25, 64
 – психологический 890
 – сферы относительный 60
 – физиологический 890
 – энергетической яркости 54
 – яркости 54
 Покрытие
 – мягкое 826
 – светопрозрачное 830
 – твердое 826
 Поликарбонат 828
 Полихроматор 82
 Полное внутреннее отражение 269
 Положение горения 137, 147, 164
 Полупроводник
 – типа «n» 180
 – типа «p» 180
 Поляризация излучения 56
 Поперечный профиль улиц 654
 Пороговый контраст 290, 320
 Портал осветительный 763
 Поток излучения 21, 39, 80
 – витальный 28

Пускорегулирующий аппарат 202
 – – бесстартерный 207
 – – высокочастотный 213, 216
 – – импульсный 216
 – – классификация 202
 – – конструктивный расчет 218
 – – мгновенного зажигания 207
 – – низкочастотный с прямоугольной формой выходного тока 216
 – – проектирование автоматизированное 219
 – – регулируемый 229
 – – с одноступенчатым преобразованием энергии 216
 – – система параметров 204
 – – стандарты 223–225
 – – стартерный 206
 – – универсальный 215
 – – электромагнитный 202, 205, 229
 – – электронный 202, 211, 229
 Правила УЭК ООН 775
 Предельно допустимые яркости ОП при работе с дисплеями 434
 Предельный угол 64
 Преломление излучения 25
 – полное внутреннее 26
 Прибор спектральный 82
 Приемник
 – скорректированный 48
 – излучения 854
 – образцовый 22
 – оптического излучения 708
 Призма измерительная 54
 Принцип
 – сохранения эффективной экспозиции естественного освещения 833
 – субъективной оценки приемлемости световой среды в помещении 835
 Приращение пороговой разности яркостей 349, 679
 Провода
 – плоские 391
 – самонесущие изолированные 391
 Программы энергосбережения 874
 Проектор 246
 – технологический 246
 – экранный 246
 Прожектор 245
 – акцентирующего освещения 246
 – для освещения направления движения 246
 – заливающего света 246
 – общего назначения 246
 – поисковый 246
 Прожекторные мачты 533
 Производительность труда 288, 299
 Прокладка сетей 590
 – – открытая 590
 – – скрытая 590

- питаящая 590
- распределительная 590
- Пропускание 26, 53
 - диффузное 53
 - изотропное 53
 - направленное 53
 - смешанное 53
- Психотерапевтические методы светотерапии 743
- Психофизиологическая оценка 300, 310
- Псориаз 740
- Пульсация светового потока 128, 140, 147, 154
- Пути утечки 235

Р

- Работа выхода 116
- Работоспособность зрительная 455
- Рабочее средство измерений 36
- Рабочий проект 411
- Радиометр 81
 - абсолютный 84
- Радиометрия 81
 - оптическая 39
- Радионавигационные системы посадки 802
- Радиопомехи 128, 204, 268
- Размер величины 35
- Размеры объектов различия 469
- Разрешающая способность сетчатки 897
- Разряд
 - дуговой 114
 - импульсный 114
 - тлеющий 114
- Распределительные сети наружного освещения 654
- Рассеиватель
 - оптические профили 785
 - материалы 785
- Расстояние
 - безопасного торможения (РБТ) 690
 - различения знаков безопасности 430
- Расчет проводов сети УНО 654
 - осветительной сети 391
- Расчетная нагрузка освещения 367
- Регламент по эксплуатации установок АО 570
- Регулятор
 - напряжения 228
 - трансформаторный 228
 - фазовый 228
 - широтно-импульсный 228, 230
 - яркости 807
- Редуцированный коэффициент яркости 677
- Режим
 - работ установок АО 539
 - дневной 690
 - ночной 692
- Резонансная схема 208
- Резонатор оптический 190

- Рендеринг 345
- Рефлексометр 848
- Рефлектометрия 40, 63, 80
- Рефрактометр Аббе 64

С

- Свет ближний 780
 - асимметричный 779
 - видимый 886
 - дальний 780
 - неба 835
 - солнечный 848
- Светильник 245
 - декоративный 248
 - для ориентирования 248
 - для экстремальных условий среды 248
 - комбинированного освещения 248
 - местного освещения 248
 - общего освещения 248
 - опорный 248
 - венчающий 248
 - консольный 248
 - напольный 248
 - настольный 248
 - переносной 248
 - автономный 248
 - головной 248
 - на стойке 248
 - на магнитном основании 248
 - ручной 248
 - сетевой 248
 - стационарный 248
 - встраиваемый 248
 - люстра 248
 - настенный 248
 - подвесной 248
 - потолочный 248
 - пристраиваемый 248
 - несимметричный 250
 - симметричный 250
 - холодного пучка 287
- Светимость 24
- Светлота 288
 - материала 551
- Световая графика 543
 - дымка 904
 - консоль 608
 - отдача 90, 91, 100, 122, 156
 - среда 288, 538
 - эффективность излучения 23
- Световая характеристика
 - окна 840
 - фонаря 840

- Световодные системы 830
- Световое голодание 891
 - загрязнение 883
 - ограждение 418
 - поле 29
- Световой дизайн 795
 - климат 821
 - поток 24
 - проем 862
 - режим 840
 - ресурс 821
 - шлюз 832
 - шок 832
 - эквивалент 821
 - экспозиция 52
 - энергия 40
- Световой прибор 245
 - с волоконной оптикой и светодиодами 797–799
- Световозвращатель (катафот) 272
- Световод 821, 825, 830, 855
 - гибкий волоконный 281
 - бокового свечения 282
 - многожильный 282
 - одножильный 282
 - торцевого свечения 282
 - зеркальный 275, 276, 839
 - плоский клиновидный 273
 - полый 273, 856
 - призматический 275
 - щелевой 273
- Световые комплексы
 - аэродромные 247
 - гирлянды 247
 - для транспортных средств 247
 - мнемосхемы 247
 - рекламно-информационные 247
 - светящие потолки 247
 - со светодиодами 247
- Светодиод (диод светоизлучающий) 89, 180
- Светоклиматические особенности 839
- Светоловушки 749
- Светонаправляющие полки 855
 - устройства 848, 855
- Светоприемный куполообразный узел 857
- Светопропускание 826
- Светораспределение 249
- Светосигнальные системы аэродромов 801
- Светотерапия 901
- Светотехнические мастерские-лаборатории 420
 - требования к светильникам НО 676
- Светофор 767
 - карликовый 768
 - линзовый 768
 - локомотивный 768
 - маттовый 768
 - прожекторный 768
- Сертификация 774
- Сетчатка 888
- Сеть осветительная 389
 - групповая 371
 - распределительная 371
 - питающая 371
- Сигнальный огонь 777
- Сила
 - излучения 24, 81
 - пиковая 52
 - света 24, 40, 41
 - средняя 52
 - усредненная 66
- Система
 - колориметрическая 70
 - подводная телевизионная 911
 - световых величин 23
 - светооптическая светодиодная 769
- Система освещения 294, 456
 - адаптивная 795
 - асимметричная 695
 - встречная 695
 - попутная 695
 - основная 781
 - поперечная 695
 - продольная 695
 - симметричная 695
 - общая 456
 - комбинированная 456
 - локализованная 473
- Система управления освещением 226
 - одноуровневая 227
 - двухуровневая 227
- Склонение 850
- Слепящее действие
 - отраженное 296
 - прямое 296, 304, 323
- Способ
 - поляризационной дискриминации 904
 - стробирования излучения 904
- Соединитель штепсельный 244
- Солнечная карта 850
- Солнечная радиация 826
- Солнцезащита 848
- Солнцезащитные пластинки 853
 - средства 846
 - устройства 839, 857
- Солярий 741
- Сопротивление изоляции 235
- Спад светового потока 122, 140, 158
- Спектр излучения ламп 126, 142, 145, 163, 169, 186
 - линейчатый 21, 89, 144
 - полосатый 21, 89
 - сплошной 21, 99

- Спектральный коэффициент
 — — отражения 27
 — — поглощения 27
 — — пропускания 27
 Спектральная плотность потока излучения 22
 — линия 62
 — полоса 66
 — чувствительность приемника 22
 Спектрометр многоканальный 82
 Спектрорадиометр 81
 Спектрорадиометрия 40, 80
 Спектрофотометрия 40
 Спорт 630
 — наземный 630
 — воздушный 630
 Способ освещения децентрализованный 762
 Способы установки светильников НО 695
 Среда прозрачная 52
 Средняя яркость дорожного покрытия 679
 Средства доступа к светильникам 437
 Средство измерений 36
 Срок службы ламп 90, 100, 443
 — — — полезный 90, 100
 — — — полный 90, 100
 Срок службы СП 262
 Стабилизация напряжения 400
 Стандартная геометрия МКО 66
 Стандартная модель ясного неба 822
 Стандартное излучение D65 МКО 915
 Стандартные источники 73
 Стартеродержатель 234
 Стационарная подводная аппаратура 911
 Стекло
 — закаленное 826
 — ламинированное 826
 — низкоэмиссионное 826
 — оконное 826
 — органическое 828
 — профильное 827
 — тонированное 853
 — фотохромное 828
 Стеклопакет 827
 — однокамерный 827
 — двухкамерный 827
 — вакуумный 839, 862
 Степень защиты СП от воды 260
 — — — — брызгозащищенные 260
 — — — — водонезащищенные 260
 — — — — водонепроницаемые 260
 — — — — герметичные 260
 — — — — дождезащищенные 260
 — — — — каплезащищенные 260
 — — — — струезащищенные 260
 Степень защиты СП от пыли 260
 — — — — незащищенные 260
 — — — — пылезащищенные 260
 — — — — пыленепроницаемые 260
 Степень защиты светильников от окружающей среды 457, 665
 Степень поляризации 27
 Столб разряда 114, 115
 Строительные параметры цехов 468
 Стягивание разряда 115, 138
 Субстрат 730
 Суточный ритм 743
 Схема питания 371
 — ГРЩ и ВРУ 377
 — двухпроводная, переменного и постоянного тока 392
 — двухфазная с нулем 392
 — каскадного управления сетями 655
 — однофазная с нулем 392
 — от встроенных ТП 375
 — от отдельно стоящих ТП 375
 — трехфазная с нулем 392
 — — без нуля 392
 Схемы размещения ОП 458
 — расфазировки ОП 463
 Сходимость результатов измерений 38
 Сцена 345
- Т**
- Тело неравномерной яркости 854
 Телекамера
 — водолазная переносная 911
 — подводная движущаяся 911
 Телесный угол 22, 304
 Температурная деформация 829
 Теневая маска 851
 Тенесобразование 308
 Тенесобразующие свойства света 598
 Тепловое воздействие 848
 Тепловой комфорт 839
 Тепловой режим СП 264
 Теплопотери 821, 831
 Термическое сопротивление окон 839
 Тест-объект 289
 Техничко-экономические сопоставления осветительных установок 422
 Техничко-экономическое обоснование строительства 411
 Технология обеззараживания воды 757
 Типы КСС СП 252
 Точечный источник излучения 22
 Точность измерений 38
 Транспортная зона туннеля 689
 Трансформатор пьезокерамический 214
 Трансформируемая перегородка 592
 Триспираль 96, 119
 Трубка неоновая 790

У

- Угловой размер объекта 290, 320
- Угол часовой 850
- Удельная установленная мощность 289, 294, 307
- Управление освещением 310, 382
 - автоматическое 382
 - дистанционное 382, 589
 - программное 382
 - фотоавтоматическое 382
 - наружным освещением 382
- Уравнение визуализации 345
- Уровень напряжения 369
- Установленная мощность освещения 367
- Установка
 - осветительная 288
 - облучательная 708
 - светосигнальная 767
- Устройство контактное 234
 - зажигающее 140, 146
 - приемно-усилительное 56, 58
 - электроустановочное 233
- Утилизация
 - отработанных ламп 453
 - отходов 883, 885
- Учет электроэнергии 376
- Участок расцепки 765
- Уровни видимости 897
- Устойчивость хроматического различения 897

Ф

- Фары
 - противотуманные 773
 - «вертикальная» регулировка 777
 - «горизонтальная» регулировка 777
 - дополнительные дальнего света 773
- Фасад
 - остекленный 825
 - полуструктурный 829
 - стандартный 829
 - структурный 829
- Физическая величина 36
- Физический приемник излучения 22
- Фликер-эффект 694
- Флоат-метод 826
- Фокусирующие устройства светильников НО 691
- Фотометр распределительный 41, 46, 47
- Фотометрия 39, 340
 - импульсная 52
 - ближней зоны 340
 - дальней зоны 340
- Фонарь боковой 778
 - буферный 770
 - задний 778
 - конструктивное исполнение 778
 - передний 778
 - шахтный 839

- Фонарь-надстройка 823, 840
- Фотарий 739
- Фотоадаптирующийся приемник 728
- Фотобиологический приемник излучения 728
- Фотодинамическая терапия 741
- Фотокератит 736
- Фотоконъюнктивит 736
- Фотолюминесценция 89, 121
- Фотометрическая головка 48, 59
 - скамья 47
 - шар 47, 59
- Фотометрическое тело 24, 249
- Фотон 21
- Фотопериодизм 743
- Фотосинтетически активная радиация (ФАР) 730
- Фототаксис 749
- Фотохимотерапия 740
- Функциональная зона в микрорайонах 661
- Функция
 - двунаправленного распределения 345
 - отражения 345
 - пропускания 345
 - рассеяния 345

Ц

- Цвет облицовочных материалов 551
- Цветность 69, 298
- Цветовая температура 298, 307, 312, 320
 - тональность 551
- Цветовое пространство 69
 - равноконтрастное 74
- Цветовой треугольник (график) 70
 - — равноконтрастный 74
- Цветопередача 79, 298, 307
- Цветоразличение 298
- Циркадный ритм 743
- Цоколь 233

Ч

- Черный излучатель 91
- Чистота цвета 71

Ш

- Шеды 825, 840
- Шинопровод 392
- Штаты обслуживающего персонала 420
- Щит черный 770

Щ

- Щель оптическая 273
- Щиток
 - групповой 378
 - магистральный 379

Э

Эквивалентные размеры объекта различения 291

Экран

– контрольный 775, 776

– солнцезащитный 700

Экономия электроэнергии 420, 876, 878, 879, 881

Экранирование 848

Экранирующие пластины 510

Экранная плоскость 345

Эксплуатационная группа СП 458, 463

Эксплуатация осветительных установок 436

Экспозиция 848

Экспонат объемный 848

Экстракт (световода)

– поверхностный 276

– объемный 276

Электрическая прочность 235

Электробезопасность 400

Электрод 119

Электролюминесценция 89, 187

Электромагнитная совместимость 204

Электронный трансформатор 219

Электропроводка 389

Электротехнические требования к светильникам НО 665

Энергетическая светимость 24

Энергетически эффективные области применения 456

Энергия 81, 82

Энергоаудит осветительных установок 881

Энергоэкономичность освещения 294, 305

Эритема 736

Эталон единицы физической величины 36

– вторичный 37, 78

– международный 37

– первичный 36, 65, 86

– рабочий 37, 65

– специальный 78

Эффект

– стробоскопический 23, 39, 292

– без образования изображения 23

– Лосева 180

– моделирующий 296, 598

– парниковый 874, 882

– Пуркине 315

– свода 343

Я

Яркомер 41

Яркость 25, 41–43

– адаптации 32, 691

– акцентируемого элемента 549

– дорожных покрытий 315, 320

– источников света 90, 99, 122, 138, 143, 164

– фасадов зданий и сооружений 549, 835

– эквивалентная 25

– энергетическая 80

– эффективная 33

Ярковая зона туннеля 690

– – пороговая 691

– – переходная 692

– – внутренняя 692

– – выездная 692

– – подъездная 692



