



ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

Учебное пособие для вузов





ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

Учебное пособие

Под редакцией Л.П.Варфоломеева

*Допущено УМО вузов России по образованию
в области энергетики и электротехники в качестве
учебного пособия для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по специальности 140211 «Электроснабжение»
направления подготовки 140200 «Электроэнергетика»*



Москва
Издательский дом МЭИ
2013

УДК 628.9
ББК 31.294.9
Э 653

Рецензенты:

Т.В. Анчарова, канд. техн. наук, доцент МЭИ
А.А. Григорьев, доктор техн. наук, профессор МЭИ

Авторы:

С.М. Гвоздев, Д.И. Панфилов, Т.К. Романова,
И.П. Шестопалова, А.С. Шевченко, В.А. Хухтикова

Энергоэффективное электрическое освещение: учебное
Э 653 пособие / С.М. Гвоздев, Д.И. Панфилов, Т.К. Романова и др.; под
ред. Л.П. Варфоломеева. — М.: Издательский дом МЭИ, 2013. 288 с.:
ил.

ISBN 978-5-383-00840-9

Изложены основы разработки современных энергоэффективных осветительных установок, а также схемы их питания и управления. Рассмотрены основные термины и понятия в светотехнике. Даны общие характеристики источников излучения и световых приборов на их основе, рассмотрены характерные особенности устройств электропитания световых приборов и систем управления осветительными установками, а также определены основные величины и их единицы, используемые для инженерных расчетов при проектировании осветительных установок.

Предназначена в качестве учебного пособия для студентов электроэнергетических специальностей высших учебных заведений, а также специалистов, связанных с проектированием, использованием и обслуживанием систем освещения, построенных на основе различных источников света и реализующих разные технологии энергосбережения.

УДК 628.9
ББК 31.294.9

ISBN 978-5-383-00840-9

© Авторы, 2013
© ЗАО «Издательский дом МЭИ», 2013

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	6
Список сокращений	8
Глава первая. Краткая история развития искусственного освещения	9
Контрольные вопросы и задания.....	14
Глава вторая. Основные понятия в светотехнике	15
2.1. Основные представления об излучении.....	15
2.2. Энергетические величины, характеризующие излучение	16
2.3. Оптические характеристики материалов	20
2.4. Приемники оптического излучения	21
2.5. Глаз человека как приемник излучения	22
2.6. Световые величины	24
2.7. Представления о цветовых расчетах	29
Контрольные вопросы и задания.....	32
Глава третья. Основы фотометрии	34
3.1. Визуальная и объективная фотометрия	34
3.2. Измерения силы света	37
3.3. Измерения светового потока.....	41
3.4. Измерения освещенности	42
3.5. Измерения яркости	43
3.6. Некоторые практические вопросы фотометрии	44
Контрольные вопросы и задания.....	48
Глава четвертая. Правила и нормы искусственного освещения	49
4.1. Методы нормирования	49
4.2. Функции зрения.....	50
4.3. Обоснование нормирования осветительных установок	53
4.4. Нормирование по видимости.....	55
4.5. Нормирование по зрительной работоспособности	56
4.6. Нормирование качественных показателей освещения.....	57
4.7. Оценка ослепленности	58
4.8. Правила и нормы искусственного освещения	61
4.9. Нормирование осветительных установок.....	62
4.10. Аварийное освещение	65
Контрольные вопросы и задания	67
Глава пятая. Источники света	68
5.1. Естественные источники излучения	68
5.2. Тепловое излучение нагретых тел.....	70
5.3. Излучение люминесценции	73
5.4. Лампы накаливания	76

5.5. Галогенные лампы накаливания	80
5.6. Электрический разряд в газах и виды разряда, используемые в газоразрядных лампах	82
5.7. Ртутные люминесцентные лампы низкого давления	84
5.8. Разрядные лампы высокого и сверхвысокого давления	91
5.9. Безэлектродные люминесцентные источники света	102
5.10. Твердотельные источники света — светоизлучающие диоды	106
Контрольные вопросы	111
Глава шестая. Световые приборы	113
6.1. Классификация световых приборов	113
6.2. Светотехнические характеристики светильников и их КПД	120
6.3. Конструкция оптических систем и материалы для их изготовления	125
6.4. Световые приборы для внутреннего освещения промышленных помещений и световоды	132
6.5. Светильники наружного и уличного освещения	136
6.6. Светильники для внутреннего освещения общественных и жилых зданий	145
Контрольные вопросы и задания	150
Глава седьмая. Расчет осветительных установок	151
7.1. Задачи и методы светотехнических расчетов	151
7.2. Метод расчета освещенности по силе света	152
7.3. Расчет прожекторного освещения	154
7.4. Расчет освещенности по методу коэффициента использования осветительной установки с учетом многократных отражений.	154
7.5. Расчет осветительной установки методом удельной мощности	156
Контрольные вопросы и задания	163
Глава восьмая. Системы автоматизированного управления и питания для энергосберегающих осветительных установок	164
8.1. Роль автоматизированных систем управления и питания осветительных установок в развитии современных энергосберегающих систем освещения	164
8.2. Интеллектуальные источники вторичного электропитания для энергосберегающего освещения	169
8.2.1. Интеллектуальные ИЭП	169
8.2.2. Требования к ИЭП, структура силовой части и способы регулирования выходных параметров источников электропитания	171
8.2.3. Определение качества регулируемого ИЭП для питания ИС по измерениям электрических параметров на его входах и выходах	176
8.2.4. Электронные пускорегулирующие аппараты для ЛЛ	179
8.2.5. Электронные пускорегулирующие аппараты для ртутных, натриевых и металлогалогенных ламп высокого давления	181
8.2.6. Устройства управления СИД	185
8.3. Мультидатчики для систем освещения	187

8.4. Интерфейс и взаимодействие между интеллектуальными узлами системы освещения	192
8.4.1. Обмен информацией в АСУ освещением	192
8.4.2. Проводные среды для информационных сетей	194
8.4.3. Беспроводные среды передачи данных	200
8.4.4. Проводное и беспроводное управление АСУ освещением	203
8.5. Аппаратное и программное обеспечение диспетчерского пункта	205
8.6. Автоматизированная система управления освещением интеллектуального здания	207
8.7. Автоматизированные системы управления наружным освещением ...	208
Контрольные вопросы и задания	211
Глава девятая. Проектирование осветительных установок	213
9.1. Разработка светотехнической части проекта ОУ	213
9.2. Электрическая часть осветительных установок	236
9.2.1. Схемы осветительных сетей	236
9.2.2. Расчет и выбор источников питания с учетом качественных показателей напряжения питающей сети	240
9.2.3. Выбор групповых щитов и планировка сети	242
9.2.4. Выбор марки проводов и способов прокладки сети	245
9.3. Электрическая часть проекта ОУ	248
Контрольные вопросы и задания	264
Глава десятая. Эксплуатация осветительных установок	265
10.1. Основные положения правильной эксплуатации ОУ: приемка в эксплуатацию, чистка светильников и смена ламп	265
10.2. Проведение планово-предупредительных осмотров и ремонтов	270
10.3. Контроль освещенности рабочих мест и качества напряжения осветительной сети	272
10.4. Организация хранения и утилизации ртутьсодержащих ламп	276
Контрольные вопросы и задания	278
Глава одиннадцатая. Основные направления экономии электроэнергии в системах освещения	279
11.1. Эффективность использования электроэнергии для освещения	279
11.2. Критерии оценки энергоэффективности осветительной установки	281
Контрольные вопросы и задания	284
Список литературы	285

ПРЕДИСЛОВИЕ

Энергосбережение в осветительных установках является актуальной задачей государственного уровня, поскольку на освещение в России затрачивается около 13 % всей вырабатываемой электроэнергии. Наибольший потенциал экономии электроэнергии сосредоточен в расширении производства и области применения энергоэффективных источников света (до 14 % экономии современного потребления). Повышения энергоэффективности освещения добиваются также увеличением световой отдачи источников света, повышением коэффициента полезного действия световых приборов, применением систем общего локализованного освещения и регулирования в зависимости от уровня естественной освещенности (примерно по 6 % экономии современного потребления).

Настоящее учебное пособие охватывает широкий круг вопросов, связанных с проектированием и эксплуатацией систем и установок электрического освещения на основе современных источников света.

В кратком историческом обзоре, представленном в гл. 1, показано, как в процессе развития осветительной техники росла энергоэффективность осветительных устройств. Глава 2 знакомит читателей с основными понятиями светотехники, физическими величинами, характеризующими излучение, оптическими характеристиками материалов, проводящих и отражающих свет, и со свойствами человеческого глаза как приемника излучения. В гл. 3 освещаются вопросы визуального и объективного измерения физических величин в светотехнике. Нормы, регламентирующие параметры естественного и искусственного освещения, для соблюдения условий оптимальной рабочей среды представлены в гл. 4. В гл. 5 приводится сравнительный обзор характеристик источников света, применяемых в искусственном освещении. Рассматриваются основные параметры и характеристики источников от ламп накаливания до энергоэффективных источников света.

Типы световых приборов и оптических систем для различных областей применения и методы повышения энергоэффективности освещения, связанные с конструктивными решениями светильников, описаны в гл. 6, а методы расчета светильников с использованием различных компьютерных программ представлены в гл. 7.

В гл. 8 показана роль источников электропитания источников света и автоматизированных систем управления освещением при раз-

работке энергоэффективного освещения. Показано, что основная доля потенциала энергосбережения определяется именно этими компонентами системы освещения.

Методы и этапы проектирования светотехнической и электрической частей осветительной системы рассмотрены в гл. 9. В гл. 10 раскрывается потенциал энергосбережения, определяемый правильной эксплуатацией осветительной системы (своевременной очисткой светильников и заменой ламп, осуществлением планово-предупредительных осмотров и ремонта, контролем освещенности рабочих мест). Описываются также методы сбора и утилизации ртутьсодержащих ламп, что очень важно для охраны окружающей среды.

Наконец, в гл. 11 рассматриваются основные направления экономии электроэнергии в системах электрического освещения, приводятся критерии эффективности осветительных установок и основные рекомендации по экономному и рациональному использованию электроэнергии в них.

Над созданием данного учебного пособия работали коллектив авторов: С.М. Гвоздев (введение, гл. 1—7, 9, 10), Т.П. Шестопалова (введение, гл. 1—5), Т.К. Романова (гл. 7, 9), Д.И. Панфилов и В.Д. Поляков (гл. 8), А.С. Шевченко (гл. 11), В.А. Хухтикова (гл. 6).

Авторы с благодарностью примут замечания и пожелания по улучшению книги, которые следует направлять по электронному адресу: gvozdevsm@yandex.ru.

Авторы

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ГЛ	— газоразрядные лампы
ИС	— источник света
ЛЛ	— люминесцентная лампа
КЛЛ	— компактные люминесцентные лампы
ОУ	— осветительная установка
ОП	— осветительный прибор
ПРА	— пускорегулирующий аппарат (аппаратура)
ЛН	— лампы накаливания
ГЛН	— галогенные лампы накаливания
РЛВД	— разрядные лампы высокого давления
ДРЛ	— ртутные лампы высокого давления с люминофором (Россия)
МГЛ	— металлогалогенные лампы
ДРИ	— металлогалогенные лампы высокого давления с излучающими добавками (Россия)
ЛД	— люминесцентные лампы дневного света (Россия)
ЛДЦ	— люминесцентные лампы дневного света с улучшенной цветопередачей (Россия)
ЛБ	— люминесцентные лампы белого света (Россия)
ЛХБ	— люминесцентные лампы холодного белого света (Россия)
ЛТБ	— люминесцентные лампы теплого белого света (Россия)
ЛБЦТ	— люминесцентные лампы белого света с улучшенной цветопередачей (Россия)
ЛБР	— люминесцентные лампы с внутренним отражающим слоем (Россия)
ЛЕЦ	— люминесцентные лампы естественного света с улучшенной цветопередачей (Россия)
ЛЕ	— люминесцентные лампы естественного света (Россия)
ЛХЕ	— люминесцентные лампы холодно-естественного света (Россия)

Глава первая

КРАТКАЯ ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Начиная с 1802 г. (времени открытия электрической дуги акад. В.В. Петровым) появилась возможность использовать электрические источники света [1]. В первых лампах электрическая дуга горела между угольными электродами, раскаленными до температуры 3700—4100 К, продолжительность горения составляла 5—20 ч. Переход от гальванических батарей к динамомашинам, позволяющим создавать необходимую электрическую мощность, привел к практическому применению угольных ламп (в 1865—1875 гг.). После создания дифференциального регулятора угольных стержней В.Н. Чиколева, угольной нити А.Н. Лодыгина и параллельных изолированных электродов свечи П.Я. Яблочкова началось триумфальное шествие по городам Европы и мира «русского света». С 1876 по 1882 г. свеча Яблочкова широко использовалась в качестве источника света.

После усовершенствования Т.А. Эдисоном конструкции лампы Лодыгина с угольным телом накала в 1879 г. и демонстрации ее на Парижской выставке в 1881 г. интерес к свече Яблочкова снизился. Лампа накаливания с угольной нитью, принципиальные элементы которой сохранились до настоящего времени, нашла широкое применение и постепенно вытеснила предшествующие ей керосиновые и газонакаливаемые лампы. Разработка конструкций ламп с электрической дугой в пространстве с ограниченным доступом воздуха (1880—1890 гг.) позволила уменьшить скорость сгорания углей и тем самым увеличить продолжительность горения в 10 раз и более при некотором снижении световой отдачи: 2—3,5 лм/Вт.

История развития электрических («пламенных») дуг для освещения берет начало в 1893—1904 гг. Развитие технологии изготовления электродов дало возможность создать электроды из более плотного графита с добавлением солей различных металлов, что позволило получить излучения различных цветов: например, соли стронция дают при сгорании красный цвет, кальция — оранжевый, бария — синий и т.д. Световая отдача дуг с добавками из редкоземельных металлов достигала в те годы 20—30 лм/Вт. В 1912—1913 гг. появились закрытые пламенные дуговые фонари с угольными катодами, содержащими соли редкоземельных металлов, которые имели световую отдачу 25—49 лм/Вт и срок службы 100—120 ч.

Дуги высокой интенсивности (ДВИ) были первыми мощными источниками света высокой яркости и малых размеров, они дали возможность создать прожекторы дальнего действия с узким пучком света и применять их в кинопроекции и для киносъемок.

Конец XIX — начало XX в. стал периодом развития ламп накаливания. Низкая световая отдача ламп накаливания с угольной нитью побудила ученых к созданию металлизированной угольной нити, и с 1898 г. начался период разработки ламп с металлическим телом накала в виде осмиевой нити. В 1902 г. были созданы лампы с танталовой, а в 1903 г. — с вольфрамовой нитью накала. В 1906—1909 гг. была разработана технология получения вольфрамовых нитей путем протяжки проволоки через калиброванные отверстия. В 1913 г. появились газополные лампы с вольфрамовым спиральным телом накала, а в 1934 г. — газополные лампы с биспиральным телом накала и в 1936 г. — биспиральные вольфрамовые лампы с криптоновым наполнением. В 1959 г. были выпущены первые лампы накаливания с галогенным циклом.

Несмотря на бурное развитие в конце XIX — начале XX в. ламп накаливания, ставших предметами массового применения, работа по созданию газоразрядных ламп занимала видное место в научных исследованиях. Изучение законов теплового излучения выявило ограниченные возможности ламп накаливания, и для получения более эффективных источников света следовало искать другие пути. Исследования процессов, происходящих при прохождении электрического тока через газы и пары металлов, открытие явления фотолюминесценции позволили создать новые источники света массового применения — люминесцентные лампы и другие газоразрядные источники излучения.

Прорыв в развитии дуговых источников света произошел после замены ртутных электродов твердотельными. Первые успешные попытки использовать твердотельный катод в дуговой лампе закрытого типа были осуществлены еще в 1912—1915 гг. На базе твердотельных катодов в 1927—1932 гг. были разработаны неоновые дуговые лампы, ртутные лампы высокого давления и натриевые лампы.

Электрические разряды в газах при низком давлении были известны практически с того времени, как были изобретены методы удаления воздуха из сосуда. Но только в 1920 г. было открыто явление, заключающееся в том, что электрический разряд в смеси паров ртути и инертного газа при определенном давлении есть чрезвычайно эффективное преобразование электрической энергии в ультрафиолетовое излучение.

Первые сведения о свечении разряда в парах натрия относятся к 1911 г. Однако исследования и практическое использование разряда в парах натрия стали возможными лишь после разработки в 1919—1920 гг. стекол, устойчивых к воздействию паров натрия.

Исследования физических процессов в разрядах низкого давления были проведены И. Ленгмюром. Он и ввел понятие газоразрядной плазмы. В начале 30-х годов были определены характеристики дугового разряда низкого давления в зависимости от давления, диаметра трубки и тока в неоне, парах натрия и других металлов, но наиболее широко исследовались разряды в парах ртути.

К началу 20-х годов было накоплено большое количество экспериментальных данных по люминесценции. В 1924 г. акад. С.И. Вавилов экспериментально установил закономерности преобразования возбуждающего излучения в люминесценцию видимой области спектра. В СССР работы по применению люминофоров для улучшения цветности и повышения световой отдачи ртутных ламп были начаты на МЭЛЗ в 1935 г. при участии Физического института Академии наук СССР и лично С.И. Вавилова. Затем основная часть работ была передана в МЭИ, и в 1936 г. была закончена разработка образца люминесцентной лампы низкого давления с аргоново-ртутным наполнением.

В 1938 г. американская фирма General Electric (GE) продемонстрировала люминесцентную лампу низкого давления, работающую непосредственно от промышленной сети 220/127 В, обеспечивающую спектр излучения, близкий к белому цвету со световой отдачей, в несколько раз превышающей световую отдачу лампы накаливания.

В 1940 г. в лаборатории Всесоюзного электротехнического института по руководством проф. В.А. Фабриканта были разработаны первые образцы отечественных люминесцентных ламп (ЛЛ) современного типа, но их серийный выпуск был налажен только после Великой Отечественной войны в 1948 г. Благодаря совершенствованию конструкции узлов ЛЛ, технологии производства и применению люминофора в СССР с 1954 по 1981 г. световой поток стандартных ЛЛ типа ЛБ40 возрос от 1900 до 3200 лм, а срок службы от 3 до 12 тыс. ч. Разработка узкополосных люминофоров в конце XX в. позволила перейти к изготовлению ЛЛ в виде трубок меньшего диаметра (10 мм и менее).

В начале 80-х годов начали выпускаться компактные ЛЛ (КЛЛ) разнообразных форм со световой отдачей от 40 до 80 лм/Вт и сроком службы 10 000—15 000 ч. В 1994—1996 гг. были сделаны технологические усовершенствования, позволившие повысить стабильность светового потока у ЛЛ, и их световая отдача была доведена до 114 лм/Вт при средней продолжительности горения 16 тыс. ч.

Наряду с развитием научных исследований разряда низкого давления продолжались исследования электрического разряда в газах высокого и сверхвысокого давления. Повышение давления и тока вызывает увеличение градиента потенциала и яркости свечения, которое стягивается в яркий светящийся шнур по оси разрядной

трубки. Классические работы по теории столба термических ртутных дуг высокого давления (ВД) были опубликованы В. Эленбаасом в 1934—1951 гг. В это же время проводились исследования коротких ртутных дуг сверхвысокого давления (СВД).

Таким образом, сформировались два основных вида источников света: высокого давления в кварцевых колбах трубчатой формы с длинными дугами, и сверхвысокого давления в кварцевых колбах шарообразной или эллипсоидной формы с короткими дугами. В 1940 г. были выпущены ртутно-накальные и ртутно-вольфрамовые лампы, а в конце 50-х годов стали широко применяться ксеноновые лампы ВД трубчатой формы и короткодуговые лампы СВД шарообразной формы. В 50-х годах получили массовое распространение дуговые ртутные лампы ВД с люминофором (лампы ДРЛ), для наружного, архитектурного освещения и освещения производственных помещений, где не предъявляются требования к цветопередаче. Начиная с 60-х годов XX в. введение галоидных соединений и использование керамических материалов, устойчивых к парам щелочных и редкоземельных металлов в лампах ВД и СВД, расширили возможности получения излучения различного спектрального состава. На этой базе были разработаны натриевые лампы ВД (НЛВД) со световой отдачей до 150 лм/Вт и сроком службы более 20 тыс. ч. Использование новых технологий определило появление металлогалогенных ламп (МГЛ), НЛВД и др. Начиная с 70-х годов в наружном освещении лампы ДРЛ постепенно стали вытесняться НЛВД, а МГЛ стали применять для освещения при телевизионных съемках и для внутреннего освещения.

По мере развития газоразрядных источников света предпринимались попытки отказаться от электродов, ограничивающих срок службы ламп. Возбуждение безэлектродного разряда возможно в высокочастотном и сверхвысокочастотном электромагнитном поле. Первые опыты в этом направлении были проведены в 1940—1941 гг., но только в последнее время благодаря развитию микроэлектроники стало возможным создание безэлектродных компактных ЛЛ. В 1991—1993 гг. фирмой Philips были выпущены безэлектродные КЛЛ со световой отдачей около 70 лм/Вт и сроком службы 60 тыс. ч, а в 1997 г. фирма OSRAM наладила выпуск подобных ламп большей мощности. В этот же период были проведены исследования и получены источники света, возбуждаемые микроволновым излучением. Световая отдача микроволновых безэлектродных серных ламп ВД, первые образцы которых были сделаны в 1991—1996 гг., достигла 155 лм/Вт.

К концу XX в. твердотельные источники света, или светоизлучающие диоды (далее для краткости светодиоды) прочно заняли свое место в секторе монохромного освещения — в световых индикато-

рах, автомобильных тормозных фонарях, светофорах, дорожных знаках, вывесках и указателях. Последние достижения базовой полупроводниковой технологии позволили светодиодам составить серьезную конкуренцию существующим источникам белого света. Долговечность, низкое энергопотребление и возможность управления и регулирования в широких пределах являются их главными преимуществами, небольшие размеры позволяют сделать область их применения необычайно широкой. Как источники света для наружного и декоративного освещения они обладают рядом уникальных достоинств, среди которых точная направленность света и возможность управления цветом и интенсивностью излучения.

Первые светодиоды появились в 1962 г., а в 1968 г. — первая светодиодная лампочка для индикатора Monsanto и первый дисплей Hewlett Packard. Световой поток их был слабым, всего 0,001 лм, световая отдача — менее 0,1 лм/Вт, а цвет — только красный. К 1976 г. были получены оранжевые, желтые и желто-зеленые светодиоды, яркие настолько, что их можно было разглядеть и при солнечном свете. До 1985 г. они использовались исключительно в качестве индикаторов со световым потоком всего лишь 0,1 лм. С 1985 г. благодаря открытию лауреатом Нобелевской премии акад. Ж.И. Алферовым двойных многопроходных гетероструктур их световой поток увеличился до 100 лм, и они уже стали применяться в качестве полноценных источников монохроматического и белого света. В 1990 г. световая отдача светодиодов достигла уже 10 лм/Вт, что позволило им стать адекватной заменой ламп накаливания.

Получение светодиодов со все большей световой эффективностью становится возможным благодаря поиску и использованию новых материалов. Появились светодиоды с цветом излучения от красного до желто-зеленого и световой отдачей 20 лм/Вт. В 1993 г. японская корпорация Nichia объявила об открытии высокоэффективного материала голубого света — нитрида галлия. Это означало, что теперь светодиоды освоили практически весь спектр (видимый ультрафиолетовый и инфракрасный). Это существенно расширяло области их применения и делало возможным создание белого света путем комбинирования красных, зеленых и синих светодиодов. Работы в этом направлении идут с нарастающим темпом, и можно надеяться, что световая отдача этих источников света вырастет еще в несколько раз и через пару десятилетий превысит световую отдачу люминесцентных ламп более чем в 2 раза. Начиная с 2010 г. световая отдача белых светодиодов достигла 150 лм/Вт, и они начали вытеснять люминесцентные и газоразрядные лампы со светотехнического рынка.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие типы электрических источников света стали первыми при открытии электричества?
2. Назовите имена ученых, создавших первые варианты электрических ламп накаливания.
3. Почему лампы накаливания считаются недостаточно эффективными источниками света?
4. Какие физические явления использовались при разработке более эффективных ламп на основе прохождения электрического тока в парах металлов и в газовой среде?
5. Какие русские ученые участвовали в создании первых люминесцентных ламп?
6. Какие типы разрядных источников света появились в период с 1950 по 2010 г.?

Глава вторая

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ В СВЕТОТЕХНИКЕ

2.1. Основные представления об излучении

Согласно современным научным представлениям свет — это один из видов электромагнитного излучения.

Излучение — это испускание или распространение электромагнитных волн (фотонов). Излучение, характеризующееся одним значением частоты или длины волны λ , называется *монохроматическим*. В более широком смысле монохроматическое излучение — это излучение в очень узкой области частот или длин волн, которое может быть охарактеризовано одним значением частоты или длины волны.

Мы будем в основном пользоваться определениями, установленными Международной комиссией по освещению (МКО) [2], согласованными на английском, немецком, французском и русском языках.

Электромагнитное излучение делится на следующие основные диапазоны:

1. Оптическое излучение — электромагнитное излучение с длиной волны в диапазоне между областью рентгеновских лучей (единицы нанометров) и областью радиоизлучений (около 1 мм).

2. Рентгеновское излучение (*X*-лучи) — излучение с длиной волны от 0,01 до 5 нм.

3. Гамма-лучи — излучение с длиной волны от 0,001 до 0,1 нм.

4. Космические лучи — излучение с длиной волны менее 0,001 нм.

5. Радиоволны — излучение с длиной волны более 1 мм до 10 км.

В данном учебном пособии рассматривается только оптическое излучение.

Оптическая область спектра делится на три основные части: инфракрасную, видимую и ультрафиолетовую.

Инфракрасное излучение (ИК-излучение) соответствует длинам волн больше длин волн видимого излучения и меньше 1 мм. Международная комиссия по освещению устанавливает три области ИК-излучения: ИК-А от 780 до 1400 нм (ближняя ИК-область); ИК-В от 1,4 до 3 мкм (средняя ИК-область); ИК-С от 3 мкм до 1 мм (дальняя ИК-область).

Видимое излучение — свет. Излучение, которое может непосредственно вызывать зрительное ощущение. Нижняя граница лежит между 380 и 400 нм, а верхняя — между 760 и 780 нм.

Ультрафиолетовое излучение (УФ-излучение) соответствует длинам волн меньше длин волн видимого излучения и больше примерно 1 нм. В спектральной области между 100 и 400 нм МКО различает области: УФ-А от 315 до 400 нм (ближняя УФ-область); УФ-В от 280 до 315 нм (средняя УФ-область); УФ-С от 100 до 280 нм (дальняя УФ-область).

ИК-излучение производит в основном тепловое действие. Все воспринимаемые человеком световые и цветовые ощущения вызываются излучением видимого диапазона. УФ-излучение оказывает сильное биологическое воздействие. Дальняя УФ-область (С) используется для обеззараживания и стерилизации (уничтожения бактерий), а ближняя и средняя области (А и В) в строго дозированном количестве — для получения лечебного или оздоровительного эффекта.

Любое излучение может изменяться под влиянием характеристик среды, через которую оно проходит, и объекта, на который оно попадает. Свойства объектов изменять параметры излучения связаны с понятиями отражения, пропускания, поглощения, рассеяния и преломления.

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

Пропускание — это прохождение излучения сквозь среду без изменения частот составляющих его монохроматических излучений.

Поглощение — это превращение энергии излучения в другую форму энергии в результате взаимодействия с веществом.

Изменение пространственного распределения пучка лучей, отклоняемых во множестве направлений поверхностью или средой без изменения частот составляющих его монохроматических излучений, называется *рассеянием*.

Преломлением является изменение направления излучения вследствие изменения скорости его распространения в оптически неоднородной среде или при переходе из одной среды в другую.

Для характеристики источника излучения существует понятие *точечного источника*. Точечным называется источник излучения, размеры которого малы по сравнению с расстоянием до приемника, так что ими можно пренебречь в вычислениях. Равномерный точечный источник — это источник, равномерно излучающий во всех направлениях.

2.2. Энергетические величины, характеризующие излучение

Энергия излучения Q_e — это энергия, переносимая излучением; в международной системе единиц СИ она измеряется в джоулях (Дж).

Поток излучения (*лучистый или энергетический поток*) Φ_e . Для характеристики источников излучения принято пользоваться поня-

тием мощности или потока излучения [27]. Единицей потока излучения является ватт (Вт). Поток излучения характеризуется распределением по времени, спектру и в пространстве.

Под распределением потока излучения по спектру понимается разложение сложного излучения на монохроматические составляющие разных частот.

Если излучение сосредоточено в достаточно широкой полосе спектра, то такой спектр называется сплошным. У источников с линейчатый спектром излучение существует в пределах узких участков спектра (рис. 2.1). Под монохроматическим потоком излучения понимается поток, излучаемый в пределах очень узкого участка длин волн, который можно характеризовать приблизительно одним значением длины волны или частоты. Поток излучения источника с линейчатый спектром складывается из нескольких монохроматических потоков. Линейчатый спектр имеют разрядные источники излучения, у которых разряд происходит в атмосфере газа или паров металла.

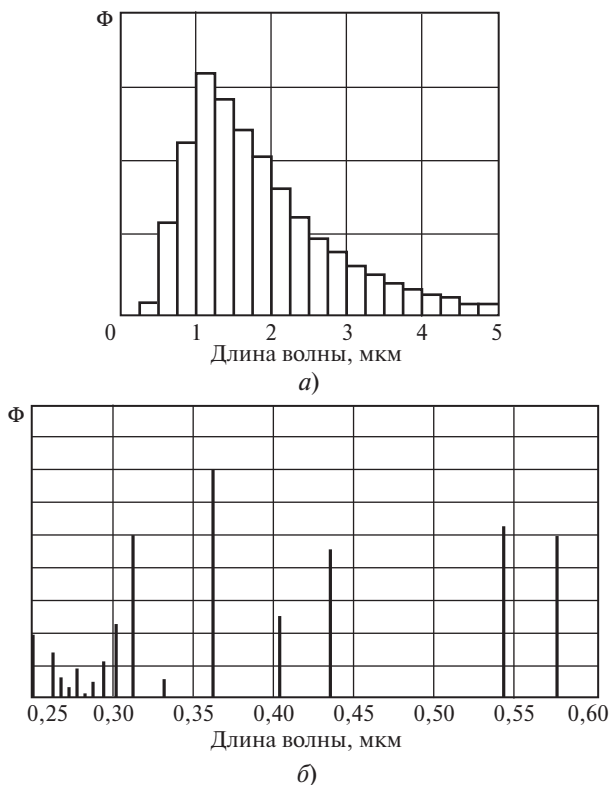


Рис. 2.1. Примеры спектра потока излучения:
a — сплошной, *б* — линейчатый

Источники теплового излучения и излучения люминесценции жидких и твердых тел имеют непрерывные (сплошные) спектры. Такие спектры можно представить в виде отдельных монохроматических потоков, примыкающих непосредственно один к другому.

Для характеристики спектрального распределения потока излучения источников со сложным излучением пользуются величиной, называемой *спектральной плотностью потока излучения* $\Phi_{e\lambda}$: $\Phi_{e\lambda} = d\Phi_e/d\lambda$, где $d\Phi_e$ — поток излучения узкого участка спектра шириной $d\lambda$. Единица спектральной плотности потока излучения — 1 Вт/мкм. Чаще всего имеют дело с относительным спектральным распределением, т.е. спектральной плотностью измеряемой энергетической величины, выраженной в относительных единицах.

Распределение потока излучения в пространстве характеризуется понятием силы излучения.

Энергетическая сила излучения источника — это отношение потока излучения, исходящего от источника и распространяющегося внутри элементарного телесного угла $d\omega$, имеющего заданное направление, к этому элементарному телесному углу:

$$I_{e\alpha} = \frac{d\Phi_e}{d\omega},$$

где $I_{e\alpha}$ — сила излучения в направлении α ; $d\Phi_e$ — поток излучения, распространяющийся в пределах элементарного телесного угла $d\omega$. За единицу энергетической силы излучения принята сила излучения такого источника, у которого в пределах телесного угла 1 ср равномерно распространяется поток излучения 1 Вт (Вт/ср).

Телесный угол есть часть пространства, ограниченная конической поверхностью, вершина которой совмещена с точкой расположения источника излучения. Значение телесного угла определяется отношением площади сферической поверхности $A_{сф}$, заключенной внутри конуса телесного угла, к квадрату радиуса этой сферы R : $\omega = A_{сф}/R^2$. Единица телесного угла — стерадиан (ср), соответственно единица силы излучения — 1 Вт/ср.

Важной характеристикой излучения является *энергетическая яркость* L_e , которая представляет собой отношение силы излучения $I_{e\alpha}$ источника к площади излучающей поверхности, видимой под заданным направлением. Единица энергетической яркости L_e — 1 Вт/(ср · м²). Можно говорить также о яркости объемного свечения, т.е. о яркости пучка лучей, распространяющихся в пределах телесного угла $d\omega$ и имеющего площадку dA в каком-либо его сечении, расположенную под углом θ к направлению распространения излучения.

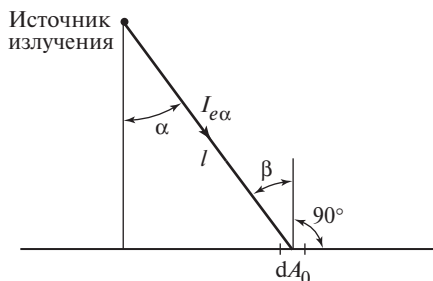


Рис. 2.2. К определению освещенности от источника излучения

Энергетической светимостью M_e называют отношение потока излучения $d\Phi_e$, исходящего от элемента поверхности, который содержит заданную точку, к площади этого элемента поверхности источника излучения dA :

$$M_e = d\Phi_e / dA = \int L_e \cos \theta \, d\omega,$$

где L_e — энергетическая яркость.

Отношение спектральной плотности потока излучения к площади A излучающей поверхности источника называется *спектральной плотностью энергетической светимости излучения* $m_{e\lambda} = \Phi_{e\lambda} / A$ и измеряется в ваттах на квадратный метр-микрометр [(Вт/(м² · мкм))].

Энергетическая экспозиция — поверхностная плотность энергии падающего излучения $H_e = dQ_e / dA$, измеряемая в джоулях на квадратный метр.

Энергетическая освещенность или облученность — отношение потока излучения $d\Phi_e$, падающего на элемент поверхности, содержащий рассматриваемую точку, к площади этого элемента dA : $E_e = d\Phi_e / dA$; единица энергетической освещенности (облученности) — 1 Вт/м².

Среднее значение облученности можно определить как $E_{e\text{ ср}} = \Phi_e / A$. При наличии в поле нескольких источников излучения облученность определяется отношением суммы потоков излучения от каждого источника к общей площади поверхности облучаемого объекта.

Для точечного излучателя расчет энергетической освещенности может проводиться по закону квадрата расстояний:

$$E_e = \frac{I_{e\alpha} d\omega}{dA_0} = \frac{I_{e\alpha}}{l^2} \cos \beta,$$

где $I_{e\alpha}$ — сила излучения по направлению к элементу освещаемой поверхности; β — угол падения луча на облучаемый элемент поверхности; l — расстояние от точки расположения точечного источника излучения до освещаемого элемента поверхности dA_0 (рис. 2.2).

2.3. Оптические характеристики материалов

В реальной жизни человека окружают предметы, которые отражают падающие на них излучения (потому мы их и видим), либо пропускают излучения, либо поглощают их. Основными оптическими характеристиками окружающего мира являются коэффициенты отражения, пропускания или поглощения.

Коэффициентами поглощения α_e , отражения ρ_e и пропускания τ_e называются отношения поглощенного, отраженного и прошедшего потока излучения к потоку излучения, упавшему на тело:

$$\alpha_e = \Phi_{e\alpha} / \Phi_e;$$

$$\rho_e = \Phi_{e\rho} / \Phi_e;$$

$$\tau_e = \Phi_{e\tau} / \Phi_e;$$

$$\alpha_e + \rho_e + \tau_e = 1.$$

В зависимости от свойств поверхности освещаемых объектов распределение в пространстве поглощенного, отраженного и прошедшего потоков может быть различным (рис. 2.3).

Если отражающая поверхность гладкая и размеры неровностей значительно меньше длины волны падающего излучения, то наблюдается *направленное (зеркальное) отражение*, для которого имеет место равенство углов падения и отражения лучей, падающий и отра-

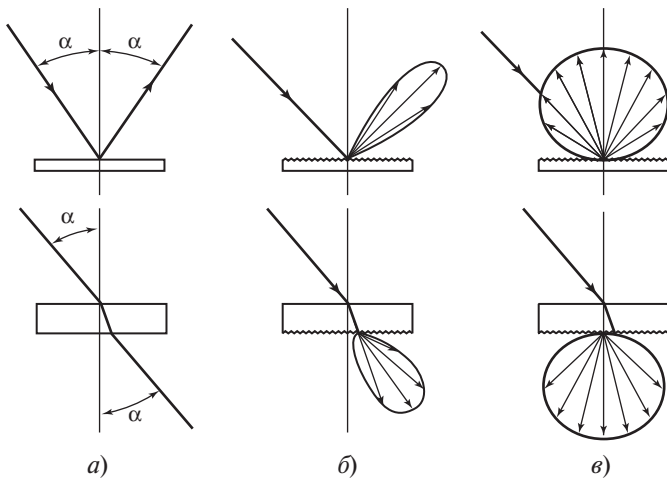


Рис. 2.3. распределение в пространстве отраженного и прошедшего потоков излучения:

а — зеркальное; б — направленнo-рассеянное; в — диффузное

женный лучи лежат в одной плоскости с нормалью к поверхности. При этом справедливы соотношения: $I_{e\alpha\beta\rho} = I_{e\alpha\beta\rho_e}$, где $I_{e\alpha\beta\rho}$ и $I_{e\alpha\beta}$ — энергетические яркости отраженного и падающего на зеркало излучения.

У материалов, имеющих неоднородности, соизмеримые с длиной волны падающего излучения, яркость отраженного пучка лучей является постоянной по всем направлениям пространства. Такое отражение называется *равномерным* или *диффузным*. Яркость поверхности с диффузным отражением определяется облученностью E_e и коэффициентом отражения ρ_e :

$$L_e = \frac{E_e \rho_e}{\pi}.$$

При *направленно-рассеянном* отражении ось отраженного излучения направлена в соответствии с законом зеркального отражения, но телесный угол, в пределах которого отражается поток, больше телесного угла, в пределах которого излучение падает на поверхность. Яркость при таком отражении неодинакова по различным направлениям и определяется коэффициентом яркости $\beta_{e\alpha\beta}$. Коэффициент яркости есть отношение яркости поверхности, излучающей в данном направлении, к яркости диффузно отражающей поверхности с коэффициентом отражения, равным единице:

$$I_{e\alpha\beta} = E_e \frac{\beta_{e\alpha\beta}}{\pi}.$$

2.4. Приемники оптического излучения

Приемники излучения в самом общем случае делятся на два больших класса: физические (фотоэлемент, фотопленка, люминофор, термоэлемент и т.п.) и биологические (орган зрения человека, зеленый лист растений, кожа человека и животных и др.).

Каждый приемник излучения характеризуется спектральной и интегральной эффективностью или чувствительностью. Эффективность излучения — это отношение эффективно преобразованного приемником энергетического потока Φ_3 к самому энергетическому потоку излучения Φ_e : для сложного излучения $K = \Phi_3 / \Phi_e$, для монохроматического излучения с длиной волны λ спектральная чувствительность излучения $K(\lambda) = \Phi_{3\lambda} / \Phi_{e\lambda}$. У большинства приемников спектральная чувствительность зависит от длины волны падающего на приемник излучения. Такие приемники называются избирательными (селективными). Примерами избирательных приемников могут служить различные фотоприемники, а также орган зрения человека. К неизбира-

тельным можно отнести тепловые приемники широкого спектра чувствительности (термоэлементы и др.) [5].

Эффективные характеристики излучения вводятся для расчета полезной мощности, используемой приемником. Поглощенный поток излучения, преобразованный приемником в полезную мощность одного из видов энергии и оцененный по уровню реакции приемника, принято называть *эффективным потоком*.

Определяя эффективный поток по уровню реакции образцового приемника, можно построить систему эффективных величин и единиц [3].

Зная спектральное распределение падающего потока излучения $\varphi(\lambda)$ и функцию спектральной чувствительности приемника $K_{\text{пр}}(\lambda)$, можно определить эффективный поток излучения:

$$\Phi_{\text{э}} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_n} \varphi(\lambda) K_{\text{пр}}(\lambda) d\lambda,$$

где $\lambda_1 - \lambda_n$ — границы спектральной чувствительности приемника.

Эффективный поток излучения измеряется в единицах, в которых измеряется реакция приемника излучения, по отношению к которому определен эффективный поток.

Под относительной спектральной чувствительностью $V(\lambda)$ понимают отношение спектральной чувствительности $K(\lambda)$ к ее максимальному значению $K(\lambda)_{\text{max}}$.

В настоящее время широко распространены три системы эффективных величин и единиц видимого и ультрафиолетового диапазонов длин волн: *световая*, у которой образцовым приемником является орган зрения человека с усредненными характеристиками; *бактерицидная*, у которой образцовым приемником служат бактерии; *зрительная*, у которой образцовым приемником является кожа человека (покраснение, образование загара).

2.5. Глаз человека как приемник излучения

Глаз человека является приемником излучения, который имеет избирательную чувствительность к излучениям оптического диапазона длин волн. Спектральная чувствительность глаза максимальна при излучении с $\lambda = 555$ нм. На УФ- и ИК-излучения глаз не реагирует. В ИК-области спектра энергия фотона, обратно пропорциональная λ , недостаточна для обеспечения химической реакции в сетчатке глаза; УФ-излучения могли бы вызвать зрительные ощущения, но они поглощаются в хрусталике и стекловидном теле, заполняющем внутреннюю полость глазного яблока (рис. 2.4).

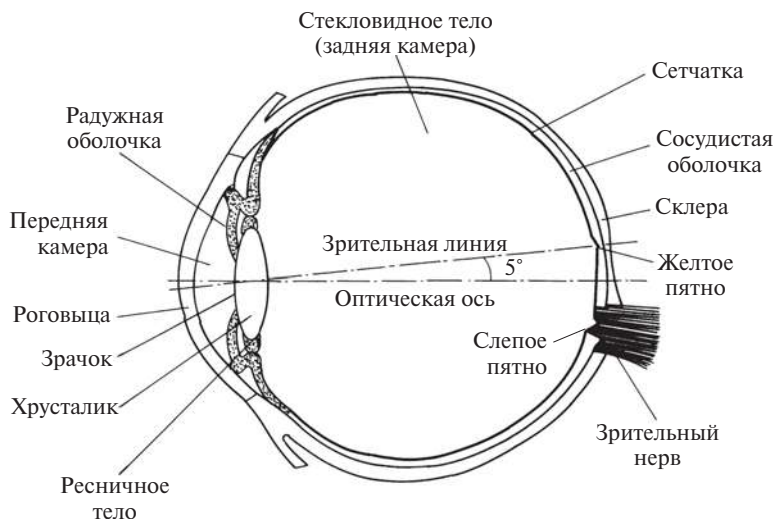


Рис. 2.4. Схематическое строение глазного яблока (диаметр глазного яблока 22—24 мм, масса 7—8 г)

Лучистый поток проходит через наружную оболочку глаза — роговицу, затем через зрачок, являющийся отверстием в радужной оболочке, и попадает внутрь глаза. После преломления в хрусталике — прозрачном теле чечевицеобразной формы, расположенном за зрачком глаза — лучи фокусируются на внутренней поверхности глаза, которая называется сетчатой оболочкой, сетчаткой или ретиной. На сетчатке создается уменьшенное и перевернутое изображение рассматриваемого объекта. Сетчатка имеет сложное строение. Наиболее важно то, что в сетчатке находятся светочувствительные клетки, называемые фоторецепторами: палочки и колбочки. Фоторецепторы поглощают падающий на них свет и перерабатывают его в другие виды энергии — химическую и затем — электрическую. Излучение, не поглощенное фоторецепторами, проходит дальше и поглощается (уже пассивно) пигментным эпителием. Благодаря поглощению этот «лишний» свет не рассеивается внутри глазного яблока и не вуалирует изображение внешних предметов на сетчатке. Фоторецепторы связаны с окончаниями волокон зрительного нерва, которые передают сигналы в мозг. Место выхода зрительного нерва из глаза называется слепым пятном, так как на его поверхности нет фоторецепторов.

На поверхности сетчатки в точке ее пересечения с линией зрения находится центральная ямка (фовеа), поперечник которой составляет примерно 0,4 мм. Этому месту соответствует наибольшая острота

зрения: в фовеа находятся только колбочки, причем очень тонкие; поперечный размер фовеальной колбочки — около 2 мкм, в угловой мере — меньше 1 мин. Чем дальше от фовеа, тем больше на сетчатке палочек и меньше колбочек.

В палочках содержится светочувствительное вещество — родопсин, который обладает очень высокой чувствительностью к излучениям видимой области спектра, поэтому палочки обеспечивают возможность видеть хотя бы большие предметы в сумерках и ночью, т.е. при низких уровнях освещенности. Их называют аппаратом ночного зрения.

Колбочки содержат светочувствительное вещество — йодопсин. Оно имеет относительно малую чувствительность к свету и позволяет глазу видеть, когда света много. Колбочки реагируют не только на свет, но и на цвет, а палочки — только на свет.

У каждого вида светочувствительного вещества имеется своя спектральная чувствительность. Вместе они характеризуют спектральную чувствительность глаза к дневному свету и к свету в сумерках. При этом существует три вида колбочек, отличающихся одна от другой своей спектральной чувствительностью. Один вид более чувствителен к коротковолновой части спектра, другой — к средневолновой части, третий — к длинноволновой. Условно их называют красными, зелеными и синими. Они отвечают за цветное зрение.

Существует много теорий цветового зрения, но ни одна из них не может считаться полностью удовлетворительной. Наиболее распространена теория, согласно которой цветовое зрение основано на трех независимых физиологических процессах. Комбинации получаемых от рецепторов сигналов обрабатываются в нейронных системах восприятия яркости и цвета. Благодаря разной чувствительности рецепторов в различных участках спектра и возникают различные цветовые ощущения.

2.6. Световые величины

Для построения эффективной системы величин и единиц необходимо знание спектральной и интегральной чувствительностей того приемника излучения, который является базовым в выбранной системе эффективных величин. В настоящее время стандартизованы две функции спектральной чувствительности глаза [27]: $V(\lambda)$ для яркости адаптации $L \geq 10$ кд/м² (дневное зрение) и $V'(\lambda)$ для $L \leq 0,01$ кд/м² (ночное зрение), показанные на рис. 2.5. Эти функции называются нормализованными функциями относительной спектральной световой эффективности излучения для дневного и ночного зрения и обозначаются $V(\lambda)$ и $V'(\lambda)$.

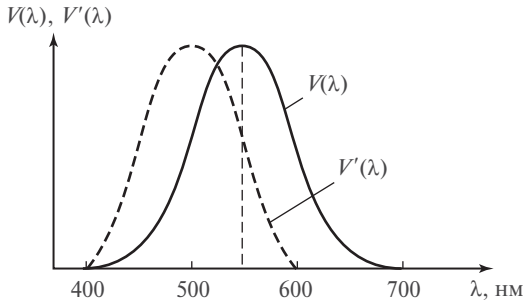


Рис. 2.5. Относительная спектральная световая эффективность для дневного $V(\lambda)$ и ночного зрения $V'(\lambda)$

Световой поток — это эффективный поток в системе единиц, в которой спектральная характеристика образцового приемника определяется относительной спектральной чувствительностью органа зрения человека — нормализованной функцией относительной спектральной световой эффективности излучения стандартного фотометрического наблюдателя МКО для дневного зрения, обозначаемой $V(\lambda)$. Следовательно, световой поток — это энергетический поток излучения при оценке его действия на орган зрения человека.

За единицу светового потока принят люмен (лм) — световой поток, излучаемый в единичном телесном угле (1 ср) равномерным точечным источником с силой света одна кандела (1 кд).

Значение максимальной спектральной световой эффективности $K(\lambda)_{\max}$ соответствует длине волны излучения 555 нм при дневном зрении и равно 683 лм/Вт.

Для перехода от монохроматического потока излучения к монохроматическому световому потоку с той же длиной волны пользуются соотношением $\Phi_{\lambda} = \Phi_{e\lambda} V(\lambda)$.

Световой поток источника с линейчатым спектром

$$\Phi_V = 683 \sum \Phi_{e\lambda_i} V(\lambda_i),$$

где $\Phi_{e\lambda_i}$ — поток излучения линии, Вт.

Световой поток источника со сплошным спектром

$$\Phi_V = 683 \int_{\lambda = 380 \text{ нм}}^{\lambda = 780 \text{ нм}} \varphi(\lambda) V(\lambda) d\lambda,$$

где $\Delta\lambda = 380 \div 780$ нм — условно принятые границы нормализованной функции относительной спектральной световой эффективности излучения.

Сила света — это отношение светового потока, исходящего от источника и распространяющегося внутри элементарного телесного угла, содержащего заданное направление, к этому элементарному телесному углу: $I_{V\alpha} = d\Phi_V/d\omega$. За единицу силы света принята кандела — сила света, излучаемая поверхностью абсолютно черного тела размером $1/600\,000\text{ м}^2$ в перпендикулярном направлении при температуре затвердевания платины и давлении $101\,325\text{ Па}$; $1\text{ кд} = 1\text{ лм/ср}$. Средняя сила света лампы накаливания мощностью 100 Вт составляет около 100 кд .

Понятие силы света применимо только к небольшим по размерам излучателям, размеры которых значительно меньше расстояния, на котором проводится измерение силы света или освещенности.

Несмотря на то что все реальные источники излучения имеют конечные размеры, очень часто пользуются понятием точечного источника излучения. Для точечного источника с заданной точностью соблюдается закон квадратов расстояний. Обычно закон квадратов расстояний используют для расчетов освещенности по силе света при соотношении расстояния между источником излучения и расчетной плоскостью l к максимальному размеру источника d : $l/d = 8 \div 10$ (см. рис. 2.2), тогда погрешность расчета меньше 1% .

Геометрическое место точек концов отрезков, выходящих из одной точки (светового центра источника), длина каждого из которых пропорциональна силе света источника в соответствующем направлении, образует *фотометрическое тело излучателя*, которое представляет собой распределение силы света источника в пространстве и полностью характеризует распределение светового потока этого источника в пространстве (рис. 2.6).

По характеру распределения силы света точечные источники делятся на симметричные и несимметричные. К симметричным источникам излучения относятся такие, у которых фотометрическое тело излучения образовано вращением кривой силы света в полярной сетке координат вокруг оси, расположенной в меридиональной плоскости, а также источники, имеющие хотя бы одну плоскость симметрии. К несимметричной относят фотометрическую поверхность, не имеющую ни оси, ни плоскости симметрии. Имея графическое или аналитическое выражение функции $I_V(\alpha)$, мы получаем полное представление о распределении светового потока источника света в пространстве.

Для источников света (излучения) часто пользуются *кривой силы света* (КСС), которая представляет собой кривую, лежащую в плоскости, проходящей через световой центр источника, и изображающую

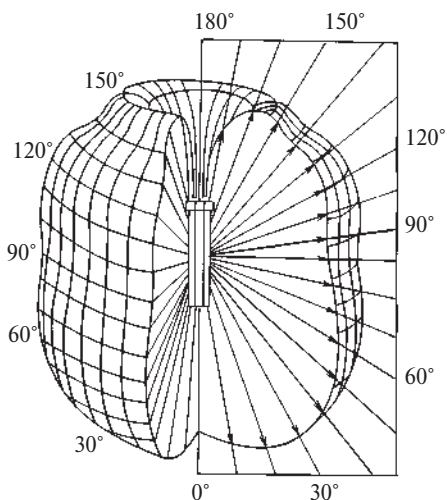


Рис. 2.6. Фотометрическое тело распределения силы света источника в пространстве

щую (обычно в полярных координатах) силу света источника в функции угла, отсчитываемого от заданного направления.

Освещенность — это отношение светового потока, падающего на элемент поверхности, к площади этого элемента $E_V = d\Phi_V/dA$, т.е. это поверхностная плотность падающего на площадь A светового потока. Единица освещенности — люкс ($1 \text{ лк} = 1 \text{ лм/м}^2$) — это освещенность, создаваемая световым потоком 1 лм, равномерно распределенным на поверхности площадью 1 м².

В общем случае расчет освещенности проводится по формуле

$$E_V = I_{V\alpha} \cos \beta / l^2,$$

где E_V — освещенность на заданной поверхности; $I_{V\alpha}$ — сила света в данном направлении; l — расстояние между источником света и освещаемой поверхностью; β — угол между нормалью к расчетной поверхности и направлением на источник излучения.

Диапазон уровней освещенности в реальных условиях составляет: на улице при искусственном освещении от 1 до 20 лк, в помещении от 20 до 5000 лк; в природных условиях освещенность поверхности Земли равна 0,2 лк в зимнее полнолуние, 5000—1 000 лк днем при сплошной облачности и до 100 000 лк в ясный день.

Яркость непосредственно связана с уровнем зрительного ощущения, а распределение яркости в поле зрения характеризует качество (степень комфортности) освещения. Наиболее распространенное

определение яркости: яркость — это отношение силы света участка светящей поверхности в данном направлении к площади проекции этой поверхности на плоскость, перпендикулярную направлению:

$$L_{V\alpha\beta} = dI_{V\alpha\beta} / (dA \cos \alpha),$$

где $dI_{V\alpha\beta}$ — сила света элементарной излучающей поверхности в направлении, определяемом углами α и β ; dA — площадь элемента поверхности.

В более общем виде можно записать

$$L_{V\alpha\beta} = d^2\Phi_{V\alpha\beta} / (dA \cos \alpha d\Omega_{\alpha\beta}),$$

где $d^2\Phi_{V\alpha\beta}$ — световой поток, излучаемый элементарным участком dA поверхности излучателя в пределах телесного угла $d\Omega_{\alpha\beta}$.

Следовательно, яркость можно определить как плотность светового потока по пространственному углу и по площади проекции излучающей поверхности на плоскость, перпендикулярную направлению распространения светового потока. Единица измерения яркости — кандела на квадратный метр ($\text{кд}/\text{м}^2$).

В полной темноте человек реагирует на яркость, равную $1 \cdot 10^{-6} \text{ кд}/\text{м}^2$, яркость поверхности вольфрамовой нити лампы накаливания составляет $5,5 \cdot 10^6 \text{ кд}/\text{м}^2$, Солнца в зените — $10^9 \text{ кд}/\text{м}^2$, ртутной лампы сверхвысокого давления — до $10^9 \text{ кд}/\text{м}^2$, люминесцентной лампы — $(7 \div 15) 10^3 \text{ кд}/\text{м}^2$, земной поверхности в полнолуние — $0,05 \text{ кд}/\text{м}^2$ [5].

Для равнорядных поверхностей значение яркости не зависит от направления, поэтому можно записать

$$L_V = \frac{I}{A \cos \alpha}.$$

Здесь L_V — среднегабаритная яркость (т.е. яркость, средняя по площади излучения) излучающей поверхности для любого направления α .

Полученная формула характеризует закон распределения силы света в пространстве для равнорядных излучающих поверхностей, который по сути представляет собой косинусную зависимость, и в полярной системе координат КСС такого излучателя выглядит как окружность с точкой касания в точке светового центра излучателя.

Для матовых (диффузных) поверхностей яркость пропорциональна поверхностной плотности отраженного или излучаемого этой поверхностью светового потока, т.е. светимости M . Под *светимостью* понимают плотность светового потока по площади излучающей (или отражающей, или пропускающей) поверхности: $M = d\Phi/dA$; единица светимости — $1 \text{ лм}/\text{м}^2$.

Для излучения, отраженного от диффузно отражающей поверхности с коэффициентом отражения ρ при освещенности E , светимость $M = \rho E$.

Излучение большинства применяемых на практике источников излучения, как тепловых, так и люминесцентных, близко по характеристикам к равнорядному излучению.

Рассмотрим равнорядные излучатели простейших форм (шар, диск или цилиндр), с которыми приходится сталкиваться в инженерных расчетах.

У равнорядного шара с яркостью L_V и диаметром D сила света в любом направлении постоянна: $I_V = L_V \pi D^2 / 4 = \text{const}$, а световой поток такого источника соответственно равен $\Phi_V = 4\pi I_V$.

Для равнорядного диска диаметром D сила света, излучаемая под любым углом α , $I_V = I_{V0} \cos \alpha$, где $I_{V0} = L_V \pi D^2 / 4$, а световой поток $\Phi_V = \pi I_{V0}$, где I_{V0} — сила света в направлении, перпендикулярном поверхности диска ($\alpha = 0^\circ$).

Для равнорядного цилиндра с темными торцами (излучает только боковая поверхность) высотой h и диаметром D распределение силы света в пространстве: $I_\alpha = I_{90} \sin \alpha = LhD \sin \alpha$, если угол α отсчитывается от продольной оси цилиндра, а I_{90} — сила света в направлении, перпендикулярном продольной оси цилиндра (т.е. максимальное значение). Световой поток, излучаемый равнорядным цилиндром, равен $\pi^2 I_{90}$.

Для характеристики *энергоэкономичности* источников излучения существует понятие *световой отдачи* источника η , определяемой как отношение излучаемого светового потока к потребляемой мощности P и измеряемой в люменах на ватт:

$$\eta = \frac{\int_{\lambda = 380 \text{ нм}}^{\lambda = 780 \text{ нм}} \varphi_\lambda(\lambda) V(\lambda) d\lambda}{P}.$$

Применение источников излучения с высокой световой отдачей — основной путь экономии электроэнергии в осветительных установках.

2.7. Представления о цветовых расчетах

При проектировании электрического освещения с использованием современных электрических источников излучения невозможно обойтись без представлений о цвете излучений [4] и без цветовых расчетов.

Колориметрия — раздел фотометрии, связанный с измерениями характеристик цвета в соответствии с принятыми международными соглашениями.

В колориметрии под цветом понимается трехмерная векторная величина, характеризующая группу визуально неразличимых излучений [14]. В соответствии с принятыми научными представлениями о сущности цветового зрения человека, цвет однозначно определяется *координатами цвета излучения*. В колориметрии применяется трехцветная система определения цвета, основанная на возможности воспроизведения заданного цвета путем аддитивного смешения основных цветов в разных пропорциях.

Для определения координат цвета были разработаны математические модели расчета цвета, представляющие собой колориметрические системы, с помощью которых оказываются возможными расчеты и измерения цвета, а также его воспроизведение.

В качестве наиболее употребляемой колориметрической системы МКО приняла цветовую систему координат XYZ [15]. Под координатами цвета понимаются количества трех основных цветов, необходимых для получения колориметрического равенства с измеряемым цветом. Координаты цвета рассчитывают умножением ординат кривой относительного спектрального распределения измеряемого излучения $\varphi_e(\lambda)$ на ординаты кривых сложения $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ и интегрированием этих произведений по всей спектральной области видимого излучения:

$$X = \int_{\lambda = 380 \text{ нм}}^{\lambda = 780 \text{ нм}} \varphi_e(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda; \quad Y = \int_{\lambda = 380 \text{ нм}}^{\lambda = 780 \text{ нм}} \varphi_e(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda;$$

$$Z = \int_{\lambda = 380 \text{ нм}}^{\lambda = 780 \text{ нм}} \varphi_e(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda.$$

На рис. 2.7 приведены кривые сложения, предложенные МКО в 1931 г. для расчетов при использовании полей зрения от 1° до 4°, а для полей, превышающих 4°, рекомендуется система $X_{10}Y_{10}Z_{10}$ МКО 1964 г.

Под *цветностью* понимается качественная характеристика цвета, определяемая его координатами цветности или доминирующей длиной волны и чистотой цвета. Колориметрическому понятию *доминирующей длины волны* по восприятию соответствует *цветовой тон*, который является характеристикой цвета, описываемого словами: синий, зеленый, желтый, красный и т.д. *Чистота цвета* — это характеристика цветового ощущения, позволяющая оценить долю чистой хроматической составляющей в общем цветовом ощущении.

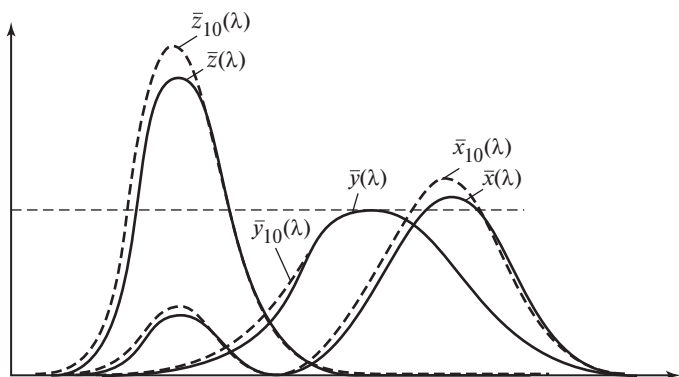


Рис. 2.7. Удельные координаты цвета (кривые сложения) системы XYZ MCO 1931 г. (для поля зрения 2°) и $X_{10}Y_{10}Z_{10}$ MCO 1964 г. (для поля зрения 10°)

Координаты цветности определяются как отношение трех координат цвета к их сумме:

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}; \quad y = \frac{Y}{X + Y + Z}; \quad z = \frac{Z}{X + Y + Z}.$$

Обычно координаты цветности представляют на цветовой диаграмме XY точками (рис. 2.8, см. вклейку). В средней части диаграммы находятся координаты цветности белых излучений (которые могут быть получены сложением трех излучений разной цветности в определенной пропорции), а на периферии диаграммы отложены координаты цветности монохроматических излучений, существующие в природе (линия *локуса*), или координаты цветности пурпурных излучений, которые можно получить сложением синих и красных излучений в определенной пропорции.

В усовершенствованной системе XYZ заложены следующие условия:

- 1) координаты цветности всех реальных цветов должны лежать внутри координатного треугольника, следовательно, все реальные цвета должны иметь только положительные координаты: $X \geq 0$; $Y \geq 0$; $Z \geq 0$;
- 2) количественная характеристика цвета (яркость) должна полностью определяться одним его компонентом (Y);
- 3) координаты белого цвета равноэнергетического излучения должны быть равными.

В колориметрии стандартизировано несколько источников белого цвета, координаты цветности которых и соответствующие им цветовые температуры приведены в табл. 2.1. (Понятие о цветовой температуре будет введено позднее.)

Координаты цветности и цветовая температура стандартных источников света МКО

Стандартный источник света МКО	МКО 1931 г.		МКО 1964 г.		$T_{цв}, K$
	x	y	x_{10}	y_{10}	
A	0,4476	0,4074	0,4512	0,4059	2896
B	0,484	0,3516	0,3498	0,3527	4874
C	0,3011	0,3062	0,3104	0,3191	6774
D ₅₀	0,3457	0,3585	0,3478	0,3595	5003
D ₅₅	0,3324	0,3475	0,3341	0,3310	5503
D ₆₅	0,3127	0,3290	0,3138	0,3310	6504
D ₇₅	0,2990	0,3150	0,2296	0,3173	7504

Современные источники света крайне разнообразны не только по своим светотехническим характеристикам, но и по цветопередаче, т.е. по способности правильно передавать цвета отражающих или пропускающих свет поверхностей по сравнению с излучением, которое является по тем или иным признакам эталонным.

Качество цветопередачи обычно оценивают значением общего *индекса цветопередачи*, который обозначается R_a и рассчитывается на основе соотношений равноконтрастной цветовой системы. Максимальное значение $R_a = 100$, хорошая цветопередача соответствует значению $R_a > 80$, а при $R_a < 60$ цветопередача считается недостаточной.

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое свет?
2. Что понимают под отражением, пропусканием и поглощением света?
3. Что такое поток излучения и в каких единицах его измеряют?
4. Что такое спектральная плотность потока излучения?
5. Дайте определение телесного угла, в пределах которого может распространяться световой поток, а также определение силы излучения.
6. Дайте определения энергетической яркости, светимости, освещенности.
7. Какой закон связывает облученность и силу излучения для точечных источников излучения?
8. Перечислите типы отражения излучения разными материалами в окружающее пространство.
9. Что такое «эффективный поток» излучения?

10. Как называются фоторецепторы глаза, благодаря которым человек видит свет?
11. Что такое световой поток и чем он отличается от энергетического потока?
12. Что собой представляет кривая силы света источника?
13. Какой источник излучения называют равнорким?
14. Что такое цвет излучения и как рассчитывают цвет в одной из колориметрических систем?
15. Назовите типы стандартных источников излучения.
16. С помощью какой характеристики оценивают качество цветопередачи излучения?

Глава третья

ОСНОВЫ ФОТОМЕТРИИ

3.1. Визуальная и объективная фотометрия

Согласно Международному светотехническому словарю [30], фотометрия есть измерение величин, характеризующих излучение, по производимому им зрительному ощущению. Правда, в русской литературе часто слово «фотометрия» толкуется в более широком смысле: измерение величин, характеризующих оптическое излучение. В общем случае речь идет об измерении таких величин, как световой поток Φ , сила света I , освещенность E , яркость L , цветность (цветовая температура $T_{цв}$, индекс цветопередачи R_d).

Световые измерения выполняются с помощью специальных приборов — фотометров, визуальных или физических; в зависимости от типа приемника излучения это может быть либо глаз (визуальная фотометрия), либо объективный приемник, обычно фотоэлектрический.

Исторически сложилось так, что измерения световых величин начинались тогда, когда еще не существовали объективные приемники излучений, позволяющие измерять их реакцию на свет, поэтому, в первую очередь, возник раздел фотометрии, который в наше время называют визуальной фотометрией.

Визуальная фотометрия. Глаз реагирует на яркость излучающего объекта, но все же человек может судить не столько о значении яркости, сколько о неравенстве яркости различных объектов. Поэтому в визуальных фотометрах конструируются два смежных поля сравнения, наблюдаемых глазом человека, а процесс измерения сводится к уравниванию яркостей полей сравнения.

Принцип измерения фотометрической величины состоит в следующем. Между двумя источниками света помещается (в простейшем случае) трехгранная призма из диффузно рассеивающего материала, например из гипса. Наблюдатель, глядя на ребро призмы, видит одновременно обе ее грани, причем яркость каждой грани зависит от силы света соответствующей лампы и ее расстояния до призмы по закону квадрата расстояния.

Перемещая призму на участке между двумя источниками (или варьируя уровень освещенности ее граней с помощью нейтральных фильтров или диафрагм), можно добиться равенства яркостей обеих граней призмы. В этом случае человек воспринимает две плоскости

призмы как одно целое поле, не разделенное линией ребра призмы. Равенство яркостей граней призмы будет соответствовать и равенству освещенностей. А искомое значение силы света можно рассчитать, пользуясь известным законом квадрата расстояния (см. рис. 2.2):

$$E = I_{\alpha} \cos \alpha / l^2.$$

Так как в приборе используются точечные излучатели (например, нити накала ламп накаливания), то с помощью проведенного уравнивания полей сравнения глазом по их яркости (т.е. освещенности) легко рассчитать силу света неизвестного источника, если известна сила света источника, принятого за источник сравнения, т.е. эталонный источник:

$$\frac{I_{\text{эт}}}{l_{\text{эт}}^2} = \frac{I_{\text{иссл}}}{l_{\text{иссл}}^2}.$$

Угловой размер поля зрения в таких приборах обычно ограничивается углом 3—5°. Это делается в целях максимально возможного исключения из процесса измерений палочкового аппарата зрения, чтобы оставить лишь колбочковый аппарат и максимально приблизить спектральную чувствительность глаза к функции относительной спектральной световой эффективности, т.е. увеличить точность измерения конкретной световой величины.

В современных способах фотометрических измерений вместо призмы из гипса используется устройство, называемое фотометрической головкой (ФМГ), главной составной частью которой может быть фотометрический кубик (ФК), представляющий собой склейку прямоугольных равнобедренных призм, сложенных вместе гипотенузными гранями.

Излучения от двух сравниваемых источников света (ламп), расположенных по разные стороны от ФМГ, попадают на белый светорассеивающий экран с двух сторон. Свет, рассеиваемый каждым экраном, попадает с помощью отражающих зеркал на ФК с двух разных сторон. Наблюдатель, который смотрит через окуляр на выходную грань ФК, видит два соседних участка поля зрения, разделенных тонкой линией, образующей определенный рисунок. В тот момент, когда линия в поле зрения исчезает, яркости (освещенности) обеих сторон светорассеивающего экрана уравниваются, и неизвестную силу света лампы можно рассчитать по силе света эталонного излучения и измеренным расстояниям между экраном и нитью накала каждого источника света.

Для измерения силы света неизвестного источника требуется источник эталонного излучения с известным значением силы света. Те эталоны, которые используются в обычной фотометрии, являются

вторичными и часто называются рабочими эталонами, рабочими лампами. Рабочий эталон — это источник излучения, имеющий определенный спектральный состав с известным значением силы света. Называются такие лампы светоизмерительными источниками света (СИС).

Долгое время визуальные фотометры преобладали среди приборов для измерения излучения, несмотря на очевидные недостатки:

1) необходимость строгого выполнения ряда специфических требований к визуальным фотометрам, например обученность, специальный опыт персонала, занимающегося подобного рода измерениями;

2) необходимость адаптации (привыкания) глаза к тем уровням яркости, при которых проводятся измерения;

3) зависимость результатов измерений от индивидуальных особенностей наблюдателя, состояния его организма (физического самочувствия, возраста, усталости, настроения и др.);

4) зависимость результатов измерений от цветности (или разноцветности) измеряемых световых величин;

5) длительность самого процесса измерения (когда, кроме адаптации, на которую тратится много времени, требуется еще и многократное повторение одного и того же измерения для усреднения результата).

Постепенное усовершенствование приемников оптических излучений, реакция которых оказывается пропорциональной поглощенному излучению, привело к развитию объективной фотометрии, и в настоящее время все фотометрические лаборатории используют только объективно измеряющую технику.

Объективная фотометрия. Главная особенность объективной фотометрии по сравнению с визуальной состоит в возможности непосредственно количественно оценивать световые величины. Это стало возможным благодаря развитию таких физических приемников излучения, у которых кривая спектральной чувствительности может быть приближена к кривой спектральной чувствительности глаза $V(\lambda)$ [7].

Для осуществления этого принципа необходимо корректировать спектральную чувствительность каждого приемника таким образом, чтобы она была приближена к функции $V(\lambda)$ с максимальной точностью. В таких случаях используют корригирующие светофильтры, которые представляют собой некоторый набор специальных цветных стекол, суммарный коэффициент пропускания которых совместно с функцией относительной спектральной световой чувствительности селективного приемника был бы пропорционален реакции этого приемника, которая, в свою очередь, оказывается пропорциональной реакции на световой поток стандартного наблюдателя МКО, обладающего спектральной чувствительностью $V(\lambda)$.

Другие достоинства объективной фотометрии:

- 1) возможность быстрых измерений с применением автоматических устройств для записи и одновременных расчетов;
- 2) хорошая воспроизводимость результатов.

Необходимо заметить, что любой приемник для измерения какой-либо характеристики излучения, разумеется, реагирует на световой поток, попадающий на приемную площадку. Но реакция приемника на этот световой поток всегда будет пропорциональна той величине, которую нужно измерить. Например, если требуется измерить силу света, то схема измерений должна выглядеть таким образом, чтобы поток измерялся в малом телесном угле, в соответствии с определением силы света. Если необходимо измерить освещенность, то схема измерений должна быть такой, чтобы приемник, измеряющий поток, находился в той точке плоскости, в которой и должна быть измерена освещенность, в соответствии с определением освещенности.

3.2. Измерения силы света

Схема измерения силы света фотоэлектрическим методом, в основном, похожа на схему визуальных измерений. Различие в том, что ФМГ представляет собой фотоэлектрический приемник излучения, спектральная чувствительность которого, как правило, выправлена под функцию $V(\lambda)$, и поэтому данный приемник может измерять световой поток источников света с различными спектрами. Существуют разные приемы измерения силы света такими приборами. Один из распространенных приемов состоит в том, чтобы при уравнивании освещенности от двух разных источников света добиться такого положения этих источников, чтобы при соответствующих расстояниях l_1 и l_2 между источником света и поверхностью фотоприемника прибор, регистрирующий показания фотоприемника, в обоих случаях показывал бы одинаковое значение. Такой прием измерения позволяет исключить зависимость результатов измерений от возможной нелинейности световой характеристики фотоприемника, т.е. зависимости реакции приемника от значения падающего на него потока. Таким образом повышается точность измерений. В этом случае искомую силу света можно рассчитать по формуле

$$I_x = I_3 \frac{l_3^2}{l_x^2},$$

где I_x и I_3 — силы света исследуемого источника и рабочей лампы при напряжении, указанном в ее свидетельстве о поверке (калиб-

ровке); l_x и l_z — расстояния от исследуемой и рабочей ламп до пластины ФМГ (приемной поверхности фотоприемника).

Наиболее распространенный способ измерения силы света — измерение гониофотометром, под которым понимается фотометр для измерения углового распределения световых характеристик. Гониофотометр состоит из ФМГ и поворотного устройства, которое позволяет установить необходимые углы α и β , характеризующие направление измерения силы света. При этом в приборе нужно обеспечивать выполнение закона квадратов расстояний, для чего в гониофотометрах устанавливаются значительные расстояния фотометрирования, а следствием этого становятся большие габаритные размеры таких приборов. Показания фотоприемника в этих приборах пропорциональны освещенности в плоскости данного фотоприемника, которая может быть определена на основании закона квадратов расстояний. Показания прибора сравниваются с показаниями, получаемыми при измерении силы света лампы, являющейся эталонным источником.

Измерение распределения силы света на гониофотометре проводят в помещении, стены, пол и потолок которого имеют матовое черное покрытие. Кроме того, должны быть приняты меры для того, чтобы исключить влияние постороннего света и ограничить влияние отраженного света от измерительного оборудования. До проведения измерений время стабилизации световых характеристик осветительных приборов после их включения на номинальное напряжение сети должно быть не менее:

5 мин для осветительных приборов с лампами накаливания;

15 мин для осветительных приборов с разрядными лампами высокого давления;

40 мин для осветительных приборов с люминесцентными лампами.

Для осветительных приборов со светодиодами время стабилизации световых характеристик должно быть указано в технических условиях на осветительные приборы конкретных типов или их группы, а при отсутствии таких данных определено опытным путем. Применяемые средства измерений должны быть поверены, а испытательное оборудование аттестовано. Для выполнения светотехнических измерений методом относительной фотометрии в осветительные приборы устанавливают измерительные (контрольные) лампы по ГОСТ 17616—1982, которые калибруют путем сравнения с эталонными светоизмерительными лампами по ГОСТ 8.023—2003.

Измерения световых характеристик осветительных приборов осуществляют в измерительных установках (в гониофотометре или фотометрическом шаре) [9], оснащенных фотометрами, спектральные характеристики которых скорректированы под кривую $V(\lambda)$ (ГОСТ 8.332—1978).

Измерения цветовых характеристик для неразборных осветительных приборов со светодиодами выполняют с помощью спектрометров или спектроколориметров.

Измерение распределения силы света. Измерение распределения силы света световых приборов проводят на гониофотометрах различных типов. Гониофотометр должен обеспечивать измерение силы света осветительных приборов в соответствии с одной из принятых по рекомендациям МКО [10] систем фотометрирования: C, γ ; B, β ; A, α (рис. 3.1). Для фотометрирования осветительных приборов с круглосимметричным распределением силы света в первую очередь рекомендуются к использованию гониофотометры, работающие по системе фотометрирования C, γ . Для фотометрирования осветительных приборов с симметричным и асимметричным распределениями силы света (например, для прожекторов типа «кососвет») могут быть использованы гониофотометры, работающие по системе B, β . В ряде случаев используют гониофотометры, работающие по системе A, α , например для фотометрирования светильников, плоскость симметрии которых совпадает с главной поперечной плоскостью.

Во время всего цикла измерений рекомендуется использовать гониофотометры с неподвижным положением осветительного прибора. Допускается применять гониофотометры с вращением осветительного прибора при условии сохранения его рабочего положения. При этом, если положение осветительного прибора влияет на результаты измерения, вводят поправочный коэффициент для учета этого влияния. Центр приемной поверхности ФМГ должен находиться на оси гониофотометра, а плоскость приемной площадки ФМГ должна быть перпендикулярна этой оси (рис. 3.1). При наличии в гониофотометре зеркал данная прямая представляет собой ломаную линию, проходящую через центры этих зеркал. Размер зеркал должен быть таким, чтобы изображение светящей части осветительного прибора, видимое из центра приемной поверхности фотометрической головки по любому направлению фотометрирования, не выходило за пределы зеркал.

Для прожекторов расстояние фотометрирования должно быть указано в технических условиях на прожекторы конкретных типов или их групп, а при отсутствии таких данных определено опытным путем. Для этого прожектор устанавливают в положение, при кото-

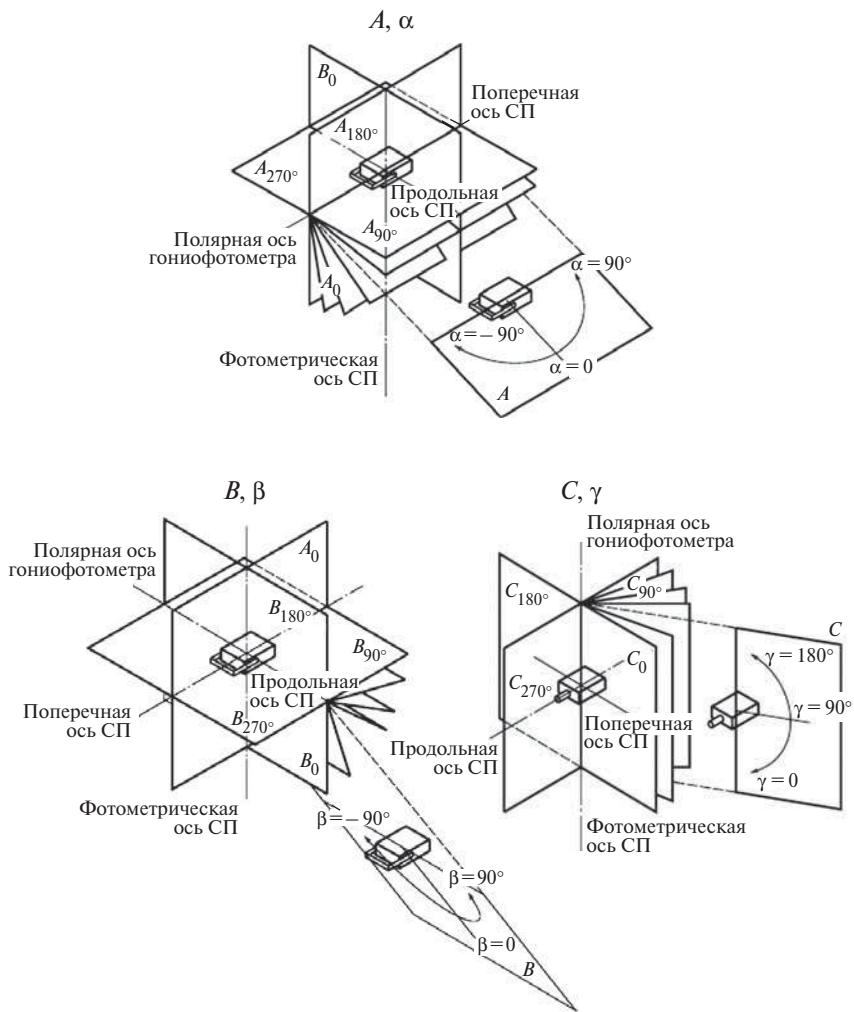


Рис. 3.1. Системы фотометрирования

ром его оптическая ось параллельна горизонтальной плоскости, и измеряют вертикальную освещенность E_r на площадке, обращенной к прожектору, в точках оптической оси при удалении r от прожектора. Расстояние r , начиная с которого произведение $E_r r^2$ остается постоянным в пределах погрешности 1 %, принимают за расстояние фотометрирования. В течение всего цикла измерений расстояние фотометрирования должно быть постоянным. Для гониофотометров ближней зоны расстояние фотометрирования не нормируют.

3.3. Измерения светового потока

В современной фотометрии существуют два основных способа измерения светового потока [12]: прямые измерения с помощью фотометрического шара и косвенные измерения, когда световой поток вычисляется по известным формулам, если задано или измерено распределение силы света источника света или светового прибора.

При косвенном измерении светового потока по распределению силы света (зональный метод) чаще всего приходится измерять зависимость силы света источника от направления излучения, например с помощью гониофотометра. Световой поток рассчитывают по формулам, связывающим силу света источника со значением телесного угла, в пределах которого измерена сила света, при этом сила света принимается равномерной с той или иной степенью точности в пределах этого телесного угла в соответствии с известной формулой

$$\Phi = \int_{4\pi} I(\alpha, \beta) d\Omega,$$

где $I(\alpha, \beta)$ — сила света, измеренная при определенных значениях углов α и β ; $d\Omega$ — телесный угол, в пределах которого измерена сила света.

Обычно, если закон изменения силы света неизвестен, интегрирование заменяют суммированием:

$$\Phi = \sum_{i=1}^n I \Delta \omega_i.$$

Телесные углы, в пределах которых измеряется сила света и рассчитывается световой поток, обычно выбираются заключенными между коаксиальными коническими поверхностями, разделенными углом $d\alpha$ в пространстве, и вычисляются в соответствии с формулой

$$d\Omega = 2\pi \sin \alpha d\alpha.$$

На практике значение $\Delta\omega_i$ может быть рассчитано по известной формуле

$$\Delta\omega_i = 2\pi(\cos \alpha_i - \cos \alpha_{i+1}),$$

где α_i и α_{i+1} — углы, ограничивающие две соседние конические поверхности, в пределах которых измеряемая сила света считается постоянной.

Измерение светового потока зональным методом наиболее удобно проводить для источников света с осесимметричным распределением силы света, при несимметричном распределении силы света расчеты значительно сложнее.

Для определения светового потока источника с произвольным распределением силы света используется фотометрический шар, в котором световой поток неизвестного и часто несимметричного источника сравнивается с заранее вычисленным или измеренным потоком осесимметричного источника.

Фотометрический шар представляет собой полый шар достаточно большого диаметра, внутренняя стенка которого равномерно покрыта белой светорассеивающей краской. Измеряемый источник света помещается внутрь такого шара.

Для измерений светового потока в стенке шара проделывается отверстие, которое закрывается молочным стеклом, непосредственно за которым крепится фотоприемник, снабженный корригирующим светофильтром. Световой поток определяется по реакции фотоприемника при сравнении показаний, полученных при измерениях потока от эталонного источника и от измеряемого.

Для осветительных приборов с плоским выходным отверстием допускается проводить измерение светового потока через окно в фотометрическом шаре. Диаметр окна не должен превышать $1/3$ диаметра шара. При измерении осветительный прибор устанавливается с внешней стороны шара так, чтобы плоскость выходного отверстия осветительного прибора была расположена заподлицо с плоскостью окна шара. Зазор между краем окна шара и осветительным прибором должен быть перекрыт крышкой из материала с характеристиками отражения света, близкими к характеристикам отражения внутренней поверхности шара. Для калибровки такой установки следует использовать эталонные источники света с плоским выходным отверстием, которые устанавливают по аналогичной схеме с измеряемым осветительным прибором. При отсутствии таких эталонов допускается применение традиционных эталонных ламп накаливания, при этом их расположение в шаре должно быть таким, при котором выполняются требования по экранированию приемного окна от прямого света эталонной лампы.

3.4. Измерения освещенности

Измерение освещенности — наиболее часто используемый вид световых измерений, так как очень велика потребность проверки освещенности в расчетных точках осветительных установок. Приборы для измерения освещенности называются люксметрами. Люксметр состоит из фотоэлектрического приемника, ток которого измеряется чувствительным гальванометром. Обычно фотоприемник соединен с гальванометром достаточно длинным и гибким проводом, так как фотоприемник при измерениях должен быть помещен в ту точку

плоскости, в которой требуется измерить освещенность. Гальванометр отградуирован непосредственно в единицах освещенности, т.е. в люксах. Обычно гальванометр имеет несколько шкал, используемых при измерении разных уровней освещенности.

Чаще всего фотоприемники люксметров снабжаются корректирующими светофильтрами для того, чтобы иметь возможность измерять разнспектральные световые потоки. Погрешность измерения освещенности такими приборами, как правило, не превышает 10 %. Для уменьшения погрешности измерений, в частности, вызванной неравномерностью поглощения светового потока пучков света, падающих на поверхность фотоприемника под большими углами, применяется так называемая косинусная насадка, представляющая собой полусферическую поверхность, выполненную из светорассеивающего материала. При использовании этой насадки показания фотоприемника, в конечном счете, пропорциональны потоку, равномерно упавшему на приемную поверхность люксметра.

3.5. Измерения яркости

Необходимость измерения яркости появляется очень часто и в самых разнообразных случаях: может возникнуть потребность измерить яркость источника излучения, т.е. нити накала лампы, свечения разряда в колбе газоразрядной лампы, яркость небесного свода и др. Иногда оказывается необходимым измерить яркость светорассеивающих или светопропускающих поверхностей, размеры которых могут оказаться либо очень большими, но неоднородно освещенными, либо очень малыми. Во всех этих случаях возникает необходимость измерения яркости малых площадок. Можно измерять яркость по силе света в заданном направлении от излучающей поверхности. Силу света можно измерить одним из описанных ранее способов, но определить размеры малой площадки с необходимой точностью бывает трудно. Поэтому чаще всего яркость измеряют по схеме, связанной с измерением потока, проходящего через две диафрагмы, выделяющие малую излучающую площадку и малый телесный угол, в котором происходит перенос потока от излучающей поверхности к приемной площадке какого-либо фотоприемника (в соответствии с приведенной выше формулой).

Определение габаритной яркости светильника. Габаритную яркость определяют для основных плоскостей симметрии S светильника и меридиональных углов γ в зоне ограничения яркости (рис. 3.1).

По результатам измерения распределения силы света габаритную яркость светильника $L_A(C, \gamma)$, кд/м², в направлении, определяемом положением плоскости C и углом γ , вычисляют по формуле

$$L_A(C, \gamma) = \frac{I(C, \gamma)}{A(C, \gamma)},$$

где $I(C, \gamma)$ — значение силы света в направлении C, γ , кд; $A(C, \gamma)$ — площадь проекции светящей поверхности светильника на плоскость, перпендикулярную направлению, определяемому плоскостью C и углом γ , м².

При измерении габаритной яркости светильника с лампой, световой поток которой отличается от номинального, габаритную яркость необходимо пересчитать на номинальный световой поток по формуле

$$L_{A \text{ ном}} = L_A \frac{\Phi_{\text{ном}}}{\Phi_{\text{л}}},$$

где L_A — значение габаритной яркости для измерительной лампы, кд/м²; $\Phi_{\text{ном}}$ — номинальный световой поток лампы светильника, лм; $\Phi_{\text{л}}$ — световой поток измерительной лампы, лм.

Из значений габаритной яркости, полученных для разных углов в зоне ограничения яркости, выбирают наибольшее.

3.6. Некоторые практические вопросы фотометрии

Класс светораспределения светового прибора (светильника) определяют по доле светового потока, излучаемого в нижнюю полусферу, $\Delta\Phi_{\ominus}$, %, по формуле

$$\Delta\Phi_{\ominus} = \frac{\Phi_{\ominus}}{\Phi} 100,$$

где Φ — полный световой поток осветительного прибора, лм.

Значения $\Phi_{\text{н.п}}$ и Φ определяют по результатам измерения распределения силы света светового прибора. Класс светораспределения светильника находят по значению $\Delta\Phi_{\ominus}$.

Определение защитного угла светового прибора. Защитный угол γ_3 светового прибора определяют измерением его конструктивных параметров или визуально. Защитный угол γ_3 определяют прямым измерением параметров h и l светильника, где h — минимальная высота светящего тела источника света над горизонталью, проходящей через край выходного отверстия светового прибора или экранирующей решетки, мм; l — максимальное расстояние по горизонтали от основания высоты h до края выходного отверстия светильника или

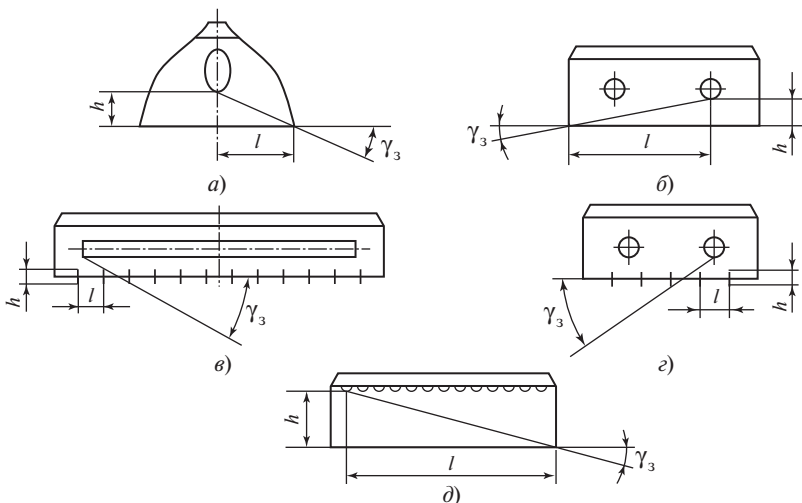


Рис. 3.2. Определение защитного угла γ_3 по рабочим чертежам светильника:

a — с лампами со светящей колбой; *б* — с люминесцентными лампами без решетки; *в, з* — то же с решеткой; *д* — со светодиодами

расстояние между соседними экранирующими элементами решетки, мм. Защитный угол γ_3 рассчитывают по формуле

$$\gamma_3 = \frac{180}{\pi} \arctg \frac{h}{l}.$$

Допускается значение защитного угла светильника находить по его рабочим чертежам (рис. 3.2).

Определение коэффициента полезного действия светильника.

Коэффициент полезного действия светильника η , %, находят как отношение его светового потока $\Phi_{с.п}$ к сумме световых потоков всех его ламп $\sum \Phi_{л}$, измеренных вне светильника:

$$\eta = \frac{\Phi_{с.п}}{\sum \Phi_{л}} 100.$$

Световой поток ламп $\Phi_{л}$ определяют по методике, приведенной в стандартах или технических условиях на лампы конкретных типов, при этом световой поток разрядных ламп измеряют с балластом испытуемого светильника.

Определение световой отдачи и коэффициента световой отдачи светильника со светодиодами. Световую отдачу светильников со светодиодами $\eta_{с.п}$ рассчитывают по формуле

$$\eta_{с.п} = \frac{\Phi_{с.п}}{P_{с.п}},$$

где $\Phi_{с.п}$ — световой поток светового прибора, лм; $P_{с.п}$ — электрическая мощность, потребляемая световым прибором, Вт.

Коэффициент световой отдачи находят как отношение световой отдачи светильника к световой отдаче содержащихся в нем светодиодов одного типа, указанной изготовителем в технических условиях или каталоге.

Определение коррелированной цветовой температуры (КЦТ) светового прибора со светодиодами. Коррелированную цветовую температуру определяют с помощью автоматизированного спектроколориметра или рассчитывают по координатам цветности излучения, полученным в результате измерения распределения спектральной плотности излучения.

Измерение проводят при стабилизированном световом потоке. Определение координат цветности и КЦТ светового прибора со светодиодами выполняют либо в процессе измерения светового потока, когда наряду с ФМГ приемно-регистрирующий тракт фотометрического шара оснащен спектрометром, либо в процессе отдельного измерения. В последнем случае допускается выполнять измерения распределения спектральной плотности энергетической освещенности или энергетической яркости (ГОСТ 8.195—1989) в абсолютных или относительных единицах сканирующими спектрометрами. По результатам измерения распределения спектральной плотности излучения $\Phi_{e\lambda}(\lambda)$ рассчитывают координаты цвета X, Y, Z по формулам:

$$X = \int_{\lambda = 380 \text{ нм}}^{\lambda = 780 \text{ нм}} \Phi_{e\lambda}(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda; \quad Y = \int_{\lambda = 380 \text{ нм}}^{\lambda = 780 \text{ нм}} \Phi_{e\lambda}(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda;$$

$$Z = \int_{\lambda = 380 \text{ нм}}^{\lambda = 780 \text{ нм}} \Phi_{e\lambda}(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda,$$

где $\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$ — функции сложения в стандартной колориметрической системе МКО 1931 г.

Координаты цветности x, y определяют через координаты цвета X, Y, Z по формулам:

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}; \quad y = \frac{Y}{X + Y + Z}.$$

На графике цветностей МКО 1931 г. с нанесенными четырехугольниками допустимых отклонений КЦТ по рекомендациям МКО [13] находят, в какой из них попадает точка с найденными координатами цветности (рис. 3.3).

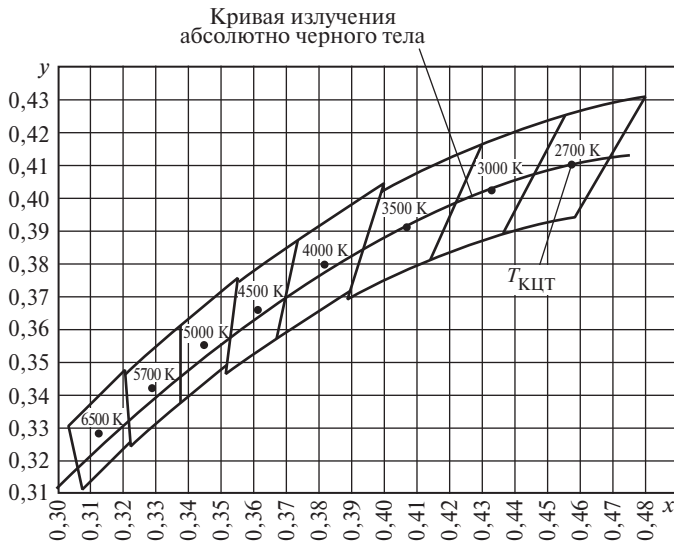


Рис. 3.3. График цветностей МКО 1931 г. с линией абсолютно черного тела и семейством четырехугольников допустимых отклонений КЦТ

Значение КЦТ испытуемого светового прибора определяют по номинальному значению КЦТ, соответствующему четырехугольнику, в который попала расчетная точка с координатами x и y . Если расчетная точка не попадает ни в один из четырехугольников, то световой прибор считают не выдержавшим испытание.

Определение спада и времени стабилизации светового потока светового прибора со светодиодами. Спад и время стабилизации светового потока осветительного прибора находят путем регистрации значений величины, пропорциональной световому потоку (например, освещенности приемника).

Для определения начального значения светового потока измеряют регистрируемую величину n_0 в первые 20 с после включения осветительного прибора. Далее через интервалы времени, не превышающие 15 мин, проводят измерения регистрируемой величины. Состояние стабилизации считают достигнутым тогда, когда впервые от начала испытания для трех последовательных значений регистрируемой величины разница между максимальным n_{\max} и минимальным n_{\min} значениями не превышает 1 %, т.е. выполняется условие

$$\frac{n_{\max} - n_{\min}}{n_{\text{ср}}} 100 \leq 1 \%,$$

где $n_{\text{ср}}$ — среднеарифметическое указанных трех значений.

Время стабилизации $t_{\text{стаб}}$ определяют как период от включения осветительного прибора до момента фиксации первого по времени из трех указанных значений, которое принимают за значение регистрируемой величины в состоянии стабилизации $n_{\text{стаб}}$.

Спад светового потока, %, находят по формуле

$$\delta\Phi = \frac{n_0 - n_{\text{стаб}}}{n_0} 100.$$

Технические данные световых приборов со светодиодами приведены в ГОСТ Р 54350—2011 [6].

Контрольные вопросы и задания

1. Что понимается под термином «фотометрия»?
2. Расскажите об особенностях визуальной фотометрии, ее достоинствах и недостатках.
3. Что собой представляют корректирующие фильтры и зачем они используются при световых измерениях?
4. Что такое гониофотометр?
5. В чем суть зонального метода расчета светового потока?
6. Как измеряется световой поток в фотометрическом шаре?
7. Как устроен люксметр?
8. Как называют прибор, измеряющий яркость?

Глава четвертая

ПРАВИЛА И НОРМЫ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

4.1. Методы нормирования

Цель расчета и проектирования осветительной установки (ОУ) — создать такую световую среду в освещаемом помещении, которая при светотехнической эффективности этой ОУ отвечала бы требованиям физиологии зрения, гигиены труда, техники и экономики освещения при минимальных затратах электроэнергии, других материальных ресурсов и трудовых затрат на монтаж и эксплуатацию ОУ.

Проводить такой расчет можно, имея в наличии определенные правила и нормы выполнения ОУ, которые позволяли бы в конечном итоге получать требуемые количественные и качественные показатели [24, 25].

Метод прямого нормирования предусматривает регламентацию величин, непосредственно определяющих производительность ОУ, и является наиболее совершенным и понятным методом установления параметров. Одна из таких величин — это уровень видимости с заданной достоверностью решения зрительной задачи, а также зрительная работоспособность [23]. Однако имеющиеся научные и практические данные не позволяют установить прямую связь между различными показателями эффективности ОУ и фотометрическими величинами. Поэтому в мировой практике чаще всего пользуются другим методом.

Метод косвенного нормирования — это метод, в котором в качестве регламентируемых характеристик принимают количественные и качественные параметры освещения, а показатели эффективности ОУ используют только как критерии нормирования. Показатели эффективности ОУ определяются ее функциональным назначением. В качестве же количественных характеристик освещения обычно применяются яркость, освещенность, цилиндрическая освещенность, коэффициент естественной освещенности.

Качество освещения регламентируется такими понятиями, как ослепленность и дискомфорт, неравномерность распределения яркости или освещенности в пространстве, пульсации светового потока, спектральный состав и цветопередающие свойства ($T_{цв}$ и R_a) излучения источника света.

Для понимания принципов нормирования ОУ [17] необходимо знакомство с основными функциями зрения.

4.2. Функции зрения

Для оценки основных функций деятельности глаза человека (органа зрения) определены некоторые функции зрения. Прежде всего речь пойдет о *пороговых характеристиках зрения в условиях установившихся зрительных процессов*. Под установившимися зрительными процессами понимают такие зрительные процессы, которые имеют место при постоянных условиях освещения.

Одной из важнейших характеристик органа зрения человека является его *интегральная световая чувствительность*. Глаз обладает очень высокой чувствительностью к восприятию яркости. Например, в условиях полной темноты глаз способен различать объект с большим угловым размером ($\alpha \geq 50^\circ$), яркость которого не ниже 10^{-6} кд/м². Это — абсолютный порог яркости для зрения человека.

Пороговой яркостью или световым порогом называется минимальная яркость светового пятна, которая обеспечивает возможность впервые обнаружить с заданной вероятностью это пятно на фоне с яркостью, практически равной нулю. Величина, обратная пороговой яркости светового пятна с угловым размером $\alpha \geq 50^\circ$, называется абсолютной световой чувствительностью органа зрения или *абсолютным световым порогом*.

В самом простом случае, если имеется одноцветный и равнорядкий тест-объект, обладающий яркостью L_0 , он может быть замечен на равнорядком фоне с яркостью L_ϕ в том случае, если $L_0 > L_\phi$. Величина $K = (L_0 - L_\phi)/L_\phi = \Delta L/L_\phi$ называется яркостным контрастом. Объекты светлее фона обладают положительным контрастом, объекты темнее фона — отрицательным.

Контрастная чувствительность органа зрения есть величина, обратная минимальному пороговому контрасту пятна с угловым размером 50° . Если ξ — минимальный для заданной яркости фона пороговый контраст, то контрастная чувствительность $S_k = 1/\xi$.

Порог цветоощущения — это способность зрительного опознавания цветности. Для объектов конечных размеров порог цветоощущения определяется яркостью, которая обеспечивает заданный уровень вероятности опознавания цветности.

Цветоразличительная чувствительность органа зрения есть величина, обратная порогу цветоразличения (или цветовому порогу).

Цветовой порог — наименьшее, впервые различаемое с заданной вероятностью, различие цвета оптически смежных участков центральной части поля зрения наблюдателя.

В светотехнической практике большое значение придается понятию *видимости*, которая определяется как отношение контраста объекта

наблюдения с фоном к пороговому значению контраста. Видимость объекта зависит от контраста объекта с фоном, его углового размера и уровня яркости фона. При этом предполагается, что время наблюдения — неограничено.

Можно сформулировать следующие требования, на которых базируется нормирование ОУ:

- 1) необходимо обеспечить определенный уровень видимости [19, 20];
- 2) нужна определенная яркость фона, на котором рассматривается объект.

В реальных условиях яркость фона зависит от уровня освещенности и коэффициента отражения рабочей поверхности.

Освещенность рабочей поверхности должна быть тем больше, чем точнее зрительная работа. А более точная зрительная работа обусловлена меньшими угловыми размерами объекта, следовательно, понятие зрительной работы тесно связано с понятием остроты зрения.

Острота зрения (различения) — способность органа зрения воспринимать раздельно предметы, расположенные очень близко один к другому. Их взаимное расположение оценивается в угловой мере. Острота различения определяется минимальным (пороговым) разрешаемым углом: $S_\alpha = 1/\alpha_{\text{пор}}$; здесь $\alpha_{\text{пор}}$ — минимальный разрешаемый угол, измеряемый в минутах. Из данного определения следует, что $S_\alpha = 1$ при $\alpha = 1'$.

Наибольшую остроту зрения (различения) глаз имеет в центральной ямке сетчатки, где $S_\alpha = 2,5$ при наиболее благоприятных условиях наблюдения. По мере удаления изображения объекта наблюдения от центральной ямки острота различения резко падает и достигает в угловой зоне около 20° 10 % максимального значения. В условиях ночного зрения острота различения очень мала, максимум ее не превышает 0,05 в угловой зоне $10\text{—}20^\circ$ от центральной ямки сетчатки.

Значение S_α зависит также от формы различаемого объекта: чем сложнее форма, тем выше должны быть значения параметров L_ϕ , $\alpha_{\text{пор}}$, $K_{\text{пор}}$ для обеспечения требуемой вероятности различения.

При освещении монохроматическим излучением острота зрения становится выше, для глаз в отношении остроты различения изображений особенно благоприятно желтое излучение с $\lambda = 580$ нм.

Еще один фактор: чем точнее зрительная работа (т.е. чем меньше угловой размер наблюдаемого объекта), тем сложнее для глаза условия работы (область пороговых характеристик глаза), а значит, работать тяжелее. Следовательно, при точных зрительных работах необходимо повышать уровень освещенности рабочего места.

Увеличивать освещенность следует также тогда, когда мал контраст объекта и фона, малы коэффициент отражения рабочей поверхности и время, отводимое для различения объекта или принятия решения.

Быстрота различения и обнаружения. До сих пор речь шла о зависимости видимости $v = f(\alpha, L_{\phi}, K)$ при неограниченном времени наблюдения. Однако уменьшение времени наблюдения приводит к осложнению зрительной работы, снижению вероятности обнаружения или различения объекта.

Быстротой обнаружения (или быстротой различения) называют величину, обратную времени наблюдения τ , обеспечивающего при заданных параметрах (яркости, контрасте и угловом размере объекта) необходимую вероятность обнаружения (или различения), — $1/\tau$.

В условиях неравномерного распределения яркости в пространстве зрительные ощущения связаны с такими явлениями, как зрительный дискомфорт, ослепленность. Неравномерное распределение яркости, особенно появление пятен повышенной яркости на периферии поля зрения, увеличивают пороговый контраст, снижают видимость объектов, уменьшают скорость различения и другие функции зрения.

Свойство светящихся тел изменять установившийся уровень видимости в результате чрезмерной освещенности, создаваемой ими на зрачке глаза наблюдателя, или их чрезмерной яркости по сравнению с яркостью адаптации называют *блескостью*. В результате отрицательного действия блескости снижается чувствительность органа зрения. Это явление снижения чувствительности в результате действия блескости называют *ослепленностью*. Количественной оценкой ослепленности является отношение пороговых разностей яркости при наличии и отсутствии источника блескости в поле зрения наблюдателя:

$$S = \Delta L_S / \Delta L,$$

где S — коэффициент ослепленности; ΔL_S — пороговая разность яркости объекта и фона при наличии в поле зрения блеского источника; ΔL — пороговая разность яркости объекта и фона при отсутствии блеского источника.

Неудовлетворительное распределение яркости в освещаемом пространстве не всегда приводит к состоянию ослепленности. Иногда могут просто возникать неприятные ощущения, неудобство, напряженность. Эти неприятные ощущения принято называть зрительным дискомфортом, который проявляется как отвлечение внимания, уменьшение сосредоточенности, что в итоге приводит к повышенному утомлению при длительном пребывании человека в дискомфортных

условиях освещения. А утомление, в свою очередь, приводит к снижению функций зрения и прежде всего, к снижению контрастной чувствительности глаза и, следовательно, к уменьшению видимости.

Описанные в данном параграфе функции зрения влияют на выбор принципов нормирования ОУ.

4.3. Обоснование нормирования осветительных установок

Задачи нормирования ОУ:

классификация возможных зрительных работ по требованиям к освещению, т.е. по точности и сложности;

выбор критерия нормирования в соответствии с функциональным назначением освещения;

выбор параметров, подлежащих нормированию;

установление значений нормируемых параметров для работ разной интенсивности и сложности.

В качестве нормируемого параметра ОУ чаще всего выбирается *освещенность*, которая однозначно связана с яркостью через коэффициент отражения или коэффициент яркости соответствующих поверхностей. Следовательно, при выбранных критериях нормирования можно установить уровень освещенности для конкретной зрительной задачи. Можно также отметить, что освещенность достаточно просто рассчитывается и измеряется с помощью переносных люкметров. По уровню освещенности можно также определять энергетические показатели ОУ, столь важные в наше время.

Анализ закономерностей работы глаза позволяет сформулировать основные требования к ОУ:

1) достаточная яркость рабочей поверхности, обеспечивающая необходимую достоверность обнаружения или различения освещаемого объекта;

2) благоприятное соотношение яркостей в поле зрения (т.е. отсутствие резкого различия яркостей рабочей поверхности и окружающего пространства);

3) постоянство освещенности рабочей поверхности во времени;

4) отсутствие в поле зрения ярких светящихся поверхностей, имеющих большую блескость.

5) отсутствие резких и глубоких теней на рабочих поверхностях (от оборудования или посторонних предметов), а также достаточно контрастное освещение рельефных объектов, обеспечивающее зрительное восприятие их объема и формы.

Чаще всего используется метод косвенного нормирования.

Особенности косвенного нормирования заключаются в следующем:

1. Любая нормируемая фотометрическая характеристика нелинейно связана с показателем эффективности ОУ. Например, видимость нелинейно связана с яркостью: $v = K/K_{\text{пор}}$, а $K_{\text{пор}} = f(L_{\text{ф}})$.

2. Эта нелинейность различна для разных типов зрительной работы и зрительных задач. [Например, зрительный порог цветоощущения и порог глубинного (стереоскопического) зрения существенно различаются.]

3. Эффективность ОУ определяется не только количественной (фотометрической) характеристикой освещения, но и качественными характеристиками. Под качественными характеристиками принято понимать совокупность показателей, которые отражают:

распределение яркости в пространстве;

ее распределение во времени;

распределение яркости по спектру, которое зависит от цветопередающих свойств источников света.

Значение нормируемой характеристики выбирают, руководствуясь *экспериментальными* данными об изменении при различных условиях освещения таких функций зрения, как:

контрастная чувствительность;

острота различения;

быстрота различения;

острота глубинного зрения;

цветовая чувствительность.

Каждая из этих пяти функций может быть привлечена для установления нормируемой характеристики в зависимости от вида зрительной работы и назначения ОУ и каждая из них нелинейно связана с яркостью фона $L_{\text{ф}}$. При этом характер этой нелинейности различен для разных функций: все без исключения функции зрения улучшаются с ростом яркости; увеличение $L_{\text{ф}}$ ведет к увеличению относительной чувствительности глаза, следовательно, повышается эффективность действия ОУ и, что очень важно, увеличение затрат на освещение окупается повышением эффективности ОУ, которая прямо связана с производительностью труда или гигиеническими условиями для деятельности человека.

Последовательность выполнения нормирования:

выбирают ту функцию зрения, которая в наибольшей степени описывает решаемые зрительные задачи;

устанавливают количественную зависимость между функцией зрения и регламентируемым фотометрическим параметром;

выполняют нормирование [21, 23].

4.4. Нормирование по видимости

Видимость объекта определяется яркостью и размером объекта, его видимым и пороговым контрастом с фоном, временем наблюдения, возрастом наблюдателя, распределением яркости и цветности в поле зрения наблюдателя. Понятие видимости связано со сложностью зрительной задачи (с обнаружением, различением, опознаванием объекта).

Одной из важных задач при расчете уличного освещения является определение видимости объектов на дороге. При порведении технических расчетов обычно предполагают, что яркость фона — это яркость поверхности дороги. Препятствие, представляющее опасность на дороге, может быть видимо с отрицательным или с положительным контрастом. Часто в реальных условиях объект, являющийся препятствием, может иметь так называемый «внутренний контраст», так как различные части объекта отражают свет по-разному. Видимость объекта обеспечивается, в значительной мере, благодаря его собственной неоднородной яркости и, в некоторой степени, благодаря контрасту с фоном. Учитывать внутренний контраст сложных препятствий в светотехнических расчетах невозможно. Фон также может быть сложным: объект может быть виден на поверхности дороги или на ее обочине. В неблагоприятных условиях объект и фон могут иметь одинаковую яркость, и тогда возникают существенные трудности в расчетах контраста.

Спектральное излучение источников света (ИС) во многих случаях влияет на зрительное восприятие, задавая цветность наблюдаемого объекта и фона [28]. Если уровень освещения низок и видимость на обочинах дороги имеет большое значение, то влияние спектрального распределения излучения возрастает. Это обусловлено сдвигом максимума спектральной чувствительности глаза из

Таблица 4.1

Нормируемые параметры для уличного освещения [18, 19]

Категория объекта	Уровень видимости V_L , не менее	Средняя яркость дорожного покрытия $L_{ср}$, кд/м ² , не менее	Продольная равномерность распределения яркости дорожного покрытия L_{min}/L_{max} , не менее	Пороговое приращение яркости, %, не более
M1	7,5	1,0	0,2	10
M2	7,0	1,0	0,2	10
M3	6,0	0,7	0,2	15
M4	5,5	0,5	0,2	15
M5	5,0	0,5	0,2	15

желтой в зелено-голубую часть спектра при снижении уровня освещенности. Распределение яркости и цветности связано с неравномерным освещением дороги и значительным различием отражающих свойств поверхности от длины волны излучения.

При расчете уровня видимости необходимо учитывать цветность излучения ИС и спектральные свойства дорожного покрытия.

4.5. Нормирование по зрительной работоспособности

Для многих промышленных предприятий может оказаться более важным не обеспечение необходимого уровня видимости, а обеспечение низкого уровня утомления зрительного аппарата, а в итоге — и самого работника, занятого в производственном процессе. Малое утомление способствует высокой зрительной работоспособности [26].

Под зрительной работоспособностью (ЗР) понимают количество работы, выполненной за единицу времени, например количество исправленного корректором текста за определенный промежуток времени; скорость обнаружения обрыва нитей в ткацком производстве и т.д.

Зрительная работоспособность и ее качество зависят от углового размера изучаемого объекта α , яркости фона L_{ϕ} , времени наблюдения t , а также от качественных характеристик освещения, от степени напряженности зрительной работы, состояния органа зрения (возраста работающего, утомления, дефектов зрения, побочных раздражителей — шума, запахов.)

Экспериментальные исследования показали, что значение освещенности существенно влияет на ЗР (рис. 4.1). Увеличение освещенности ведет к повышению производительности труда и уменьшению утомления, но до известного предела (около 1000 лк), так как дальнейшее увеличение освещенности связано с возрастанием слепящего действия объектов наблюдения.

Если судить о требуемой освещенности по утомлению, то оптимальный уровень горизонтальной освещенности $E_{гор} = 1000 \div 2000$ лк.

Увеличение освещенности ведет к стремительному уменьшению числа ошибок в работе, но тоже до известного предела. Все зависимости от освещенности сильнее всего проявляются в области от 30 до 300 лк, которой соответствует наибольшее улучшение ЗР.

Экспериментальные исследования показали также, что на ЗР большое влияние оказывают и качественные характеристики освещения:

увеличение глубины пульсаций освещенности от 6 до 55 % приводит к снижению быстроты различения на 18 % через 45 мин после начала работы;

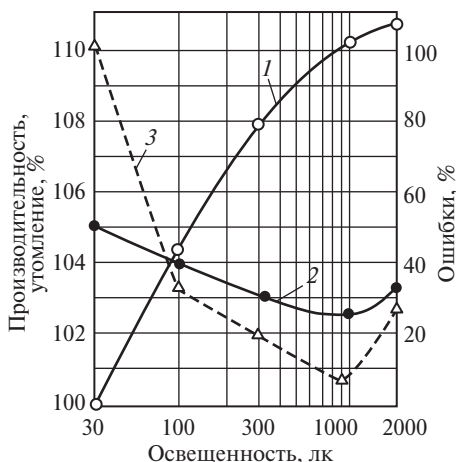


Рис. 4.1. Эффективность ОУ в функции освещенности:

1 — производительность труда; 2 — утомление; 3 — ошибки, допущенные при работе

степень утомления работающего резко увеличивается при использовании ламп с плохой цветопередачей.

Следовательно, зрительная работоспособность вполне может служить критерием регламентации уровней освещения ОУ, так как она в большей мере зависит как от количественных характеристик освещения ($E_{гор}$), так и от качества освещения.

4.6. Нормирование качественных показателей освещения

Любая ОУ должна обеспечивать не только заданный уровень освещенности, но и высокое качество освещения.

Влияние соотношения яркостей объекта и фона на ощущения комфорта освещения. Возникновение дискомфорта (или слепящего действия источника со слепящей яркостью L_S) обусловлено следующими факторами:

- соотношением значений яркостей в поле зрения;
- пространственным распределением яркостей в поле зрения;
- совместным действием вышеназванных факторов.

Длительное же пребывание в условиях дискомфортного распределения яркости в поле зрения приводит к зрительному утомлению и снижению ЗР.

Исследования отклонения условий освещения от комфортных, проведенные в разных странах, позволили ввести для количествен-

ной оценки этих отклонений параметр, названный *показателем дискомфорта* M . Этот параметр оценивает только начальную стадию ослепленности:

$$M = f(L_S, L_\Phi, \Omega, \theta),$$

где L_S — слепящая яркость в направлении наблюдателя; L_Φ — яркость адаптации, т.е. фона; Ω — угловой размер источника слепящего действия; θ — угол, характеризующий положение источника относительно линии зрения.

Многочисленные исследования, в том числе и проведенные в МЭИ на кафедре светотехники под руководством проф. М.М. Епанешникова, позволили найти эмпирические формулы зависимости M от всех этих показателей, а также диапазон значений M , соответствующий комфортному восприятию среды: $M = 25 \div 60$, что и нашло отражение в отечественных действующих нормах и правилах.

4.7. Оценка ослепленности

Ослепленность, как уже упоминалось, оценивается коэффициентом ослепленности $S = \Delta L_S / \Delta L$, где S — коэффициент ослепленности; ΔL_S — пороговая разность яркости объекта и фона при наличии в поле зрения блеского источника; ΔL — пороговая разность яркости объекта и фона при отсутствии блеского источника.

Вследствие того что коэффициент ослепленности незначительно отличается от единицы, обычно пользуются показателем ослепленности $P = (S - 1)10^3$. Значение показателя ослепленности меняется в пределах от нуля до 100.

В России слепящее действие для помещений общественных зданий регламентируется показателем дискомфорта, для промышленных ОУ — показателем ослепленности.

Сейчас по европейским нормам EN 12464-1 во всех странах Евросоюза нормируется обобщенный показатель дискомфорта UGR.

Регламентация пульсации излучения. Проектировщик любой ОУ неизбежно сталкивается с вопросами пульсации излучения во времени. Это связано с физическими основами работы искусственных источников света и используемых систем питания. Причины, вызывающие пульсации освещенности:

1) использование переменного напряжения для питания ламп. Особенно сильны пульсации у газоразрядных ламп. Чаще всего питание ламп осуществляется от напряжения промышленной частоты 50 Гц. Излучение в этом случае происходит с удвоенной частотой 100 Гц;

2) колебания напряжения сети из-за подключения к трансформаторной подстанции мощных потребителей с переменной нагрузкой (электропечи, сварочные аппараты и др.).

Пульсации излучения принято оценивать с помощью коэффициента пульсации. В ОУ нормируется коэффициент пульсации освещенности, %, рабочих поверхностей

$$K_{\text{п}} = \frac{E_{\text{max}} - E_{\text{min}}}{2E_{\text{cp}}} 100.$$

Здесь E_{max} и E_{min} — максимальная и минимальная освещенности за период T ; E_{cp} — среднее значение освещенности за период T .

Пульсации излучения разрядных ламп выше, чем ламп накаливания. Среди разрядных ламп $K_{\text{п}}$ меньше у ламп с галофосфатными люминофорами, которые имеют относительно большое время послесвечения.

Исследования показали, что увеличение глубины пульсаций отрицательно сказывается на зрительной работоспособности и повышает утомление. Рост $K_{\text{п}}$ от 5 до 55 % приводит уже через 45 мин к уменьшению быстроты различения на 18 %, а через 2,25 ч — на 26 %.

Кроме того, при пульсации света возможно возникновение стробоскопического эффекта, когда на уровне зрительных ощущений человека изменяется видимая скорость вращающихся деталей: если частота мелькающего света совпадает с частотой вращения, то предмет кажется неподвижным.

Регламентация коэффициента пульсации $K_{\text{п}}$. За счет инерции зрения пульсирующее излучение воспринимается слитным, если его частота равна критической частоте слияния мельканий $n_{\text{кр}}$ или превышает ее. Согласно экспериментальным данным для яркости объекта $L = 1000 \text{ кд/м}^2$ (допустимая неслепящая яркость) $n_{\text{кр}} = 70 \text{ Гц}$. Следовательно, при питании током промышленной частоты мелькания излучений не будут замечены глазом (хотя это не означает, что пульсации не оказывают влияния).

Санитарные правила и нормы (СанПиН) ограничивают коэффициент пульсации пределами 5—15 %. По европейским нормам EN 12464-1 пульсации освещенности в помещениях с длительным пребыванием людей *не допускаются*.

Регламентация спектрального состава излучения. Восприятие цвета окружающих человека предметов меняется в зависимости от типа ИС, т.е. его спектрального состава. Если важно сохранять неизменность цветного восприятия при искусственном освещении по сравнению с восприятием при естественном освещении (например, в картинных галереях, музеях, торговых залах и т.д.), то необходимо

создавать освещение, приближенное по спектральному составу к дневному свету.

Современные ИС различаются цветностью излучения и спектральным составом. Принято цветность излучения ИС характеризовать цветовой температурой $T_{\text{цв}}$, т.е. температурой черного тела, при которой его излучение имеет цветность, наиболее близкую к рассматриваемому излучению (более подробно понятие цветовой температуры будет рассмотрено ниже).

Известно, что комфортность восприятия окружающей среды зависит как от уровня яркости отраженного излучения, так и от $T_{\text{цв}}$ ИС (т.е. спектрального состава излучения). Скорее всего, это связано со сложившимся в течение тысяч лет привычным для человека восприятием пламенных источников света в ночное время суток (костер, факел, свеча, масляная лампа). Освещение было низкотемпературным, а освещенность — малой. Ночью человек мирился со слабым красноватым светом и считал его достаточно ярким. Днем же свет был белым (а по сравнению с ночным — голубым) и очень ярким. Поэтому и современному человеку требуется более высокая яркость излучения, если он использует ИС с более высокой цветовой температурой, т.е. приближающиеся по своей цветности к дневному свету.

Вместе с тем для ощущения комфортности ИС должен: обладать белым, а не цветным излучением и спектр излучения искусственных ИС должен обеспечивать хорошее качество воспроизведения цвета.

Требования к качеству воспроизведения цвета следующие:

- 1) точное различение по цвету множества разноокрашенных предметов;
- 2) четкое различение цветовых оттенков (например, при контроле и сортировке тканей);
- 3) хорошее воспроизведение цвета, присущего данным предметам и объектам (например, цвет кожи человека, цвет продуктов питания);
- 4) хорошее воспроизведение цвета человеческого лица.

В ряде случаев могут быть и минимальные требования к передаче цвета (например, во многих производственных помещениях).

Цветопередача характеризует влияние спектрального состава излучения ИС на зрительное восприятие цветных объектов по сравнению с восприятием их при освещении эталонным источником.

Оценка цветопередачи осуществляется методом контрольных цветов МКО. Цветопередача ИС не измеряется, а рассчитывается по методике, предложенной МКО в 1964 г. и дополненной в 1976 г. В России эта методика утверждена соответствующими стандартами и называется методом контрольных цветов для оценки цветопередачи. При использовании этого метода рассчитывается общий индекс

цветопередачи R_a , характеризующий качество цветопередачи исследуемого излучения какого-либо источника белого света.

Для расчета требуется знать относительное распределение спектральной плотности энергетической освещенности исследуемого излучения, определенное с интервалом по длинам волн $\Delta\lambda$ не более, чем 5 нм. В расчете используются стандартные цветные образцы, цветность которых может быть рассчитана при воздействии на эти образцы как исследуемого излучения, так и того излучения, которое принимается за стандартное по отношению к исследуемому. Для ИС с цветовой температурой не более 5000 К в качестве стандартного используется тепловое излучение абсолютно черного тела, а для источников с $T_{\text{цв}} > 5000$ К — дневной свет. Во всех случаях для эталонных ИС должно быть известно распределение спектральной плотности энергетической освещенности, как и для исследуемого источника белого цвета.

Для расчета общего индекса цветопередачи используется набор из восьми контрольных цветов (накрасок), имеющих среднюю насыщенность, спектральные коэффициенты отражения которых заданы в приложениях к этому методу расчета. (В особых случаях для оценки цветопередачи используются шесть дополнительных образцов, имеющих более высокую насыщенность.)

Расчет индекса цветопередачи сводится к расчету восьми частных индексов цветопередачи R_i , который осуществляется по отношению к каждой накраске. Рассчитывается изменение цветности (цветовой сдвиг) для каждой накраски при освещении ее эталонным и исследуемым излучениями.

Общий индекс цветопередачи рассчитывается как среднее арифметическое восьми значений R_i для контрольных образцов:

$$R_a = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 R_i .$$

Результат округляется до целого числа.

4.8. Правила и нормы искусственного освещения

В России основным документом по регламентации необходимого уровня освещения являются Санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278—03. На базе этого документа были разработаны Строительные нормы и правила СНиП 23-05—95* (Свод правил СП 52.13330.2011) и другие нормативные документы.

В странах Евросоюза с 2003 г. введены европейские нормы EN 12464-1 «Освещение рабочих мест внутри помещений» и ряд других нормативов [20].

В основу СНиП заложен ряд положений и условий, а именно:

1) использован метод нормирования по относительной видимости. За основу взято значение $V_0 = 0,7$;

2) нормируемым параметром в установках уличного освещения служит яркость поверхностей зданий, дорожных покрытий;

3) нормируемым параметром в установках внутреннего освещения является освещенность рабочей поверхности;

4) для создания наиболее благоприятных условий для зрительной работы нормируется минимальная освещенность в наиболее темном участке рабочей поверхности;

5) регламентируются также и качественные показатели освещения: S , P — для промышленных зданий; M , $E_{\text{цнл}}$ — для общественных помещений; $K_{\text{п}}$, $R_{\text{д}}$.

4.9. Нормирование осветительных установок

Проектирование освещения ведется на основании свода правил СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение — актуализированная версия правил СНиП 23-05—95*».

В России нормируется минимальная освещенность на рабочей поверхности для любых ИС. Существует шкала освещенности в люксах: 0,2; 0,3; 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 10; 15; 20; 30; 40; 50; 75; 100; 150; 200; 300; 400; 500; 600; 750; 1000; 1250; 1500; 2000; 2500; 3000; 3500; 4000; 4500; 5000. Расстояние между двумя значениями шкалы — это ступень освещенности.

Уровни освещенности до 20 лк — это освещенности наружного освещения; 20÷1250 лк — общее внутреннее освещение; 400÷5000 — внутреннее освещение при системе комбинированного освещения (общее плюс местное).

Нормируемые значения яркости поверхности, кд/м^2 , следует принимать по шкале: 0,2; 0,3; 0,4; 0,6; 0,8; 1; 2; 3; 5; 8; 10; 12; 15; 20; 25; 30; 50; 75; 100; 125; 150; 200; 400; 500; 750; 1000; 1500; 2000; 2500. Нормируемые значения яркостей даются для дорожных покрытий и наружного архитектурного освещения.

Искусственное освещение включает в себя:

1) освещение помещений производственных и складских зданий;

2) освещение площадок предприятий и мест производства работ вне зданий;

3) освещение помещений общественных, жилых и вспомогательных зданий;

4) освещение улиц, дорог и площадей;

5) освещение пешеходных переходов;

- 6) освещение автотранспортных тоннелей;
- 7) освещение пешеходных пространств;
- 8) наружное архитектурное освещение зданий и сооружений;
- 9) витринное освещение;
- 10) рекламное освещение;
- 11) аварийное освещение;
- 12) аварийное освещение автотранспортных туннелей;
- 13) охрannое и дежурное освещение.

Освещение производственных зданий. Нормируемые характеристики:

Количественная характеристика освещения — нормируемая освещенность рабочей поверхности $E_{\text{нор}}$.

Качественные характеристики искусственного освещения:

- 1) показатель ослепленности P ;
- 2) коэффициент пульсации освещенности $K_{\text{п}}$, %;
- 3) коэффициент естественного освещения (КЕО), %.

При проектировании освещения в зданиях обычно большое значение придается совмещению естественного и искусственного освещения, в связи с чем для архитекторов и строителей введен коэффициент естественной освещенности (КЕО). Его приходится учитывать и светотехникам. КЕО — это отношение естественной освещенности, создаваемой в некоторой точке заданной плоскости внутри помещения прямым светом неба и отраженным от прилегающих поверхностей, к одновременному значению наружной горизонтальной освещенности, создаваемой светом открытого небосвода. Значение КЕО зависит от размеров оконных проемов и глубины помещения, и влиять на его значения при проектировании ОУ светотехник не может.

Значение нормируемой освещенности зависит от размеров объекта различения, яркостного контраста и коэффициента отражения фона.

В производственных помещениях освещенность проходов и участков, где работа не проводится, должна составлять не более 25 % нормируемой в этом помещении освещенности, создаваемой светильниками общего освещения, но не менее 100 лк.

В целях контроля энергопотребления устанавливаются максимально допустимые мощности.

Освещенность рабочей поверхности, создаваемая светильниками общего освещения в системе комбинированного, должна составлять не менее 10 % нормируемой для комбинированного освещения. При этом освещенность должна быть не менее 200 лк. В системе комбинированного создавать освещенность от общего освещения более 1200 лк допускается только при наличии обоснований.

Для производственных помещений нормируется показатель ослепленности, создаваемый прямой блескостью, характеризуемой

снижением контрастной чувствительности глаза при наличии блеского ИС. Главным признаком возникновения ослепленности является изменение пороговых характеристик. Показатель ослепленности

$$P = (S - 1)10^3,$$

где S — коэффициент ослепленности.

Показатель ослепленности не ограничивается для помещений, длина которых не превышает двойной высоты подвеса светильников над полом, а также для помещений с временным пребыванием людей и для площадок, предназначенных для прохода или обслуживания оборудования.

Для местного освещения рабочих мест следует использовать светильники с непросвечивающими отражателями. Светильники должны располагаться таким образом, чтобы их светящиеся элементы не попадали в поле зрения работающих на освещаемом рабочем месте и на других рабочих местах.

Коэффициент пульсации $K_{\text{п}}$ определяет пульсации освещенности на рабочем месте. Для его уменьшения необходимо использовать:

- 1) высокочастотные пускорегулирующие аппараты для включения разрядных ИС;
- 2) подключение соседних СП к разным фазам питающего напряжения;
- 3) в качестве ИС светоизлучающие диоды, работающие на постоянном токе.

Коэффициент запаса K_z вводится для компенсации спада освещенности в процессе эксплуатации. Причины спада освещенности:

- 1) уменьшение светового потока ИС в процессе эксплуатации;
- 2) выход из строя ИС;
- 3) загрязнение, запыление СП;
- 4) загрязнение потолка, стен и пола помещений и, как следствие уменьшение коэффициентов отражения поверхностей.

Освещение помещений общественных, жилых и вспомогательных зданий. Нормируемые характеристики:

Количественная характеристика освещения — нормируемая освещенность рабочей поверхности $E_{\text{норм}}$;

Качественные характеристики освещения:

- 1) $E_{\text{цил}}$ — цилиндрическая освещенность, лк;
- 2) UGR — объединенный показатель ослепленности;
- 3) коэффициент пульсаций $K_{\text{п}}$;
- 4) коэффициент естественной освещенности.

Проверка экономичности проекта проводится по удельной мощности в зависимости от индекса помещения и нормируемой освещенности.

В учреждениях дошкольного, школьного и профессионально-технического образования, а также в основных функциональных помещениях лечебно-профилактических учреждений следует применять люминесцентные (в том числе компактные) лампы и галогенные лампы накаливания. В остальных общественных зданиях использование галогенных ламп накаливания для общего освещения допускается только для обеспечения архитектурно-художественных требований.

4.10. Аварийное освещение

Аварийное освещение (АО) обеспечивает необходимые условия для работы или эвакуации при временном выходе из строя рабочего освещения. Аварийное освещение подразделяется на *аварийное эвакуационное освещение (АЭО)* и *аварийное резервное освещение (АРО)*.

Аварийное эвакуационное освещение делится: а) на освещение путей эвакуации; б) освещение зон повышенной опасности; в) освещение больших площадей (антипаника).

Аварийное освещение путей эвакуации следует предусматривать по маршрутам эвакуации:

- в коридорах и проходах по маршруту эвакуации;
- в местах изменения (перепада) уровня пола или покрытия;
- в зоне каждого изменения направления маршрута;
- при пересечении проходов и коридоров;
- на лестничных маршах, при этом каждая ступень должна быть освещена прямым светом от СП;
- перед каждым эвакуационным выходом;
- перед каждым пунктом медицинской помощи;
- в местах размещения средств экстренной связи и других средств, предназначенных для оповещения о чрезвычайной ситуации;
- в местах размещения первичных средств пожаротушения;
- в местах размещения плана эвакуации.

Горизонтальная освещенность путей эвакуации на полу на центральной линии должна быть не менее 1 лк; у края прохода — не менее 0,5 лк.

Аварийное эвакуационное освещение зон повышенной опасности следует предусматривать для безопасной эвакуации людей.

Минимальная освещенность зон повышенной опасности должна составлять 10 % нормируемой освещенности общего рабочего освещения, но не менее 15 лк.

Аварийное эвакуационное освещение больших площадей, предназначенное для предотвращения паники и обеспечения безопасного подхода к путям эвакуации, устраивается в больших помещениях (площадью более 60 м²).

Минимальная освещенность зон повышенной опасности должна составлять не менее 0,5 лк на всей площади, за исключением 0,5 м по периметру помещения.

Аварийное резервное освещение следует предусматривать, если по технологическому процессу или в соответствии с ситуацией требуется продолжение работы при исчезновении рабочего освещения, а нарушение обслуживания оборудования и механизмов может вызвать: гибель, травмирование или отравление людей;

взрыв, пожар, длительное нарушение технологического процесса; утечку токсических и радиоактивных веществ в окружающую среду; нарушение работы таких объектов, как электрические станции, узлы радио- и телевизионных передач и связи, диспетчерские пункты, насосные установки водоснабжения, канализации и теплофикации, установки вентиляции и кондиционирования воздуха для производственных помещений, в которых недопустимо прекращение работ и т.п.

Освещенность от резервного освещения должна составлять не менее 30 % нормируемой освещенности для общего рабочего освещения. Необходимость создания для резервного освещения более высоких уровней освещенности определяется технологами в зависимости от условий функционирования данного объекта.

Световые указатели устанавливаются:

над каждым эвакуационным выходом;

на путях эвакуации для однозначного указания направления эвакуации;

для обозначения поста медицинской помощи;

для обозначения мест размещения первичных средств пожаротушения;

для обозначения мест размещения средств экстренной связи и других средств, предназначенных для оповещения о чрезвычайной ситуации.

В световых приборах для аварийного освещения необходимо применять следующие ИС:

а) светодиоды;

б) люминесцентные лампы — в помещениях с минимальной температурой воздуха не менее 5 °С и при условии питания ламп во всех режимах напряжением не ниже 90 % номинального;

в) разрядные лампы высокого давления при условии их мгновенного или быстрого повторного зажигания как в горячем состоянии после кратковременного отключения, так и в холодном состоянии;

г) лампы накаливания — при невозможности использовать другие источники света.

Охранное освещение (разновидность рабочего освещения) — это освещение вдоль границ территории, нормируемая освещенность составляет 0,5 лк на уровне земли или 0,5 лк на вертикальной плоскости. Могут быть использованы любые ИС, за исключением случаев, когда охранное освещение работает не постоянно, а включается автоматически от действия охранной сигнализации. Тогда применяются следующие ИС:

а) светоизлучающие диоды;

б) компактные люминесцентные лампы, работающие при отрицательных температурах;

в) разрядные лампы высокого давления при условии их мгновенного зажигания и быстрого повторного зажигания как в горячем состоянии, после кратковременного отключения, так и в холодном состоянии;

г) лампы накаливания при невозможности использовать другие ИС.

Дежурное освещение — освещение в нерабочее время. Освещенность, равномерность и требования к качеству дежурного освещения не нормируются.

Контрольные вопросы и задания

1. Что называют интегральной световой чувствительностью органа зрения?
2. Что такое контрастная чувствительность и от каких условий освещения она зависит?
3. Дайте определение цветового порога.
4. Что такое видимость?
5. Охарактеризуйте понятия быстроты различения и обнаружения.
6. Что такое блескость и ослепленность?
7. Чем отличается нормирование по видимости от нормирования по зрительной работоспособности?
8. Какие качественные характеристики освещения подлежат нормированию?

Глава пятая

ИСТОЧНИКИ СВЕТА

5.1. Естественные источники излучения

Главным источником естественного света на земле является Солнце. В светотехнике прямым солнечным излучением считают излучение, пропущенное толщей атмосферы Земли. Это излучение отлично от реального излучения Солнца из-за наличия в атмосфере ряда веществ (H_2O , CO_2 , O_2 и др.), имеющих мощные спектральные полосы поглощения в оптической области спектра. Помимо прямого излучения существует еще солнечное излучение, рассеянное частицами, находящимися в атмосфере Земли в виде аэрозоля (причем может иметь место и поглощение лучистой энергии веществом этих частиц). Кроме того, следует учитывать молекулярное рассеяние излучения и даже тепловое излучение самих газов атмосферы Земли.

Солнце излучает (с высокой степенью приближения), как черное тело (ЧТ) с температурой около 6000 К. Если предположить, что излучение Солнца равномерно рассеивается по направлению к Земле, т.е. небо имеет одинаковую яркость, то эта яркость составит около 10^{-5} яркости Солнца и для излучения с длиной волны $\lambda = 0,5$ мкм максимальное значение энергетической яркости неба $L_{e\lambda} = 3 \cdot 10^2$ Вт/(м² · ср). Яркость поверхности Солнца, рассчитанная по освещенности верхних слоев атмосферы Земли, равна $1,5 \cdot 10^9$ кд/м². Поверхность Солнца окружена короной, состоящей из ионов и свободных электронов. Температура короны — около 10^6 К, и ее излучение имеет сплошной спектр. Общий свет от короны составляет одну миллионную долю света Солнца. Обычно высота короны примерно равна радиусу, а при максимуме солнечной активности — 15—20 радиусам Солнца.

Большую группу естественных излучателей составляют звезды, Луна, Земля и другие планеты. Из огромного количества звезд, известных к настоящему времени, видимы всего 4850.

Вся атмосфера Земли в целом создает светлый голубой купол небосвода. Аэрозольное рассеяние, являясь по характеру нейтральным, накладывается на молекулярное, что уменьшает степень синевы неба, одновременно увеличивая его яркость. Наибольшей синевой отличается небо в околоразенитной области, где в рассеянии участвует минимальная толщина воздуха, и, кроме того, в этом направлении

воздух более чистый. С удалением от зенита увеличивается толщина воздуха, участвующего в рассеянии, а соответственно и число крупных частиц, растет интенсивность рассеяния. Это приводит к тому, что при увеличивающейся яркости голубизна неба уменьшается и на горизонте небо становится белее.

Утром и вечером, при восходе и закате Солнца, в наш глаз попадает излучение, прошедшее через большую толщу воздуха, и небо близ горизонта оказывается красного цвета. Точно так же во время полного лунного затмения Луна окрашивается в красноватый цвет лучами, прошедшими через земную атмосферу. Цвет неба зависит от относительной яркости доходящих до наблюдателя монохроматических излучений, а эта яркость зависит от рассеяния частиц в атмосфере. Если эти частицы сравнительно немногочисленны и малы, то цвет неба — голубой, а если их число и размеры увеличиваются (сухие ветренные дни или повышенная влажность), то коротковолновое излучение ослабляется более значительно и небо принимает цвет, соответствующий большей длине волны (зеленый, желтый, красный). Вечером на закате, когда излучение проходит различное количество атмосферных слоев, можно увидеть небо, окрашенное в различные цвета: около горизонта — в красный, повыше — в оранжевый и желтый, еще выше — в зеленый и голубовато-зеленый [32].

Естественное ночное свечение атмосферы представляет собой свечение разреженных газов (люминесценцию), составляющих воздух на высотах от 80 до 300 км. Их спектр свечения — довольно сложный — состоит из большого числа линий и полос в видимой, инфракрасной и ультрафиолетовой областях. В высоких слоях атмосферы под влиянием коротковолнового излучения происходит расщепление молекул газов на атомы, а реакции восстановления молекул в ночное время и производят свечение.

Значения естественной ночной освещенности зависят от различных факторов, в том числе от фазы и высоты Луны, а также от наличия облачности (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Естественные ночные освещенности

Характеристика ночи	Освещенность на Земле, лк
Полная луна на ясном небе	0,2
Полная луна при облачности средней плотности	0,05—0,10
Безлунная ясная ночь	0,001—0,002
Безлунная ночь при облачности средней плотности	0,0005—0,0010
Безлунная ночь при сплошной очень плотной облачности	0,0002

5.2. Тепловое излучение нагретых тел

Тепловое излучение — излучение, возникающее в результате теплового движения молекул и атомов излучающего тела.

Вращение молекул вокруг своей оси создает длинноволновое излучение дальней инфракрасной области (ИК-С), колебания ядер молекул создают излучения ИК-А и ИК-В, а электронное возбуждение — видимое и УФ-излучение. Таким образом, от температуры излучающего тела зависит не только поток излучения, но и его спектральный состав.

Окружающие нас тела, имеющие одну и ту же температуру, могут иметь различную энергетическую светимость, если у них различные коэффициенты поглощения. В отношении излучения все тела делятся на три типа: черные, серые и избирательные (селективные). Под черным телом (ЧТ) понимают тепловой излучатель, имеющий при заданной температуре для всех длин волн максимальную спектральную плотность энергетической светимости. Он полностью поглощает все падающие на него излучения независимо от длины волны, направления падения и состояния поляризации. Коэффициент поглощения такого тела $\alpha = 1$. Это теоретический излучатель, законы излучения которого исследовали многие авторы.

Для серого излучения кривая спектральной плотности энергетической светимости $m_e(\lambda, T)$ подобна кривой $m_{es}(\lambda, T)$ спектральной плотности энергетической светимости черного тела при равенстве их температур. Для селективного излучателя кривая спектральной плотности энергетической светимости не подобна кривой для ЧТ.

Основные законы излучения ЧТ (полного излучателя, излучателя Планка). Закон Кирхгофа определяет соотношение между излучением и поглощением теплового излучателя. Согласно закону Кирхгофа отношение энергетических светимостей тел с одинаковой температурой равняется отношению коэффициентов поглощения:

$$M_{e1}/\alpha_{e1} = M_{e2}/\alpha_{e2} = \dots = M_{en}/\alpha_{en} = M_{esT},$$

где M_{en} — светимость излучающего тела, а α_e — коэффициент поглощения потока излучения для этого тела. А это означает, что любое реальное тело излучает с единицы поверхности меньший поток излучения, чем ЧТ при той же температуре; спектральная плотность энергетической светимости реального тела в любой области спектра всегда меньше, чем у ЧТ; кривые $m_{e1}(\lambda, T)$ для серого и селективного излучателей всегда лежат внутри кривой $m_{es}(\lambda, T)$.

Закон смещения Вина определяет постоянство произведения длины волны λ_{\max} , соответствующей максимуму спектральной плотности излучения, и температуры излучателя:

$$\lambda_{\max} T = C',$$

где $C' = 2896 \text{ мкм} \cdot \text{К}$ — постоянная Вина.

Для температур от 3600 до 7600 К максимум кривой $m_{es}(\lambda, T)$ находится в видимой области спектра.

Закон Стефана—Больцмана определяет соотношение между энергетической светимостью черного тела и его температурой:

$$M_{esT} = \sigma T^4,$$

где $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Дж}/(\text{с} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ — постоянная Стефана—Больцмана.

Анализ законов излучения приводит к следующим важным выводам:

1) при повышении температуры излучающего тела происходит рост потока излучения пропорционально четвертой степени температуры;

2) повышение температуры излучателя приводит к смещению максимума кривой спектральной плотности излучения в область коротких длин волн и к увеличению доли излучения в видимой и ультрафиолетовой областях спектра;

3) максимум спектральной плотности излучения ЧТ лежит в видимой области спектра для температур излучателя в пределах от 3600 до 7600 К.

Тепловое излучение реальных тел отличается от излучения ЧТ. При анализе излучения реальных тел, имеющих значения коэффициента поглощения $\alpha_e < 1$, необходимо учитывать не только собственное излучение реального тела, но и отраженные излучения.

Энергетическую светимость реальных тел при некоторой температуре можно определить через энергетическую светимость ЧТ при той же температуре:

$$m_{eT} = \varepsilon M_{esT} = \varepsilon \sigma T^4,$$

где ε — интегральный коэффициент излучения, зависящий от материала и температуры излучателя.

Реальный коэффициент излучения ε , как правило, зависит от длины волны. В связи с этим большинство излучающих тел обладает селективным, т.е. избирательным, излучением, непохожим на излучение ЧТ. Если же спектральный коэффициент излучения не зависит от длины волны, то такое излучение называется серым (рис. 5.1).

Селективным излучением в видимой части спектра обладают тугоплавкие металлы. Например, спектральная плотность свети-

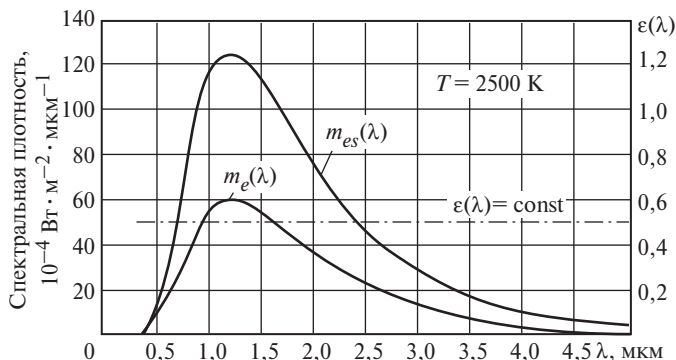


Рис. 5.1. Функции спектральной плотности излучения ЧТ и серого тела

мости вольфрама имеет максимум, сдвинутый в сторону коротких длин волн по сравнению с ЧТ при одинаковой температуре.

Определение высокой температуры нагретых тел в основном осуществляется путем оценки излучения, испускаемого нагретым телом, поэтому для сравнения хорошо изученных характеристик ЧТ с аналогичными характеристиками реальных тел вводятся понятия эквивалентных температур (радиационная, яркостная и цветовая).

Эквивалентные температуры излучения [29]. Радиационная (энергетическая) температура излучателя T_p — это температура ЧТ, при которой плотность излучения ЧТ (или энергетическая светимость) равна плотности излучения рассматриваемого реального тела при заданной (истинной) температуре:

$$\sigma T_p^4 = \varepsilon_T \sigma T^4,$$

где ε_T — интегральный коэффициент измерения. Истинная температура, определяемая радиационным пирометром, может быть определена как $T = \frac{T_p}{\sqrt[4]{\varepsilon_T}}$, и она всегда больше радиационной.

Яркостная температура T_y излучателя есть температура ЧТ, при которой его яркость для длины волны $\lambda = 0,655$ мкм равна яркости реального тела при заданной (истинной) температуре.

Цветовая температура $T_{цв}$ — это температура ЧТ, при которой его излучение имеет ту же цветность, что и рассматриваемое излучение. Цветовую температуру излучения со сплошным спектром с достаточной точностью можно определять отношением значений спектральной плотности излучения двух крайних узких зон видимого спектра.

Цветовая температура ИС определяет цветность излучения ламп. Значения $T_{\text{цв}}$ некоторых источников: пламя свечи — 1900 К; лампы накаливания — 2500—3000 К; люминесцентные лампы — 2700—6500 К; Солнце — 6000 К; ясное небо — 10 000—20000 К.

Эталонные источники излучения. Идеальным тепловым излучателем можно считать ЧТ, поэтому модели ЧТ и легли в основу эталонных источников излучения. В качестве эталонных источников излучения помимо моделей абсолютно черных тел обычно используются измерительные лампы накаливания, специальные излучатели.

Для упрощения расчетов и сравнения цветности различных ИС по рекомендации МКО существуют четыре стандартных источника с определенной $T_{\text{цв}}$. Для каждого такого источника рассчитано и стандартизовано распределение излучения по спектру $\Phi_{\lambda}(\lambda)$.

Стандартный источник типа А определяется как источник, имеющий в видимой области спектра распределение относительной плотности излучения такое же, как ЧТ при $T = 2856$ К.

Стандартный источник типа В имитирует прямое солнечное излучение, его цветовая температура $T_{\text{цв В}} = 4874$ К.

Источник типа С имитирует рассеянный дневной свет; $T_{\text{цв С}} = 6774$ К.

Источник Д₆₅ характеризует усредненный дневной свет; $T_{\text{цв Д65}} = 6500$ К. В спектре этого источника есть некоторая доля УФ-излучения.

Световая отдача излучения ЧТ есть отношение светового потока Φ к мощности P , затрачиваемой на нагрев тела. При $T = 6600$ К световая отдача излучения ЧТ имеет максимальное значение: $\eta_s \text{ max} = 89,5$ лм/Вт [30].

5.3. Излучение люминесценции

Люминесценция — это явление спонтанного испускания веществом электромагнитного излучения под действием локализованного возбуждения частиц центров люминесценции, имеющее длительность τ после прекращения возбуждения излучающего тела. Интенсивность этого излучения для некоторых длин волн или для ограниченных спектральных участков больше интенсивности теплового излучения вещества при той же температуре.

Люминесцировать могут тела, находящиеся в любом агрегатном состоянии, при этом энергия возбуждения может сообщаться люминесцирующим частицам различными способами. В зависимости от того, какая энергия вызывает возбуждение атома (молекулы, иона), различают следующие виды люминесценции:

1) фотолюминесценция, возбуждаемая фотонами оптического излучения;

2) рентгенолюминесценция, возникающая в результате поглощения веществом рентгеновского излучения;

3) катодолуминесценция, возбуждаемая кинетической энергией электронов, бомбардирующих люминофор или молекулы газа;

4) электролюминесценция, возникающая под действием электрического поля;

5) радиолуминесценция, возбуждаемая излучением, возникающим при радиоактивном распаде ядер (α -, β -, γ -излучения), и космическим излучением;

6) хемилуминесценция, возникающая при химических реакциях;

7) биолуминесценция, возбуждаемая за счет биологической энергии;

8) триболуминесценция, возникающая в результате разрушения кристаллических решеток.

По длительности излучения после прекращения возбуждения различают: флуоресценцию (люминесценция прекращается через очень короткое время, обычно меньше 10^{-18} с) и фосфоресценцию (люминесценция не прекращается в течение ощутимого времени).

В люминесцирующем веществе большая часть энергии, сообщенной молекулам, локализуется и не поступает в общее тепловое распределение, поэтому возможна концентрация энергии в центрах излучения, во много раз превышающая среднюю кинетическую энергию теплового движения молекул.

Спектр люминесценции не соответствует уравнению Планка для теплового излучения и определяется физико-химическим строением люминесцирующего вещества.

Часто для получения нужных спектральных характеристик излучения люминофор составляется из нескольких компонентов, каждый из которых имеет свой спектр.

Фотолюминесценция нашла широкое применение в ИС, в которых невидимое УФ-излучение с помощью люминофоров преобразуются в видимое. Согласно квантовой теории излучения, элементарный процесс фотолюминесценции состоит из акта электронного возбуждения молекул люминесцирующего вещества в результате поглощения фотонов и последующего излучения при переходе из возбужденного состояния в нормальное. Конечная длительность люминесценции определяется временем пребывания молекул люминесцирующего вещества в возбужденном состоянии. Спектр люминесценции — это совокупность монохроматических потоков излучения, излучаемых люминофором.

В соответствии с законами квантовой физики максимум излучения люминесценции всегда сдвинут в сторону большей длины волны, чем у возбуждающего излучения.

Количественная характеристика люминесценции была определена С.И. Вавиловым, который предложил понятия квантового и энергетического выхода.

Энергетический выход люминесценции — это отношение эффективно преобразованной люминофором энергии к поглощенной энергии:

$$\eta_3 = Q_{ел} / Q_{е\alpha} = \Phi_{ел} / \Phi_{е\alpha},$$

где $Q_{ел}$ и $\Phi_{ел}$ — энергия и поток, излучаемые люминофором, а $Q_{е\alpha}$ и $\Phi_{е\alpha}$ — энергия и поток, поглощаемые люминофором.

Квантовый выход люминесценции — это отношение числа квантов люминесценции $\eta_{л}$ к числу квантов возбуждающего потока излучения η_{α} :

$$\eta_k = \eta_{л} / \eta_{\alpha}.$$

Если при фотолюминесценции один поглощенный люминофором квант излучения в лучшем случае дает один квант излучения люминесценции, то при *катодолюминесценции* один электрон, вошедший в слой люминофора, может создать ряд вторичных электронов, часть из которых способна возбуждать атомы люминофора. Таким образом, один поглощенный люминофором электрон может стать причиной получения ряда фотонов люминесценции. Явление катодолюминесценции широко используется в различных электронно-лучевых приборах (ЭЛП). Катодолюминесценция характеризуется яркостью, световой отдачей, характером разгорания и затухания, утомлением и выгоранием люминофора.

В настоящее время все более широкое применение находит *электролюминесценция* твердых люминесцирующих веществ (полупроводниковых кристаллов) при воздействии на них переменного или импульсного электрического поля. Наиболее широко используются светоизлучающие полупроводниковые диоды (СД), которые предназначены для преобразования электрической энергии в энергию некогерентного светового излучения. В основе действия СД лежит инжекционная электролюминесценция. В этих приборах применяются полупроводники, проводимость которых определяется введенными в них легирующими примесями. Примесь, создающая избыток электронов в кристалле, обуславливает электронную проводимость, и мы получаем полупроводник типа *n*, а если атомы примеси отбирают электроны у кристаллической решетки, возникает дырочная проводимость, т.е. полупроводник типа *p*. В области, где контактируют полупроводники разной проводимости, получается электронно-дырочный *p—n*-переход. При отсутствии внешнего напряжения в области *p—n*-перехода образуется объемный заряд, препятствующий дальнейшему движению носителей тока. Если же к *p—n*-переходу приложить напряжение прямой полярности несколько вольт,

т.е. обеспечить инжекцию носителей тока, то они рекомбинируют в зоне контакта с испусканием фотонов.

Для получения видимого спектра излучения необходимо, чтобы ширина запрещенной зоны полупроводника превышала 1,8 эВ, так как этой энергии достаточно только для достижения предельной (красной) видимой области чувствительности органа зрения. Исходя из этого ограничения используются следующие полупроводниковые материалы: фосфид галлия, карбид кремния; твердые растворы: галлий-мышьяк-фосфор и галлий-мышьяк-алюминий, а также нитрид галлия. Добавлением в полупроводниковый материал атомов веществ-активаторов можно изменять в некоторых пределах цвет излучения диодов. Рекомбинация электронов и дырок, происходящая в полупроводниковой структуре после приложенного прямого напряжения, необязательно связана с излучением кванта света (фотона). Значительная часть энергии выделяется в виде тепловых колебаний кристаллической решетки.

Соотношение между излучательными и безызлучательными рекомбинациями в диодной структуре характеризует ее внутренний квантовый выход, который является важнейшим показателем прибора. В современных СД, изготовленных из упомянутых материалов, внутренний квантовый выход составляет нескольких процентов. Практически этого оказывается достаточно для создания качественных приборов.

Основным технологическим методом изготовления светоизлучающих диодных структур является метод эпитаксиального наращивания. Обычно это жидкофазная эпитаксия или эпитаксия из газовой фазы. При жидкофазной эпитаксии осуществляется принудительное заливание подложки расплавом, содержащим необходимые примесные компоненты. Через некоторое время на подложке формируется эпитаксиальная пленка.

Эпитаксия из газовой фазы представляет собой синтезирование вещества в результате термохимических реакций на исходной подложке. Достоинства данного технологического метода — хорошая управляемость и высокая интеграция (одновременно могут обрабатываться тысячи светодиодных структур). В некоторых случаях, в основном при использовании карбида кремния, применяется метод диффузии примесей (акцепторных или донорных) из газовой фазы.

5.4. Лампы накаливания

Лампы накаливания (ЛН) относятся к тепловым ИС. Принцип работы ЛН понятен: металлическая нить разогревается до определенной температуры при включении лампы в сеть. Металлическая нить — тело накала (ТН) лампы, в котором электрическая энергия

превращается в энергию излучения, если к ней подвести напряжение. Главные требования к ТН:

- 1) высокая температура плавления материала;
- 2) малая скорость распыления;
- 3) малая окисляемость;
- 4) эластичность и упругость материала.

Среди металлов, пригодных для изготовления тела накала, наибольший интерес представляет вольфрам, самый тугоплавкий металл из известных в настоящее время. Из вольфрама получают нити любого необходимого диаметра путем протяжки проволоки через калиброванные отверстия. Тонкие проволоки хорошо спирализуются.

При прохождении по проволоке тока она нагревается до температуры 2000—3200 К (1700—2900 °С) и начинает светиться. При таких высоких температурах на воздухе вольфрам соединяется с кислородом, и нить мгновенно окисляется и разрушается, поэтому тело накала помещается в герметично запаянную стеклянную колбу, из которой воздух удален полностью. Однако в вакууме вольфрам при высоких температурах начинает испаряться, а испаряющиеся с нити атомы вольфрама оседают на стенках колбы, вызывая ее потемнение. Поэтому вакуумными делают лампы только небольшой мощности — до 25 Вт, так как у них ТН работает при сравнительно низких температурах (не выше 2500 К).

Для уменьшения испарения вольфрама колбы более мощных ламп после тщательной откачки наполняют инертным газом, что значительно снижает скорость испарения ТН, причем этот эффект проявляется тем сильнее, чем тяжелее наполняющий газ. Лампы с колбой, наполненной инертным газом, называют газополными. Для наполнения колб используются три инертных газа (из шести известных) — аргон, криптон и ксенон. Добывают их из воздуха, в котором содержится 0,94 % аргона, 0,0011 % криптона и 0,000008 % ксенона. Очевидно, что чем меньше содержится газа в воздухе, тем труднее его добывать и тем выше его стоимость. Поэтому более 95 % всех газополных ЛН наполняется аргоном, а точнее — техническим аргоном (86 % аргона и 14 % азота), до давления 600—650 мм рт. ст. Менее 5 % ламп делается с криптоновым наполнением, и только кварцевые галогенные лампы наполняют ксеноном.

Наполнение колб инертным газом уменьшает скорость испарения вольфрама, но увеличивает тепловые потери от ТН, поэтому требуется подвод к лампе дополнительной мощности для того, чтобы нагреть ТН до такой же температуры, которая была бы при отсутствии потерь. Количество тепла, отводимого через газ, прямо пропорционально длине ТН. Для сокращения длины ТН вольфрамовую нить свивают в спираль, а в некоторых типах ламп (особенно с криптоновым наполнением) делают еще спираль из спирали, т.е. двойную

спираль, или биспираль. Спиральное тело накала имеет и ряд недостатков: изготовление спиралей значительно сложнее, чем нитей; их формоустойчивость хуже. Колбы ЛН имеют различную форму, которая зависит от условий работы лампы и ее рабочего положения.

Наиболее распространенным типом цоколя ЛН является резьбовой. Если в процессе эксплуатации лампа подвергается тряске, то ее снабжают штифтовым цоколем. Лампы, предназначенные для работы в оптических системах, часто имеют специальные фокусирующие цоколи. Базовыми являются резьбовые цоколи E27 (для большинства ламп), E14 и E40 (для мощных ламп), кроме того, выпускаются лампы с мини-цоколем E12.

Из законов теплового излучения известно, что интенсивность излучения любого нагретого тела пропорциональна его температуре в четвертой степени; спектр излучения — сплошной, а положение максимума интенсивности излучения определяется температурой нагретого тела и связано с ней простым соотношением: $\lambda_{\max} = 2896/T$.

Из этих закономерностей следует, что чем выше температура ТН, тем интенсивнее, т.е. ярче, оно светит. Для наибольшей эффективности излучения его максимум должен располагаться как можно ближе к видимой области спектра или находиться внутри нее. Такого положения можно достичь при температуре ТН от 3700 до 7600 К. Но на Земле нет металлов, которые оставались бы твердыми при таких высоких температурах. Световая отдача, рассчитанная для излучения вольфрама при температуре его плавления, равна 53,5 лм/Вт, и это — тот теоретический предел световой отдачи, который могли бы иметь ЛН при полном отсутствии потерь и практически жидком ТН.

Излучение вольфрама меньше излучения ЧТ при равной температуре, но максимум спектральной кривой его излучения смещен в сторону области видимых излучений. Эта особенность вольфрама — чрезвычайно ценное свойство, так как его световая эффективность выше, чем световая эффективность ЧТ при их одинаковой реальной температуре.

Итак, очевидно, что чем выше температура ТН, тем более эффективной будет лампа, т.е. тем выше ее световая отдача. Но, вместе с тем, чем выше температура, тем быстрее испаряется вольфрам, даже не переходя в расплавленное состояние, и тем меньше будет срок службы лампы. Поэтому конструкции ламп, длина и диаметр ТН всегда выбираются в результате компромисса между двумя желаниями — увеличить эффективность (световую отдачу) и обеспечить требуемый срок службы. Из-за этого компромисса лампы работают фактически на пределе своих возможностей.

На рис. 5.2 показана зависимость основных параметров ламп от колебания напряжения относительно номинального. Из рисунка видно, что, увеличивая световую отдачу $\eta_{\text{д}}$ на несколько процентов

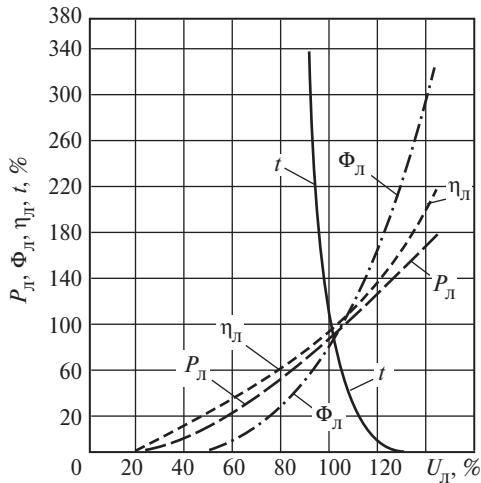


Рис. 5.2. Зависимость электрических и световых характеристик лампы и срока их службы от питающего напряжения

путем повышения напряжения, мы проигрываем в сроке службы t гораздо больше. В первом приближении можно считать, что при повышении напряжения на лампе $U_{л}$ на 1 % ток через лампу увеличится на 0,5 %, мощность $P_{л}$ — на 1,5 %, световой поток $\Phi_{л}$ — на 4,7 %, световая отдача — на 3,1 %, а срок службы снизится на 13 % ! Всего при 5 %-ном повышении напряжения, что в наших сетях происходит довольно часто, срок службы снижается почти в 3 раза. Нормальная работа ламп обеспечивается при колебаниях напряжения не более чем на 5 %.

Преимущества ЛН:

- малая стоимость;
- компактность;
- малая масса;
- работа при низком напряжении;
- включение не требует дополнительной аппаратуры;
- простота обслуживания;
- большое разнообразие мощностей;
- небольшие пульсации светового потока (2—3 %);
- устойчивость к температуре окружающей среды;
- общий индекс цветопередачи $R_a = 100$;
- стойкость против влаги и химически агрессивных сред.

К сожалению, *недостатки ЛН* очень существенны:

- низкая световая отдача;
- малый срок службы;

чувствительность к колебаниям напряжения;
большие пусковые токи;
преобладание в излучении оранжево-красных тонов.

Области применения ЛН:

- 1) помещения со специальными требованиями архитектурно-художественного освещения;
- 2) помещения, где по условиям электробезопасности требуется малое напряжение;
- 3) подвесные светильники (хрустальные люстры), для которых требуется маленькое ТН;
- 4) светильники рабочего и аварийного освещения, если невозможно использовать другие ИС;
- 5) светильники для жилых помещений.

В последнее время использование ЛН крайне ограничено, их применяют только при наличии специальных требований.

Зеркальные электрические ЛН являются лампами-светильниками и предназначены для освещения высоких помещений, открытых пространств, выставочных залов, декоративного освещения, освещения киносъемок и других целей. Колба зеркальной лампы имеет строго заданную форму. Внутренняя часть колбы покрыта зеркальным отражающим слоем. В тех случаях, когда к цветопередаче предъявляются повышенные требования, используются зеркальные лампы в колбах из неодимового стекла (освещение выставок, картинных галерей, витрин). Зеркальные лампы выпускаются с концентрированным, средним и широким светораспределением и обозначаются соответственно ЗК, ЗС, ЗШ (неодимовые лампы — ЗКН, ЗСН, ЗШН). В маркировке ламп первые три цифры обозначают номинальное напряжение, следующие — мощность. Например: ЗК220-40 — зеркальная ЛН на номинальное напряжение 220 В мощностью 40 Вт; ЗСН220-100 — зеркальная ЛН неодимовая на номинальное напряжение 220 В мощностью 100 Вт.

5.5. Галогенные лампы накаливания

По принципу действия эти лампы устроены так же, как и другие ЛН. Главное отличие состоит в том, что во внутренний объем лампы вводятся пары йода или брома (галогенных элементов), что и отражено в названии самой лампы [2, 3]. Одним из недостатков традиционных ЛН является осаждение на колбе лампы частиц вольфрама, приводящее к распылению нити накала и снижению световой отдачи лампы. В галогенных лампах использована химическая способность этих элементов непрерывно собирать осевшие на колбе частицы вольфрама (реакция окисления) и возвращать их на вольфрамовую спираль (реакция восстановления). Этот галогено-вольфрамовый цикл позволяет увеличить температуру и продолжительность жизни

ТН и, в конечном счете, повысить в 1,5—2 раза световую отдачу и срок службы ламп.

Важное отличие галогенных ламп состоит в том, что колба у них выполнена не из обычного, а из кварцевого стекла, более устойчивого к высокой температуре и химическим воздействиям. Благодаря этому размеры галогенных ламп можно уменьшить в несколько раз по сравнению с обычными лампами такой же мощности.

Трубчатые лампы инфракрасного излучения (термоизлучатели) выпускаются на номинальное напряжение 220 и 380 В, мощностью от 1000 до 4500 Вт со средней продолжительностью горения от 2000 до 10 000 ч, а для киносъемок и телевизионного освещения имеют номинальное напряжение 110 и 220 В, мощность от 300 до 5000 Вт и среднюю продолжительность горения от 200 до 2000 ч. Тело накала (вольфрамовая спираль) трубчатых ламп должно работать в горизонтальном положении. При наклонном положении на верхней части колбы откладывается вольфрам из-за недостатка галогенного элемента в этой области, и колба чернеет, перегревается, и лампа выходит из строя.

Маркировка галогенных ламп накаливания: первая буква указывает материал колбы лампы (К — кварцевое стекло); вторая — цикл (Г — галогенный); третья — область применения или габариты (О — облучательная, И — инфракрасная, М — малогабаритная); за буквенными обозначениями расположены цифры (первые указывают номинальное напряжение в вольтах, следующие — мощность в ваттах).

Устройство зеркальных галогенных ламп отличается тем, что зеркальный отражатель вместе с цоколем приклеен к колбе лампы. Зеркальное покрытие выполняется путем напыления на стеклянный отражатель химически чистого алюминия (непрозрачное покрытие) или специального полупрозрачного покрытия. Лампы с полупрозрачным (интерференционным или дихроичным) покрытием меньше нагревают освещаемую поверхность, так как инфракрасное излучение пропускается отражателем «назад». Некоторые типы ламп имеют также фильтры, не пропускающие УФ-излучение.

Наряду с лампами, предназначенными для непосредственного включения в сеть с напряжением 220, 127 или 110 В, очень широкое применение находят лампы низкого напряжения, обычно 12 В. Галогенные лампы одинаково хорошо работают на переменном и постоянном токе. Помимо ламп с резьбовыми цоколями для непосредственного включения в сеть выпускается широкий ассортимент галогенных ламп со специальными цоколями.

Области применения ГЛН:

- внутреннее и наружное освещение;
- архитектурное освещение фасадов зданий;
- освещение рекламных щитов;
- освещение витрин;

ландшафтное освещение;
бытовые светильники;
проекторная аппаратура.

5.6. Электрический разряд в газах и виды разряда, используемые в газоразрядных лампах

К *газоразрядным* (или просто *разрядным*) ИС относятся все люминесцентные лампы (ЛЛ), в том числе компактные и безэлектродные, металлогалогенные, натриевые высокого и низкого давления, ксеноновые, неоновые и др.

Все разрядные лампы делятся на три группы: низкого, высокого и сверхвысокого давления. Эти группы различаются физическими процессами, протекающими в них, параметрами и соответственно областями применения.

В разрядных лампах (РЛ) используется излучение электрического разряда в газах и парах металлов. По сравнению с тепловым излучением газовый разряд обладает более высокой световой эффективностью. Тепловое излучение имеет непрерывный спектр, газовый же разряд дает линейчатый спектр излучения.

Разрядные лампы имеют падающую вольт-амперную характеристику, т.е. разряд имеет «отрицательное» сопротивление: напряжение на разрядном промежутке с ростом тока не увеличивается, а уменьшается. Это создает проблемы компоновки электрических схем для включения ламп.

В общем случае, для того чтобы вызвать ионизацию в газе и зажечь разряд, требуется напряжение, превышающее рабочее напряжение лампы. Это напряжение называется *напряжением зажигания лампы* U_3 . Если напряжение зажигания приложить прямо к выводам лампы, разрядный ток будет увеличиваться, пока какой-нибудь элемент электрической схемы не выйдет из строя. Для стабилизации режима работы лампы последовательно с ней включается сопротивление, называемое балластом. Следовательно, разрядные ИС не могут включаться в электрическую сеть непосредственно, как ЛН. Для включения любого разрядного ИС необходимы дополнительные устройства, выполняющие две обязательные функции: обеспечение подачи напряжения не меньше напряжения зажигания и ограничение тока разряда на требуемом уровне.

Значение напряжения зажигания зависит от ряда причин:
материала и свойств катода;
рода газа, наполняющего лампу;
давления газа;
диаметра колбы;
расстояния между электродами.

Особенности газоразрядных ламп по сравнению с ЛН:

1) более высокие световая отдача и средняя продолжительность горения. Например, ЛЛ имеют световую отдачу $\eta_{\text{л}} < 116$ лм/Вт, срок службы $t_{\text{ср}} < 75\ 000$ ч; у натриевых ламп высокого давления $\eta_{\text{л}} < 150$ лм/Вт, а $t_{\text{ср}} < 56\ 000$ ч; у металлогалогенных ламп $\eta_{\text{л}} < 120$ лм/Вт, а $t_{\text{ср}} < 20\ 000$ ч;

2) линейчатый спектр с расположением линий в ультрафиолетовой, видимой, инфракрасной частях спектра;

3) большая яркость разрядного промежутка, что обеспечило их применение в прожекторах, кинопроекторах и т.д.;

4) малая инерционность, дающая возможность применять их в качестве импульсных ИС.

Недостатки газоразрядных ИС:

1) из-за линейчатого спектра излучения ухудшается цветопередача;

2) безынерционность излучения приводит к появлению пульсаций светового потока при работе ламп на переменном токе;

3) падающая вольт-амперная характеристика и необходимость балластного устройства усложняют включение лампы в сеть;

4) напряжение перезажигания значительно превышает рабочее напряжение лампы и напряжение сети, в связи с этим требуется применение сложных схем включения.

Особенности схем включения РЛ. Большинство РЛ работает в промышленных сетях переменного тока частотой 50 Гц (60 Гц). При работе РЛ в сети переменного тока каждую половину периода происходят изменение полярности электродов лампы и изменение тока на обратный, поэтому каждую половину периода значение тока проходит через нуль. В таком подключении важнейшей задачей схемы включения является создание благоприятных условий для перезажигания разряда каждую половину периода.

Устойчивая работа ЛЛ, одной из разновидностей РЛ, имеющих падающую вольт-амперную характеристику, возможна лишь при использовании балластов, ограничивающих ток лампы. Основным стабилизирующим элементом в большинстве балластов при работе на переменном токе является *индуктивное сопротивление* — *дроссель* [31]. Потери мощности в дросселе, слагающиеся из активных потерь в обмотке и потерь в магнитопроводе, невелики, сдвиг фаз между напряжением сети и напряжением на лампе способствует ее перезажиганию, и форма тока близка к синусоидальной.

Для уменьшения пульсации светового потока двух ламп, расположенных в одном светильнике, используются схемы включения, в которых одна ветвь — индуктивная (отстающая), другая — емкостная (опережающая); кроме того, в двухламповой схеме достигается компенсация реактивной мощности схемы. На частоте 50 Гц в каче-

стве балласта емкостное сопротивление X_C может использоваться лишь в комбинации с индуктивным X_L . В подобных комбинированных балластах $X_C > X_L$, и, следовательно, эквивалентное сопротивление такого балласта будет иметь емкостный характер, и ток лампы будет опережать напряжение сети. Электротехнический расчет такого контура ЛЛ с емкостно-индуктивным балластом состоит в определении C и L , которые при данном напряжении сети обеспечат требуемый режим работы лампы.

Мгновенное падение напряжения на дросселе пропорционально не току, а его производной; появляющийся в результате этого сдвиг фаз между напряжением сети и током приводит к уменьшению пауз тока, поскольку к моменту прохождения тока через нуль напряжение сети уже имеет некоторое значение с обратным знаком. Таким образом, разряд вспыхивает вновь, едва успев погаснуть, поэтому уменьшаются паузы тока и излучения, также улучшаются условия перезажигания разряда, что обеспечивает более благоприятные условия работы катодов. К недостаткам дросселей следует отнести большую массу, составляющую от 10 до 30 кг/кВт мощности лампы, большие габаритные размеры и низкий коэффициент мощности (0,5—0,6), что может быть исправлено включением конденсатора.

Использование трансформатора или автотрансформатора с большим магнитным сопротивлением эквивалентно сочетанию трансформатора с дросселем, при этом обеспечиваются меньшие масса, размеры и потери. Повышающие трансформаторы с большим магнитным сопротивлением применяются в тех случаях, когда напряжение зажигания или горения лампы выше напряжения сети, например для трубок высокого напряжения.

В ртутных лампах высокого давления для облегчения зажигания часто применяют один или два вспомогательных зажигающих электрода. Они представляют собой проводник, один конец которого расположен вблизи одного из основных электродов, а другой через ограничительное сопротивление соединен с противоположным основным электродом. Значение этого сопротивления определяется сетевым напряжением и значением необходимого тока вспомогательного разряда.

5.7. Ртутные люминесцентные лампы низкого давления

В настоящее время ЛЛ являются вторым после ЛН наиболее массовым ИС. Их мировой выпуск составляет около 3 млрд шт. в год, а создаваемый ими световой поток превышает 50 % всего светового потока, вырабатываемого электрическими ИС, и продолжает расти. Возникла, по существу, новая отрасль промышленности, связанная с производством ЛЛ и люминесцентным освещением.

Конструкция ЛЛ. Стандартные ЛЛ представляют собой достаточно длинную цилиндрическую стеклянную трубку, внутренняя поверхность которой покрыта тонким равномерным слоем люминофора или смеси нескольких типов люминофоров. По обоим торцам трубки впаяны ножки с электродами. В ЛЛ дугового разряда применяются самокалящиеся электроды в виде биспирали (или триспирали) из вольфрамовой проволоки, покрытые слоем оксида, в основном соединений с кислородом Ва, Са, Sr. Лампы после тщательной вакуумной обработки наполняются дозированными количествами ртути Hg и инертных газов, обычно аргона Ar (в ряде ЛЛ применяются смеси газов). На рис. 5.3. показан общий вид ЛЛ, а в табл. 5.2 приведены габаритные размеры ЛЛ типовых мощностей диаметром $D = 26$ мм. Основные параметры ЛЛ даны в табл. 5.3.

Столб ртутного разряда низкого давления является эффективным источником резонансного излучения ртути в УФ-области с длиной

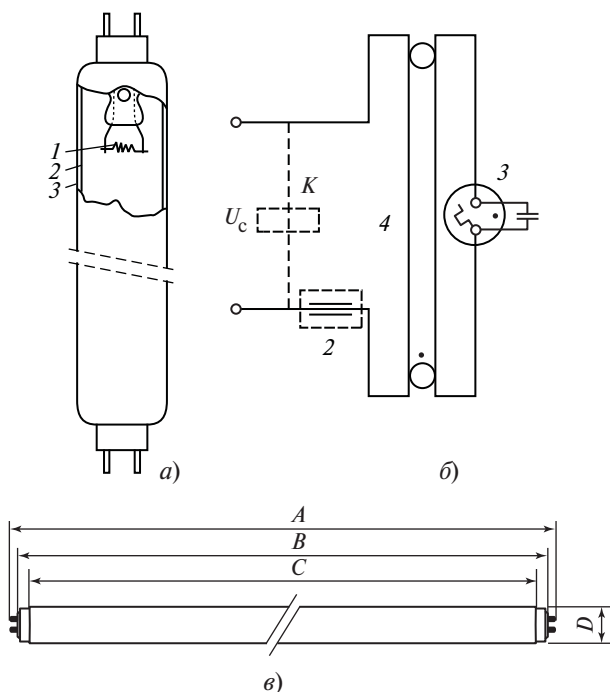


Рис. 5.3. Общий вид (а), стартерная схема подключения (б) и габаритные размеры (в) ЛЛ:

1 — подогревной катод; 2 — слой люминофора; 3 — прозрачная защитная пленка; 4 — ЛЛ; 5 — дроссель; 6 — стартер

Таблица 5.2

Размеры, мм, трубчатых ламп ($D = 26$ мм) типовой мощности (см. рис. 5.3)

Мощность лампы, Вт	A	B	C
18	604	595	590
36	1214	1205	1200
58	1506	1506	1500

Таблица 5.3

Основные параметры ЛЛ

P , Вт	Φ_v , лм	$\eta_{лл}$, лм/Вт	τ , тыс. ч	$T_{цв}$	R_a
4—125	130—9000	50—115	5—15	2700—8000	70—95

волны, приблизительно равной 254 и 185 нм, на долю которого может приходиться больше 85 % подводимой к столбу разряда мощности.

Люминофоры ЛЛ. В середине 70-х годов XX в. был разработан новый класс люминофоров, дающих узкополосное излучение в синей (около 450 нм), зеленой (540 нм) и красной (610 нм) областях спектра. Это — узкополосные люминофоры (УПЛ). Применение ЛЛ с трехполосным спектром излучения УПЛ открыло новые возможности для варьирования и оптимизации цветовых и световых характеристик ламп. Были разработаны ЛЛ с УПЛ, обладающие более высоким индексом цветопередачи R_a (до 85), более высокими световыми отдачами и возможностью выбора любой $T_{цв}$: от 2700 до 6500 К.

Узкополосные люминофоры содержат в своем составе редкоземельные металлы, которые входят либо в основное вещество, либо в активатор. В настоящее время синтезировано большое количество подобных люминофоров. Их главное достоинство — значительно более высокая стабильность к облученности коротким УФ-излучением с длиной волны 185 нм, к температуре и электронно-ионной бомбардировке при сохранении высокого квантового выхода. К сожалению, они значительно дороже галофосфата кальция.

Применение УПЛ впервые позволило избавиться от главного недостатка ЛЛ — их формы в виде длинных трубок стандартной длины. При использовании УПЛ стало возможным существенно повысить удельную нагрузку и перейти на изготовление ЛЛ в узких трубках диаметром от 16 до 10 мм и меньше, а таким трубкам легче придавать компактную форму самых различных конфигураций путем изгибания или сваривания более коротких отрезков стеклянными патрубками, т.е. избавиться от необходимости соблюдать заданную длину.

Различное соотношение энергий в полосе $\lambda = 485$ нм и $\lambda = 585$ нм дает возможность изготавливать ЛЛ, имеющие разную цветовую температуру:

$T_{\text{цв}} < 3300$ — тип ТБ;

$T_{\text{цв}}$ — 3300÷5000 — тип ЛБ;

$T_{\text{цв}} > 5000$ — тип ХБ.

Как и всякому разрядному ИС, ЛЛ присущи пульсации светового потока. Частота пульсаций при питании сетевым напряжением частотой 50 Гц составляет 100 Гц.

Для включения ЛЛ необходимы специальные аппараты, которые могут быть как электромагнитными, так и электронными. При использовании высокочастотных аппаратов стабилизируются все характеристики ИС, в том числе цветовые, увеличивается срок службы ЛЛ, уменьшаются пульсации светового потока, спад светового потока во времени, потребляемый ток в результате повышения коэффициента мощности комплекта лампы + балласт. Лампы типа Т5 могут работать только с электронными пускорегулирующими аппаратами (ПРА).

В зависимости от типа ламп спад светового потока во времени может существенно различаться. Например, для стандартных ламп, работающих на галофосфатных люминофорах с электромагнитными балластами, спад светового потока может достигать 48 % после 10 тыс. ч горения. В то же время в современных лампах типа Т5 с трехполосными люминофорами и электронными балластами спад светового потока за 16 тыс. ч составляет всего 5 %.

Эксплуатационные характеристики ЛЛ. Поскольку ЛЛ не предназначены для непосредственного включения в сеть, значение напряжения на лампе при ее маркировке не приводится. В комплекте с ПРА ЛЛ обычно рассчитаны на питание от сети переменного тока промышленной частоты.

Цоколи ЛЛ двухштырьковые в основном двух типов: G-13 (расстояние между штырьками 13 мм) для ламп диаметром 38 и 26 мм и G-5 для ламп диаметром 16 мм.

Применяемые ПРА можно разделить также на две основные группы: электромагнитные и электронные (ЭПРА).

Есть и группы «смешанных» аппаратов.

В последние годы наблюдается тенденция применения компактных ЛЛ (КЛЛ) с встроенным в цоколь аппаратом, работающих на частоте около 30 кГц. У ламп со встроенным балластом полностью решена проблема пульсации светового потока, и по этому показателю КЛЛ не уступают ЛН. Количество ртути в КЛЛ примерно в 10 раз меньше, чем в обычных ЛЛ.

В последнее время был сделано очень важное усовершенствование, позволившее резко повысить стабильность светового потока Φ_V

у ламп диаметром 26 мм. Исключительно высокая стабильность Φ_{ν} , достигающая 95 % начального светового потока через 16 тыс. ч горения, была достигнута в результате нанесения прозрачной защитной пленки на внутреннюю поверхность стекла перед нанесением слоя люминофора. Эта пленка предотвращает вредные реакции между ртутью, стеклом и люминофором, приводившие к поглощению ртути, почернению стекла и люминофора. В свою очередь, это позволило снизить количество вводимой в лампу ртути до 3 мг (вместо 20—80 мг), что чрезвычайно важно в экологическом отношении.

В середине 90-х годов XX в. фирмами Philips, OSRAM и другими было выпущено новое поколение тонких линейных ЛЛ диаметром 16 мм (серия T5 или T16). Их длина уменьшена приблизительно на 50 мм по сравнению с длиной стандартных ЛЛ, что облегчает конструирование светильников. Лампы характеризуются очень высокой световой отдачей (90—116 лм/Вт) и большой стабильностью светового потока (после 10 тыс. ч горения остается 95 % первоначального потока). Они предназначены для работы только с электронными аппаратами, при этом их средняя продолжительность горения 16 тыс. ч.

Поскольку лампы изготавливаются с использованием трехкомпонентных УПЛ, они обладают высоким качеством цветопередачи ($R_a > 80$) и могут иметь различную цветность излучения: от тепло-белого с $T_{\text{цв}} = 2700$ до холодного с $T_{\text{цв}} = 6500$ К.

На рис. 5.4 представлены спектральные характеристики нескольких ЛЛ с различными люминофорами.

Особенности эксплуатации ЛЛ.

1. Лампа включается в сеть только в комплекте со специальной аппаратурой. Напряжение на самой лампе в процессе горения примерно вдвое ниже, чем напряжение сети. Чаще всего используется простейшая схема включения ЛЛ со стартером и индуктивным или индуктивно-емкостным балластом.

2. Лампа могут работать только в ограниченном диапазоне температур окружающей среды. Температура окружающей среды влияет на давление паров ртути внутри колбы, которое имеет оптимум при определенной температуре. Отклонение от этого оптимума ведет к снижению светового потока, а также к ухудшению зажигания лампы. Для большинства ЛЛ интервал рабочих температур — от +5 до +50 °С.

3. Пульсации светового потока ЛЛ частично сглаживаются благодаря послесвечению люминофора. Коэффициент пульсации светового потока для ЛЛ разной цветности составляет: для ламп типа ЛБ 22—23 %, для ламп типа ЛЕЦ 73—75 %, для ЛТБЦ — 68—70 % при включении в сеть с образцовым измерительным дросселем. Для сглаживания пульсаций несколько ЛЛ можно включать так, чтобы их токи были сдвинуты по фазе один относительно другого. Благодаря этому коэффициент пульсаций доводится до нормы. Радикальным

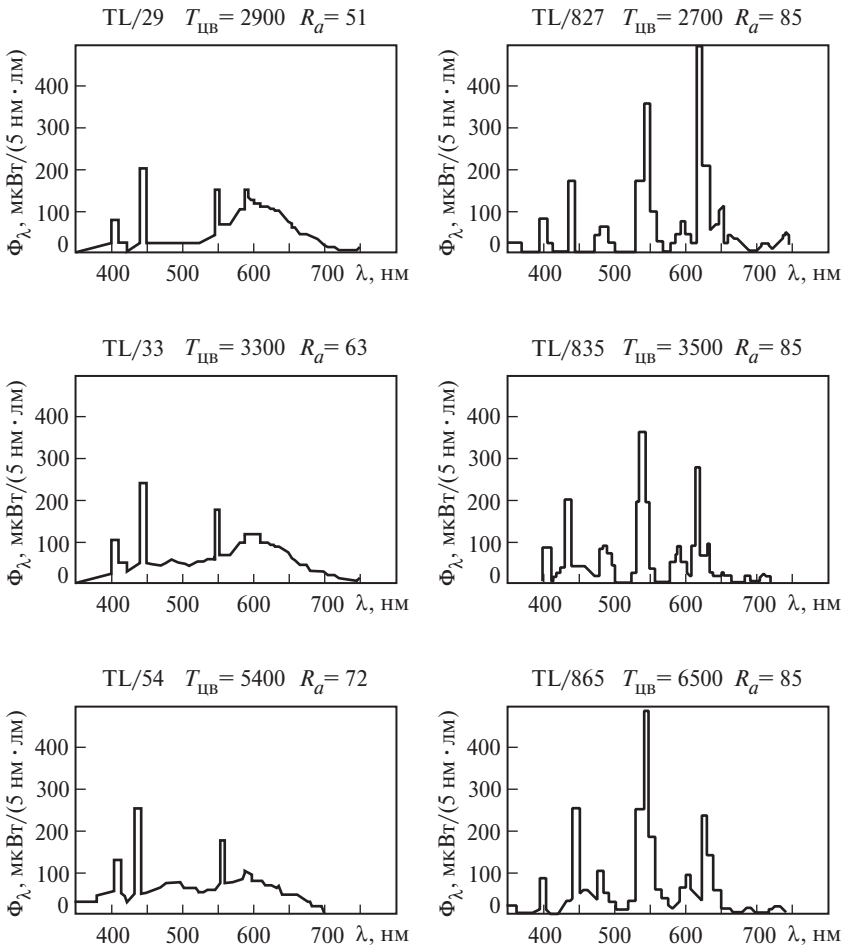


Рис. 5.4. Спектральные характеристики ЛЛ

средством для снижения пульсации является переход на высокочастотное питание.

4. Утилизацию ЛЛ необходимо проводить с учетом токсичности ртути.

В помещениях с тяжелыми условиями среды, например с высокой температурой окружающего воздуха (кухни, гладильные, горячие цеха и т.д.), целесообразно использовать амальгамные ЛЛ, в которых ртуть вводится в виде сплава с другими металлами (амальгамы). Во взрывоопасных помещениях для облегчения зажигания ЛЛ нужно использовать лампы со специальным покрытием либо со специальной полосой. В помещениях с вибрацией используются ЛЛ со схемой

питания с холодными электродами, тогда эти лампы выдерживают вибрацию.

Наиболее известны следующие фирмы, выпускающие ИС: «Лисма» (Россия), OSRAM (Германия), Philips (Голландия), General Electric (США), Silvaninia (Германия), BLV (Япония—Германия).

В маркировке ламп заложены данные о их мощности, цветовой температуре и общем индексе цветопередачи. Например, лампа GE типа F35W/T5/827 — это лампа типа T5, мощностью 35 Вт с люминофором марки 827 с общим индексом цветопередачи 85 и цветовой температурой 2700 К. Все остальные данные берутся из каталога фирмы либо на сайте фирмы.

Область применения ЛЛ:

1. В общественных зданиях с потолочными, встроенными и подвесными светильниками:

- а) в административно-конторских помещениях (офисах);
- б) в учебных и лечебных помещениях;
- в) в лабораториях.

2. В торговых помещениях.

3. В производственных помещениях, где высота подвеса не более 6 м.

4. В производственных помещениях, где проводится контроль продукции по цвету ($R_a > 90$).

Компактные люминесцентные лампы. Эти лампы являются разновидностью ЛЛ (табл. 5.4 и рис. 5.5). В них длинная цилиндрическая колба многократно изгибается, тем самым, приводя к уменьшению общего габарита лампы. Конечно, КЛЛ мощностью 80 Вт и более относятся к компактным несколько условно. Компактные люминесцентные лампы с цоколем E27 и E14 идут на прямую замену ЛН.

Область применения КЛЛ:

1) в потолочных и встроенных светильниках в ОУ общественных зданий;

2) в светильниках торговых залов магазинов, примерочных кабин, витрин; в поворотных светильниках, предназначенных для акцентированного освещения;

3) в настольных светильниках для местного освещения;

4) в бытовых светильниках.

Достоинства ЛЛ и КЛЛ:

большая световая отдача;

большой срок службы;

Таблица 5.4

Основные параметры КЛЛ

P , Вт	Φ , лм	η , лм/Вт	τ , тыс. ч	$T_{цв}$	R_a
3—80	200—6000	50—90	8—12	2700—6500	82—90

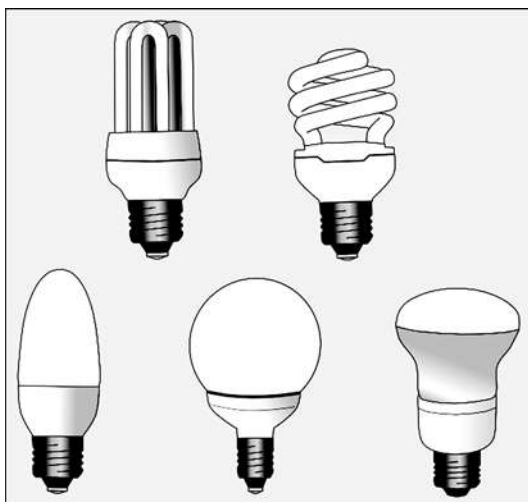


Рис. 5.5. Компактные люминесцентные лампы

широкий диапазон мощностей;
большой диапазон цветовых температур;
хорошая и отличная цветопередача.

Недостатки ЛЛ и КЛЛ:

световой поток этих ИС сильно зависит от температуры окружающей среды. Оптимальная температура для них 25°C , на практике это не всегда возможно. При отрицательных температурах зажигание ЛЛ затруднено;

в лампах содержится ртуть. Проблема утилизации этих ИС в нашей стране пока не проработана;

световой поток ЛЛ и КЛЛ устанавливается не сразу после включения, а спустя некоторое время, зависящее от конструкции светильника, температуры окружающей среды и типа лампы. В амальгамных лампах это время может быть около 10 мин;

пульсация светового потока. Для исключения пульсаций используются высокочастотные электронные балласты либо применяется «расфазировка», т.е. питание соседних светильников от разных фаз.

5.8. Разрядные лампы высокого и сверхвысокого давления

Применяемые для освещения разрядные лампы высокого давления можно разделить на три основные группы:

дуговые ртутные люминесцентные (ДРЛ);
металлогалогенные (МГЛ);
натриевые лампы высокого давления (НЛВД).

Лампы с разрядом высокого и сверхвысокого давления отличаются от ламп низкого давления более высокой плотностью излучения, и поэтому их часто называют лампами высокой интенсивности.

В конструктивном отношении лампы ДРЛ (табл. 5.5) представляют собой ртутно-кварцевую горелку в форме трубки, размеры которой зависят от мощности лампы. С противоположных концов в трубку впаяны активированные вольфрамовые электроды. Для облегчения зажигания помимо основного электрода впаяны зажигающие электроды в виде проволочек. Горелка монтируется внутри внешней колбы из тугоплавкого стекла, покрытой изнутри тонким слоем люминофора.

Размеры внешней колбы и ее форма подбираются с таким расчетом, чтобы при работе лампы колба имела оптимальную температуру для свечения люминофора (обычно это около 250 °С), форма колбы эллипсоидальная. Диаметр внешней колбы у лампы мощностью 80 Вт равен 75 мм, а у лампы 1000 Вт — 180 мм, полная длина ламп соответственно равна 160 и 400 мм.

Достоинства ламп ДРЛ:

достаточно высокая световая отдача;
 большой срок службы;
 компактность;
 широкий диапазон мощностей;
 очень слабая зависимость параметров от температуры окружающей среды.

Недостатки ламп ДРЛ:

низкое качество цветопередачи;
 большие пульсации светового потока (65—75 %). (Если в помещении возможно возникновение стробоскопического эффекта, необходимо включать соседние светильники в разные фазы);

большое время разгорания (до 10 мин);
 повторное включение лампы возможно только после остывания горелки;

высокая температура на внешней колбе (250—300 °С).

Лампы ДРЛ применяются там, где не требуется хорошее качество цветопередачи:

- 1) для наружного освещения;
- 2) для освещения производственных помещений и складов с высотой установки светильников более 6 м;
- 3) для архитектурного освещения фасадов зданий.

Таблица 5.5

Основные данные ламп ДРЛ

P , Вт	Φ , лм	η , лм/Вт	τ , тыс. ч	$T_{\text{цв}}$	R_a
50—1000	1900—58 000	50—60	15—240	4000—4500	40—55

Элементы устройства ламп ДРЛ, НЛВД и МГЛ. Основные элементы устройства ламп ДРЛ, НЛВД, а также МГЛ одинаковы. В горелке из прочного тугоплавкого, химически стойкого, прозрачного материала, в которой находятся газы и пары металлов, возникает свечение электрического разряда. Горелки ламп ДРЛ и МГЛ выполняются из кварца, а горелки НЛВД — из поликристаллического оксида алюминия.

Горелки содержат аргон или ксенон и пары металлов при высоком давлении: пары ртути у ДРЛ, ртути и смеси галогенидов некоторых металлов у МГЛ, пары ртути и натрия у НЛВД. Разряд происходит под действием приложенного к электродам горелки напряжения. Для облегчения зажигания предусмотрен зажигающий электрод. Горелка размещается внутри внешней колбы, обычно прозрачной у МГЛ и НЛВД или покрытой изнутри слоем люминофора для улучшения цветопередачи у ДРЛ. Для установки в прожекторах выпускаются малогабаритные лампы МГЛ и НЛВД без внешней колбы.

Электрические и световые характеристики ламп ДРЛ, НЛВД и МГЛ. Лампы в комплекте с пускорегулирующим аппаратом (ПРА) рассчитаны на сетевое напряжение. Для НЛВД и МГЛ требуется применять импульсные зажигающие устройства (ИЗУ), подающие импульс напряжения до 4000 В. При работе с ИЗУ лампы легко зажигаются при самых суровых морозах. В настоящее время все чаще используются электронные балласты, что повышает срок службы, надежность и качество освещения. Лампы имеют в основном резьбовой цоколь Е27 или Е40, но некоторые — цоколи типов G12, RX7s и др.

Наименее чувствительны к колебаниям напряжения лампы ДРЛ. При изменении напряжения сети на 10—15 % в большую или меньшую сторону повышается или понижается световой поток на 25—30 %. При напряжении менее 80 % стандартного сетевого напряжения лампа может не зажечься, а в горящем состоянии погаснуть.

Срок службы большинства ламп составляет 10—15 тыс. ч, но для отдельных типов НЛВД срок службы может быть более 20 тыс. ч. По устойчивости и механическим воздействиям они лучше ЛН.

Для экологической безопасности необходимо уделять особое внимание вопросам утилизации ламп ДРЛ, так как в них содержится больше ртути, чем в МГЛ и НЛВД. УФ-излучение горелки практически полностью задерживается стеклом внешней колбы.

Наименьшую световую отдачу среди разрядных ламп высокого давления имеют лампы ДРЛ (40—60 лм/Вт), наибольшую — НЛВД (до 150 Вт), а световая отдача МГЛ находится в диапазоне от 60 до 120 лм/Вт, при этом у всех ламп световая отдача растет с увеличением мощности. Яркость ламп ДРЛ — $(30 \pm 10)10^3$ кд/м², а у МГЛ и НЛВД — до $25 \cdot 10^6$ кд/м².

Для многих МГЛ и НЛВД, особенно мощных, очень важна ориентация их в пространстве. Угловые зоны их рабочих положений указываются в технических характеристиках. У ламп ДРЛ рабочее положение может быть произвольным. Для разжигания до рабочего состояния разрядных ламп ВД требуется несколько минут. Погасшие лампы вновь зажигаются только после охлаждения, которое может длиться десятки минут. Температура горелки достигает 700—800 °С, а температура колбы лампы — 300 °С.

Металлогалогенные лампы. Особенность МГЛ состоит в том, что внутрь разрядной колбы помимо ртути и аргона вводят галогениды различных металлов (таллия, индия, диспрозия и др.). После диссоциации атомы металла возбуждаются и их излучение имеет характерный спектр. Таким образом, значительная часть излучения разряда создается благодаря добавкам. Современные лампы изготавливают с внутренней горелкой, сделанной из поликристаллического оксида алюминия, что стабилизирует тепловые параметры лампы.

Как показали эксперименты, для эффективного излучения атомов добавок и длительной работы таких ламп в наибольшей степени подходят именно ртутные разряды ВД и СВД, а в качестве излучающих добавок — йодистые и вообще галогенные соединения большинства металлов.

При определенных условиях в таких разрядах преобладает излучение металлов-добавок, в то время как атомы ртути слабо участвуют в излучении, несмотря на то что их концентрации в разряде в сотни и тысячи раз больше концентраций излучающих добавок.

В МГЛ физико-химические процессы с участием йодидов металлов являются неперменным условием, определяющим принцип действия ламп. Вместе с тем введение галогенидов приводит к появлению множества процессов, отрицательно влияющих на работу этих ламп.

В МГЛ не могут работать столь эффективные для ртутных ламп ВД вольфрамовые электроды с активаторами, содержащими соединения щелочно-земельных металлов (Ba, Ca, Sr) из-за их химических реакций с галогенами. В МГЛ применяются электроды из торированного вольфрама либо электроды, содержащие в качестве активатора диоксид тория, но для этих электродов для зажигания требуется разряд более высокого напряжения.

Зажигание и перезажигание разряда в МГЛ существенно осложняется наличием галогенидов.

При работе МГЛ в вертикальном положении часто наблюдается неравномерное распределение излучения многих добавок вдоль столба разряда — так называемое расслоение. Оно ведет к нежелательному изменению цвета и яркости вдоль столба и особенно сильно проявляется в лампах большой длины.

Металлогалогенные лампы с некоторыми добавками, например Na, имеют разный цвет свечения в центре и по краям разряда, а при работе на переменном токе наблюдается периодическое изменение

цвета в зависимости от фазы тока. Эти явления связаны с различием потенциалов возбуждения добавок и ртути и, следовательно, с разной шириной светящегося канала и разной глубиной пульсаций спектральных линий добавок и ртути.

В конструктивно-технологическом отношении МГЛ имеют некоторые особенности по сравнению с соответствующими типами ртутных ламп ВД и СВД. Поскольку добавки вводятся в избытке, то при работе лампы всегда имеется их жидкая фаза, поэтому давление их паров очень резко зависит от температуры наиболее холодной зоны внутри кварцевой горелки. Горячие газы, которые «подхватывают» молекулы добавок и вовлекают их в циркуляцию, создают конвекционные потоки в горелке. Коэффициент полезного действия, спектральные и цветовые характеристики МГЛ сильно зависят даже от незначительных изменений всех факторов, влияющих на распределение концентраций добавок в объеме.

Коэффициент полезного действия излучения большинства применяемых добавок растет вместе с давлением их паров, т.е. с минимальной температурой внутренней стенки горелки. С одной стороны естественно стремление как можно выше поднять эту температуру. С другой стороны, чем выше температура кварцевой горелки, тем интенсивнее протекают процессы, приводящие к сокращению срока службы лампы. В этих условиях для получения максимального КПД МГЛ в отдельных областях спектра излучения, а также продолжительного срока службы необходимо стремиться к повышению минимальной и снижению максимальной температуры внутри горелки, т.е. к выравниванию ее температурного поля. В разрядах ВД и СВД особенно важно с этой целью повышать температуру концов горелки, особенно ее заэлектродных частей, а при работе лампы в вертикальном положении — нижнего, наиболее холодного конца. Что касается максимальной температуры, то она обычно находится в средней части горелки.

В качестве излучающих добавок наибольшее распространение получили две композиции: йодиды Na, Tl и In (тройная смесь) и йодиды натрия Na, скандия Sc и тория Th. Лампы с этими добавками имеют световые отдачи от 75 до 90 лм/Вт, что в 1,5 раза выше, чем у ламп ДРЛ той же мощности, их сроки службы составляют от 6 до 15 тыс. ч, и при этом обеспечивается неплохое качество цветопередачи (табл. 5.6). В конструктивном отношении МГЛ подобны лампам ДРЛ.

Таблица 5.6

Основные характеристики МГЛ

$P, \text{Вт}$	$\Phi, \text{лм}$	$\eta, \text{лм/Вт}$	$\tau, \text{тыс. ч}$	$T_{\text{цв}}, \text{К}$	R_a
20—2000	1650—170 000	70—120	9—15	3000—6500	80—90

При одинаковой мощности горелки МГЛ имеют более короткие трубки и сужающуюся форму в заэлектродной части, а концы горелок в целях утепления покрывают тонким слоем, например, оксида титана TiO_2 , так как для получения указанных выше значений световой отдачи требуются более высокие минимальные температуры.

Металлогалогенные лампы с особо высоким качеством цветопередачи используются при освещении телевизионных студий. Важным шагом для повышения качества цветопередачи стала разработка серий МГЛ с добавками галогенидов редкоземельных металлов. Спектры этих элементов состоят из множества линий, расположенных по всему видимому спектру и в ближней УФ- и ИК-областях спектра. В 1976 г. подобные лампы были с большим успехом применены для освещения спортивных площадок на Олимпийских играх в Мюнхене.

Для *цветного ТВ* были разработаны и освоены в производстве две серии МГЛ:

1) линейные трубчатые мощностью 400, 1000, 2000 и 3500 Вт со световой отдачей от 65 до 86 лм/Вт, практически непрерывным спектром, $R_a = 70 \div 85$ и $T_{цв} \cong 6000$ К, со сроком службы до 1500 ч;

2) компактные (шаровые) с укороченной длиной дуги (от 7 до 35 мм) мощностью 200, 575, 1200, 2500, 4000, 7000 и 12000 Вт высокой яркости со световой отдачей от 80 до 96 лм/Вт, практически непрерывным спектром, $R_a = 85 \div 95$, $T_{цв} \cong 6000$ К и со сроком службы от 200 до 500 ч.

Для мгновенного зажигания ламп в горячем состоянии были разработаны специальные блоки, вырабатывающие импульсы высокого напряжения от 20 до 60 кВ.

Высокая световая отдача, малые габаритные размеры и возможность получения очень высококачественной цветопередачи определили интерес к созданию *маломощных МГЛ для внутреннего освещения* мощностью менее 200 Вт. Исследования и разработки шли, в основном, по трем направлениям:

1) усовершенствование МГЛ с наполнением Na, Sc;

2) поиски новых наполнений, позволяющих регулировать цветовые характеристики и спектры излучения в значительно более широких пределах;

3) создание маломощных МГЛ с керамическими горелками.

В результате изменения химического состава и дальнейшей оптимизации конструкции горелки и технологии производства удалось значительно улучшить качество цветопередачи, достичь большой однородности и стабильности цвета как при работе в разных положениях горения, так и в течение всего срока службы. Улучшение цветовых характеристик было достигнуто путем модификации и оптимизации состава наполнения, в который кроме йодидов Na, Sc и лития

Li были дополнительно введены йодиды диспрозия Dy и таллия Tl. В результате оптимизированная МГЛ мощностью 100 Вт имеет: $\eta = 85$ лм/Вт, $R_a = 85$, $T_{цв} = 3100$ К и ожидаемый срок службы больше 7000 ч.

Использование поликристаллического оксида алюминия для горелок маломощных МГЛ позволило получить более высокие световые и цветовые характеристики и более высокую стабильность. Такие горелки могут длительно работать при $T \approx 1150$ °С, что на 150—200 °С выше, чем допускает кварцевое стекло, они обладают высокой химической стойкостью, что снимает многие проблемы, возникающие при введении галогенидов щелочных металлов в горелки из кварцевого стекла. В настоящее время все передовые зарубежные фирмы начали выпуск МГЛ мощностью от 35 до 150 Вт с керамическими горелками.

К МГЛ с преобладающим излучением молекул добавок относятся лампы с галогенидами олова Sn. В спектре этих ламп есть линии атомов Sn, и с повышением давления галогенидов быстро растет интенсивность квазинепрерывного спектра. В видимой части спектра при достаточном давлении добавок спектр излучения близок к дневному свету с $T_{цв} \cong 5500$ К и $R_a \approx 92$. Лампы мощностью 250, 500 и 1000 Вт используются для цветной фотографии, при цветных телепередачах, для цветной микроскопии и других целей. У этих ламп горелки шарообразной формы с запрессованными с противоположных сторон вводами помещаются во внешнюю малогабаритную вакуумированную кварцевую колбу, снабженную плоским двухштырьковым цоколем. Лампы имеют $\eta = 70 \div 78$ лм/Вт, $T_{цв} \cong 5500$ К, $R_a > 85$. Важно, что $T_{цв}$ почти не зависит от положения горения. Рабочее давление в горелке 20—30 атм. Этот класс МГЛ с излучением молекул (а не атомов) добавок представляет весьма большой интерес с научной и практической точек зрения.

Металлогалогенные лампы с добавками йодидов индия In и галлия Ga с преимущественным излучением в сине-фиолетовой и близкой УФ-области спектра можно использовать в медицине, для лазерной накачки и в многочисленных поверхностных фотохимических процессах промышленного масштаба. По конструкции эти лампы подобны трубчатым ртутно-кварцевым лампам ВД. Они выпускаются различной мощности от 400 до 2000 Вт и более и рассчитаны, как правило, на работу только в горизонтальном положении во избежание расслоения излучения.

Для применения в объемных фотохимических процессах, протекающих в жидкой или газообразной среде, например для фотосинтеза капролактама и додекалактамов, были созданы МГЛ погружного типа. По конструктивно-технологическим условиям удобнее погружать лампы в вертикальном положении. Мощности ламп и их раз-

меры зависят от необходимой производительности и могут составлять от нескольких сот ватт при длине десятки сантиметров до 20 кВт при длине более 1 м.

Существуют области применения, где по соображениям экологической безопасности необходимо исключить наличие ртути. Подходящей заменой ртути может быть ксенон. Он экологически безопасен, имеет большую атомную массу (131), высокие потенциалы возбуждения и ионизации по сравнению с излучающими добавками и химически инертен.

Достоинства МГЛ:

- высокая световая отдача;
- большой диапазон цветовых температур;
- большой срок службы;
- отличная цветопередача;
- очень слабая зависимость параметров лампы от окружающей температуры;

благодаря малогабаритной горелке световой поток лампы легче перераспределять с помощью отражателей и линз, что позволяет использовать эти лампы в светильниках акцентированного освещения.

Недостатки ламп МГЛ:

цветность излучения некоторых типов ламп зависит от их рабочего положения, поэтому эти лампы должны работать в том положении, которое указано в документации на данные лампы;

- высокая стоимость;

- большие пульсации светового потока, двигающие у некоторых ламп 100 %;

- большое время разгорания — до 10 мин;

- невозможность повторного включения ламп при их погасании; для быстрого включения после погасания необходимы блоки мгновенного перезажигания.

Области применения МГЛ. Эти лампы используются для освещения:

- спортивных сооружений;

- при цветных телерепортажах и киносъёмках;

- торговых залов магазинов, витрин;

- выставочных павильонов;

- офисов;

- архитектурное освещения фасадов зданий.

Натриевые лампы низкого и высокого давления. Обстоятельные исследования характеристик натриевого разряда, проведенные в 20—30-х годах прошлого века, позволили выявить условия разряда, обеспечивающие наибольший выход резонансных линий с $\lambda = 589,0$ и $589,6$ нм. Наполнение ламп аргоном дало возможность резко повысить световую отдачу.

Основные параметры НЛНД

P , Вт	Φ , лм	η , лм/Вт	τ , тыс. ч	$T_{цв}$, К	R_a
18—180	1800—36 000	100—200	15—22	1900—2100	Менее 20

Натриевые лампы низкого давления (НЛНД). Особенность натриевых ламп состоит в том, что спектр их излучения (яркое желтое свечение) находится в области близкой к максимуму спектральной чувствительности глаза (555 нм), поэтому световая отдача натриевых ламп может быть очень высока ~ 250 лм/Вт и выше. В настоящее время натриевые лампы низкого давления — самые экономичные из существующих ИС (табл. 5.7).

Области применения НЛНД:

освещение загородных автострад;

освещение погрузочно-разгрузочных площадок морских портов, железнодорожных станций и других мест, где не требуется хорошая цветопередача.

Натриевые лампы высокого давления (НЛВД). Поликристаллический оксид алюминия Al_2O_3 , представляющий собой керамику, состоящую из отдельных зерен, создает рассеянный свет подобно молочному стеклу. По мере повышения давления паров натрия происходит очень сильное уширение его резонансных линий. В результате растет световая отдача и заметно улучшается качество цветопередачи. При определенном давлении наступает максимум световой отдачи, при дальнейшем росте давления она уменьшается.

В разрядную трубку помимо натрия обычно вводят ртуть, которая повышает градиент потенциала и позволяет получать более приемлемые размеры разрядных трубок при электрических параметрах, удобных для работы в стандартных электросетях. Кроме того, натрий удобнее и легче обрабатывать не в чистом виде, а в форме твердой амальгамы. Поскольку в лампах происходит потеря Na, амальгаму вводят в избытке, так что НЛВД работают в условиях насыщенных паров, и поэтому режим работы ламп сильно зависит от температуры «холодной точки», в которой конденсируется избыток амальгамы.

В качестве зажигающего газа разработчики предпочли использовать самый тяжелый инертный газ — ксенон, чтобы получить наиболее высокую световую отдачу. В ксеноне из-за меньшей теплопроводности и соответственно при меньших тепловых потерях световая отдача ламп на 10 % выше, чем в аргоне, и на 32 % выше, чем в смеси Пеннинга $[Ne + (0,5—1,0) \% Ag]$. Общий вид стандартной НЛВД показан на рис. 5.6.

Стандартные НЛВД имеют световую отдачу до 150 лм/Вт (при мощности 600 Вт), срок службы 16—20 тыс. ч при спаде светового

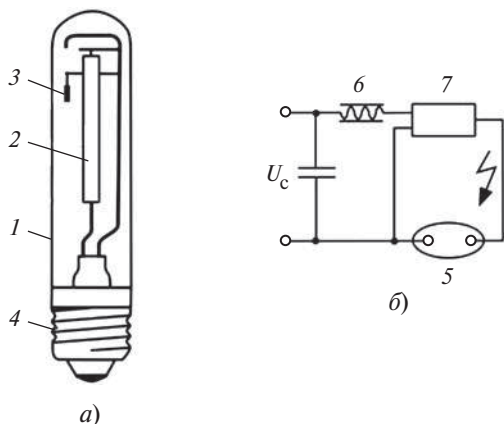


Рис. 5.6. Общий вид (а) и схема включения (б) НЛВД:

1 — внешняя прозрачная колба; 2 — керамическая разрядная трубка; 3 — газопоглотитель (ZrAl); 4 — резьбовой цоколь; 5 — лампа; 6 — дроссель; 7 — ИЗУ

Таблица 5.8

Основные параметры НЛВД

P , Вт	Φ , лм	η , лм/Вт	τ , тыс. ч	$T_{\text{цв}}$, К	R_a
50—1000	3500—130 000	70—150	15—55	1900—2100	25

потока к концу срока службы 20 %. Лампы выпускаются мощностью от 50 до 1000 Вт; наиболее распространены лампы мощностью 250 и 400 Вт (табл. 5.8). Ввиду более низкого рабочего напряжения на лампе по сравнению с ртутными лампами ВД, ток НЛВД примерно на 30 % больше, и поэтому их нельзя эксплуатировать с дросселями от ртутных ламп ВД той же мощности.

Натриевые лампы высокого давления обладают самой высокой световой отдачей — 150 лм/Вт, большим сроком службы (до 55 тыс. ч) при слабом спаде светового потока. Однако из-за низкого качества цветопередачи их нельзя применять в большинстве установок внутреннего освещения, и главные их недостатки — почти полное отсутствие излучений в сине-зеленой части спектра ($R_a = 20 \div 26$) и непривычно низкая цветовая температура, равная 2000—2100 К. По международным стандартам для использования в большинстве установок внутреннего освещения ИС должен иметь R_a не ниже 60, а $T_{\text{цв}}$ не менее 2400 К. Вот почему с самого начала выпуска НЛВД велись работы, направленные на улучшение качества их цветопередачи. В настоящее время эта проблема решена с помощью МГЛ в керамических оболочках, но это уже не НЛВД.

Реальные пути улучшения качества цветопередачи НЛВД — повышение давления паров натрия, увеличение диаметра разрядной трубки и работа в пульсирующем режиме.

С ростом давления паров натрия происходит постепенное улучшение цвета излучения, главным образом благодаря очень сильному уширению резонансных линий, росту излучения нерезонансных линий в зелено-голубой (568, 498 нм), красной (616 нм) и синей областях спектра. При этом $T_{цв}$ постепенно повышается, в то время как R_a сначала возрастает, достигая максимума ($R_a = 85$), а затем падает.

При повышении давления паров натрия и ртути все меньшее влияние на теплопроводность смеси оказывает зажигающий газ, поэтому в НЛВД с достаточно высокими давлениями натрия и ртути в качестве зажигающего газа вместо ксенона применяют смесь Пеннинга при давлении от 2,7 до 4,5 кПа, которая значительно облегчает зажигание.

В последнее время рекламируются НЛВД с $R_a \approx 60 \div 85$ и $T_{цв} \approx 2200 \div 2800$ К («белый натрий»). Однако у этих ламп существенно ниже срок службы (до 8000 ч) и меньше световая отдача — около 50 лм/Вт.

Достоинство НЛВД:

высокая световая отдача;
большой срок службы;
широкий диапазон мощностей.

Недостатки НЛВД:

плохая цветопередача;
малый диапазон цветовых температур;
большое время разгорания (5—7 мин);
большая глубина пульсаций светового потока (около 80 %);
рост напряжения на лампе в течение срока службы.

Область применения НЛВД:

освещение улиц, площадей, автостоянок;
освещение туннелей;
освещение высоких производственных помещений, к которым предъявляются высокие требования к цветопередаче;
архитектурное освещение;
освещение теплиц и оранжерей в сельском хозяйстве.

Основные типы дуговых ксеноновых ламп ВД и СВД и их характеристики. В конструктивном отношении эти лампы подобны ртутным трубчатым лампам ВД и лампам СВД с короткой и средней дугой в колбах шаровой и эллипсоидальной формы (табл. 5.9).

Большинство ведущих фирм до 90-х годов прошлого века выпускали трубчатые ксеноновые лампы ВД с естественным охлаждением преимущественно мощностью от 5 до 20 кВт, рассчитанные как на

Основные параметры дуговых ксеноновых трубчатых ламп ДКСТ

P , Вт	Φ , лм	η , лм/Вт	τ , ч	$T_{цв}$, К	R_a
5000—20 000	150 000—600 000	30—45	1500	6000	86

непосредственное включение в сеть без дросселя, так и через дроссель. Световые отдачи этих ламп лежат в пределах от 20 до 40 лм/Вт, увеличиваясь с ростом плотности тока, а сроки их службы находятся в диапазоне от 500 до 2000 ч. Лампы большой мощности используются в основном для освещения больших открытых пространств (особенно на севере), а также для освещения растений в теплицах и т.п.

Достоинства ламп ДКСТ:

хороший спектр излучения, близкий к солнечному спектру;

хорошая цветопередача;

большая единичная мощность;

параметры ламп, практически не зависящие от температуры окружающей среды.

Недостатки ламп ДКСТ:

небольшой срок службы;

сильная зависимость параметров от напряжения;

высокая температура на колбе лампы (700—750 °С), из-за чего приходится применять специальные системы охлаждения.

Области применения ламп ДКСТ:

освещение больших открытых пространств — площадей, карьеров, железнодорожных станций, портов;

освещение архитектурных сооружений.

Выпускаются специальные короткодуговые ксеноновые лампы СВД, шаровые ксеноново-ртутные лампы (практически без периода разгорания и с более высокими яркостями и световой отдачей), специальные маломощные лампы для эндоскопов и др. В последнее время в связи с разработкой более экономичных и эффективных МГЛ заметна тенденция к сокращению выпуска ксеноновых ламп, прежде всего трубчатых.

5.9. Безэлектродные люминесцентные источники света

Одним из основных факторов, ограничивающих продолжительность горения ИС на основе электрического разряда в газах, является долговечность электродов, поэтому попытки отказаться от их применения, чтобы увеличить срок службы, очень заманчив. Возбудить безэлектродный разряд можно, например, высокочастотным или сверхвысокочастотным электромагнитным полем.

В принципе все возможные типы безэлектродных люминесцентных ИС состоят из трех основных узлов: источника высокой или сверхвысокой частоты, устройства для эффективной передачи энергии в разряд и самого разрядного объема. Конфигурация каждого узла зависит от выбранной для возбуждения частоты и конструктивных факторов.

Реальная возможность разработать такие лампы появилась только в последнее время благодаря успехам полупроводниковой электроники, в результате которых были разработаны малогабаритные и относительно недорогие источники высокой частоты с высоким КПД. Первыми были разработаны образцы *безэлектродных компактных ЛЛ* (БЛЛ), предназначенных для замены ЛН. Наиболее целесообразной для этого типа ламп считалась конструкция с соленоидальным индуктором, который расположен в центре разрядного объема, ограниченного внешней колбой. Конструкция подобной лампы представлена схематически на рис. 5.7. Индуктор в форме цилиндра размещен внутри стеклянной колбы, близкой по форме к колбе ЛН, имеющей цилиндрическое углубление для индуктора. Колба покрыта изнутри слоем люминофора и наполнена смесью инертных газов и небольшим количеством ртути. Механизм возникновения видимого излучения люминофора аналогичен механизму в обычных ЛЛ.

Безэлектродные лампы типа QL мощностью 85 и 55 Вт имеют выносной генератор ВЧ (2,65 МГц), соединенный с индуктором, экранированным кабелем длиной 400 мм. В лампах применены узкополосные люминофоры и прозрачная защитная пленка между стеклом и слоем люминофора. Световая отдача используемых люминофоров с разными добавками равна 71 и 64 лм/Вт, $T_{цв} = 2700, 3000$

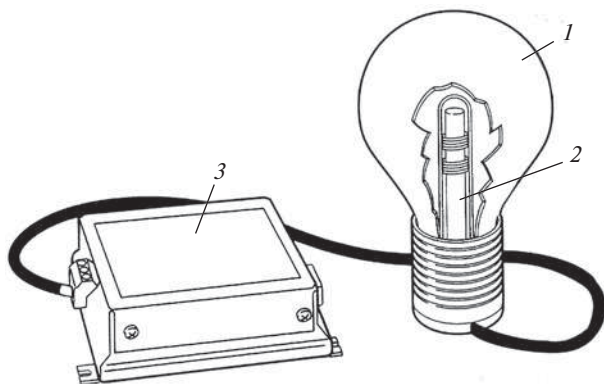


Рис. 5.7. Безэлектродная люминесцентная лампа типа QL (Philips):
1 — лампа; 2 — индуктор; 3 — высокочастотный генератор

и 4000 К, $R_a > 80$. Главное достоинство этих ламп — необычайно большой срок службы. После 60 тыс. ч горения спад светового потока составляет приблизительно 25 %. В настоящее время фирма Philips выпускает также лампу QL мощностью 165 Вт с $\Phi = 12$ клм.

Безэлектродная ЛЛ рефлекторного типа была выпущена фирмой GE-Lighting под фирменным названием Genura. В ней ВЧ-генератор встроен в небольшое пространство между резьбовым цоколем и самой лампой. Мощность лампы 23 Вт, $\eta = 48$ лм/Вт, $T_{цв} = 2700$ и 3000 К, $R_a > 82$, срок службы 15 тыс. ч. По форме и габаритным размерам лампа подобна зеркальной рефлекторной ЛН мощностью 100 Вт.

Недостатком конструкций высокочастотных ламп с центральным расположением индуктора является ограниченность объема, в котором эффективно возбуждается разряд, а следовательно, и ограниченная мощность ламп при естественном охлаждении. В 1997 г. фирма OSRAM начала выпуск принципиально новой безэлектродной ЛЛ мощностью 150 Вт под фирменным названием Endura (рис. 5.8). В новой лампе разряд имеет форму замкнутого витка, подобную

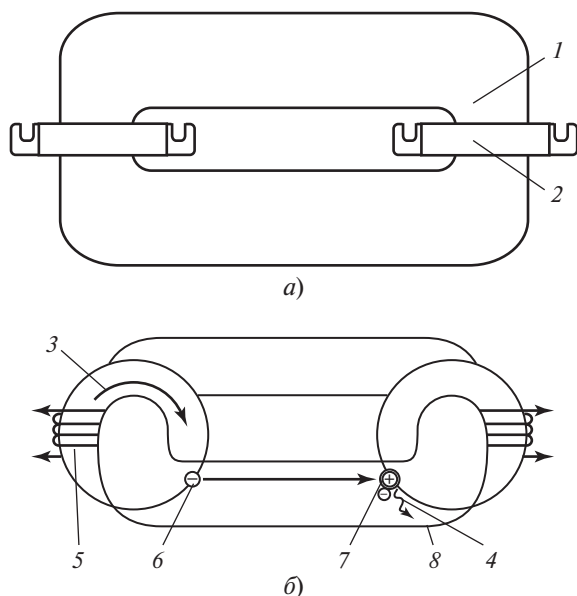


Рис. 5.8. Общий вид (а) и схема, поясняющая принцип действия безэлектродной лампы типа Endura (OSRAM) мощностью 100 Вт:

1 — колба; 2 — соленоиды с ферритовым сердечником; 3 — магнитное поле; 4 — УФ-излучение; 5 — ферритовая катушка; 6 — электрон; 7 — атом ртути; 8 — слой люминофора

сплюснутой баранке, и поддерживается высокочастотным электромагнитным полем, создаваемым двумя соленоидами на ферритовых сердечниках, которые в виде двух колец плотно охватывают разрядную трубку с противоположных сторон. Такая конфигурация позволяет эффективнее возбуждать разряд в «витках» разной длины и с различными диаметрами самого разряда и таким образом достигать больших мощности и эффективности при компактной форме. Разряд возбуждается при сравнительно низкой частоте начиная с 250 кГц, которая генерируется в специальном электронном блоке. Лампа со специальным высокочастотным ЭПРА имеет световой поток $\Phi = 12$ клм при мощности $P = 150$ Вт и 8 клм — при 100 Вт. Компактная форма лампы (400×140 мм), ЭПРА и особенно их небольшая высота (70 мм) позволяют делать достаточно плоские и относительно недорогие светильники. Высокий срок службы ламп Endura, составляющий 60 тыс. ч, делает ее применение особенно эффективным в помещениях с высокими потолками и непрерывным циклом производства, где смена ламп связана с большим неудобством и значительными материальными и трудовыми затратами.

В результате исследования световых характеристик микроволновой плазмы в парах серы при высоком давлении были созданы *серные лампы ВД*, дающие непрерывный спектр излучения, в котором до 80 % приходится на видимую область, с очень хорошим качеством цветопередачи ($R_a = 79 \div 86$), $T_{\text{цв}} = 4000 \div 8000$ К в зависимости от условий разряда и исключительно высокими световыми отдачами, достигающими 160 лм/Вт, по отношению к мощности микроволнового излучения, подводимого к разрядному объему. Излучающий объем имеет форму шара. Лампа может работать десятки тысяч часов, при этом ее цветовые характеристики не изменяются, но происходит постепенное небольшое снижение светового потока. Сама лампа представляет собой сферическую колбу из прозрачного кварцевого стекла диаметром от 5 до 30 мм, наполненную дозированными количествами серы и аргона. Разряд возбуждается микроволновым источником с частотой 2,45 ГГц. В состав лампы входят блок магнетронной накачки, состоящий из микроволнового источника с системой воздушного охлаждения магнетронов и специальной волноводной системы, подводящей высокочастотное излучение в разрядный объем, а также блок воздушного охлаждения кварцевой колбы и система защиты от высокочастотного излучения. Все это, естественно, усложняет условия эксплуатации лампы. Общая световая отдача серной БЛЛ равна 96 лм/Вт, световой поток лампы мощностью 5 кВт достигает 480 клм.

5.10. Твердотельные источники света — светодиоды

Светодиод (СИД) — это полупроводниковый диод, предназначенный для преобразования электрической энергии в энергию некогерентного светового излучения, в основе которого лежит инжекционная электролюминесценция. Как указывалось выше, в этих излучателях используются полупроводники, проводимость которых определяется введенными в них легирующими примесями.

Основными параметрами СИД являются:

- 1) световой поток или сила света (при заданном значении прямого тока) (рис. 5.9);
- 2) яркость (при заданном значении прямого тока);
- 3) постоянное прямое напряжение $U_{\text{пр}}$ — значение напряжения на СИД при протекании постоянного прямого тока (рис. 5.10);
- 4) максимально допустимый постоянный прямой ток $I_{\text{пр max}}$ (см. рис. 5.9, б);
- 5) предельно допустимый прямой ток в импульсном режиме;
- 6) максимум спектрального распределения λ_{max} — длина волны светового излучения, соответствующая максимуму спектральной характеристики.

Характеристикой СИД как ИС служит световая характеристика — зависимость яркости, силы света или светового потока от прямого тока (см. рис. 5.9, а). При малых токах и соответственно при малых напряжениях на СИД процесс излучения протекает неактивно, поэтому начальный участок световой характеристики нелинеен. При

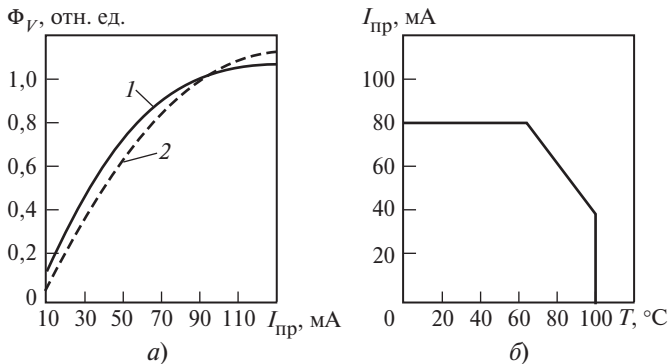


Рис. 5.9. Световая характеристика СИД (а) и зависимость прямого тока через СИД от температуры окружающей среды (б):

1 — синее и сине-зеленое свечение; 2 — красное свечение

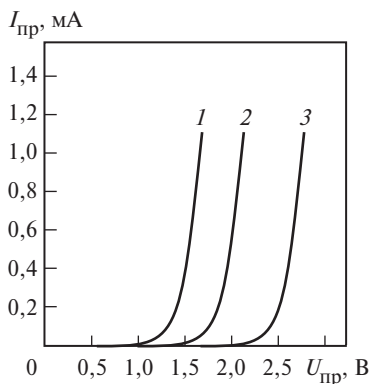


Рис. 5.10. Примеры вольт-амперных характеристик СИД:

1 — арсенид галлия GaAs; 2 — галлия арсенид-фосфид GaAsP; 3 — галлия (III) нитрид GaN

больших токах световая характеристика СИД почти линейна и ее вид определяет его оптимальный режим работы.

Излучение СИД характеризуется КСС, вид которой зависит от конструкции диода, наличия линзы, оптических свойств защищающего кристалл материала. Кривые силы света, приводимые для СИД в справочниках, показывают снижение силы света в зависимости от угла излучения. Излучение СИД может быть узконаправленным и рассеянным.

Последнее десятилетие стало временем бурного развития светодиодных ИС.

На рис. 5.11 (см. вклейку) показаны способы получения белого света. Его можно создать сложением излучения СИД трех цветов — красного, зеленого и синего (еprвый способ). Для лучшего воспроизведения белого света заданного оттенка можно использовать СИД четырех цветов и более.

Второй способ воспроизведения белого света — синий СИД, покрытый желтым или желто-зеленым люминофором. Это наиболее простой способ, он широко применяется в массовом производстве СИД белого свечения.

Третий способ — синий СИД, покрытый двумя люминофорами, зеленым и красным, — позволяет получить лучшие цветовые характеристики.

Четвертый способ — ультрафиолетовый СИД, покрытый тремя люминофорами — красным, зеленым и синим (RGB-люминофор).

Сравнение свойств белых СИД с обычными ИС. Рекордные значения световой отдачи СИД (250 лм/Вт) были получены в лабораторных условиях в 2012 г. Значения световой отдачи лучших коммер-

ческих образцов СИД — 60—80 лм/Вт. Но это не единственное преимущество СИД.

Светоизлучающие диоды как твердотельные приборы, работающие при температуре, близкой к комнатной, имеют значительно больший срок службы, чем ЛН и ЛЛ. Оценки срока службы СИД при нормальных режимах дают значения до 50 тыс. ч. Светодиоды имеют малые размеры, но часть электрической энергии идет на нагрев. Повышение температуры приводит к падению световой отдачи СИД, поэтому в их конструкции используются корпуса, обеспечивающие хороший теплоотвод. Это позволяет увеличить ток и световой поток. В отличие от обычных ламп, СИД не перегорают, но их световой поток постепенно уменьшается. Срок их службы определяется падением светового потока, например, до 70 % начального значения.

Еще одно преимущество СИД — устойчивость к механическим нагрузкам. Светодиоды не содержат ртути, свинца и других тяжелых металлов, что важно в экологическом отношении: не нужна утилизация вышедших из строя приборов (это не относится к управляющим устройствам).

Важное отличие СИД от обычных ИС — питание постоянным током низкого напряжения. На одном СИД в зависимости от длины волны излучения напряжение падает на 1,8—3,5 В. Обычно в СИД-модулях применяется последовательное или последовательно-параллельное соединение нескольких СИД. Напряжение источника питания выбирается равным 12—14 В. В пожароопасных помещениях СИД имеют преимущества по сравнению с лампами — для их питания не требуется переменное напряжение 127—220 В.

Площадь кристаллов СИД составляет около 1 мм²: это почти точечные ИС. Линзы и отражатели устройств с СИД создают излучение в заданном телесном угле (3—120°). Это позволяет эффективно использовать световой поток для освещения нужной части пространства или поверхности.

Еще одно важное отличие СИД — возможность управлять как интенсивностью, так и спектром излучения. Люминофоры для белых СИД, возбуждаемых синим излучением кристалла, позволяют создавать СИД «холодного» света с КЦТ около 6000 К, «нейтрального» света с КЦТ около 4000 К, «теплого» света с КЦТ около 3000 К. Переключение разных СИД позволяет регулировать цветовые оттенки путем сложения излучения большого числа СИД разного цвета; были разработаны осветители с программным обеспечением, позволяющим получать заданные цветовые характеристики.

Экономическая целесообразность и перспективы развития светодиодного освещения были охарактеризованы авторами американской программы в 2000 г. следующим образом: «Если к 2020 г. будет проведена замена ЛН на СИД, полученная экономия электро-

энергии будет эквивалентна возможности отказаться от строительства 100 атомных электростанций и сократить выбросы продуктов сгорания углеводородов на сотни миллионов тонн в год». В первые годы XXI в. вложения в исследования и разработки СИД в Японии, США, Корею, Китае составляли сотни миллионов долларов США. Через 5—6 лет эти вложения начали окупаться. Начиная с 2005 г. рынок СИД увеличивался на 11 % в год, с 4 до 5,5 млрд долл. США в 2008 г. Затем, несмотря на экономический кризис, он продолжал расти на 4 % в год. С 2010 г. светодиодный рынок растет на 15 % в год. Будет увеличиваться применение мощных и сверхмощных СИД. В 2010 г. объем потребления мощных светодиодов со светоотдачей 30—70 лм/Вт и более составил 10,09 млрд долл., и согласно прогнозам оборот этого рынка достигнет 28,5 млрд долл. в 2015 г. и 46 млрд долл. в 2020 г.

Успехи и перспективы производства СИД обусловлены тем, что за последние годы создано оборудование для массового производства структур, чипов, СИД. Были разработаны технология роста сложных структур типа InGaN/AlGaIn/GaN на подложках из сапфира и SiC и методы увеличения оптического вывода излучения из кристаллов, получены эффективные люминофоры для «холодного», «нейтрального», «теплого» белого свечения. Опыт применения СИД в освещении показывает, что период окупаемости замены обычных ИС светодиодами составляет сейчас от 4 до 17 лет. При этом следует отметить, что цена СИД будет снижаться.

Светодиодные лампы и светильники. Форма и внешний вид СИД различаются у разных производителей. На рис. 5.12 показаны образцы белых СИД ведущих зарубежных фирм.

Но отдельные СИД являются лишь элементной базой для конструирования светодиодных ламп и светильников. Лампы и светильники должны обеспечивать нужный для каждого конкретного применения световой поток, поэтому, как правило, они содержат несколько СИД. Кроме того, эти лампы и светильники должны обеспечивать опреде-



Рис. 5.12. Образцы светоизлучающих диодов:

Xlight фирмы Cree (а), Multichip фирмы Nichia Chemical (б), LumiLEDs фирмы Philips (в)

ленное угловое распределение света (КСС). Для формирования нужного светораспределения применяется вторичная линзовая оптика.

В этой главе были рассмотрены существующие ИС и приведены их средние параметры. Все параметры чрезвычайно важны при выборе ИС. Нужно выбирать ИС в соответствии с назначением помещений с максимальным сроком службы, максимальной световой отдачей с требуемой цветопередачей, цветовой температурой в зависимости от отделки помещений (табл. 5.10). Нельзя игнорировать такие параметры, как электрические, конструктивные, экономические, эксплуатационные и экологические. В то же время необходимо выбирать ИС и ОП одновременно.

Таблица 5.10

Основные параметры ИС

Тип лампы	$P_{л}$, Вт	$\eta_{л}$, лм/Вт	$T_{цв}$, К	R_a	τ , тыс. ч
Простые угольные дуги	300—600	3—4,5	—	—	0,008—0,020
Пламенные угольные дуги	300—850	17—24	—	—	0,070—0,120
Открытые дуги с металлическими электродами	250—500	15—26	—	—	0,050—0,200
Угольные ДВИ ($L = 400 \div 1400$ Мкд/м ²)	3—100 000	20—75	5500—7000	Высокий	0,0005—0,003
ЛЛ ГФК	4—65	35—75	2900—6500	50—70	6—12
ЛЛ (трех полосный люминофор):					
$d = 28$ мм	15—70	67—90	2700—6500	80—85	15—18
$d = 16$ мм	24—54	89—104	2700—6500	Около 85	12—16
КЛЛ	5—55	40—85	2700—4200	Около 82	10—15
ДРЛ	50—1000	40—60	3500—4100	40—50	6—18
Ксеноновые трубчатые ВД	2—65 000	18—45	5600—6200	Более 85	0,5—20
Ксеноновые компактные СВД	60—10 000	13—50	6000—7500	Более 80	0,5—2,5

Тип лампы	$P_{л}$, Вт	$\eta_{л}$, лм/Вт	$T_{цв}$, К	R_a	τ , тыс. ч
Ксеноновые компактные разборные	3—10 000	30—42	6000—7500	Более 80	0,5
НЛНД	18—185	100—190	—	Менее 20	15
НЛВД стандартные	50—1000	68—130	1950	25	20—28
НЛВД с улучшенной цвето-передачей (группа 1)	150—400	87—95	2150—2200	Около 65	8—10
НЛВД с улучшенной цвето-передачей (группа 2)	35—100	37—48	2500—2550	Около 83	8—10
НЛВД безртутные	70—400	86—120	2050—2150	25	32
МГЛ трубчатые общего применения	250—3500	80—95 (120)	3800—4600	60—69	10—15
МГЛ трубчатые для цветного ТВ	400—3500	63—86	3400—6000	60—85	1
МГЛ компактные для цветного ТВ	200—18 000	70—96	6000	80—95	0,2—0,6
Безэлектродные ЛЛ	23—165	48—80	2700—4000	Более 80	15—60
Безэлектродные серные ВД	1370	95	6000	80	Более 45
Белые СИД	5—50	60—180	Более 3000	Более 70	25—100
Красные СИД	5—15	75	—	—	25—100

Контрольные вопросы и задания

1. Какое излучение называют тепловым излучением?
2. В чем смысл законов излучения Стефана—Больцмана, Вина?
3. Что такое излучение черного тела и что такое интегральный коэффициент излучения?

4. Перечислите и дайте определение эквивалентных температур излучения.
5. Перечислите стандартные источники излучения. Чем они различаются?
6. Что такое электролюминесценция?
7. Что такое галогенные лампы накаливания и в чем их преимущества перед обычными лампами накаливания?
8. Перечислите преимущества разрядных источников света по сравнению с тепловыми.
9. Назовите особенности схем включения разрядных источников света.
10. Расскажите, как устроены люминесцентные лампы низкого давления.
11. Какие разрядные лампы высокого и сверхвысокого давления вам известны?
12. Зачем создаются безэлектродные люминесцентные источники света?
13. Расскажите об основных элементах конструкции светоизлучающих диодов.

Глава шестая

СВЕТОВЫЕ ПРИБОРЫ

6.1. Классификация световых приборов

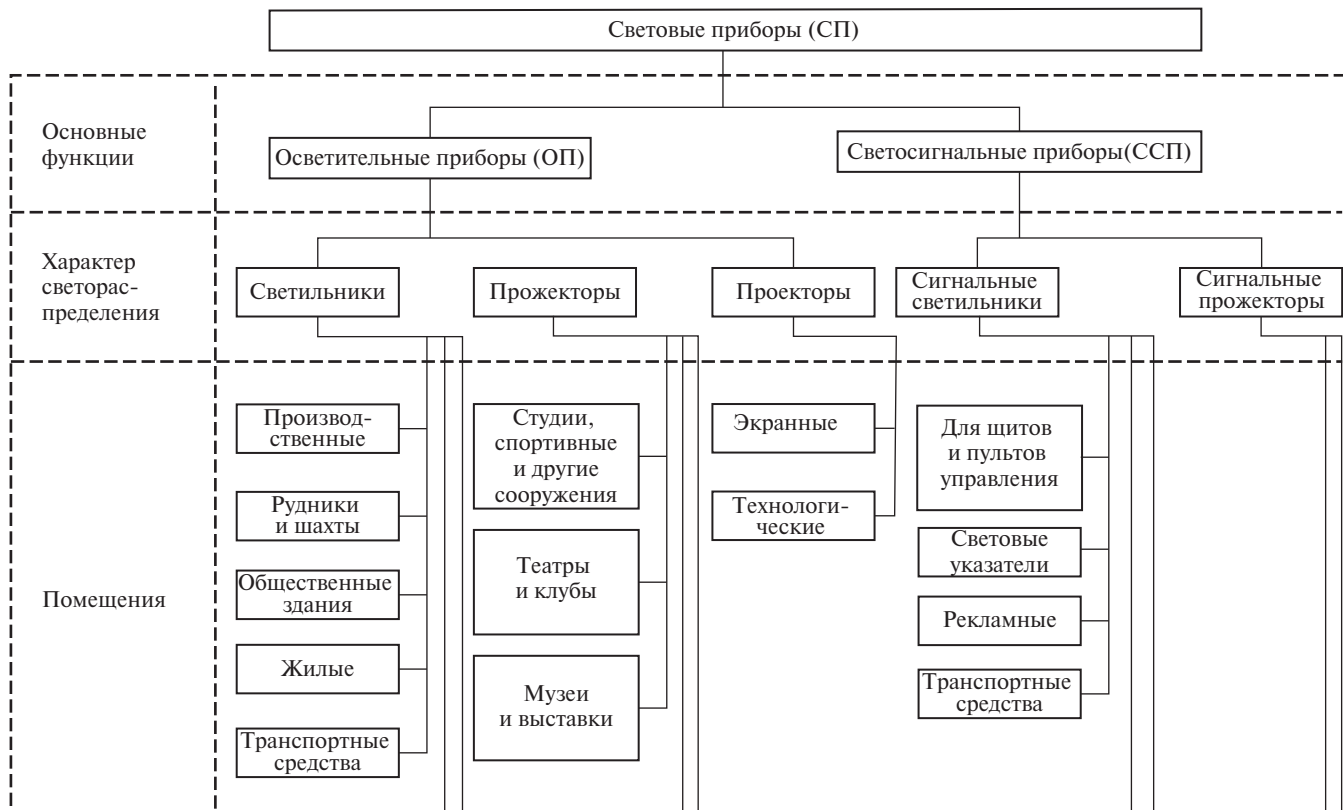
Световым прибором (СП) называется устройство, содержащее источник света (ИС) и светотехническую арматуру и предназначенное для освещения или световой сигнализации. Светотехническая арматура перераспределяет свет ИС в пространстве или преобразует его свойства (изменяет спектральный состав излучения или поляризует его). Наряду с этим СП выполняет функции защиты лампы от воздействия окружающей среды, механических повреждений, обеспечивает крепление лампы и подключение ее к источнику питания.

Классификация СП осуществляется по главным и дополнительным признакам. К главным признакам относятся: основная светотехническая функция, характер светораспределения, условия эксплуатации и назначение.

По основной светотехнической функции СП разделены на приборы для освещения — осветительные приборы (ОП) и приборы для световой сигнализации — светосигнальные приборы (СП могут совмещать обе эти функции); по характеру светораспределения все СП 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 — в соответствии с 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 расстоянии обычно меньшем, чем 20-кратный максимальный размер светильника) или световой сигнализации на небольших расстояниях.

В светильниках могут устанавливаться две лампы или более (в многоламповых люстрах, например, может быть сотня и даже тысяча ламп). Светотехническая арматура для разрядных ламп (РЛ) включает в себя обычно аппаратуру для зажигания и стабилизации работы ламп, а для СИД — устройства управления.



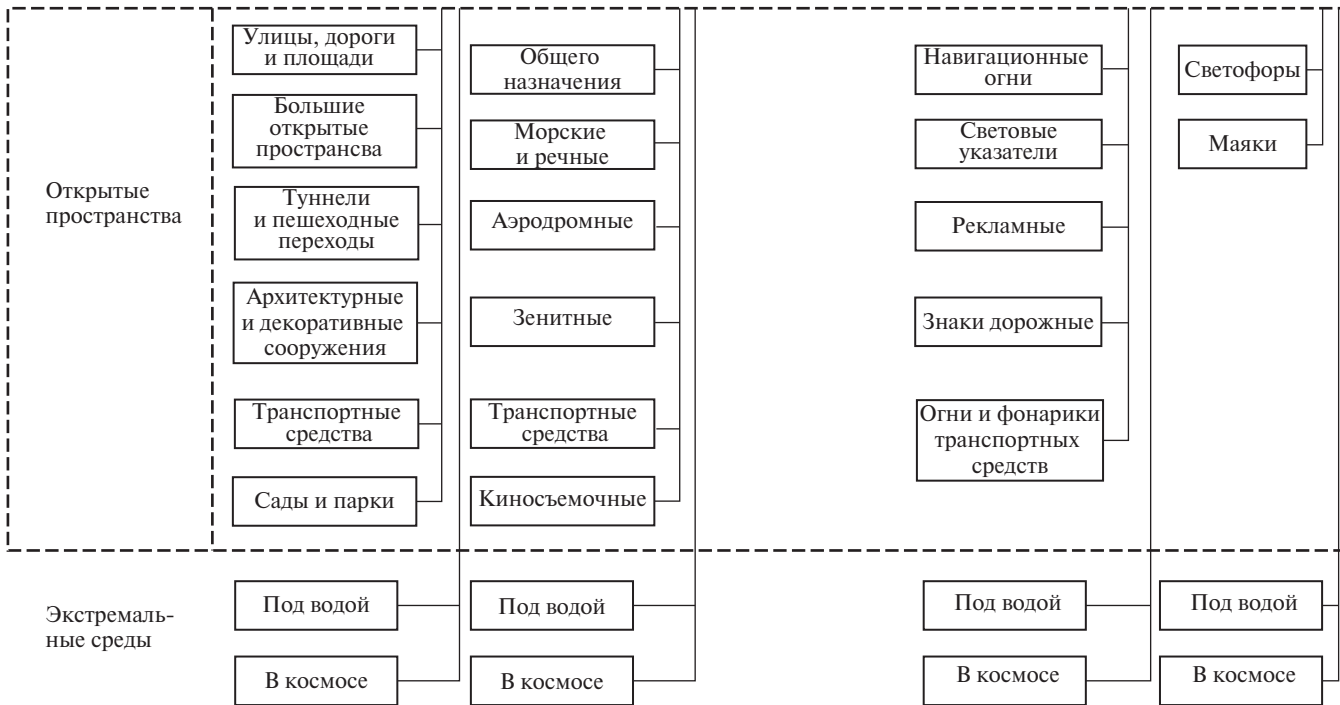


Рис. 6.1. Классификация СП по основному назначению



Рис. 6.2. Классификация СП по дополнительным признакам

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 назначения, поисковые прожекторы, маяки, светофоры и фары.

Прожекторы общего назначения предназначаются для длительного освещения рабочих поверхностей и используются для освещения открытых пространств, фасадов зданий, архитектурных памятников и др.; эту группу прожекторов часто называют прожекторы заливающего света. Поисковые прожекторы — это прожекторы дальнего действия, предназначенные для кратковременного освещения и обнаружения очень удаленных объектов, их можно использовать в качестве зенитных, морских и других прожекторов.

Световые маяки (аэродромные, морские, речные, навигационные и др.) осуществляют световую сигнализацию о расположении маяка, фарватера или о направлении движения.

Светофоры используются для передачи световых сигналов, регулирующих движение транспорта и людей.

Фары — СП прожекторного типа, устанавливаемые на транспортных средствах для освещения дороги.

Пржектор — СП, перераспределяющий свет лампы с концентрацией светового потока на поверхности малого размера или в малом объеме. Проекторы являются в основном осветительной частью светопроекторных приборов, концентрирующей световой поток на кадровом 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 (рисунков, 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 при классификации СП (см. рис. 6.2) являются:

- вид ИС;
- конкретная светотехническая функция (рис. 6.3);
- форма фотометрического тела (симметричные, осесимметричные и несимметричные СП);
- класс светораспределения;
- тип кривой силы света (КСС);

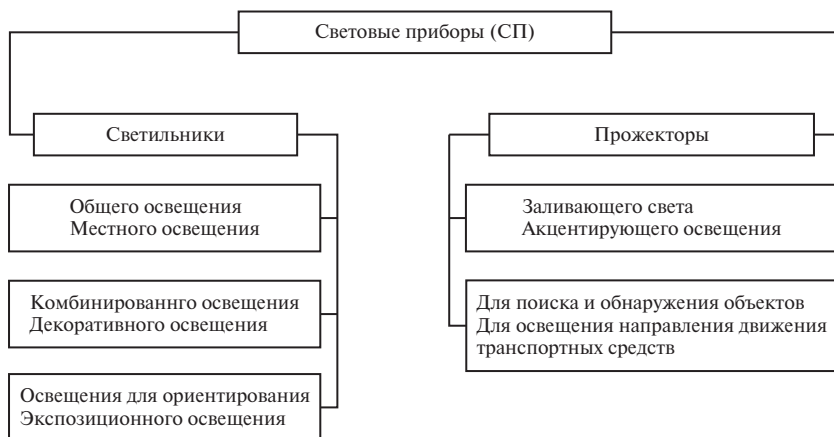


Рис. 6.3. Классификация светильников и прожекторов в зависимости от конкретной светотехнической функции

возможность перемещения при эксплуатации (стационарные, переносные и передвижные);

способ установки СП (в соответствии с ГОСТ 16703—79, рис. 6.4);

класс защиты от поражения электрическим током (в соответствии с ГОСТ Р МЭК 60598-1—2011);

исполнение для работы в определенных условиях эксплуатации;

степень защиты от пыли и воды;

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 или принудительным охлаждением).

По исполнению для работы в определенных условиях эксплуатации СП подразделяются с учетом следующих признаков:

климатического исполнения и категории размещения;

доминирующего воздействующего фактора:

температуры и относительной влажности воздуха;

механического воздействия;

особых факторов среды (применительно к каждому конкретному случаю);

наличия заметных концентраций химически активных веществ (применительно к каждому конкретному случаю);

взрывоопасности среды.

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 собранном виде и предназначенные для освещения или сигнализации.

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 необходим инструмент. *Нестационарный СП* может быть снят с места эксплуатации без применения инструмента и перемещен с одного места на другое. *Переносный СП* — нестациона-

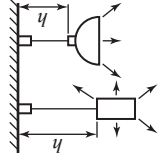
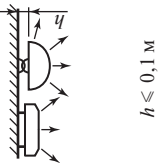
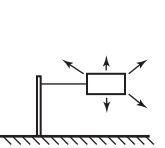
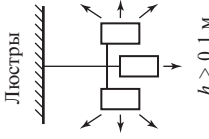
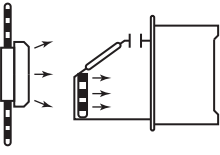
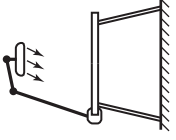
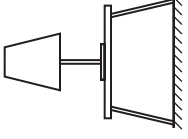
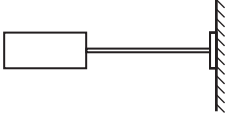
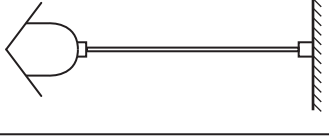




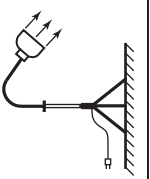
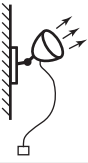

Стационарные СП	Подвесные СП	 h	Поголочные СП	 $h \leq 0,1 \text{ м}$	Настенные СП	 Пристраиваемые СП	Опорные СП							
	Люстры	 $h > 0,1 \text{ м}$	Встраиваемые СП		Пристраиваемые СП		Настольные		Напольные		Венчающие		Консольные	
Переносные СП	Сетевые		Ручные СП		Головные СП		На стойке			На магнитном основании				
	Автономные													

Рис. 6.4. Классификация СП по способу установки

нарный прибор с индивидуальным источником питания или отключаемым при его перемещениях.

Необходимо отметить, что термины «бра» (синоним настенного светильника), «торшер» (напольный светильник), «плафон» (потолочный светильник) являются недопустимыми при классификации.

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. Ночником принято называть светильник, обеспечивающий возможность ориентации в помещении в темное время суток.

Под экстремальными условиями среды понимаются такие, когда один или несколько параметров среды имеют значение, резко превышающее значение для других условий (например, температура существенно выше $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ или ниже $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$, давление значительно ниже атмосферного или СП погружен в воду).

6.2. Светотехнические характеристики светильников и их КПД

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 плотности светового потока. Светильники же местного освещения, работающие на относительно небольших расстояниях, соизмеримых с размерами этих приборов, характеризуются *распределением освещенности*.

Светораспределение прожекторов и светильников общего освещения характеризуется формой фотометрического тела СП и описывается *кривыми силы света* (КСС). 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 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, образующееся 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.

В меридиональной системе ось вращения плоскостей совмещена с оптической осью, при этом плоскости рассекают условную сферу, центр которой совмещен со световым центром СП, по меридианам (рис. 6.5, *a*). Произвольное направление относительно центра системы определяется двумя углами: экваториальным углом C относительно выбранного нулевого направления $C_0 = 0$ и меридиональным углом γ , отсчитываемым в меридиональной плоскости C от положительного направления оптической оси. 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 поворотным устройством в виде лиры плоскость C_{180° пересекает плоскость лиры при наиболее характерном расположении. Координатные углы в этой системе изменяются в следующих диапазонах: $C = 0 \div 360^\circ$ или $C = -180^\circ \div +180^\circ$, $\gamma = 0 \div 180^\circ$.

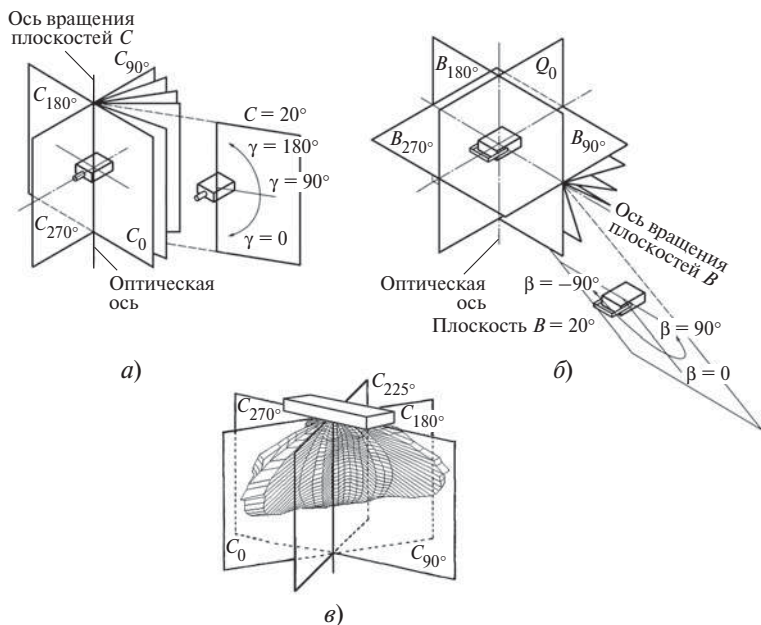


Рис. 6.5. Системы секущих плоскостей:

a — меридиональная C, γ ; *b* — продольная B, β ; *v* — КСС СП в основных плоскостях системы C, γ

В продольной системе ось вращения плоскостей лежит в главной продольной плоскости, проходит через световой центр СП и перпендикулярна оптической оси СП (рис. 6.5, 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 несимметричных 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: $B = 0 \div 360^\circ$ или $B = -180^\circ \div +180^\circ$, $\beta = -90^\circ \div +90^\circ$.

Между углами обеих систем существует однозначная связь, позволяющая переходить из одной системы в другую.

Для осесимметричных СП наиболее информативна КСС в меридиональной системе, для других типов СП обе системы равноправны, и выбор определяется удобством фотометрирования.

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, фотометрическое тело которых имеет ось или плоскость симметрии, и несимметричные, 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, а также различные светильники, направляющие световой поток достаточно равномерно в пределах всей нижней полусферы. К симметричным приборам относятся, например, имеющие две плоскости симметрии светильники с линейными лампами (ЛЛ, ксеноновыми, ГЛН, светодиодными и др.) и прожекторы с линейными лампами, концентрирующие поток в веере, а также имеющие одну плоскость симметрии светильники типа «кососвет».

Для характеристики светораспределения СП, особенно светильников, имеющих КСС с четким максимумом, часто применяют понятие «коэффициент усиления» $K_{y\gamma}$, под которым понимают величину, характеризующую усиление светильником силы света лампы или светодиода в данном направлении.

Для того чтобы иметь возможность сравнивать КСС СП, имеющих различные число, мощность и цветовую температуру ламп, а также многоламповых СП эти кривые обычно строят для условного

светового потока, равного 1000 лм (суммарный световой поток n ламп). Значения силы света СП с лампами, работающими в данном 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.

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 с линейными лампами) обычно ограничиваются КСС только в двух главных плоскостях — меридиональной и продольной (см. рис. 6.5). Часто необходимо знать КСС СП не только в нижней, но и в верхней полусфере пространства.

По светораспределению СП в зависимости от соотношения светового потока Φ_{\ominus} , направляемого в нижнюю полусферу, и полного светового потока светильника $\Phi_{\text{св}}$ подразделяются на пять классов (табл. 6.1).

Кривые силы света указанных классов (в любых меридиональных плоскостях в верхней и нижней полусферах) в зависимости от формы КСС (рис. 6.6) подразделяются на семь типов в соответствии с табл. 6.2.

Эффективность СП характеризуют коэффициентом полезного действия, который находится как отношение светового потока СП, работающего в данных условиях, к световому потоку установленной в нем лампы (ламп). При этом под световым потоком лампы понимается поток, который она создает при работе вне светотехнической арматуры, в положении, оговоренном в нормативно-технической документации.

Коэффициент полезного действия СП в осветительных установках помещений общественных зданий должен быть не менее 50 %,

Таблица 6.1

Классы светильников по светораспределению

Обозначение класса светильника	Наименование класса светильника	Доля светового потока, направляемая в нижнюю полусферу, $\Phi_{\ominus}/\Phi_{\text{св}}$, %
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	Не более 20

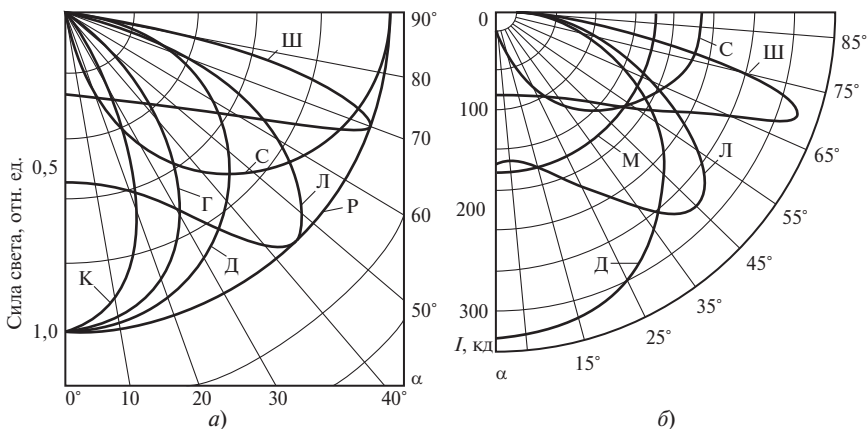


Рис. 6.6. Типы КСС, нормированных к одному значению осевой силы света (а) и приведенных к световому потоку $\Phi_{\text{св}} = 1000 \text{ лм}$ (б)

Таблица 6.2

Типы КСС светильников

Наименование и обозначение типа КСС в верхней и нижней полусферах		Зона направления максимальной силы света, град	K_{ϕ}
Концентрированная	К	0—15	$K_{\phi} \geq 3$
Глубокая	Г	0—30; 180—150	$2 \leq K_{\phi} < 3$
Косинусная	Д	0—35; 180—145	$1,3 \leq K_{\phi} < 2$
Полуширокая	Л	35—55; 145—125	$2 \leq K_{\phi} < 3$
Широкая	Ш	55—85; 125—95	$1,3 \leq K_{\phi} < 2$
Равномерная	М	0—90; 180—90	$K_{\phi} \leq 1,3$ при $I_{\min} > 0,7 I_{\max}$
Синусная	С	70—90; 110—90	$K_{\phi} > 1,3$ при $I_0 > 0,7 I_{\max}$

Примечание: K_{ϕ} — коэффициент формы кривой силы света (по ГОСТ Р 54350—2011); I_0 — значение силы света в направлении оптической оси светильника; I_{\max} , I_{\min} — максимальное и минимальное значение силы света.

если светильник имеет рассеивающую или отражающую оптику, и не менее 70 %, если в конструкции светильника нет оптических или экранирующих элементов. Для светодиодных светильников определение КПД затруднено, поскольку не представляется возможным измерить световой поток СИД отдельно от корпуса светильника, обеспечивающего тепловой режим на кристалле СИД. Однако можно оценить эффективность такого светильника по КПД СИД, коэффициенту отражения или пропускания оптики и др.

6.3. Конструкция оптических систем и материалы для их изготовления

Все используемые при производстве СП материалы разделяются на три большие группы: материалы, пропускающие свет; материалы, отражающие свет, и конструкционные материалы.

Свето пропускающие материалы используются для изготовления линз, рассеивателей, защитных стекол, колпаков и т.п. По типу исходного сырья свето пропускающие материалы делятся на силикатные и органические. Силикатные материалы — это обычное стекло всех сортов, хрусталь, кварц. Основной составляющей этих материалов служит диоксид кремния SiO_2 , т.е. обычный чистый песок. К органическим свето пропускающим материалам относятся светотехнические бумаги и ткани, а также полиметилметакрилат, полистирол, полиэтилен, поликарбонат, поливинилхлорид, полиэтилентерефталат и другие материалы, получаемые, как правило, синтетическим путем.

Основным параметром свето пропускающих материалов является *коэффициент пропускания* — отношение светового потока, прошедшего сквозь материал, к световому потоку, упавшему на него. Коэффициент пропускания для бесцветных материалов указывается обычно в виде интегральной величины (соотношения световых потоков во всем видимом участке спектра 380—780 нм) для определенной толщины материала. Для цветных материалов приводятся спектральные коэффициенты пропускания в виде кривых зависимости прошедшего светового потока от длины волны.

Важным параметром свето пропускающих материалов служит *коэффициент преломления*, показывающий, как изменяется направление луча света на границе воздуха и материала. Чем больше коэффициент преломления, тем более блестящим кажется материал и тем больше возможностей он предоставляет для управления распределением света.

Пропускание может быть направленным, рассеянным, направленно-рассеянным или смешанным. Распределение коэффициента пропускания в пространстве характеризуется специальными кривыми — индикатрисами рассеяния.

К другим параметрам свето пропускающих материалов относятся их плотность, пожароопасность, технологичность (температура и способ переработки и др.), твердость, устойчивость к воздействию химически активных веществ и растворителей.

Силикатные материалы характеризуются абсолютной негорючестью, поэтому их можно применять в СП с любыми ИС. Их коэффициент преломления можно изменять в достаточно широких пределах путем введения в состав стекла солей различных металлов, прежде

всего свинца. Стекло с высоким содержанием свинца и большим коэффициентом преломления получило название хрусталя или хрустального стекла и широко используется в производстве дорогих декоративных СП для представительских и бытовых помещений (хрустальные люстры и т.п.). Силикатные материалы очень тверды (не уступают по твердости большинству сортов стали и значительно превосходят алюминий и его сплавы). Стёкла достаточно легко окрашиваются в самые различные цвета, и окрашенные стекла очень устойчивы к воздействию света, тепла и времени. По химической стойкости силикатные материалы лучше большинства известных веществ, и поэтому СП с ними можно применять в производственных помещениях с самой агрессивной средой. Также устойчивы эти материалы и ко всем растворителям. По теплостойкости силикатные материалы значительно лучше органических.

К недостаткам силикатных светопропускающих материалов относятся, прежде всего, их неустойчивость к ударным нагрузкам (хрупкость). Для повышения устойчивости к ударам применяют специальный метод обработки — закаливание стекла. Как правило, в СП с галогенными линейными ЛН и мощными РЛ применяются только закаленные стекла. Другие недостатки — довольно большая плотность (не менее $2,5 \text{ г/см}^3$), делающая изделия из этих материалов тяжелыми; сложность механической обработки; очень высокая стоимость многих цветных и хрустальных стекол и чистого кварца.

Силикатные светопропускающие материалы достаточно технологичны. Температура размягчения большинства стекол не превышает $1000 \text{ }^\circ\text{C}$, кварца — $1500 \text{ }^\circ\text{C}$. В размягченном или расплавленном виде силикатные материалы поддаются штамповке, прокатке, выдуванию, литью, прессованию. Стёкла в исходном виде прозрачны и бесцветны и поэтому могут использоваться в ОП в качестве линз, призматических рассеивателей или просто для защиты ИС и элементов конструкции от воздействия воды, агрессивных паров и т.п. Однако часто бывает нужно не просто перераспределить световой поток, но и понизить яркость видимых частей ИС, а это возможно только при использовании материалов с ненаправленным характером пропускания света. Для получения таких стекол в них при варке вводят соли различных металлов. Стекло, оставаясь бесцветным, становится не прозрачным, а светорассеивающим материалом. Светорассеивающие стекла получили название «глушённые». В зависимости от степени рассеяния света глушённые стекла делятся на опалиновые (слабое рассеяние, заметная доля направленного пропускания), опаловые (средняя степень рассеяния; при наблюдении через такое стекло ЛН слабо видна только нить накала) и молочные — полное рассеяние света.

Достоинства и недостатки силикатных материалов определяют области их применения. Плоские закаленные прозрачные стекла используются в качестве защитных элементов во всех ОП прожекторного типа с линейными галогенными ЛН и мощными РЛ. Призматические рассеиватели широко применяются в уличных светильниках как функционального, так и декоративного назначения. Стеклообразные линзы (сплошные или наборные, так называемые линзы Френеля) — неотъемлемая часть всех проекторов, световых маяков, некоторых переносных светильников. Элементы из хрусталя, как уже было сказано, — основа многих декоративных СП для бытовых, представительских, зрелищных и других помещений. Цветные стекла широко используются в ОП проекторного типа для создания декоративных эффектов в шоу-программах и т.п. Глушеное (чаще всего молочное) стекло — основа большинства бытовых светильников. Чистый кварц благодаря его высокой прозрачности в ультрафиолетовой области спектра применяется при создании облучательных установок для обеззараживания воды и воздуха.

Во многих случаях силикатные материалы являются безальтернативными в создании СП. Однако в ряде СП, в частности в светильниках с ЛЛ, в последние десятилетия широко применяются и органические светопропускающие материалы.

К достоинствам органических светопропускающих материалов необходимо отнести их большую устойчивость к ударным нагрузкам, меньшую плотность, возможность механической обработки, и часто меньшую стоимость. К органическим относятся полимерные (синтетические) светопропускающие материалы, а также светотехнические бумаги и ткани. Бумаги и ткани используются в производстве только бытовых светильников.

Все полимерные материалы делятся на термореактивные и термопластичные. Термореактивные материалы — это такие, которые при нагревании переходят в неплавкое и нерастворимое состояние и не подлежат повторной переработке. К таким материалам относятся, например, карболит, эпоксидные смолы, стеклопласты, используемые в светотехнической промышленности как конструкционные. Термопластичные материалы не теряют способности плавиться или растворяться после их нагревания и поэтому допускают вторичную переработку. К этому классу причисляют практически все светопропускающие материалы. Все полимерные материалы значительно легче стекла — плотность большинства из них близка к 1 г/см^3 . Ряд материалов (поликарбонат, полипропилен) значительно превосходят стекло по устойчивости к ударным нагрузкам.

Общий недостаток всех полимерных материалов — их низкая устойчивость к свету и особенно к ультрафиолетовому излучению.

Под действием света большинство материалов желтеют и становятся более хрупкими. Для повышения устойчивости к свету в полимеры вводят различные светостабилизирующие добавки, которые повышают стоимость материалов, а иногда снижают коэффициент пропускания. В настоящее время при изготовлении светильников применяются почти исключительно светостабилизированные полимерные материалы. Другое общее свойство всех синтетических материалов — их старение, т.е. постепенное ухудшение светотехнических и механических параметров. Если стекло может сохранять свои параметры в течение столетий, то срок службы полимерных материалов редко превышает 10 лет. Еще одно неприятное свойство полимеров — их горючесть. Все прозрачные полимеры, кроме поликарбоната, являются горючими материалами. Поликарбонат относится к трудновоспламеняемым и самозатухающим материалам; он горит до тех пор, пока находится в пламени других веществ, а при выносе из пламени гаснет.

Достоинством полимерных материалов является их более высокая технологичность по сравнению со стеклом. Все эти материалы перерабатываются при значительно меньших температурах, чем стекло и особенно кварц.

Наиболее распространенным способом переработки полимеров является экструзия — продавливание расплавленных материалов сквозь щели различной формы. Таким методом изготавливаются рассеиватели для светильников с ЛЛ самого разного профиля и любой длины. Широко распространены также методы вакуумного формования и штамповки из листов. Изделия сложной формы и толстостенные изделия делаются литьем под давлением или выдувом.

Все полимерные материалы хорошо свариваются или склеиваются, поддаются различным видам механической обработки. Низкая теплостойкость полимерных материалов делает невозможным использование их в СП с галогенными ЛН и мощными разрядными лампами. Основная область применения таких материалов — светильники с ЛЛ и некоторые бытовые светильники с ЛН. В производстве светильников с ЛЛ полимерные светопропускающие материалы в настоящее время — практически единственный тип материалов для изготовления рассеивателей. Наиболее распространен здесь полиметилметакрилат, известный также под названиями «органическое стекло», «плексиглас», «акрил». Кроме того, для изготовления рассеивателей используется полистирол (стабилизированный), реже — полипропилен. Поливинилхлорид применяется для изготовления штампованных рассеивателей, экранирующих решеток. Особое место среди полимерных светопропускающих материалов занимает поликарбонат (иностранные названия макролон, лексан). Он имеет боль-

шую теплостойкость, чем другие прозрачные полимеры (до 150 °С), менее пожароопасен (самостоятельно загухает), а главное — значительно превосходит все другие материалы по устойчивости к ударным нагрузкам. Поэтому поликарбонат используют при изготовлении так называемых антивандальных светильников, которые применяются для освещения подъездов, лестничных клеток и лифтов в жилых домах, в подземных пешеходных переходах, для садово-паркового освещения, т.е. в местах, где светильники могут подвергаться преднамеренному разрушению. Кроме того, поликарбонат используется для изготовления рассеивателей и защитных колпаков в СП с высокой степенью защиты (IP54, IP65) для освещения производственных помещений. Широкому внедрению этого материала мешает его высокая стоимость (в 3—4 раза дороже полистирола), а также большая трудоемкость изготовления изделий из него.

Полимерные светопропускающие материалы, как и стекло, могут иметь различный характер светопропускания. Из материалов с направленным пропусканием делают призматические рассеиватели; с диффузным и направленно-диффузным пропусканием — опаловые или молочные рассеиватели. При оценке применимости типов рассеивателей необходимо иметь в виду, что призматические рассеиватели обеспечивают большие КПД светильников, но практически не уменьшают яркость ИС.

Светоотражающие материалы используются для изготовления отражателей, перераспределяющих световой поток ИС путем отражения его в нужных направлениях. По характеру распределения отраженного света различают зеркальное (направленное), направленно-рассеянное, рассеянное (диффузное) и смешанное отражение. Важнейшими параметрами светоотражающих материалов являются коэффициент отражения ρ , кривая пространственного распределения отраженного света (индикатриса), а для цветных материалов еще и спектральное распределение коэффициента отражения.

Материалы с зеркальным и направленно-рассеянным отражением — это металлы с различной обработкой поверхности или металлические покрытия на неметаллических поверхностях (в конечном счете, также металлы). Диффузный характер отражения имеют ткани, бумага неглянцевых сортов, многие эмали и краски. Смешанный характер отражения присущ стеклоэмалям (силикатным эмалям) и белым материалам с блестящей поверхностью (глушеное стекло, глушеные полимерные материалы, глянцевая бумага и др.).

Зеркальное отражение позволяет наиболее гибко и точно перераспределять световой поток источников света, формируя таким образом требуемую КСС. Из чистых металлов наибольший коэффициент отражения имеет серебро ($\rho \leq 0,92$). Однако из-за дороговизны его

применяют только для покрытия стеклянных отражателей некоторых типов прожекторов и оптических приборов.

В светотехнической промышленности фактически единственным материалом с зеркальным отражением является алюминий. Коэффициент отражения чистого алюминия при очень тщательной полировке поверхности может быть выше 0,8; однако чистый алюминий на воздухе быстро окисляется и тускнеет. Следовательно, необходима защита алюминия от прямого контакта с воздухом. Способов защиты алюминия от окисления достаточно много. Наиболее распространены альзакирование и анодирование или электрохимическое полирование (иногда называемое обьярчением). Альзакирование — это нанесение тонкой пленки диоксида кремния на алюминиевую поверхность. Такая пленка, немного снижая коэффициент отражения, надежно защищает алюминий от воздействия воздуха и одновременно делает его поверхность более твердой. Анодирование или электрохимическое полирование — это обработка алюминиевой поверхности в растворах ортофосфорной кислоты, хромового ангидрида и других химических веществ при одновременном воздействии электрического тока. В результате такой обработки поверхность алюминия делается гладкой (отполированной) и блестящей. Под действием электрического тока на поверхности алюминия образуется тончайший слой оксида алюминия, предотвращающий ее дальнейшее окисление и потускнение. Чем чище алюминий, тем выше его коэффициент отражения. Но чистый алюминий — это очень мягкий и достаточно дорогой материал, поэтому чаще для изготовления отражателей используются более твердые и дешевые материалы (алюминиевые сплавы, сталь, пластмассы, для особо точных — стекло), на которые наносится тонкий слой особо чистого алюминия с последующей его защитой. Чаще всего алюминий наносится путем распыления в вакууме, а для нанесения защитного слоя используют диоксид кремния, распыляемый на той же установке после создания слоя алюминия. Для получения чисто зеркального отражения поверхность, на которую наносится слой алюминия, должна быть хорошо отполирована. Если поверхность подложки шероховата, то характер отражения будет направленно-рассеянным, причем чем больше шероховатость, тем более рассеянным будет отражение.

В настоящее время ряд фирм за рубежом (Alanod в Германии, Saccal в Италии) освоили промышленное производство листового алюминия с «готовой» поверхностью с уже напыленным слоем алюминия исключительно высокой чистоты (99,95 %), защищенным тончайшими слоями диоксидов кремния и титана. При этом толщина защитных слоев подбирается так, чтобы свет, отраженный от перед-

ней (обращенной к воздуху) и задней (обращенной к алюминию) поверхностей пленки находился в противофазе и как бы гасился в результате интерференции. Подобная технология (просветление оптики) уже много лет применяется в оптической промышленности — хорошо известны фотоаппараты с так называемыми голубыми объективами, имеющими значительно больший коэффициент пропускания, чем аналогичные объективы с чистыми (непросветленными) линзами. Применение таких интерференционных покрытий и чистейшего алюминия позволило довести коэффициент отражения до 0,98 (листы марки Miro Silver немецкой фирмы Alanod). Так как основой этих листовых материалов служит не чистый алюминий, а алюминиевый сплав с хорошими механическими свойствами, из них можно гнуть очень точные отражатели с достаточной формоустойчивостью. Листы светотехнического алюминия выпускаются не только с зеркальным, но и с направленно-рассеянным отражением с различной степенью рассеяния, а также тонированные в розовый или золотистый цвет. Для защиты отражающей поверхности от повреждения во время транспортировки и обработки лицевая сторона листов покрывается полимерной пленкой, которая легко снимается с уже готовых отражателей.

Недостатками листового светотехнического алюминия типа Alanod являются невозможность использования его для изготовления отражателей сложной формы из-за неизбежного повреждения защитного слоя при глубокой вытяжке и довольно высокая стоимость. Однако в производстве светильников с линейными ЛЛ этот материал находит все большее распространение для изготовления отражателей и элементов зеркальных экранирующих решеток.

Для получения материалов с диффузным (рассеянным) отражением используются различные эмали и краски на основе белых пигментов — оксида цинка, диоксида титана, сернокислого бария и др. Эмали или краски наносятся на поверхность отражателей распылением (струей сжатого воздуха или в электростатическом поле). Коэффициент отражения хороших эмалей — не ниже 0,85.

В светильниках с мощными лампами часто применяются стеклоэмали, имеющие смешанный характер отражения: с зеркальной и диффузной составляющими. В таких материалах при малых углах падения света преобладает диффузный характер отражения. При больших углах падения зеркальное отражение увеличивается, а диффузное — уменьшается. При этом суммарный коэффициент отражения возрастает примерно от 60 до 85 %. Эту особенность материалов со смешанным отражением необходимо учитывать при разработке светильников. Стеклоэмали наносятся чаще всего на поверхность стальных

отражателей, которые одновременно являются и корпусами светильников. Стеклоэмалевые покрытия характеризуются высокой теплоустойчивостью, химической стойкостью, механической прочностью (допускают многократную протирку и мойку). Основная область применения светильников с отражателями, покрытыми стеклоэмалью, — освещение производственных помещений.

Конструкционные материалы не выполняют какие-то светотехнические функции, а служат лишь для создания конструкций ОП. К классу конструкционных могут быть отнесены практически все металлы, терморезистивные полимеры, некоторые термопластичные полимеры. Наиболее распространенными конструкционными материалами в светотехнической промышленности являются алюминиевые сплавы, листовая сталь, поликарбонат, полиамид (капрон). Для изготовления электроустановочных изделий (патронов, наборов зажимов, розеток, выключателей и т.п.) широко используется керамика, а из полимерных материалов — терморезистивные смолы на основе фенолформальдегидных соединений; полибутилентерефталат; поликарбонат; полиамид.

В последние годы все более широкое распространение в качестве конструкционных материалов получают полиэфирные смолы и поликарбонат. Полиэфирные смолы (в иностранной документации обычно называются «полиэстер») чаще используются для изготовления корпусов светильников с ЛЛ. Этот материал ударопрочен, химически стоек, может окрашиваться в массу в различные цвета. Для повышения механической прочности и теплоустойчивости в полиэфирные смолы часто добавляют стекловолокно. Изделия из полиэфирных смол делаются методом литья под давлением. Поверхность таких изделий имеет вполне эстетичный вид и не нуждается в дополнительной декоративной окраске. Поликарбонат, окрашенный в массу, используется в качестве конструкционного материала и в светильниках с РЛ мощностью до 400 Вт.

6.4. Световые приборы для внутреннего освещения промышленных помещений и световоды

Как было показано в гл. 4, условия освещения заметно влияют на производительность и качество труда. При этом чем сложнее зрительная работа, тем сильнее освещение сказывается на ее результатах. В табл. 6.3 и 6.4 показано влияние освещенности на производительность труда и количество брака для некоторых видов деятельности и на число несчастных случаев на производстве.

Таблица 6.3

**Оценка увеличения работоспособности и снижения количества брака
в результате повышения уровня освещенности**

Тип работы	Уровень освещенности, лк		Увеличение зрительной работоспособности, %	Снижение количества брака, %
	до ее повышения	после ее повышения		
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 6.4

Данные об уменьшении числа несчастных случаев после повышения уровня освещенности в металлургической промышленности

Характер зрительной работы	Уровень освещенности, лк		Снижение числа несчастных случаев, %
	до	после	
Обычный	300	2000	52
Сложные зрительные задачи	500	1600—2500	50

Системы освещения. Источники света. Первостепенное значение для выбора системы освещения имеют точность выполняемых зрительных работ, характер и особенности производственного оборудования, условия естественного освещения. При выборе систем освещения необходимо учитывать, что капитальные вложения и эксплуатационные расходы при комбинированном освещении ниже, чем при общем.

Основные указания по выбору ИС для ОУ содержатся в отраслевых нормах искусственного освещения. Одним из важных условий при выборе типов ИС для внутреннего освещения производственных помещений является наличие или отсутствие требований по правиль-

ной цветопередаче. При отсутствии таких требований можно использовать ДРЛ и НЛВД, в противном случае следует применять в зависимости от требуемого уровня цветопередачи ЛЛ соответствующей цветности, МГЛ или СИД.

Светотехнический выбор СП и способов их размещения. Выбор СП для освещения промышленных предприятий осуществляется с учетом многих условий. Важнейшим светотехническим параметром СП является его КСС, а также КПД. Экономичность общего освещения производственных помещений очень сильно зависит от правильного выбора СП по светораспределению. Использование СП с неэффективной для имеющейся высоты подвеса и принятой схемы размещения КСС приводит к перерасходу электроэнергии на 30—35 %.

В практике проектирования приближенная проверка эффективности выбора СП по светораспределению (для ОУ общего равномерного освещения) может быть проведена с помощью упрощенного критерия экономичности СП — оценки отношения расстояния l между соседними СП (или их рядами) к высоте h установки СП над расчетной поверхностью и сопоставления полученных значений с рекомендуемыми для каждого типа КСС (табл. 6.5).

При необходимости создать освещенность в горизонтальной плоскости наиболее целесообразны СП прямого света класса П, в помещениях со светлыми потолком и стенами — преимущественно ОП прямого света класса Н. Чем выше помещение и больше нормируемая освещенность, тем более концентрированную КСС должен иметь СП. Для высоких помещений наиболее выгодны СП с КСС типа К и по мере уменьшения высоты — с КСС типов Г и Д.

В помещениях, где рабочие поверхности находятся в произвольно расположенных вертикальных плоскостях, целесообразны СП рассеянного света класса Р с полуширокой КСС типа Л или равномерной

Таблица 6.5

Рекомендуемые и наибольшие допустимые значения l/h , обеспечивающие равномерность освещения

Тип КСС по ГОСТ Р 54350—2011	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

типа М. Если вертикальные рабочие поверхности находятся по одну сторону от ряда СП (например, сборочные конвейеры автомобильных заводов), то применяют СП одностороннего светораспределения (кососветы) или наклонно устанавливают СП 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 СП в таких случаях нужно учитывать, что отношение вертикальной освещенности к горизонтальной минимально для СП с КСС типа К и увеличивается для СП с КСС типов М и Л.

Выбор СП по конструктивному исполнению. Возможности применения СП в конкретных эксплуатационных условиях определяются климатическим исполнением и категорией размещения СП.

Конструктивное исполнение СП 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 СП от воздействий окружающей среды принимаются по ГОСТ Р МЭК 60598-1—2011 и ГОСТ 14254—96, а для взрыво- и пожароопасных помещений и зон, кроме того, в соответствии с гл. 7.3 и 7.4 ПУЭ. Конструктивно-эксплуатационные параметры (принципиальная схема, эксплуатационная группа, вид материала, степень защиты) содержатся в каталогах и информационных материалах предприятий-изготовителей.

Размещение СП. При размещении СП 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 и прямой и отраженной блескости); безопасный и удобный доступ для обслуживания; наименьшую протяженность и удобство монтажа групповой сети; надежность крепления СП.

Для повышения экономичности ОУ можно использовать как равномерные, так и неравномерные схемы размещения СП. При трех и более рядах СП в пролете предпочтение следует отдавать схемам с разреженными центральными рядами. Если ОУ выполнена СП с ЛЛ и в средних рядах СП располагаются с разрывами, то в крайних рядах СП должны быть размещены без разрывов. Это позволяет снизить неравномерность освещения и обеспечить нормируемую освещенность при меньшей установленной мощности.

При выборе места и способа установки СП необходимо считаться со строительными особенностями помещений, их высотой, наличием кранового и транспортного оборудования. Во многих помещениях производственных зданий имеются мостовые краны, затеняющие установленные выше них СП общего освещения, что снижает освещенность в зоне размещения крана. В этом случае под мостом крана необходимо устанавливать СП подкранового освещения, питаемые от силовой сети крана.

Промышленные ОУ питаются от трансформаторов, на шинах которых поддерживаются постоянные уровни напряжения, требуемые для СП. 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 ультрафиолетового эритемного облучения длительного или кратковременного действия.

6.5. Светильники наружного и уличного освещения

Источники света. Основными характеристиками ИС для наружного освещения являются: тип; мощность; световой поток; световая отдача; спад светового потока во времени; цветопередача; срок службы; габаритные размеры; размер светящего тела; тип цоколя; время разгорания и перезажигания; диапазон рабочих температур.

Для наружного освещения важное значение имеет единичная мощность, 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 ИС должен обладать также высокой световой отдачей и длительным сроком службы.

Очень важно, при какой температуре работает ИС. Для объектов, где недопустимо длительное отсутствие освещения, например в производственных помещениях, отсутствие освещения в которых может привести к травме, необходимо использовать ИС 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 ИС в наружном освещении приведены в табл. 6.6.

Анализ показывает, что в наружном освещении наибольшее применение получили ИС со световым потоком от 5,0 до 10,0 клм (их доля составляет 41 %), доля ИС с потоком от 2,5 до 5,0 клм равна 27 %, с потоком от 10,0 до 20,0 клм — 9 %, а на лампы со световым потоком больше 20,0 клм приходится всего 3 %. Эти данные соответствуют высококачественным ОУ, полностью отвечающим условиям обеспечения необходимого уровня видимости для водителей механизированного транспорта и пешеходов. К сожалению, в ряде случаев потребность не только определяется нормами и качеством освещения, но и ограничивается финансовыми возможностями потребителя.

Для освещения скверов, парков и бульваров, а также пешеходных зон наиболее подходящими ИС являются МГЛ, СД. Лампы ДРЛ неплохо передают цвет зелени, однако искажают цвет человеческого лица, поэтому нежелательно использовать их для пешеходных зон.

Во многих странах в наружном освещении широко применяются натриевые лампы низкого давления, однако в нашей стране они рас-

Таблица 6.6

Рекомендуемые области применения источников света

Тип источника света	Область применения
Лампы ртутные ВД (ДРЛ), СИД	Освещение улиц, дорог, площадей, тротуаров, пешеходных переходов, парковых зон, подъездов
Лампы НЛВД (ДНаТ), СИД	Освещение проезжей части улиц и дорог, пешеходных переходов, подъездов
Люминесцентные лампы компактные, СИД	Парковое освещение, освещение улиц в микрорайонах, подъездов
Лампы МГЛ Лампы QL, СИД	Освещение улиц с повышенными архитектурными требованиями, пешеходных зон, парков
Лампы накаливания, СИД	Дежурное, охранное, эвакуационное освещение, освещение скверов, парков, сельских улиц при низких уровнях освещенности и малом числе часов работы
Галогенные лампы накаливания, СИД	Парковое и декоративное освещение

пространения не получили. По-видимому, используют их там, где они были освоены давно, еще до появления НЛВД, и население успело адаптироваться к их специфической цветопередаче при высоких экономических характеристиках. Во многих странах эти ИС используются также для выделения цветом перекрестков.

Не применяются в России для наружного освещения и традиционные ЛЛ. Объясняется это тем, что большая часть Российской Федерации расположена в холодной климатической зоне, а эти ИС, за редким исключением, плохо работают при отрицательных 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 температуре ниже нуля. В связи с тем что эти лампы имеют малую мощность, они применяются в основном для декоративного освещения — в парках, скверах, а также для освещения дворов.

Основные параметры светильников наружного освещения. 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 по СП 52.13330.2011 [63].

Определение эффективных (оптимальных) КСС светильников утилитарного наружного освещения связано с решением системы уравнений, составленных исходя из условий заданного фиксированного пространственного размещения ОП относительно освещаемой поверхности и их совокупного действия. Критерий эффективности КСС — наилучшее обеспечение количественных (уровень средней яркости дорожного покрытия) и качественных (равномерность распределения яркости и ограничение слепящего действия) показателей ОУ 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.

В основном для светильников наружного освещения используются широкие и полуширокие КСС в вертикальной плоскости. При

этом направление максимума силы света лежит в диапазоне углов $\alpha = 45 \div 70^\circ$. Как известно, именно силы света под углами от 70 до 90° 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. В России в утилитарном наружном освещении в основном применяются светильники с полуограниченной КСС. Значения сил света в зоне углов от вертикали α , равных 80° и 90° , в соответствии с ГОСТ Р 54350—2011.

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 их слепящее действие, но создать с их помощью равномерную яркость дорожного покрытия сложнее, так как они не обеспечивают световой поток в самых ценных верхних зонах КСС. Соответственно и создание нужного уровня яркости в таких установках обходится дороже.

Для обеспечения равномерного распределения яркости дорожного покрытия необходимо иметь определенную форму КСС не только в вертикальной, но и в горизонтальной плоскости. Форма КСС в этой плоскости зависит от ширины проезжей части. В отечественной нормативной документации предусматривается четыре типа КСС в горизонтальной плоскости: круглосимметричная, боковая, осевая и четырехсторонняя (ГОСТ Р 54350—2011).

В проектной практике эффективность и экономичность светильников наружного утилитарного освещения оцениваются коэффициентами использования светового потока относительно рабочей поверхности по освещенности u_E и яркости u_L .

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, для которых нормируется горизонтальная освещенность, то можно считать, что наиболее эффективными будут светиль-

ники с высоким коэффициентом использования по освещенности. Действительно, как показывают расчеты, удельная установленная мощность установки со светильниками с полуширокой КСС в 3,5 раза ниже по сравнению с удельной мощностью установки со светильниками с равномерной КСС и в 4—5 раз ниже по сравнению с удельной мощностью установки со светильниками 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 ИС экономический эффект растет.

Применение функционально-декоративных светильников не ограничивается освещением дорожного покрытия. 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 требования к светильникам могут противоречить одно другому. 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. Большинство светильников изготавливается с классом защиты I. Светильники, устанавливаемые непосредственно на грунт (парковые светильники), должны иметь класс защиты II.

Климатические требования. Конструктивные требования к ОП определяют их климатическое исполнение и категорию размещения по ГОСТ 15150—69. Основное отличие светильников наружного освещения от всех остальных заключается в том, что все они предназначены для использования на открытом воздухе, т.е. имеют категорию размещения I по ГОСТ 15150—69.

Климатическое исполнение ОП целиком зависит от региона, в котором предполагается их использование.

Наиболее распространено климатическое исполнение для умеренного климата У, а для более холодных районов — УХЛ и ХЛ. Встречается исполнение для сухого и влажного тропического климата —

ТС и Т, 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—96 в зависимости от требований, предъявляемых к конкретному светильнику.

Все светильники наружного освещения обязательно должны иметь защиту от дождя и по возможности от пыли.

Известно, что в экономическом отношении 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, поэтому для защиты оптической системы светильников применяются уплотняющие прокладки из резины, фетра, войлока и других материалов, а также специальные фильтры, задерживающие пыль и вредные газы.

Требования к механической устойчивости. Группа условий эксплуатации светильников в части стойкости к механическим воздействиям определяется ГОСТ 17516—90 и указывается в стандартах или технических условиях на конкретные типы светильников. 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 их конструкция должна удовлетворять основным техническим требованиям, быть удобной при монтаже и демонтаже и ремонтпригодной.

Конструкция светильника и соответственно его внешний вид определяются как способом компоновки отдельных блоков, так и типом и мощностью применяемого ИС, габаритными размерами комплектующих элементов. Немалую роль играет также выбранный дизайн светильника.

Оптические системы. У светильников наружного освещения оптическая система должна перераспределить весь излучаемый ИС световой поток в нижнюю полусферу и создать значительную концентрацию светового потока под большими углами $\alpha_{\max} = 60 \div 70^\circ$,

т.е. обеспечить заданную КСС. Такие большие углы позволяют получить эффективную установку наружного освещения в светотехническом и экономическом отношении.

Наиболее характерные схемы оптических систем светильников — зеркальная, призматическая, зеркально-призматическая, рассеивающая.

В состав оптического блока обычно входят ИС и 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 наружного освещения особенно важны именно зеркальные отражатели, так как по сравнению с диффузными и матированными отражателями их КПД и коэффициент усиления значительно выше. Существенной особенностью зеркальных оптических систем является возможность достаточно гибко управлять перераспределением светового потока ИС, создавая значительную его концентрацию в нужных направлениях.

Форма отражателя может быть различной — от простых зеркальных вставок до цельнотянутого отражателя очень сложной конфигурации.

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 закругленные улицы.

Защитные стекла. Защитное стекло является необходимой деталью светильника наружного освещения с высокой степенью защиты. Оно 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 при использовании поликарбоната — и ударопрочны.

Закрытые светильники могут быть выполнены 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. Недостатки данного варианта — ухудшение теплового режима электротехнических изделий (балластов, устройств управления, зажигающих устройств) и необходимость увеличения размеров

защитного стекла, а также установки дополнительных элементов крепления. Достоинство — возможности для удачной дизайнерской проработки.

При защитном стекле, закрывающем только оптический отсек, конструкция более экономична: снижается расход материала и удешевляется процесс изготовления.

Следует отметить, что плохое уплотнение может вызвать скопление 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 уплотняющим материалом в настоящее время является кремнийорганическая резина.

Высокая степень защиты оптического отсека может быть достигнута при неразъемном соединении отражателя и защитного стекла и заполнении места их стыка герметиком. В этом случае крепление патрона с ИС к отражателю осуществляется с помощью так называемого устройства типа Sealsafe, состоящего из двух основных частей: на одной крепится патрон, а ответная часть герметично крепится на отражателе. Такая конструкция обеспечивает высокую степень герметизации (IP66). В светильниках подобной конструкции 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 номенклатуру своих изделий светильники, перекрытые плоским силикатным стеклом. Преимущество такой конструкции состоит в полном исключении 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 полиметилметакрилата или поликарбоната. 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 разные КСС

от одного источника. Патрон, установленный на кронштейне, может перемещаться по направляющим как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении и при достижении нужного положения закрепляться. 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, электрический отсек и узел крепления. Форма корпусов весьма разнообразна — прямоугольная, шаровидная, цилиндрическая и др. Для светильников с трубчатыми лампами (ЛЛ, НЛНД) внешний вид определяется геометрической формой лампы, в результате чего для них характерна вытянутая сигарообразная форма. Электрический отсек является продолжением корпуса и часто выполняется съемным.

Как правило, применяются два варианта конструкции: светильник с корпусом-отражателем и светильник с отдельным встроенным отражателем. Корпус-отражатель обычно имеет гладкую обтекаемую форму, изготавливается методом штамповки из алюминиевого листа, что 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.

Применение встроенного отражателя дает большую свободу 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 в себе оптический и электрический отсеки; иногда корпус разделяется на две части по горизонтали и скрепляется замками, иногда он имеет вертикальную линию разъема. Материал корпуса может быть различным: используются алюминиевый и стальной прокат, алюминиевые сплавы, пластики, например стекловолокно, холодноштампованные пластмассы с добавкой стекловолокна. Для электрического отсека, испытывающего большие силовые нагрузки, чаще применяется литье под давлением. Для защиты металлических деталей используются химические покрытия (цинкование, анодирование и т.д.), жидкие и порошковые эмали.

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 в светлое время суток заряжают аккумуляторы, а ночью питают лампы. Естественно, такое устройство применимо только для светильников с маломощными источниками света, например КЛЛ.

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 в виде отдельной детали и установлены снаружи светильника. Когда узел крепления расположен внутри светильника, он, как правило, выполняется в виде единой конструкции с деталью, связанной с ним функционально. Часто светильники имеют универсальный узел крепления, допускающий установку на трубу различного диаметра, например от 42 до 60 мм или от 34 до 49 мм.

6.6. Светильники для внутреннего освещения общественных и жилых зданий

К общественным зданиям (ОЗ) относятся здания и сооружения, предназначенные для размещения организаций, учреждений и предприятий, административные здания, здания учреждений образования, здравоохранения и отдыха, торговли, гостиницы, многофункциональные здания и комплексы. В зависимости от назначения и характера ОЗ мощность ОУ составляет не менее 25 % общей электрической нагрузки, а в ряде случаев она значительно выше.

Характерные группы помещений. По зрительным задачам помещения ОЗ подразделяются на четырех характерные группы. *К помещениям группы I* 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 группы I, но 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 группы III (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 группы IV*).

Отметим определенную условность отнесения помещений ОЗ к той или иной группе. Так, в помещениях группы II часто располагаются рабочие места, на которых выполняется напряженная зрительная работа, свойственная помещениям группы I (например, места кассиров в торговых залах магазинов); помещения фойе (группа III) частично используются как выставочные (группа II); коридоры (группа IV) служат местом отдыха для посетителей (группа III).

Источники света. Установление области применения ИС разных типов в различных помещениях ОЗ является непрерывным, постоянно меняющимся процессом. Появление новых ИС, совершенствование традиционных ИС влекут 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 с общим индексом цветопередачи не ниже 80 и с цветовой температурой 3000—4000 К. Широкое применение нашли ЛЛ мощностью 18, 36 и 58 Вт. Наиболее перспективно внедрение энергоэффективных ЛЛ Т5 с трубками диаметром 16 мм, успешно используются и КЛЛ.

Помещения с высокими требованиями к цветоразличению (выставочные, демонстрационные залы, залы заседаний республиканского значения) следует освещать с помощью ЛЛ с общим индексом цветопередачи не ниже 90 с цветовой температурой 3000, 4000 или 6500 К.

Высокоэффективные РЛВД — МГЛ, НЛВД и их сочетание, ДРЛ с улучшенной цветопередачей, а также СИД могут быть использованы для освещения многофункциональных залов, универсамов, рынков, спортзалов и других помещений; в установках отраженного света — для рабочих помещений офисов.

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.

Обычные ЛН применяют в некоторых вспомогательных технических помещениях без постоянного пребывания людей, в установках с повышенными художественными требованиями к интерьерам, в помещениях, где по технологическим требованиям применение РЛ недопустимо, в лечебных учреждениях. Значительное повышение комфортности световой среды, обеспечение более естественного восприятия цвета отделки интерьера и человеческого лица может

быть достигнуто при использовании ЛЛ с улучшенной цветопередачей.

Для повышения комфортности освещения в ОЗ важно исключить слепящее действие ИС. Кроме парадных 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, ухудшающие условия зрительной работы. При возникновении отраженной блескости от крупногабаритных СП с ЛЛ или линий СП с ЛЛ избежать ее вредного воздействия путем изменения положения работающего и направления зрения крайне сложно. Необходимо иметь в виду этот фактор в процессе проектирования ОУ.

В развитии освещения ОЗ прослеживается тенденция все более широкого применения динамичного освещения, что соответствует естественному изменению условий освещения в течение дня. Развитие электронных систем управления позволяет в «интеллектуальных ОУ» менять по желанию работающих интенсивность, цветность и направление освещения.

Осветительные приборы. Выбор СП 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 СП (не менее 15 %) должна быть направлена в верхнюю полусферу. В рабочих помещениях целесообразно использовать СП преимущественно прямого и рассеянного света с КСС в нижней полусфере типа Л. В установках архитектурного освещения часто применяют СП отраженного света. При системе общего равномерного освещения больший уровень освещенности в вертикальной плоскости обеспечивают СП с КСС типов Д и М.

Вертикальная освещенность повышается при использовании СП 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 имеют внешний вид СП, его эстетические параметры. Однако при выборе СП для освещения основных помещений вопросы экономичности должны играть глав-

ную роль. Выбор СП 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 светящихся потолков), а также в помещениях с кессонированными потолками, где требуемые защитные углы создаются строительными элементами. 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 электронными, так и с электромагнитными балластами. Доля электронных аппаратов в светильниках с ЛЛ непрерывно растет ввиду их неоспоримых преимуществ перед электромагнитными. Применение электронных аппаратов позволяет повысить световую отдачу ЛЛ, увеличить срок службы, снизить потери мощности, исключить пульсацию светового потока, повысить коэффициент мощности и т.д.

В СП с ЛЛ должна осуществляться индивидуальная компенсация реактивной мощности. Коэффициент мощности для одноламповых светильников согласно ПУЭ должен быть не менее 0,85, а для многоламповых — 0,9.

В двух- и четырехламповых СП с электромагнитными балластами благодаря включению половины ИС по схеме опережающего, а другой половины — по схеме отстающего тока гарантируется соблюдение нормируемых значений коэффициентов пульсации в помещениях любого назначения. При использовании в СП только индуктивных балластов должна быть обеспечена возможность подключения ЛЛ к разным фазам питающей сети.

Заслуживает внимания расширяющееся использование полых протяженных светодов для освещения помещений ОЗ. Накоплен важный опыт применения таких устройств для освещения станций метрополитена, выставочных павильонов, торговых залов универмагов, плавательных бассейнов, а также в установках совмещенного освещения. Использование этих новых современных средств освещения, обладающих комплексом важных достоинств, позволяет архитекторам и светотехникам получать принципиально новые решения в области светового дизайна.

Для декоративного освещения широко используются осветительные устройства с гибкими волоконными световодами. В качестве ИС в таких устройствах применяются ГЛН на низкое напряжение, короткоуговые МГЛ. Благодаря разнообразным декоративным и оптическим насадкам можно создавать 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.

Значительно расширилось использование призматической оптики, светильников с «вторичными» отражателями, светильников полностью отраженного света, волоконной оптики и С Д. Все более широкое применение в ОУ общественных зданий находят СП с СИД. В настоящее время такие СП используются наравне с традиционными ИС.

Важным элементом эвакуационного освещения (ЭО) являются световые указатели направления выхода из помещения или здания или самих выходов. Световые указатели надлежит устанавливать в следующих случаях: на выходах из помещений, где одновременно могут находиться более 100 человек; 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 человек; 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 СП с надписью или стрелкой, указывающей направление к выходу.

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 СИД в качестве ИС.

Значения освещенности, качественные показатели ОУ принимаются в соответствии с СП 52.13330.2011. Светотехнические расчеты выполняются с помощью программ на персональном компьютере. Оценочные расчеты могут быть выполнены с использованием данных по удельной мощности.

Контрольные вопросы и задания

1. Что называется световым прибором, из каких основных элементов он может состоять? Какие виды классификаций применимы к световым приборам?
2. От чего зависит полный КПД светового прибора? Как характеризует световой прибор его КСС?
3. Какие конструктивные материалы используются для производства световых приборов? Каковы преимущества и недостатки современных светопропускающих и отражающих материалов?
4. Назовите основные этапы подбора световых приборов при проектировании внутреннего освещения. Чем они обусловлены?
5. В чем состоят трудности проектирования наружного освещения? Назовите основные требования к световым приборам наружного освещения.
6. Специальные области применения световых приборов: эвакуационное и аварийное освещение, декоративное освещение, световоды. Каковы основные требования к ним?
7. Пользуясь классификацией световых приборов по дополнительным признакам и СП 52.13330.2011 предложите световой прибор для наружного и общего освещения.
8. Что такое коэффициент формы КСС светового прибора? Как определяется тип КСС светильника?
9. Каким образом можно повысить эффективность светового прибора?
10. Какие характеристики должен иметь световой прибор, выполненный на базе светоизлучающих диодов, чтобы его можно было рекомендовать для освещения среднеспециальных и профессионально-технических учреждений?

Глава седьмая

РАСЧЕТ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

7.1. Задачи и методы светотехнических расчетов

Светотехнический расчет — необходимый этап проектирования осветительной установки (ОУ), позволяющий от нормируемых количественных и качественных показателей освещения перейти к определению мощности, типа, числа и взаимного расположению СП с ИС.

Цели и задачи светотехнического расчета:

1. По нормируемой освещенности $E_{\text{норм}}$ найти необходимое число СП — это прямой расчет.

2. Определение освещенности от СП, используемых в ОУ, — это задача обратная или поверочный расчет. Если это решение не удовлетворяет требованиям норм, проводится корректировка проекта.

При расчете мощности ОУ и проведении поверочных расчетов на соответствие нормируемой освещенности используются два метода:

1. Точечный метод, в котором главными исходными параметрами служат сила света излучателя или его элемента в направлении расчетной точки, его положение относительно этой точки и ориентация плоскости, в которой находится освещенность.

2. Метод коэффициента использования светового потока, в котором средняя освещенность определяется как отношение светового потока, установившегося на расчетной плоскости, к площади этой поверхности.

Метод коэффициента использования применяется обычно при решении прямой задачи, когда распределение светового потока по освещаемой поверхности близко к равномерному. Поверочные расчеты освещенности выполняются, как правило, методом расчета по силе света.

При расчете ОУ требуются, в общем случае, расчет распределения световых потоков, непосредственно подающих от светильников на расчетную плоскость (плоскость, на которой нормируется освещенность), потолок и стены, и расчет многократных отражений этих потоков между поверхностями, ограничивающими освещаемое помещение.

7.2. Метод расчета освещенности по силе света

Это метод применяется для расчета следующих видов светящихся элементов: точечных; линейных; светящихся поверхностей.

Точечность светящего элемента определяется не его абсолютными размерами, а отношением размера ИС к расстоянию до освещаемой точки пространства. *Точечные* — это такие светящиеся элементы, расстояние до расчетной точки которых в 10 раз больше размера светящего элемента, т.е. точечный светящийся элемент имеет малые размеры по сравнению с расстоянием до расчетной плоскости. Соотношения размера светильника к расстоянию до расчетной точки 1:5 и 1:3 тоже могут рассматриваться, всё зависит от допустимой точности расчетов.

Линейные светящие элементы — это такие светящиеся элементы, у которых один размер соответствует точечному, а другой не соответствует соотношению 1:10.

Светящая поверхность — ни один ее размер не соответствует соотношению 1:10.

К первой группе относят излучатели, к которым применим при заданной точности расчетов закон квадратов расстояния. Реальная форма таких излучателей может представлять собой отрезок линии или другой излучающий объем. В зависимости от расстояния до освещаемой поверхности такие излучатели можно считать точечными при заданной точности расчетов. Замену реального источника точечным при расчетных расстояниях, соизмеримых с размерами источника, можно проводить, если известно, что световой пучок ОП сфокусирован.

По характеру распределения света точечные светящиеся элементы делятся на две группы:

- 1) светящиеся элементы с осесимметричным светораспределением;
- 2) светящиеся элементы с неосесимметричным светораспределением.

Распределение силы света любой светящей точки можно характеризовать фотометрическим телом или сечениями фотометрического тела, представляющими КСС.

Для характеристики светораспределения осесимметричных СП достаточно одной КСС. Для неосесимметричных СП в качестве характеристики светораспределения большинство производителей СП, как правило, приводят КСС в двух сечениях фотометрического тела — в продольной и поперечной плоскостях или даже одну или две дополнительных КСС для наиболее характерных сечений. Однако и это не является достаточным для проведения расчетов. В последнее время большинство ведущих фирм стали выставлять на сайтах базы фотометрических данных своей продукции для свободного пользова-

ния. При этом для неосесимметричных СП приводятся подробные таблицы семейств КСС. Для того чтобы эти данные могли быть использованы в разных светотехнических программах, их записывают по определенным правилам или форматам [11].

В настоящее время существуют несколько форматов представления фотометрических данных СП. Среди них можно указать CIE 102, разработанный МКО; британский формат CIBSETM-14; европейский формат EULUMDAT; IES — получивший наибольшее распространение (разработан Североамериканским светотехническим обществом) [11].

Расчет прямой составляющей освещенности от точечных излучателей [26]. Здесь будет рассмотрен расчет прямой составляющей освещенности только от точечного светящего элемента; расчет освещенности от линейных светящихся элементов и светящихся поверхностей приведен в [26].

В основе всех методов расчета освещенности (рис. 7.1) от точечных светящихся элементов лежит *закон квадрата расстояния*: освещенность от точечного излучателя в точке A равна силе света I_α в направлении от источника к расчетной точке, умноженной на косинус угла между направлением от источника к расчетной точке и пер-

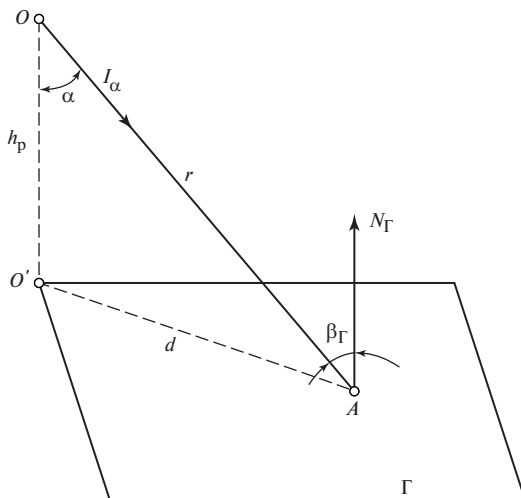


Рис. 7.1. К расчету освещенности от точечного излучателя:

N_Γ — перпендикуляр, восстановленный в точке A к горизонтальной плоскости Γ ; β_Γ — угол между направлением силы света в расчетную точку A и нормалью N_Γ ; r — расстояние от светильника O до расчетной точки A ; h_p — высота подвеса светильника над расчетной плоскостью

пендикуляром к освещаемой плоскости, и деленной на квадрат расстояния от источника до расчетной точки, т.е.

$$E_{A \text{ гор}} = \frac{I_{\alpha} \cos \beta_{\Gamma}}{r^2}. \quad (7.1)$$

7.3. Расчет прожекторного освещения

Расчет прожекторного освещения сводится к расчету освещенности от точечного ИС с неосесимметричным светораспределением. Кроме того, как правило, оптическая ось прожектора располагается под углом к горизонту. Эти факторы затрудняют расчет освещенности, так как требуются данные о силе света в определенных направлениях. Для таких случаев помимо продольной и поперечной КСС, как правило, нужна еще третья КСС в плоскости, проходящей через максимум силы света. Для определения силы света в любых других промежуточных плоскостях необходимо пользоваться подробными таблицами семейств КСС, записанными в определенном формате. Расчет прожекторного освещения ведется в различных компьютерных программах: DIALux 4.10, Light-in-Night Road 5.0, Calculux (AreaRoad), Faellite 6.0 и др.

7.4. Расчет освещенности по методу коэффициента использования осветительной установки с учетом многократных отражений

Этот метод в нашей стране был разработан в МЭИ проф. М.М. Епанешниковым. Метод позволяет определять мощность ОУ по значению нормируемой освещенности с учетом многократных отношений.

Световой поток, установившийся в результате многократных отражений на любой из шести поверхностей, ограничивающих помещение, можно рассматривать состоящим из светового потока непосредственно падающего на расчетную плоскость, и суммы потоков, дополнительно упавших на расчетную плоскость со всех остальных поверхностей в результате многократных отражений [26].

Суммарная освещенность на расчетной плоскости E_p в общем виде представляет собой сумму двух слагаемых:

$$E_p = E_{\text{пр}} + E_{\text{отр}}, \quad (7.2)$$

где $E_{\text{пр}}$ — освещенность, создаваемая прямым световым потоком СП — прямая составляющая освещенности; $E_{\text{отр}}$ — освещенность, создаваемая световым потоком, многократно отраженным от поверхностей помещения, — отраженная составляющая освещенности.

Распределение отраженной составляющей освещенности в результате многократных отражений практически равномерно, распределение же прямой составляющей может быть существенно неравномерным, что зависит от светораспределения СП и их размещения в освещаемом пространстве.

Коэффициент использования ОУ — это отношение светового потока, установившегося на расчетной плоскости, к потоку всех ламп ОУ. Он показывает, какая доля светового потока (с учетом многократных отражений) падает на расчетную поверхность:

$$u_{o,y} = \frac{\Phi_p}{n\Phi_l}, \quad (7.3)$$

где Φ_p — световой поток, установившийся на расчетной плоскости; n — число всех ламп ОУ; Φ_l — световой поток лампы, используемой в ОУ.

Коэффициент использования ОУ зависит от кривой силы света светильника; его КПД; высоты от плоскости выходного отверстия светильника до расчетной плоскости h_p ; коэффициентов отражения потолка, стен и пола ($\rho_{пот}$, $\rho_{стен}$, $\rho_{пола}$); индекса помещения

$$i = \frac{ab}{(a+b)h_p}, \text{ здесь } a \text{ — длина помещения, } b \text{ — его ширина.}$$

Зная $u_{o,y}$, рассчитываем мощность ОУ, т.е. число ламп ОУ:

$$n_l = \frac{K_3 E_{норм} Az}{u_{o,y} \Phi_l}, \quad (7.4)$$

где n — число ламп в ОУ; K_3 — коэффициент запаса [63]; $E_{норм}$ — нормируемая освещенность; A — площадь помещения; z — коэффициент неравномерности, равный отношению средней освещенности к минимальной; Φ_l — световой поток лампы ОУ.

При расчете ОУ необходимы, в общем случае, расчет распределения светового потока, непосредственно подающего от светильников на расчетную плоскость, потолок и стены, и расчет многократных отражений этих потоков между поверхностями, ограничивающими освещаемое помещение.

Расчет коэффициента использования осветительной установки упрощенным методом. Коэффициент использования [62]

$$u_{o,y} = \eta_{св\downarrow} \eta_{п} + \eta_{св\uparrow} \eta, \quad (7.5)$$

где $\eta_{св\downarrow}$ — КПД светильника в нижнюю полусферу, равный отношению светового потока светильника в нижнюю полусферу к световому потоку всех ламп в светильнике; $\eta_{п}$ — КПД помещения, $\eta_{п} = f(KCC, i, \rho_{пот}, \rho_{стен}, \rho_{пола})$, находится по табл. 8.8 в [62]; $\eta_{св\uparrow}$ —

КПД светильника в верхнюю полусферу, равный отношению светового потока светильника в верхнюю полусферу к световому потоку всех ламп в светильнике; η — зональный множитель, находится по таблице 8.9 в [62].

Поверочный расчет освещенности ведется по формуле (7.2). Прямая составляющая освещенности рассчитывается методом расчета по силе света и делится на коэффициент запаса. Для расчета отраженной составляющей освещенности ОУ определяется коэффициент использования отраженной составляющей освещенности

$$u_{\text{отр}} = u_{\text{о.у}} - u_{\text{пр}}. \quad (7.6)$$

Коэффициент использования прямого светового потока $u_{\text{пр}}$ — это отношение прямого светового потока, упавшего на расчетную плоскость, к световому потоку всех ламп ОУ:

$$u_{\text{пр}} = \frac{\Phi'_{\text{р}}}{n\Phi_{\text{л}}}, \quad (7.7)$$

где $\Phi'_{\text{р}}$ — прямой световой поток, упавший на расчетную плоскость; $u_{\text{пр}} = f(\text{КСС}, i)$.

Коэффициент использования прямого светового потока находится по формуле (7.5) с использованием табл. 8.8 и 8.9 из [62] для случая, когда коэффициенты отражения потолка, стен и пола равны нулю (нет отражений); тогда, зная значения $u_{\text{о.у}}$ и $u_{\text{пр}}$, можно рассчитать коэффициент использования отраженного светового потока, а значит, и отраженную освещенность:

$$E_{\text{отр}} = \frac{n\Phi_{\text{л}}u_{\text{о.у}}}{K_3 S z}. \quad (7.8)$$

По формуле (7.2) рассчитывается освещенность на расчетной плоскости $E_{\text{р}}$ и сравнивается с нормируемой освещенностью. В случае, если результат неудовлетворителен, необходимо сделать корректировку проекта (выбрать другие ИС, другие СП).

7.5. Расчет осветительной установки методом удельной мощности

Для решения некоторых задач удобно пользоваться упрощенной формой метода коэффициента использования, представляемой в виде таблиц удельной мощности. Такие таблицы составлены для определенных значений освещенности, типа светильника, коэффициента запаса, коэффициентов отражения потолка, стен и пола. При составлении таблиц не учитывается форма помещения в виде индекса

помещения, который определяется достаточно точно при значениях $a:b \leq 2,5$.

Удельная мощность, $\text{Вт}/\text{м}^2$, есть функция $h_p, A, E_{\text{норм}}, \rho_{\text{пот}}, \rho_{\text{стен}}, \rho_{\text{пола}}, K_z$,

$$p = \frac{P_{\text{л}} n}{A}, \quad (7.9)$$

где $P_{\text{л}}$ — мощность лампы; n — число ламп; A — освещаемая площадь.

Порядок расчета этим методом следующий:

1. Выбираются параметры ОУ: тип, мощность светильников, число рядов светильников, высота подвеса СП над расчетной плоскостью, коэффициент запаса, коэффициенты отражения потолка, стен и пола.

2. Определяется удельная мощность по таблицам или графикам.

3. Находится необходимое число ламп ОУ.

Расчет осветительных установок с помощью компьютерных программ. Методы расчета, рассмотренные выше, — это так называемые инженерные методы расчета. Однако с 80-х годов прошлого века начался переход от ручной технологии расчета к компьютерной. В настоящее время на рынке программного обеспечения имеются специализированные светотехнические программы, в том числе и такие, которые позволяют получать визуализации моделируемых ОУ.

Подход к построению математических моделей для программ реалистической визуализации сложных сцен получил название глобального освещения. Методологией глобального освещения является совокупность следующих методов: построение яркостной модели сцены; построение трехмерных геометрических моделей объектов и их преобразование при перемещении приемника излучения (камеры); затенение ИС; экранирование одних объектов другими при наблюдении; учет цвета; учет материалов и текстур и т.п. Базисным уравнением глобального освещения, связывающим яркость точки отражающей поверхности с яркостью окружающего пространства, является так называемое уравнение визуализации. Решение данного уравнения представляет значительные трудности. Для практических задач были разработаны специальные методы численного решения этого уравнения. К основным методам подхода к решению уравнения визуализации можно отнести метод *излучательности* и *метод трассировки лучей*.

В настоящее время на рынке имеется достаточно большой выбор программных продуктов, которые в той или иной степени можно использовать в качестве светотехнического программного обеспечения (СПО) при проектировании ОУ.

Все разнообразие СПО можно условно разделить на три группы:

I — СПО для моделирования и фотореалистической визуализации трехмерных сцен (базируются на методах глобального освещения);

II — программы, в которых используются упрощенные алгоритмы глобального или локального освещения при визуализации трехмерных сцен;

III — программы, предназначенные для расчета утилитарного освещения (освещения дорог и улиц, автотранспортных туннелей, спортивного, промышленного освещения и др.).

В табл. 7.1 дан краткий обзор СПО.

Таблица 7.1

Три группы светотехнического программного обеспечения

Категория СПО	Группа СПО		
	I	II	III
Наиболее известные программы (фирмы-разработчики)	Lightscape, 3D Studio Viz (Autodesk, США); Radiance (LBL, США); Inspirer (Integra, Япония)	DIALux (DIAL, Германия); Relux (Relux Informatik, Швейцария)	Calculux (Philips Lighting, Нидерланды) — уличное и спортивное освещение; Faellite (Fael Luce, Италия), Lighting Reality (Lighting Reality, Великобритания) — освещение дорог, Tulip (Rayforge Services, Австралия) — освещение туннелей
База данных СП	Открыта для подключения любых световых приборов в стандартных форматах (IES, LTD)		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

Категория СПО	Группа СПО		
	I	II	III
Наличие 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 (РПК, Россия); Faellite («Геолог», Россия)

Обзор бесплатных светотехнических программ в России

Ниже приведены сведения о наиболее известных в России светотехнических программах. Сводные данные о программах, предназначенных для освещения интерьеров и экстерьеров зданий, т.е. с возможностью визуализации, представлены в табл. 7.2, а для утилитарного наружного (уличного и спортивного) освещения — в табл. 7.3.

Таблица 7.2

Основные характеристики бесплатных светотехнических программ для освещения интерьеров и экстерьеров

Характеристика программы и ее возможности	Программа	
	DIALux 4.10	Faellite 6.0
Разработчик	DIAL Германия	ОхуTech по заказу Fael Luce Италия
Сайт: www.	dial.de	reolog.ru
Распространение	Бесплатное	Бесплатное
Поддержка форматов файлов LDT, IES	LDT, IES	Не поддерживает
Наличие и качество моделера	Есть, среднее	Нет
Поддержка форматов файлов 3ds, dxf	dxf	dxf
Качество визуализации	Среднее	Низкое
Расчет нормируемых показателей	Обеспечивает	Обеспечивает
Трудоемкость освоения	Средняя	Низкая
Трудоемкость ввода исходных данных	Средняя	Низкая
Трудоемкость расчета	Средняя	Низкая
Русифицированный интерфейс	Есть	Нет
Создание отчета	Есть	Нет
Русифицированный отчет	Есть	Нет

**Основные характеристики бесплатных светотехнических программ
наружного освещения**

Характеристика программы и ее возможности	Программа			
	DIALux 4.10 (в режиме наружного освещения)	Calculux Area, Road	Faellite 6.0	Light-in-Night (Road) 5.0
Разработчик	DIAL, Германия	Philips Lighting, Нидерланды	ОхуTech по заказу Faell 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	Бесплатное			
Поддержка форматов файлов LDT, IES	Есть	Нет		
Русифицированный интерфейс	Есть		Нет	Есть
Создание отчета	Нет		Есть	
Русифицированный отчет	Возможен			

DIALux 4.10. Программа разработана германским институтом прикладной светотехники (DIAL) и распространяется свободно по сети Интернет. Она позволяет загружать (в виде вспомогательных программ) базы данных СП около 40 ведущих фирм — производителей световых приборов. Кроме того, она предоставляет возможность загружать файлы с фотометрическими данными световых приборов в форматах IES и LDT. Программа предназначена для проектирования освещения интерьеров, экстерьеров и дорожного освещения. Она ориентирована на быстрый расчет, поэтому эффективно работает со сценами, не перегруженными мелкими деталями. Кроме основной программы, имеются версии для наружного освещения DIALuxExt и упрощенная версия DIALuxLight для проведения типовых расчетов. Интерфейс программы русифицирован, имеется также руководство пользователя (Manual) на русском языке.

Calculux. Программа фирмы Philips Lighting существует в нескольких модификациях (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 Pael Luce (Италия) для расчета освещенности и яркости в помещениях, на открытых площадках и на улице. Она позволяет рассчитать горизонтальную, вертикальную и полуцилиндрическую освещенности, 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. Имеются дружелюбный интерфейс на английском и других европейских языках и возможность вывода отчета на русском языке. Программа распространяется бесплатно.

Light-in-Night Road 5.0. Разработанная российской компанией ЗАО НПСП «Светосервис» программа является специализированным продуктом для расчета уличного и паркового освещения. Программа имеет закрытую базу данных ОП, содержащую номенклатуру уличных и парковых светильников. Она базируется на российской методологии расчета и отечественных нормах, а также принятых в России фотометрических характеристиках дорожных покрытий. Кроме основных расчетных параметров (распределения яркости и освещенности в графическом и табличном виде), программа позволяет определить другие нормируемые показатели: общий и продольный коэффициенты равномерности яркости, показатель ослепленности, полуцилиндрическую освещенность. Программа имеет русскоязычные интерфейс, справку и отчет и обеспечивается оперативной технической поддержкой. Распространяется программа бес-

платно с сайта www.light-in-night.com или на CD-ROM через ТД «Светотехника».

Пример последовательности светотехнического расчета интерьера в программе DIALux:

До того как приступить к расчету ОУ в программе DIALux, необходимо:

а) выбрать нормируемые количественные и качественные показатели освещения, коэффициенты запаса (выбирается из российских или европейских норм);

б) выбрать ИС по определенным параметрам (тип, мощность, напряжение, световой поток, световая отдача, спад светового потока, яркость, цветовая температура, общий индекс цветопередачи, срок службы, пульсация светового потока, время разгорания, габаритные размеры, тип цоколя, тип балласта, стоимость ИС);

в) выбрать СП по определенным параметрам (мощность, тип КСС, КПД, защитный угол, IP, габаритные размеры, способ установки, масса, стоимость).

Затем можно приступить к работе в программе по следующему алгоритму:

1. Задание геометрических параметров помещения (длина, ширина, высота).

2. Выбор коэффициента запаса. В компьютерной программе берется коэффициент уменьшения — величина обратная коэффициенту запаса ($1/K_z$).

3. Выбор и построение колонн, окон и дверей помещения.

4. Выбор рабочей поверхности (или выбор краевой зоны).

5. Выбор материала и текстуры, а значит коэффициентов отражения потолка, стен и пола помещения.

6. Выбор мебели, оргтехники, растительности и прочего в помещении.

7. Выбор ИС из собственного каталога программы DIALux либо импорт его из каталога фирмы-производителя (ИС должен быть с теми параметрами, которые уже были выбраны).

8. Выбор СП из собственного каталога программы DIALux либо импорт его из каталога фирмы-производителя (необходимо найти именно тот СП, который был предварительно выбран).

9. Выбор вида установки светильника (монтажа) (подвесной, потолочный, встроенный и т.д.).

10. Определение рабочей плоскости (горизонтальная, вертикальная, высота рабочей плоскости).

11. Расставить светильники.

12. Сделать расчет осветительной установки.

13. Вывести результаты расчета в цифровом виде, в виде изолюкс или в градациях серого.

14. Вывести резюме расчета.

15. Провести фотореалистическую визуализацию ОУ, расчет помещения в псевдоцветах. Оценить равномерность освещенности в ОУ.

16. Провести расчет показателя UGR и сравнить его с нормируемым значением.

17. Оценить количественные и качественные показатели освещения, оценить удельную мощность ОУ.

18. В случае, если результат неудовлетворителен, сделать корректировку проекта (выбрать другие ИС, другие СП).

Контрольные вопросы и задания

1. Какой источник излучения называется точечным?
2. При каких условиях светильник с люминесцентными лампами размером 600×600 мм можно считать точечным?
3. Рассчитайте освещенность на горизонтальной плоскости в точке A , находящейся под светильником, от точечного СП с равномерным светораспределением и силой света $I_0 = 90$ кд, находящимся на высоте $h = 3$ м от расчетной точки A .
4. Дайте определение коэффициенту использования осветительной установки.
5. Перечислите параметры, определяющие коэффициент использования осветительной установки.

Глава восьмая

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ И ПИТАНИЯ ДЛЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

8.1. Роль автоматизированных систем управления и питания осветительных установок в развитии современных энергосберегающих систем освещения

Работникам энергетических служб предприятий и учреждений нередко приходится выступать в качестве заказчиков проектов модернизации освещения производственных помещений, офисов, дворовых и прилегающих к зданиям территорий. Чтобы грамотно составить техническое задание и, по крайней мере, говорить с исполнителем на одном языке, желательно хотя бы в общих чертах разбираться в современных технологиях организации энергосбережения. С ростом стоимости энергоносителей во всем мире необходимость применения энергосберегающего освещения не вызывает сомнений, тем более это важно в экологическом отношении [34].

При разработке новых проектов освещения всегда приходится искать компромисс между начальными и эксплуатационными затратами, причем следует учитывать, что при постоянно растущих тарифах на электроэнергию сокращается срок окупаемости энергосберегающих проектов. Для сравнения различных вариантов проекта представляют большой интерес экспертные оценки потенциала различных способов энергосбережения (рис. 8.1).

В наибольшей степени можно снизить потери, полностью отключая ИС в те периоды, когда можно использовать естественное освещение или в отсутствие людей на освещаемом объекте. Решение этой задачи традиционно возлагалось на потребителя («Уходя, гасите свет!»). При таком отключении на некоторых временных интервалах достигается 100 %-ная экономия электроэнергии.

Но лучше исключить человеческий фактор, возложив выполнение отключения на системы автоматического управления (САУ) или автоматизированные системы управления (АСУ), которые могут анализировать обстановку на объекте, принимать решение об отключении или изменении светового потока и выполнять его без участия чело-

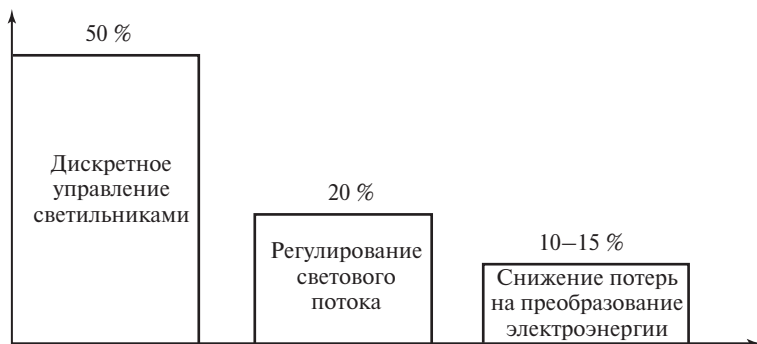


Рис. 8.1. Потенциал различных способов энергосбережения

века. При этом оператор АСУ может контролировать течение процесса и корректировать его в нестандартных ситуациях.

Однако во многих случаях полная темнота на объекте нежелательна по соображениям безопасности или комфортности, и даже в отсутствие человека следует оставлять некоторый минимальный уровень освещенности (дежурное освещение). Снизить световой поток можно, отключив часть ИС, и в этом случае задачу сбережения электроэнергии также наиболее эффективно выполняет АСУ.

Организовать дежурное освещение можно, «притушив свет» путем снижения мощности, подаваемой на светильник (регулирование светового потока ИС — диммирование). Если ИС при этом является лампа накаливания, то необходимо дополнить светильник регулятором напряжения, при освещении РЛ функции регулирования можно возложить на электронные ПРА (ЭПРА), которые являются особым классом ключевых источников электропитания (ИЭП). При светодиодном освещении регулируемые должны стать ИЭП с характеристикой источника тока, часто называемые драйверами.

Электромагнитные элементы работают в таких ИЭП на повышенной частоте, что позволяет уменьшить их габаритные размеры и сопротивление обмоток и вследствие этого снизить потери в этих элементах. Наличие ключевых элементов в составе ЭПРА и драйверов СИД позволяет использовать эти ключи для того, чтобы отключать и регулировать питание ИС по цепям управления с помощью маломощных сигналов.

Собственные потери в ЭПРА во всех режимах работы постоянно контролируются разработчиками, их стараются снизить путем совершенствования схемы и элементной базы, повышающих КПД как самих ИЭП, так и питаемых ими ламп.

Важнейший способ сбережения энергии — повышение коэффициента мощности ИЭП, подключенных к силовой сети. При этом

снижается действующее значение реактивного тока, а также токов высших гармоник и связанные с ними потери. Стремление свести к минимуму неактивные составляющие мощности, создаваемые ИЭП, привело к появлению в их составе специального устройства — корректора коэффициента мощности (ККМ). Он представляет собой преобразователь переменного напряжения в постоянное (АС/DC), в котором реализуется идея непосредственного управления формой потребляемого тока с помощью электронного регулятора. Закон управления стараются сделать таким, чтобы ток, потребляемый от сети, максимально приближался к синусоидальному, совпадающему по фазе с сетевым напряжением, т.е. к форме тока, потребляемого чисто активной нагрузкой. Для исключения помех на входе ККМ имеется сетевой фильтр (ЕМИ-фильтр), снижающий уровень высших гармонических составляющих тока, потребляемого из сети.

Конечно, введение дополнительного блока в ЭПРА или в источник питания СИД приводит к росту объема и цены этих устройств, что невыгодно потребителю, поэтому производителей ЭПРА побуждают к введению ККМ принятием государственных стандартов и увеличением платы за электроэнергию при пониженном коэффициенте мощности. Рассмотрим структуру и элементы автоматизированной системы управления (рис. 8.2).

Основным элементом системы освещения является, конечно, ИС. На рис. 8.2 в качестве таких источников показаны светодиодная лампа и разрядная лампа, которые в настоящее время служат основными типами ИС для энергосберегающих осветительных устройств. Существует огромное разнообразие освещаемых объектов, относительно каждого предъявляются специфические требования к системам освещения. Как было указано ранее для внутреннего и наружного освещения в настоящее время используются ИС различных типов: разрядные лампы низкого давления (люминесцентные, обычные и компактные, называемые часто энергосберегающими) — для внутреннего освещения, ртутные, натриевые и металлогалогенные лампы — для наружного. Завоевывающие в последнее время все большую популярность лампы на основе СИД применяются как для наружного, так и для внутреннего освещения. Для подключения к питающей сети и газоразрядных, и светодиодных ламп требуются специальные ИЭП: для газоразрядных ламп — ЭПРА или электронный балласт, а для светодиодных — драйвер СИД. В САУ освещением эти ИЭП являются интеллектуальными компонентами, подключаемыми к каналу управления (серые линии связи на рис. 8.2) и через счетчик электроэнергии к силовой сети. Счетчик электроэнергии также является интеллектуальным прибором, подключенным к шине интерфейса, и может посылать информацию в диспетчерский пункт.

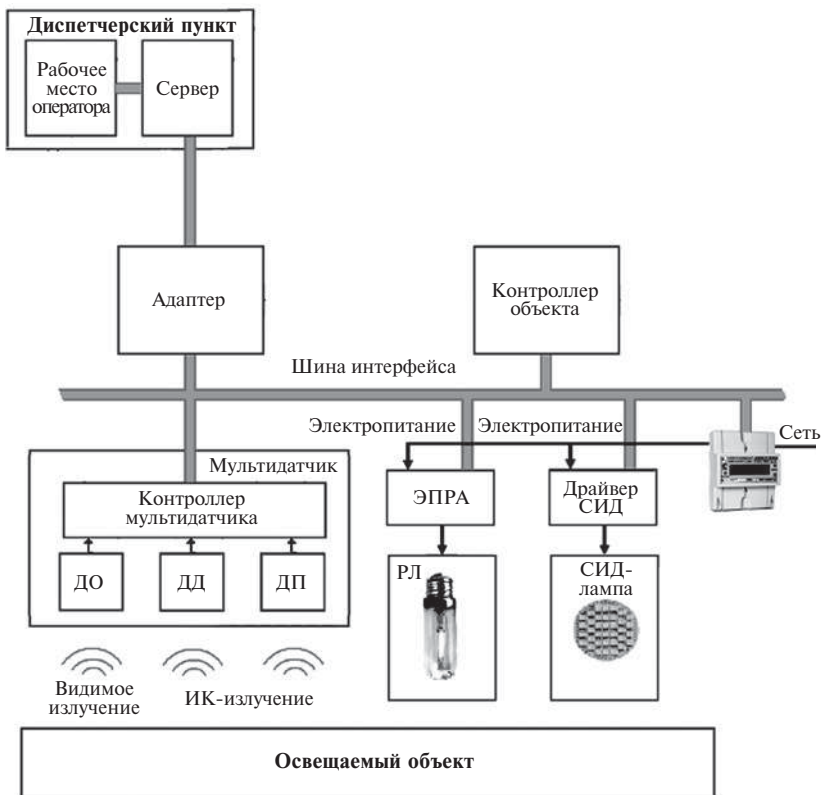


Рис. 8.2. Структура АСУ освещением

Лампа вместе с ИЭП обеспечивает определенный уровень освещенности: нулевой, если ИЭП выключен, рабочий, если он включен и работает в номинальном режиме, и пониженный, зависящий от уровня сигнала, приходящего на ИЭП по цепи управления. Этот сигнал формируется контроллером объекта освещения после обработки информации, поступающей на контроллер от мультидатчика, содержащего несколько датчиков, сообщающих контроллеру об обстановке на объекте: уровнях естественной и искусственной освещенности (датчик освещенности ДО на рис. 8.2) и о присутствии там людей (датчик движения ДД или датчик присутствия ДП). Мультидатчик в системе АСУ — также интеллектуальный прибор, подключенный к шине интерфейса и передающий информацию контроллеру объекта или серверу диспетчерского пункта.

Контроллер объекта помимо обработки информации от мультидатчика формирует на ИЭП каждого обслуживаемого им светильника

управляющий сигнал, определяющий мощность, поступающую в лампы от сети питания. Кроме того, осуществляя мониторинг электрического режима ИЭП с помощью специальных электрических датчиков, контроллер формирует и пересылает в диспетчерский пункт информацию об исправности ИЭП и лампы. Он может передать также информацию о близком окончании срока службы РЛ (определяется по повышению напряжения на лампе), о перегреве светодиодной лампы, который может вызвать выход ее из строя, и о других аварийных или нестандартных ситуациях.

Конечно, контроллер объекта может решать и более сложные задачи. Например, при большой ширине цеха и одностороннем естественном освещении (окна с одной стороны) контроллер может по-разному регулировать световой поток в светильниках ближайшего к окнам ряда и удаленного от окон ряда, плавно изменяя световой поток при снижении уровня естественного освещения и выводя его на номинальный режим в вечернее время.

Следующим компонентом АСУ, изображенным на рис. 8.2, является шина интерфейса, по которой осуществляется обмен сигналами между всеми интеллектуальными компонентами АСУ. Хотя сама шина может быть достаточно простой (например, витой парой проводов), она является лишь первым уровнем в сложной системе обмена цифровой информацией. Кроме типа шины, при обмене информацией важна целая иерархия протоколов, которые определяют, какой смысл передающее устройство придает каждой группе импульсов в последовательности нулей и единиц, передаваемых по шине. И этот смысл не одинаков в разных типах интерфейсов, т.е. они «говорят на разных языках». Следовательно, в сети, где имеется несколько типов интерфейсов, должны быть «переводчики», адаптеры, которые переводят формат данных одного интерфейса в формат данных другого. Такой адаптер показан на рис. 8.2 при переходе сигнала с шины локального интерфейса на канал связи с диспетчерским пунктом, который, как мы предположили, имеет другой интерфейс. В сети есть различные сетевые устройства: размножающие сигналы, осуществляющие их промежуточную запись, промежуточные станции ретрансляторы, где «меняют почтовых лошадей», принимая и вновь повторяя сигнал с усилением его мощности.

Сервер диспетчерского пункта обрабатывает всю информацию, поступающую от описанных нами интеллектуальных устройств сети, представляет ее с помощью записанного в нем программного обеспечения в максимально понятной для оператора системе мнемосхем и преобразует принятые оператором решения в последовательность управляющих сигналов, которые доходят до ЭПРА и драйверов СИД. Кроме того, сервер осуществляет учет потребляемой электроэнер-

гии, оптимизирует ее потребление и распечатывает счета для оплаты электроэнергии ее поставщикам.

На рис. 8.2 показаны всего два светильника, чтобы не загромождать рисунок, на самом деле в зависимости от масштаба освещаемого объекта их может быть намного больше. Кроме того, было бы, наверное, расточительно использовать столь сложную систему только для оптимизации освещения здания, поэтому не удивительно, что интеллектуальными объектами в такой системе обычно становятся датчики и приборы систем водоснабжения, отопления, кондиционирования, телекоммуникации, систем пожарной и охранной сигнализации и всех других необходимых служб.

На рабочих станциях операторов в таком случае как на ладони видно «самочувствие» всех систем управляемого задания.

После краткого ознакомления со структурой и компонентами АСУ освещением целесообразно более подробно рассмотреть ее отдельные компоненты.

8.2. Интеллектуальные источники вторичного электропитания для энергосберегающего освещения

8.2.1. Интеллектуальные ИЭП

Интеллектуальными можно назвать источники питания с встроенным цифровым контроллером, осуществляющим выбор режима для системы управления силовой частью ИЭП, связь с датчиками обстановки на освещаемом объекте, обмен данными с удаленным диспетчерским пунктом по различным каналам связи и исполнение команд, поступающих с диспетчерского пункта. Контроллер может содержать один или несколько микропроцессоров. Структура такого ИЭП приведена на рис. 8.3.

Центральным звеном интеллектуального ИЭП является контроллер. Он получает сигналы от датчиков, системы управления и с канала связи с диспетчерским пунктом, обрабатывает их и формирует сигнал управления силовой частью ИЭП. Этот сигнал определяет режим работы и световой поток лампы любого типа (в последнее время осветительные приборы на базе СИД также стали называться лампами).

Датчики электрического режима источника питания могут давать информацию о состоянии ИЭП и лампы. При использовании РЛ датчики, контролируя рабочее напряжение на лампе, могут давать сигнал об окончании ее срока службы и необходимости ее замены или о снижении рабочего тока. Датчики температуры могут определять превышение температуры самого ИЭП, а при применении светодиод-

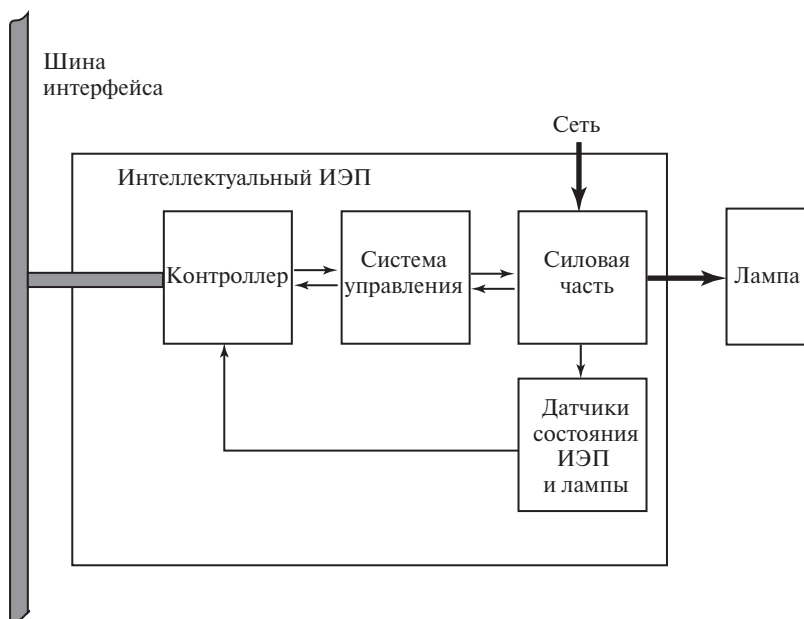


Рис. 8.3. Структура интеллектуального источника питания

ных ламп контролировать крайне важную температуру лампы или радиатора СИД.

Разработчикам доступен широкий выбор каналов проводной и беспроводной связи с возможностью использовать такие существующие сети, как мобильная связь и Интернет.

Информация, передаваемая в удаленный диспетчерский пункт, обрабатывается сервером и поступает на рабочее место диспетчера, где аварийные случаи наглядно отражаются в мнемосхемах, выводимых на дисплей. Аварийные случаи, требующие срочного вмешательства оператора, сопровождаются визуальными и звуковыми сигналами. При этом отключение неисправного прибора или снижение рабочего тока может осуществляться дистанционно: программными средствами сервера либо вручную с рабочего места оператора.

При необходимости цифровой сигнал для управления силовой частью может быть преобразован с помощью цифроаналогового преобразователя в аналоговую форму.

Таким образом, при наличии интеллектуального ИЭП управление светильником становится чрезвычайно гибким, существует возможность изменять алгоритмы управления световыми приборами с помощью программных методов, подстраивая их под требования конкретного потребителя.

Что необходимо знать об ЭПРА заказчику АСУ освещением. Заказчик АСУ освещением, очевидно, должен считать ИЭП для осветительных ламп «черным ящиком», оценивая качество прибора по форме потребляемого от сети тока, регулировочных характеристик по входу управления и по качеству выходных параметров ИЭП в отношении их влияния на КПД, долговечность и надежность светильника. Общее представление о средствах, которые использует разработчик для достижения высокого качества показателей ИЭП, также может помочь грамотно составить техническое задание на разработку проекта. Знания о том, что находится внутри «черного ящика» на уровне структурных схем, тоже могут оказаться полезными.

8.2.2. Требования к ИЭП, структура силовой части и способы регулирования выходных параметров источников электропитания

Исходя из специфики режима электропитания ИС, задач увеличения их срока службы, а также надежности, экономичности и удобства в использовании ИЭП должны обеспечивать выполнение определенного набора *технических требований*, к ним относятся:

зажигание лампы и выход на рабочий режим;

необходимый световой поток при минимально возможной потребляемой мощности;

стабилизация тока лампы или мощности, потребляемой лампой;

требуемые значения коэффициента амплитуды при питании переменным током и коэффициента пульсаций при питании постоянным током для повышения долговечности ИС;

защита при аномальных режимах (при неисправности лампы, ее отсутствии или коротком замыкании);

электромагнитная совместимость с сетью (помехозащищенность и низкий уровень помехоэмиссии);

общетехнические требования (пожаробезопасность, электробезопасность, стойкость к механическим воздействиям, показатели надежности и пр.).

Типовая структура ИЭП изображена на рис. 8.4. Она содержит несколько блоков с четко обозначенными функциями: *входной фильтр 1* — ограничение помехоэмиссии (высших гармоник тока и

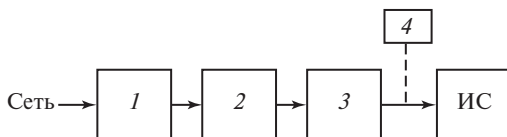


Рис. 8.4. Структура силовой части ИЭП

радиопомех, генерируемых ИЭП) и защита от внешних помех; *корректор коэффициента мощности 2* — коррекция формы потребляемого сетевого тока; *преобразователь 3* — формирование и регулирование тока лампы; *устройство зажигания 4* — генерирование импульсов высокого напряжения для зажигания РЛ высокого и сверхвысокого давления.

Для защиты от импульсных перенапряжений и токов короткого замыкания применяются аппараты защиты: ограничитель перенапряжений (обычно варистор) и плавкий предохранитель. Защитные приборы приведены на схеме сетевого фильтра (рис. 8.5). Обычно используется П-образный фильтр (или двойной П-образный фильтр) из индуктивных катушек и конденсаторов, обеспечивающий подавление как дифференциальных, так и синфазных помех.

Следует отметить, что иногда производители ИЭП используют схемы, в которых функции формирования и регулирования тока объединены с функциями формирования тока сети. Упрощение схемы, как правило, приводит к снижению коэффициента мощности и ухудшает форму тока, питающего лампу. В маломощных ИЭП (менее 20 Вт) либо функции коррекции тока отсутствуют, либо используются схемы пассивной коррекции.

Высокоэффективные ИС (РЛ и СИД) являются нелинейной активной нагрузкой, электрическая проводимость которой есть функция тока, температуры и времени. Вольт-амперная характеристика (ВАХ) таких приборов имеет в отличие от ЛН пологие участки и участки с отрицательным полным сопротивлением. Питание таких потребителей по условиям обеспечения устойчивости должно осуществляться от ИЭП с ВАХ источника тока. Традиционно такая характеристика создавалась с помощью реактора, включенного в цепь переменного тока последовательно с нагрузкой, либо резистивного балласта, включенного последовательно с нагрузкой в цепь постоянного тока. Однако такие решения ИЭП низкоэффективны из-за повышенных потерь мощности, низкой стабильности выходных параметров (что

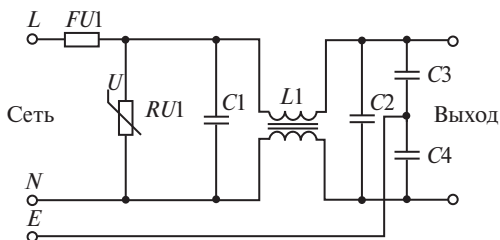


Рис. 8.5. Схема входного фильтра ИЭП

ведет к уменьшению срока службы ИС), большой массы и трудности в управлении.

В настоящее время для питания высокоэффективных ИС применяются ИЭП на управляемых полупроводниковых ключах. Эти источники питания имеют большой потенциал в отношении их совершенствования, а также повышения экономической эффективности светотехнических установок.

Электромагнитные элементы работают в них на повышенной частоте, что позволяет уменьшить их габаритные размеры и повысить их КПД. Легкость регулирования мощности ИС и стабилизации электрического режима является преимуществом таких устройств.

Современные полупроводниковые ключевые ИЭП позволяют качественно улучшить энергетические и эксплуатационные показатели светотехнических установок (увеличение КПД, уменьшение собственных габаритных размеров, повышение долговечности ламп и светильников, комфортность освещения).

В качестве управляемых полупроводниковых ключей, как правило, используются полевые транзисторы с изолированным затвором — МДП-транзисторы (MOSFET). Управление такими приборами осуществляется напряжением. Потребление мощности по цепи управления незначительно и имеет место только на этапе включения транзистора. Значение отпирающего напряжения — не более 15 В, что позволяет управлять приборами непосредственно от маломощных микросхем (драйверов). Неуправляемые ключи — диоды, обычно высокочастотные.

Существует несколько базовых схем регулируемых преобразователей, применяемых в ИЭП для формирования тока лампы. Это импульсные преобразователи постоянного тока (DC/DC) и автономные инверторы (DC/AC), схемы которых приведены соответственно на рис. 8.6 и 8.7.

Электропитание люминесцентных, натриевых и металлогалогенных ламп осуществляется переменным током из-за существующих явлений электрофореза в лампах на парах металла. В современных ИЭП эти лампы получают питание от автономного инвертора. Для питания СИД используются импульсные преобразователи постоянного тока.

Регулирование выходных параметров (тока, напряжения) преобразователей осуществляется путем изменения длительности проводящего состояния силового транзистора $t_{\text{вкл}}$ по отношению к периоду модуляции T (широтно-импульсная модуляция — ШИМ) или изменением частоты (частотно-импульсная модуляция — ЧИМ). Обычно используется параметр $D = t_{\text{вкл}}/T$ — коэффициент заполнения (англ. Duty cycle).

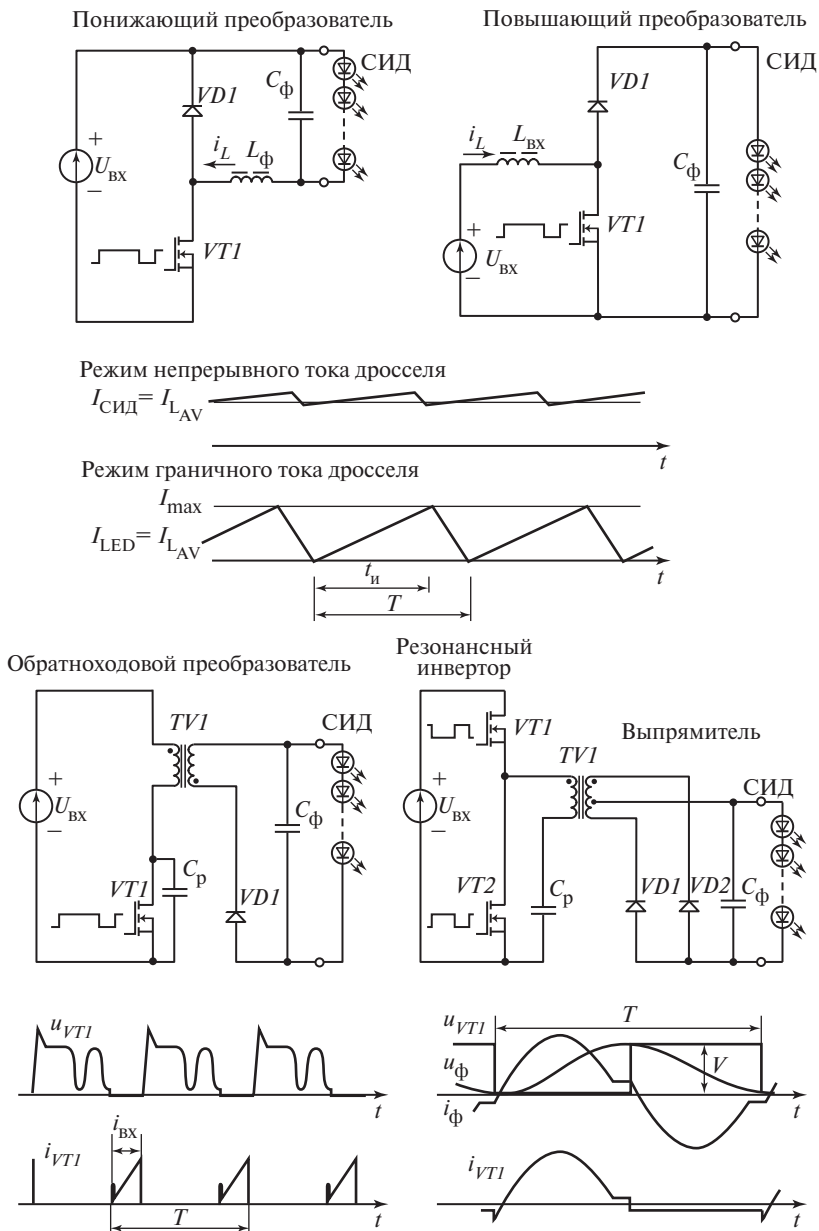


Рис. 8.6. Импульсные преобразователи постоянного тока

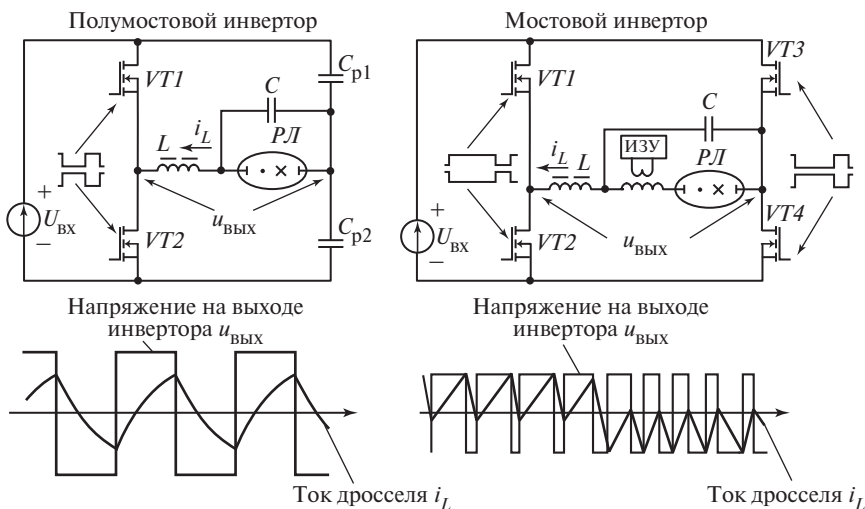


Рис. 8.7. Автономные инверторы напряжения

Для реализации гальванической развязки, необходимость в которой возникает при согласовании уровней напряжения источника электроэнергии и нагрузки либо по требованиям электробезопасности, в ИЭП используется трансформатор. Базовые схемы преобразователей постоянного тока (обратноходовой и DC/DC преобразователи на основе резонансного инвертора) приведены на рис. 8.6.

Силовая часть ККМ, формирующего сетевой ток ИЭП, как правило, выполняется по схеме повышающего преобразователя. Функции ККМ в относительно маломощных устройствах (до 100 Вт) обычно совмещают с функциями стабилизатора тока или напряжения при использовании обратноходового преобразователя (см. рис. 8.6).

Для сглаживания пульсаций тока нагрузки и тока, потребляемого от сети, применяются обычно индуктивные (L -), емкостные (C -) и индуктивно-емкостные LC -фильтры.

Для повышения КПД ИЭП стремятся уменьшить потери мощности в силовых элементах и управляющих микросхемах, при этом наиболее эффективны:

1) применение современной элементной базы, обеспечивающей снижение потерь мощности. Это, прежде всего, касается силовых ключей: МДП-транзисторов с высокими динамическими параметрами (с малыми значениями времени включения/выключения и входной емкости); высокочастотных диодов с низким уровнем накопленного заряда на этапе прямой проводимости. Использование

магнитных материалов и конденсаторов с низким уровнем удельных потерь, многожильных намоточных проводов типа литцендрат;

2) применение схем и режимов управления, обеспечивающих «мягкую» коммутацию силовых ключей при нулевом значении напряжения (ZVS) и нулевом значении тока (ZCS) (квазирезонансные и резонансные схемы), и технологии синхронного выпрямления.

На практике стандартным решением является использование топологии полумоста в понижающем и повышающем DC/DC-преобразователе, в котором применяются технологии синхронного выпрямления и квазирезонансной коммутации. Наибольший эффект снижения динамических потерь достигается в данном случае при использовании знакопеременного тока в выходном (входном) дросселе.

Наиболее популярными преобразователями постоянного тока, реализующими гальваническую развязку нагрузки от сети, по условиям низких потерь на повышенных частотах являются обратноходовой квазирезонансный преобразователь и DC/DC-преобразователь на базе полумостового последовательного резонансного инвертора. В обеих схемах применяются технология синхронного выпрямления на вторичной стороне трансформатора и режимы «мягкой» коммутации транзисторов.

Сущность синхронного выпрямления заключается в замене диода на этапе проводящего состояния полевым транзистором. В результате прямое падение напряжения на транзисторе значительно меньше, чем в диоде, рассчитанном на тот же рабочий ток. Успех синхронного выпрямления обусловлен снижением стоимости силовых МДП-транзисторов, а также значительным уменьшением сопротивления открытого канала.

Рассмотренные выше способы снижения собственных потерь мощности в совокупности с конструктивными решениями эффективного отвода тепла от преобразователя позволяют увеличить КПД преобразования, а также снизить температуру блока источника питания и соответственно повысить срок службы ИЭП и ИС.

8.2.3. Определение качества регулируемого ИЭП для питания ИС по измерениям электрических параметров на его входах и выходах

Регулируемый ИЭП, схема подсоединения которого к другим компонентам системы освещения приведена на рис. 8.8, кроме сетевого входа и выходов, к которым подсоединяются ИС, должен иметь еще входы управления. Пользователь может осуществлять измерения тока и напряжения на всех выводах, показанных на рис. 8.8, как с помощью приборов, измеряющих средние и действующие значения величин, так и с помощью осциллографа.

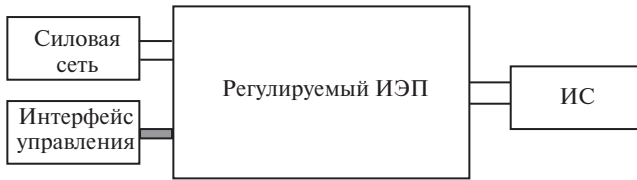


Рис. 8.8. Схема подключения регулируемого ИЭП к компонентам системы освещения

Мы привели здесь обобщенную схему, в которой ИС могут быть люминесцентная лампа, ртутные, натриевые и металлогалогенные лампы или лампы на основе СИД. Измеряя входные и выходные токи, напряжения и активную мощность, можно определить КПД устройства, степень стабилизации тока и мощности при допустимых изменениях сетевого напряжения в рабочих режимах. Имея осциллограммы тока и напряжения сети, можно оценить степень искажения тока, определяющую коэффициент мощности. Измеряя входной сигнал управления или задавая код цифрового сигнала управления, можно получить регулировочную характеристику по выходному току, мощности или световому потоку.

Источники электропитания, предназначенные для пуска и питания разных ламп, различаются между собой режимами включения, которые они должны обеспечивать. Для РЛ требуется кратковременное повышение напряжения для инициирования разряда. Для увеличения срока службы ЛЛ необходим предварительный разогрев электродов. Натриевые и металлогалогенные лампы до выхода в рабочий режим несколько минут работают в режиме пускового тока. Светодиодные лампы не имеют подготовительного режима и выходят в рабочий режим сразу после включения без иницирующих импульсов.

В рабочем же режиме большинство электронных ИЭП, предназначенных для питания ламп, являются стабилизаторами тока или стабилизаторами мощности, что обеспечивается в основном обратными связями в ИЭП. Определить качество любого ИЭП в рабочем режиме можно, измеряя напряжения и токи на входе и выходе.

В качестве примера рассмотрим экспериментально полученные параметры двухлампового ЭПРА для ЛЛ при номинальном напряжении сети и верхнем и нижнем его отклонениях в допустимых пределах [35].

Из приведенных данных следует, что ЭПРА поддерживает неизменные значения тока и мощности лампы при изменении напряжения сети в нормированных пределах, что является существенным преимуществом ЭПРА по сравнению с постепенно уходящими в прошлое электромагнитными пускорегулирующими аппаратами. Потери

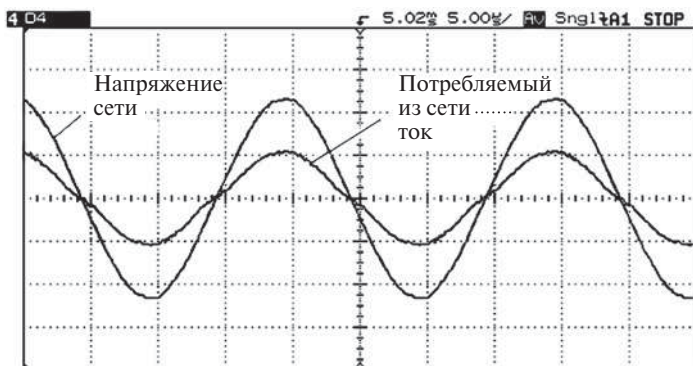


Рис. 8.9. Осциллограммы сетевого напряжения и потребляемого тока

Таблица 8.1

Результаты испытаний двухлампового ЭПРА для ЛЛ

Напряжение сети U , В	Потребляемая мощность P , Вт	Потребляемый ток I , А	Коэффициент мощности	Напряжение на лампе $U_{л}$, В	Ток лампы $I_{л}$, А	Мощность лампы $P_{л}$, Вт	Потери мощности в ЭПРА, Вт	КПД
220	85	0,39	0,98	107	0,37	39,59	5,85	0,93
250	85	0,35	0,98	107	0,37	39,59	5,80	0,93
190	85	0,46	0,98	107	0,37	39,59	5,95	0,92

мощности в ЭПРА несколько увеличиваются из-за роста потребляемого тока при понижении сетевого напряжения. Напряжение на лампе определяется током лампы и поэтому также остается постоянным, и мощность лампы вследствие этого также не изменяется. Коэффициент мощности поддерживается на достаточно высоком уровне (0,98).

На рис. 8.9 приведены осциллограммы входного тока и напряжения рассматриваемого ЭПРА, которые показывают, что комплект ЭПРА — лампа почти не отличается по характеристикам от линейной активной нагрузки. Такой характер осциллограмм будет наблюдаться во всех ИЭП, предназначенных для питания ИС, поскольку он определяется встроенным в ИЭП корректором коэффициента мощности.

Если входные характеристики ИЭП для всех типов ламп будут похожи на представленные выше, то осциллограммы выходного тока и напряжения существенно зависят от типа ИС. Рассмотрим далее эти особенности ИЭП для трех типов ламп.

8.2.4. Электронные пускорегулирующие аппараты для ЛЛ

Ток ЛЛ регулируется с помощью инвертора. В аппаратах, питание которых осуществляется от сети переменного тока, как правило, используется полумостовая схема инвертора (см. рис. 8.7). Ток лампы регулируется не только изменением частоты выходного напряжения инвертора, но и изменением его входного напряжения, а также с помощью широтно-импульсного регулирования. Для обеспечения стабильного горения лампы во всем диапазоне регулирования необходимо, чтобы термоэмиссия электронов с электродов была достаточной для поддержания разряда во всем диапазоне изменения тока.

Осциллограммы выходного тока и напряжения ЭПРА. Электронные пускорегулирующие аппараты, в отличие от электромагнитных балластов, работают на повышенной частоте. Особенность горения разряда на повышенной частоте заключается в том, что чем выше частота питающего напряжения, тем меньше деионизируется плазма и остывают электроды к моменту перезажигания. Концентрация электронов практически не успевает измениться в течение полупериода. Проводимость лампы в течение периода изменяется незначительно. Ток лампы близок к синусоидальному и совпадает по фазе с напряжением (рис. 8.10).

Увеличение частоты напряжения, подаваемого на ЛЛ, позволяет обеспечить более мягкий режим эксплуатации электродов благодаря отсутствию перезажигания, что приводит к увеличению срока их службы. Кроме того, при повышении частоты (более 400 Гц) глаз перестает фиксировать изменения светового потока и, следовательно, исчезает стробоскопический эффект. При выходе же за звуковые частоты (более 20 кГц) становится неслышным также шум, производимый магнитными элементами ИЭП.

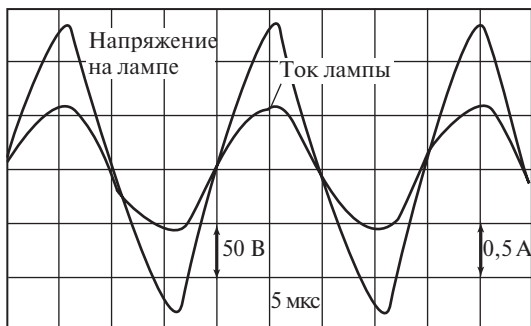


Рис. 8.10. Осциллограммы тока и напряжения ЛЛ при работе в режиме регулирования светового потока (диммирования) на повышенной частоте (50 кГц)

Процесс пуска ЛЛ. Пуск ЛЛ имеет два этапа (рис. 8.11): этап прогрева электродов $t_0—t_1$; этап зажигания $t_1—t_2$.

Управление транзисторами инвертора ЭПРА осуществляется контроллером, который может быть выполнен на базе драйвера (специализированной микросхемы) либо на базе микроконтроллера и драйвера. Частота f выходного напряжения инвертора ($U_{\text{инв}}$) изменяется в процессе пуска лампы по алгоритму, показанному на рис. 8.11. На интервале $t_0—t_1$ она поддерживается неизменной для обеспечения прогрева электродов лампы, а затем на интервале $t_1—t_2$ плавно уменьшается до значения, близкого к резонансной частоте f_0 , которая

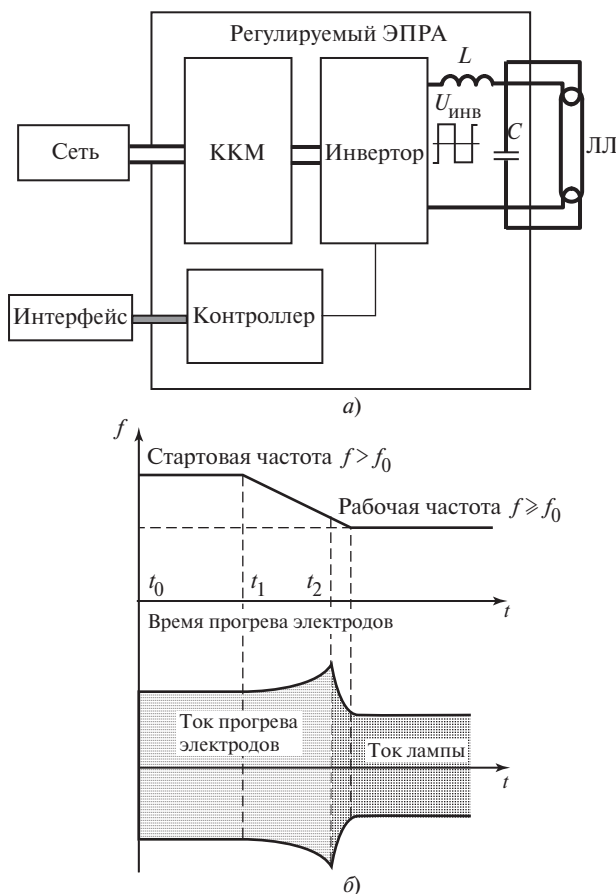


Рис. 8.11. Структура (а) и временные диаграммы работы (б) регулируемого ЭПРА ЛЛ

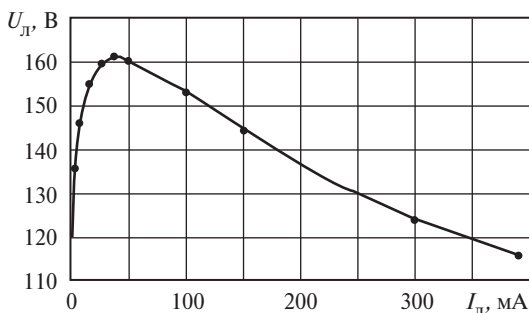


Рис. 8.12. Вольт-амперная характеристика ЛЛ Т8-32W, измеренная в процессе диммирования

определяется параметрами последовательного LC -контура. По мере приближения частоты к резонансной растет ток в контуре, напряжение на лампе в момент t_2 достигает напряжения пробоя, и лампа зажигается. Длительность предварительного прогрева электродов задается контроллером из условия оптимального прогрева электродов к моменту зажигания. Рабочий режим определяется статической вольт-амперной характеристикой ЭПРА и ЛЛ.

Регулирование тока лампы. Регулирование тока лампы и соответственно светового потока осуществляется изменением частоты выходного напряжения инвертора. При возрастании частоты изменяется полное сопротивление выходной LCR -цепи инвертора, включая сопротивление лампы и электродов, уменьшается емкостное сопротивление конденсатора, шунтирующего лампу. Ток в лампе уменьшается. Действующее значение напряжения на лампе изменяется согласно статической ВАХ (рис. 8.12) [36]. Благодаря уменьшению емкостного сопротивления цепи, в которую включены электроды, их ток, равный сумме токов шунтирующего конденсатора и лампы, поддерживает термоэмиссию электродов на достаточном для горения лампы уровне. При глубоком регулировании тока лампы используются вспомогательные цепи питания электродов.

8.2.5. Электронные пускорегулирующие аппараты для ртутных, натриевых и металлогалогенных ламп высокого давления

Электропитание дуговых ламп высокого давления (ртутных, натриевых и металлогалогенных) может производиться током повышенной частоты подобно тому, как это делается для ЛЛ. Однако создание высокочастотных ЭПРА с функцией диммирования для таких ламп вызывает трудности, связанные с тем, что при изменении

частоты в этих лампах может возникать так называемый акустический резонанс, т.е. механический резонанс на звуковых частотах. Наступление такого режима сопровождается нестабильностью разряда и светового потока лампы, локальным перегревом стенок разрядной трубки, приводящим к возможному ее растрескиванию.

Ступенчатое диммирование натриевых и металлогалогенных ламп. Известна, однако, возможность осуществлять ступенчатое снижение мощности лампы примерно вдвое, обеспечивая вечерний и ночной режимы освещения путем подбора частоты таким образом, что в режимах обеих ступеней акустический резонанс наблюдаться не будет [37].

Входные и выходные характеристики такого ЭПРА для натриевой лампы ДНаТ250, представленные в табл. 8.2 для режимов номинальной и пониженной мощности, показывают, что показатели качества ЭПРА для ДНаТ и для ЛЛ примерно одинаковые.

На рис. 8.13 представлен процесс перехода лампы из режима номинальной в режим пониженной мощности. Осциллограмма тока имеет вид сплошной области, поскольку на одном периоде сети укладывается около 400 периодов ВЧ-колебаний тока лампы. Как видно из осциллограммы, переходный процесс занимает ничтожную часть периода сетевого напряжения.

Плавное диммирование натриевых и металлогалогенных ламп. Как показано в [38], процесс диммирования можно сделать и плавным, не рискуя при этом перейти в режим акустического резонанса. Для этого необходимо использовать ЭПРА с низкочастотным выходным током ($f = 70 \div 1000$ Гц) прямоугольной формы. Это возможно при высоких промежуточных частотах преобразования (десятки, сотни кГц). В этом случае на выходе инвертора ЭПРА

Таблица 8.2

Результаты испытаний ЭПРА для ДНаТ250

Напряжение сети U , В	Потребляемая мощность P , Вт	Потребляемый ток I , А	Коэффициент мощности	Напряжение на лампе $U_{л}$, В	Ток лампы $I_{л}$, А	Мощность лампы, Вт	Потери мощности в ЭПРА, Вт	КПД
<i>Режим полной мощности</i>								
220	272	1,26	0,98	100	2,55	250	22	0,92
250	266	1,10	0,97	100	2,55	250	16	0,94
190	279	1,50	0,98	100	2,55	250	29	0,90
<i>Режим пониженной мощности</i>								
220	109	0,52	0,96	71,5	1,41	100,82	8,18	0,91

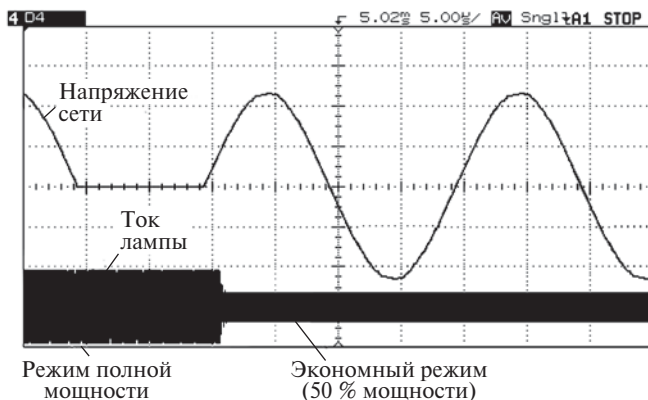


Рис. 8.13. Осциллограммы сетевого напряжения и тока лампы в режиме переключения мощности

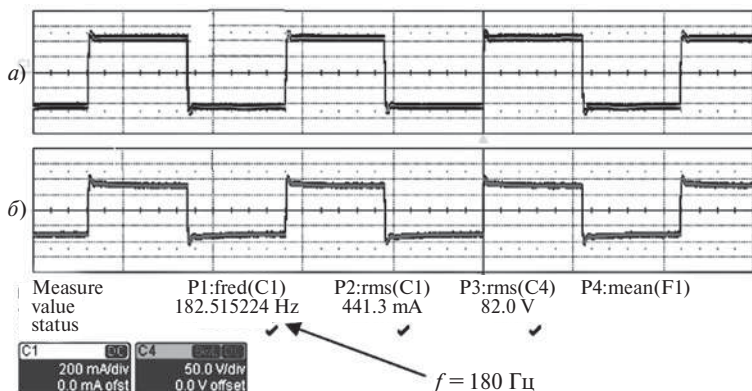


Рис. 8.14. Осциллограммы тока (а) и напряжения (б) МГЛ при работе от низкочастотного ЭПРА

генерируется последовательность высокочастотных импульсов, как это показано, например, на рис. 8.7, ширина и частота (100—200 кГц) которых определяются замкнутой системой регулирования тока лампы. Благодаря низкочастотному фильтру, подключенному к выходу инвертора, высокочастотные пульсации тока сглажены, а ток и напряжение на лампе имеют форму меандра — «квадратной волны» (square wave). На рис. 8.14 представлены осциллограммы тока и напряжения лампы в таком ЭПРА. Видны высокочастотные пульсации на плоской части кривых. Уровень этих пульсаций не должен быть слишком велик, чтобы не инициировать акустический резонанс.

Режим пуска металлогалогенных и натриевых ламп. Алгоритм выхода на рабочий режим лампы в схеме с прямоугольной формой тока представлен на рис. 8.14. Зажигание лампы может осуществляться на частоте резонанса и с помощью импульсного зажигающего устройства (ИЗУ), принцип работы которого заключается в подключении предварительно заряженного конденсатора через управляемый тиристор или динистор к первичной обмотке специально спроектированного трансформатора, вторичная обмотка которого включена последовательно с лампой. Соотношение между витками обмоток таково, что на вторичной обмотке наводится высокое напряжение (4 кВ), превышающее напряжение пробоя РЛ.

После зажигания процесс выхода РЛ в рабочий режим занимает несколько минут. Для исключения погасания «холодной» лампы процесс ее разгорания некоторое время происходит на постоянном токе с переходом далее на переменный прямоугольный ток. Пусковой ток несколько превышает номинальное значение тока лампы. По мере нагрева напряжение на лампе повышается примерно от 20—30 В до номинального значения (80—100 В для металлогалогенных и натриевых ламп мощностью 70—250 Вт). При достижении мощностью, потребляемой лампой, номинального значения система регулирования переходит в режим стабилизации мощности, регулируя ток лампы в зависимости от изменения ее электрической проводимости.

Если лампа гаснет в процессе работы, то для ее зажигания в горячем состоянии требуется напряжение около 30 кВ, поэтому приходится ждать 2—5 мин, пока она остынет, чтобы давление паров в ней и соответственно напряжение пробоя снизились. Импульсы зажига-

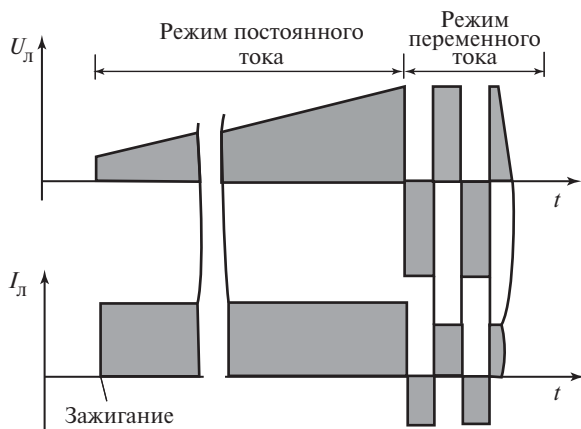


Рис. 8.15. Временные диаграммы тока лампы I_L и напряжения на ней U_L после зажигания на этапе разгорания лампы

ния в режиме ожидания подаются периодически на несколько секунд через равные интервалы времени. Режимы зажигания, выхода на рабочий режим, повторного зажигания, ограничения тока и стабилизации мощности управляются контроллером ЭПРА.

Режим работы и состояние лампы контролируются путем измерения ее тока и напряжения. По изменению этих параметров судят о процессе старения лампы, при необходимости данные об этом передаются диспетчеру с использованием имеющегося интерфейса.

Следует отметить, что для ламп высокого давления не допускается глубокое диммирование в отличие от люминесцентных и светодиодных ламп.

8.2.6. Устройства управления СИД

Вольт-амперные характеристики СИД (рис. 8.16) имеют такой же вид, как и прямые ветви характеристик обычных диодов, за исключением того, что значение прямого падения напряжения несколько выше. Из-за сильной зависимости тока СИД от напряжения для их питания используют ИЭП с характеристикой источника тока. Кроме того, электрические и световые характеристики СИД существенно зависят от температуры. Так, при заданном токе падение напряжения на СИД и его световой поток уменьшаются с ростом температуры [39]. При повышении температуры также сокращается срок службы, который определяется по снижению светового потока. Рекомендуется не превышать номинальные значения тока СИД, а значит предъявляются высокие требования к стабильности выходного тока ИЭП.

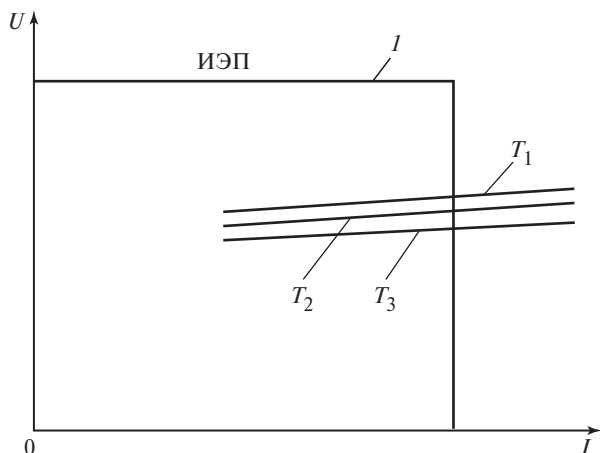


Рис. 8.16. Вольт-амперные характеристики ИЭП (линия I) и светодиодной лампы при трех разных температурах $T_1 < T_2 < T_3$

Для создания светодиодной лампы определенной мощности СИД соединяются последовательно. Наиболее популярные схемы включения СИД показаны на рис. 8.6. Питание СИД обычно выполняется по двухкаскадной схеме, в которой на выходе первого каскада (ККМ) стабилизируется напряжение, а второй каскад является стабилизатором тока диодной лампы. При питании маломощных светодиодных ламп, как правило, применяется однокаскадная схема, в которой функции ККМ и стабилизатора тока объединены.

В мощных светильниках используется параллельно-последовательное соединение СИД. В этом случае для каждой последовательной светодиодной цепи устанавливается свой регулятор постоянного тока (как правило, это понижающий преобразователь), который подсоединяется к источнику стабильного напряжения. Внешняя характеристика ИЭП СИД имеет два участка: стабилизации тока и ограничения напряжения. Регулирование выходных параметров осуществляется контроллером. Кроме того, контроллер обеспечивает функции защиты при возникновении режимов короткого замыкания на выходе ИЭП.

Зависимость световой отдачи СИД от электрического режима. Следует отметить, что у СИД нормируется не световая отдача, а световой поток при номинальном токе, поэтому значение световой отдачи для конкретного диода зависит от прямого падения напряжения на нем при номинальном токе. Чем выше падение напряжения, тем выше мощность и меньше световая отдача. Поэтому в процессе производства СИД осуществляется автоматическая сортировка диодов по прямому падению напряжения [40].

Регулирование светового потока СИД. Существуют два способа регулирования светового потока в светодиодных лампах, с помощью которых можно осуществить снижение светового потока до нулевого значения (рис. 8.16). Первый способ — аналоговое регулирование, представляющее собой изменение среднего значения тока. К сожалению, данный метод имеет два существенных недостатка. Во-первых, яркость СИД не полностью пропорциональна току и, во-вторых, длина волны (а следовательно, и цвет) излучения сдвигается по мере того, как происходит изменение значения тока СИД по отношению к номинальному. Двух этих явлений в большинстве случаев следует избегать.

Второй, более предпочтительный способ — это широтно-импульсное регулирование при достаточно высокой частоте импульсов, превышающей 300 Гц. При таком регулировании необходимо, чтобы во время импульса диод очень быстро выходил на номинальную амплитуду рабочего тока и так же быстро выключался при паузе. При этом человеческий глаз не фиксирует колебаний с частотой, превышающей 80 Гц. На интервале активности диода значение тока в нем

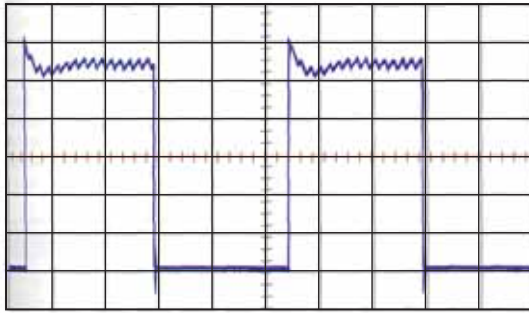


Рис. 8.17. Форма тока через СИД при работе в режиме импульсного диммирования

должно по-прежнему поддерживаться импульсным стабилизатором тока. Как показано в [41], такой режим можно осуществлять, например, шунтируя на время паузы открытым ключом светодиодную сборку. Стабилизатор тока при этом продолжает работу при малом коэффициенте заполнения и пониженной потребляемой мощности. Форма тока в диоде при таком режиме работы показана на рис. 8.17.

Как видно из рисунка, светодиодная лампа представляет собой при частоте несколько сот килогерц практически безынерционную нагрузку. Для самого стабилизатора тока режим импульсного регулирования СИД является режимом переключения нагрузки, который обрабатывается обратными связями.

8.3. Мультидатчики для систем освещения

Мультидатчики, предлагаемые потребителям на рынке в настоящее время, различаются по степени сложности. Для использования в АСУ освещением имеются интеллектуальные датчики различных фирм, в то же время существует множество относительно простых мультидатчиков, которые не предназначены для включения в АСУ освещением и обеспечивают простое дискретное управление светильниками (включение по сигналу датчика движения и выключение через установленное время по сигналу встроенного таймера). Эти датчики существенно дешевле и также имеют право на существование в бюджетных системах, обеспечивая значительную экономию.

Независимо от того, являются датчики интеллектуальными или нет, используемые в них сенсоры (чувствительные элементы) одинаковы. Рассмотрим кратко их свойства и физические основы их работы [42]. Для устранения путаницы в терминах будем называть чувствительные элементы сенсорами, оставив название датчиков за

комплексными устройствами. По функциям, выполняемым сенсором, можно выделить следующие основные группы датчиков: датчики движения, присутствия и освещенности. Датчики делятся на пассивные и активные в зависимости от того, содержат ли они помимо сенсора источник ультразвукового или электромагнитного излучения. Кроме того, они различаются по типу используемых сенсоров.

Пассивные PIR-датчики движения. В датчиках этого типа используется пьезоэлектрический эффект, заключающийся в том, что при изменении температуры некоторые материалы (например, турмалин) поляризуются и на короткое время на их поверхности появляются заряды, создающие электрическое поле. Это поле в достаточно короткое время компенсируется свободными зарядами, приходящими из объема самого материала и извне. Однако в эти короткие промежутки создается электрический сигнал, свидетельствующий об изменении температуры. Применяя определенные светофильтры, можно настроить датчики на частоту теплового излучения человеческого тела. При появлении человека температура этого чувствительного датчика изменяется и появляется электрический сигнал, который можно использовать для включения освещения. В качестве оптической системы датчика используют линзу Френеля, которая разбивает все пространство на чередующиеся активные и пассивные зоны. При движении человек попадает в различные зоны пространства, поэтому на выходе чувствительного элемента генерируется электрический сигнал, который на всем интервале движения не дает запуститься таймеру, выключающему контактор через определенное время. После ухода человека из контролируемого датчиком пространства сигнал исчезает и запускается таймер, который спустя установленное время задержки формирует сигнал на выключение контактора.

Активные ультразвуковые датчики движения содержат ультразвуковой генератор и приемник. Датчик излучает ультразвук, а затем принимает его отражение от окружающих предметов. Это локатор, подобный локатору летучей мыши. Ультразвук, отраженный от движущихся предметов, изменяет исходную частоту, и это изменение зависит от скорости движения предметов. Далее события происходят по тому же алгоритму включения и выключения, что и при использовании PIR-датчика.

Активные микроволновые датчики движения также осуществляют локацию, но не звуковую, а электромагнитную в микроволновом (СВЧ) диапазоне и действуют по описанному алгоритму. Однако частота СВЧ-излучения меняется при отражении от движущихся объектов. При этом перемещающиеся потоки воздуха также могут ошибочно восприниматься датчиком как движущиеся люди.

Шумовой датчик движения имеет встроенный микрофон в качестве чувствительного элемента. Зачастую он сочетается в датчиках движения с сенсорами других типов. Поскольку шум может быть создан не только человеком, выходящим из лифта, но и целым рядом других источников звука, датчики настраиваются на пониженную чувствительность, и человек, появившись, должен включить свет, хлопнув в ладоши или громко заговорив.

Датчики присутствия, как и датчики движения, разрабатываются для помещений с постоянным пребыванием людей (комнат, офисов, лабораторий и др.). В помещениях такого типа люди могут в течение долгого времени сидеть на одном месте, совершая минимум движений, поэтому чувствительность датчиков должна быть увеличена.

Наиболее широко в качестве датчиков присутствия применяются PIR-датчики, чувствительность которых повышена благодаря использованию более дорогой линзы, имеющей большое количество достаточно узких активных зон. Тогда движение рук и головы человека, находящегося на одном месте, опознаются датчиком как присутствие человека.

Существуют датчики присутствия, которые при подключении к ним регулируемых ЭПРА или устройств питания СИД осуществляют не только включение/выключение светильника, но и функцию регулирования его светового потока, т.е. его уменьшения аналоговым либо цифровым способом.

Если в помещении в дневное время достаточно естественного освещения, то датчики движения и присутствия необходимо оснастить и сенсорами освещенности, по сигналу которых в дневное время будет отключаться искусственное освещение независимо от присутствия людей. Как правило, датчики помимо автоматического имеют и ручное управление с помощью кнопки или беспроводного пульта управления. С помощью такого управления они могут быть включены, но выключение все равно проходит в автоматическом режиме, иначе смысл датчика теряется.

Если естественного освещения недостаточно, то оно дополняется искусственным даже в дневное время. Это бывает, например, в больших производственных помещениях, в которых окна расположены с одной стороны. В этом случае сенсоры освещенности могут измерять полную освещенность либо ее искусственную или естественную составляющую.

Типовые параметры, требующие настройки: чувствительность датчика, время задержки выключения, пороговые значения освещенности.

Поскольку в состав датчика входит реле, подключение нагрузок к одному датчику ограничено максимальным допустимым током. Но при необходимости с помощью реле можно, конечно, включать контактор, увеличивая число подключаемых ламп.

Количество различных модификаций датчиков для освещения велико, поскольку выпускающие фирмы стремятся учитывать специфику задач, стоящих перед разными потребителями. Здесь были рассмотрены общие проблемы энергосбережения, при решении же практических задач невозможно обойтись без анализа материалов конкретных фирм-разработчиков.

Мультидатчик объединяет в одном корпусе датчики присутствия, освещенности и контроллер для связи с интерфейсом. Как правило, датчик присутствия является пассивным ИК-детектором движения, а датчик освещения представляет собой фотодиод, работающий в области видимого света. Размер области наблюдения датчика зависит от высоты его установки.

Очень часто в такие датчики встроены ИК-приемники, и тогда их можно использовать для открытия/закрытия жалюзи, осуществлять регулирование или включение/выключение освещения, а также выбирать сценарий, позволяющий включить/выключить определенные группы светильников, открыть/закрыть жалюзи, установить заданный в сценарии уровень освещенности в помещении. Формирование сценариев разгружает интерфейс, поскольку при этом нужно передавать на локальное интеллектуальное устройство датчика только номер сценария, а не подробную информацию по его реализации, которая записана в программе датчика.

То, что предлагают в настоящее время производители в качестве датчика для освещения, является на самом деле устройством, совмещающим несколько датчиков с коммутационным устройством и электронной схемой, реализующей определенный алгоритм включения и отключения или регулирования освещенности в ответ на сигналы от внешней среды (изменение уровня естественного освещения, появление или присутствие человека). В более дорогие датчики встроены еще и микроконтроллеры, что делает светильник с таким датчиком интеллектуальным объектом, который может обмениваться информацией с другими датчиками, образуя простейшие сети сервер—клиент и сервер—сервер [43].

Структурная схема датчиков для дискретного управления приведена на рис. 8.18. Основным звеном этой структуры служит устройство управления, которое обрабатывает сигналы датчиков и формирует управляющие сигналы на включение реле и таймера. Устройство управления может быть построено на простых и дешевых логических схемах, реализующих алгоритм, определяемый жесткой логикой.

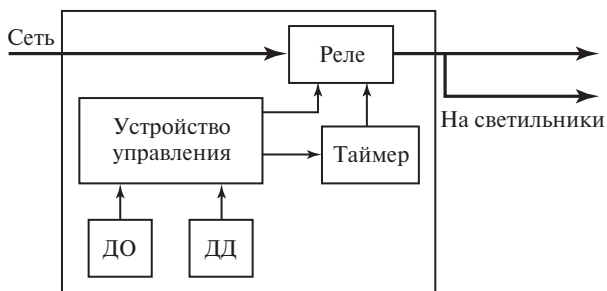
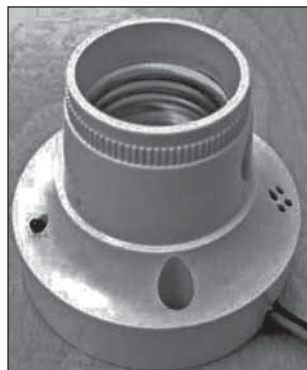


Рис. 8.18. Структурная схема датчика для дискретного управления

Рис. 8.19. Датчики освещенности и шумовой датчик приближения, смонтированные в патроне

Габаритные размеры такого устройства невелики, и оно может разместиться в патроне (рис. 8.19) для ЛН или КЛЛ. Их можно использовать не только на площадках перед лифтами, но и при освещении подъездов, лестничных маршей, в туалетах и ванных комнатах квартир и в других местах, где люди появляются на короткое время. Наибольшую экономию приносит установка их во вспомогательных помещениях, где обслуживающий персонал появляется очень редко, и невыключенный светильник может гореть месяцами.



Задачу можно упростить, встроив в светильник контроллер и приемопередающее устройство и обеспечив программирование необходимых чувствительности и порога срабатывания датчиков с переносного пульта управления по радиочастотному каналу связи. Контроллер может через передающее устройство вывести на дисплей пульта управления значения контролируемых параметров, реализуя таким образом канал двусторонней связи с пультом управления. Уже это простое устройство может реализовать наиболее эффективный способ экономии электроэнергии, достигающий по оценкам 50 % (см. рис. 8.1).

Для построения такой системы требуются минимальные затраты — необходимо заменить привычные осветительные устройства с ручным включением и выключением на автоматические системы с жесткой логикой управления. Такие системы могут быть построены на дешевых элементах и представляют собой автономные системы автоматического управления (САУ), на которых строились автоматиче-

ские устройства до появления программируемых микроконтроллеров и компьютеров. Недостатками таких систем являются их недостаточная гибкость и необходимость замены на новые элементы при изменении требований к системе освещения. В таких системах невозможны автоматический сбор и обработка данных, дистанционный контроль за состоянием всей осветительной системы, удаленное определение вышедших из строя приборов, учет потребленной электроэнергии и другие функции, осуществляемые АСУ.

8.4. Интерфейс и взаимодействие между интеллектуальными узлами системы освещения

8.4.1. Обмен информацией в АСУ освещением

Основным процессом, происходящим в АСУ освещением, является обмен информацией между различными интеллектуальными объектами информационной сети. Некоторые из таких объектов мы уже рассмотрели, но, для того чтобы выступать в роли заказчика интеллектуальной системы освещения, необходимо в общих чертах представлять себе, как движутся информационные потоки в АСУ, проходя от пункта диспетчерского управления к интеллектуальным ИЭП светильников и от мультитачкиков и ИЭП к серверу и рабочим станциям диспетчерского пункта.

Структура АСУ, представленная на рис. 8.2, является упрощенной потому, что сеть управления на нем показана просто линиями, хотя на самом деле отдельные ее участки могут иметь различную физическую основу и разные стандарты передачи данных. Как правило, в эту структуру необходимо дополнительно вводить сетевые приборы, обеспечивающие связь между интеллектуальными узлами системы освещения. Использование различных каналов связи в АСУ освещением отражено на рис. 8.20. Как видно из рисунка, в отдельных участках сети передача данных основана на различных физических процессах (передача по проводам, оптическим кабелям или разным типам радиоканалов). Сигнал может передаваться и по сети Интернет, в качестве которой на разных участках могут быть использованы локальные сети различной физической природы. Совокупность аппаратных и программных средств, предназначенных для обеспечения связи между элементами АСУ, принято называть интерфейсом (interface). Часто интерфейсом называют и какую-либо часть этой совокупности, ее аппаратные или программные элементы, при этом обычно из контекста ясно, о чем идет речь. Синонимом слова интерфейс является русский термин «сопряжение». Проблема сопряжения появилась вследствие того, что изначально разработкой программных и схемотехнических компонентов АСУ занимался целый ряд

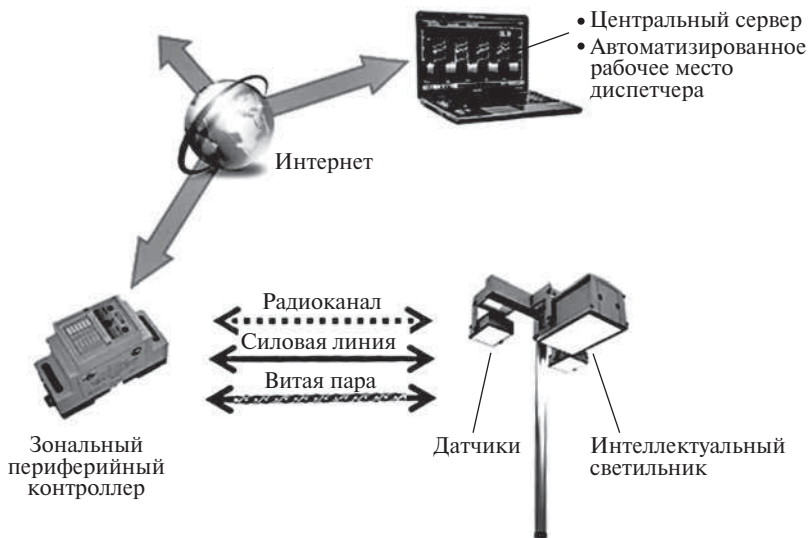


Рис. 8.20. Использование различных каналов связи в интеллектуальной системе управления освещением

Наименование массива информации или интерфейса	Уровень	Наименование протокола
Данные	Прикладной (доступ к сетевым службам)	TPFT
Данные	Представления (представление и кодирование данных)	PFT
Данные	Сеансовый (управление сеансом связи)	SMTP
Блоки	Транспортный (безопасное и надёжное соединение точка-точка)	TCP
Пакеты	Сетевой (маршрутизация и IP (логическая адресация))	IP
Кадры	Канальный (физическая адресация)	Ethernet
Биты	Физический (кабель, сигналы, передача битовой информации)	RS232, RS422, RS423, RS485

Рис. 8.21. Схема уровней идеальной модели OSI

фирм, каждая из них имела собственную идеологию построения систем передачи информации. По мере развития этой области техники существенно увеличилось число фирм, выпускающих различные компоненты и программные продукты и росла актуальность создания стандарта, позволяющего в рамках одной разработки сопрягать компоненты различных производителей, наиболее подходящие для конкретного проекта.

Международной организацией по стандартизации ISO была сформулирована и принята модель взаимодействия открытых систем OSI (Open system interconnection), которая сыграла и играет до сих пор важную роль в развитии сетей [44]. Открытость этих сетей заключается в том, что стандарты и технологии сопряжения для них не являются секретной информацией какой-либо компании, а изложены в документах, доступных для общего пользования.

Модель OSI имеет семь уровней (рис. 8.21):

уровень 7 — прикладной (верхний);

уровень 6 — представления;

уровень 5 — сеансовый;

уровень 4 — транспортный;

уровень 3 — сетевой;

уровень 2 — передачи данных;

уровень 1 — физический (нижний).

8.4.2. Проводные среды для информационных сетей

В зависимости от вида среды, используемой для передачи данных на физическом уровне, можно говорить о проводном и беспроводном управлении осветительными сетями. Сетевые среды представляют собой физические пути, по которым распространяется электрический сигнал, перемещаясь от одного пользователя сети к другому, другими словами, это проводники, связывающие интеллектуальные компоненты сети. Рассмотрим сначала отдельно эти два типа сетевых сред, а затем сравним их между собой.

Традиционными являются проводные типы сетевых сред: кабели с витыми парами, коаксиальные, волоконно-оптические и радиочастотные кабели. Стандарты на проводные интерфейсы физического уровня представлены в табл. 8.3.

Свойства сред, используемых в сетях передачи данных, определяются четырьмя основными характеристиками:

диапазоном — каждый тип среды имеет ограничения на длину линии передачи данных между интеллектуальными устройствами;

шириной полосы частот. По ширине частотной полосы можно разделить среды на два типа (при этом каждый тип среды имеет огра-

Стандарты на проводные интерфейсы физического уровня

Параметр	Стандарт (режим работы)			
	RS232 (асимметричный)	RS423 (асимметричный)	RS422 (дифференциальный)	RS485 (дифференциальный)
Число драйверов на одной линии*	1	1	1	1
Число приемников на одной линии*	1	10	10	32
Максимальная длина кабеля, м	100	100	12	100
Максимальная скорость передачи данных, кбит/с**	20	100	100	100

* К шине RS485 может быть подключено до 32 драйверов, но в любой заданный момент времени только один из них может функционировать.

** Для интерфейсов RS422 и RS485 максимальная скорость передачи данных при длине кабеля 10 м равна 10 Мбит/с.

ничения на частотный диапазон, от которого зависит скорость передачи данных в сети):

1) широкополосные системы, в которых используется одна и та же среда для передачи сигналов на нескольких частотах, каждая из них предназначена для определенного процессора в системе;

2) узкополосные системы, рассчитанные на одну частоту модуляции, в которых используется принцип временно́го разделения потоков информации, предназначенных для различных процессоров в системе;

помехоустойчивостью — восприимчивостью среды к электромагнитным помехам;

стоимостью — носители с лучшими характеристиками эффективности стоят дороже.

Рассмотрим основные типы проводных сред [45].

Кабели с применением витой пары. Кабели на базе витых пар состоят из пар проводов, которые формируют каналы для передачи данных. Провода свиваются, чтобы обеспечить защиту от взаимных помех между отдельными каналами передачи данных. При протекании электрического тока по проводу вокруг него создается небольшое круговое магнитное поле. Когда два провода размещены вплотную, их магнитные поля взаимно компенсируются и снаружи такой системы магнитного поля почти нет. Скручивание проводов еще более уменьшает магнитное поле, поскольку оба провода находятся

в равных условиях. При использовании компенсации вместе со скручиванием проводов обеспечивается самоэкранирование отдельных каналов среды один от другого. Существуют экранированные и неэкранированные витые пары. Чтобы ограничить снижение эффективности передачи сигнала, вызываемое электромагнитными и радиочастотными помехами, в неэкранированных витых парах используется исключительно эффект скручивания провода.

Неэкранированный кабель имеет четыре витые пары, каждый проводник в которых состоит из 22 или 24 медных жил. Полное сопротивление неэкранированного кабеля составляет обычно около 100 Ом. Снаружи кабель покрыт изоляцией (оплеткой).

Поскольку неэкранированный кабель UTP имеет небольшие размеры (его внешний диаметр составляет приблизительно 4,3 мм), он может быть удобен при прокладке. Вследствие его малого диаметра в монтажных коробах остается свободное место, которое можно использовать при развитии и модернизации сети. Этот фактор может быть чрезвычайно важен, особенно при прокладке сетей в старых зданиях. Кабель UTP дешевле других, и его проще прокладывать, чем кабели других типов.

В экранированной витой паре используется как свивание провода, так и экранирование для защиты кабеля от помех. С помощью экранирования удастся уменьшить электростатические помехи, но оно не эффективно для защиты от электромагнитных помех. Каждая пара проводов защищена металлическим экраном, и затем все четыре пары проводов вместе обертываются металлическим шнуром или хлопчатобумажной оплеткой. Полное сопротивление кабеля STP составляет обычно около 150 Ом. Хотя кабель STP лучше защищен от помех, чем кабель UTP, он дороже и его монтаж сложнее. Металлический экран должен быть заземлен только с одного конца, чтобы предотвратить возникновение контуров, проходящих по поверхности земли. При неправильном заземлении экран действует подобно антенне и принимает нежелательные сигналы.

Коаксиальные кабели. Коаксиальный кабель состоит из полого внешнего цилиндрического проводника, в который заключен внутренний провод, изготовленный из двух элементов. Одним из этих элементов, размещенных в центре кабеля, является медный провод. Он окружен гибкой диэлектрической изоляцией, изготавливаемой обычно из полиэтилена или фторопласта. Над этим изоляционным материалом расположен внешний экран, обычно образуемый тонким слоем алюминия, нанесенного на полиэфирную пленку. Этот внешний экран покрыт оплеткой из медного шнура, который действует и как второй провод в схеме, и как экран для внутреннего проводника.

Этот экран, помогающий снизить уровень помех, проникающих снаружи, покрыт изолирующим внешним чулком, который обеспечивает прочность, целостность и полную защиту внутренних компонентов.

Поскольку металлический шнур в коаксиальном кабеле представляет собой половину проводника, проводящего полезный электрический сигнал, необходимо обращать особое внимание на его правильное заземление. Он должен быть хорошо соединен с заземлением с одного конца. Однако при прокладке кабеля не всегда можно обеспечить правильное заземление; в результате экранирующее действие может оказаться недостаточным, и в этом заключается одна из самых больших проблем при прокладке коаксиального кабеля. Неправильное подключение приводит к электрическим помехам, которые искажают сигналы, передаваемые в сетевой среде. В дополнение к трудностям с заземлением, коаксиальный кабель труднее прокладывать, чем витые кабели.

Когда сетевые данные передаются по коаксиальному кабелю или по кабелям на базе витой пары, генерируются магнитные поля. При использовании этих двух типов физических носителей существует опасность несанкционированного считывания данных с магнитного поля специальными приборами обнаружения. Волоконно-оптические кабели не связаны с таким риском, и поэтому информация в них лучше защищена.

Волоконно-оптический кабель представляет собой цилиндрический прозрачный канал, выполненный из стекла, пластмассы или комбинации стекла с пластмассой, который может передавать свет от одного конца канала до другого. В последние годы стало очевидно, что волоконно-оптический кабель постепенно заменяет медный провод в качестве среды для передачи сообщений. Волоконно-оптические кабели могут перекрывать значительные расстояния между местными телефонными системами и обеспечивать основу для многих сетевых систем. Среди многочисленных объектов, в которых используются волоконно-оптические кабели, находятся системы кабельного телевидения, системы университетских городков, офисов, промышленных предприятий и сервисных электроэнергетических компаний.

Основой кабеля является стеклянное или пластмассовое волокно, через которое передается свет. Металлическое покрытие, иногда называемое плакированием, имеет низкий коэффициент преломления, что позволяет обеспечить минимальные световые потери на границе световода и термопластического покрытия. Для обеспечения высокой прочности кабели изготавливаются из стекловолокна или синтетического полиамидного волокна, которое имеет высокую прочность, низкую температуру плавления и стойкость к воздействию огня.

Волоконно-оптическая система подобна системе с медными проводами. Различие состоит лишь в материале проводящего канала и частоте передаваемого электромагнитного поля: в волоконной оптике используются световые импульсы, а по проводной системе передаются электромагнитные импульсы по медным проводам. Рассмотрим компоненты волоконно-оптической системы, представленной на рис. 8.22, чтобы понять, как волоконно-оптическая система работает совместно с электронными системами. На рис. 8.22, *а* показана структура канала передачи данных на базе волоконно-оптического кабеля, а на рис. 8.22, *б* приведена схема распространения света по волоконно-оптическому кабелю.

На одном конце системы находится передатчик, на вход которого поступают электронные импульсы. Передатчик преобразует их в световые импульсы, проходящие по волоконному кабелю до приемника излучения. Входной сигнал к передатчику приходит по медным проводам от электронной системы передачи информации. Для формирования световых импульсов можно использовать СИД или инжекционно-лазерный диод. Линза направляет световые импульсы в волоконно-оптическую среду, по которой они передаются на приемник. Световые импульсы легко проходят по волоконно-оптической линии, испытывая полное внутреннее отражение от стенок кабеля. Как известно, при этом угол падения равен углу отражения. Вплоть до критического значения угла отражения свет не может выйти за гра-

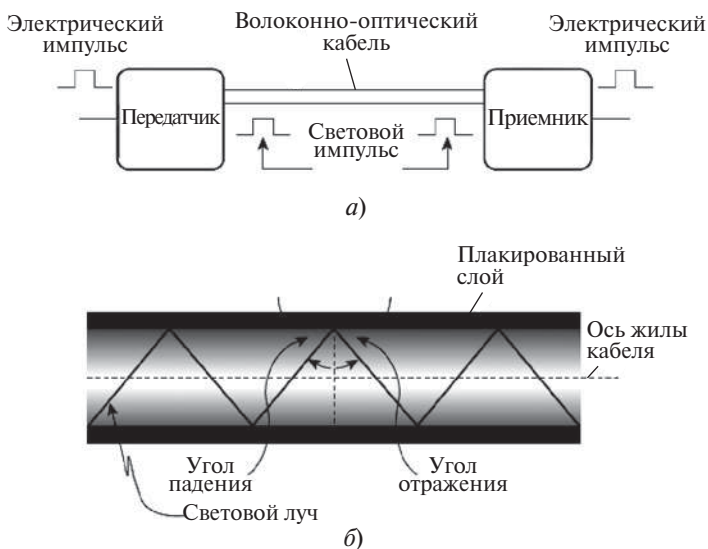


Рис. 8.22. Передача сигнала по волоконно-оптическому кабелю:

а — структура системы передачи сигнала; *б* — распространение света по кабелю

ницы световода. Источник света работает в импульсном режиме, переключаясь из выключенного во включенное состояние и обратно, а фотоприемник на другом конце кабеля снова преобразует световые сигналы в логические электрические сигналы (нули и единицы), соответствующие исходному сигналу. Основные свойства различных сетевых сред представлены в табл. 8.4.

Таблица 8.4

Сравнительные данные проводных сетевых сред

Тип среды	Максимальная длина, м	Скорость передачи данных, Мбит/с	Стоимость	Преимущества среды	Недостатки среды
Неэкранированная витая пара (UTP)	100	От 10 до 1000	Не очень дорогая	Проста в прокладке, широко распространена и широко используется	Подвержена помехам, длина линий ограничена
Экранированная витая пара (STP)	100	От 10 до 100	Дороже, чем UTP	Уменьшено взаимное влияние каналов, большая стойкость к помехам	Трудно прокладывать, длина линий ограничена
Коаксиальные кабели	185 500	От 10 до 100	Относительно недорогая, но дороже, чем UTP	Еще более защищена от помех, чем STP	Трудно прокладывать, ограничена полоса частот, ее легко повредить
Волоконная оптика	2000 1000	От 100 до 100 000	Дорогая	Очень высокая степень защищенности информации, может осуществлять передачу на значительные расстояния, нет взаимного влияния каналов, очень высокая скорость передачи данных	Трудно прокладывать и подсоединять

Интенсивность сигнала, передаваемого по волоконно-оптическому кабелю, снижается по мере удаления от источника в основном из-за модовой дисперсии и дисперсии среды. Действие модовой дисперсии заключается в том, что лучи света отражаются под различными углами, следуя по разным путям, что приводит к задержке сигнала. Действие дисперсии материала проявляется при распространении некогерентного излучения (например, от СИД) в том, что луч света расширяется при прохождении по кабелю.

Ширина полосы частот одномодовых волоконных световодов может быть намного больше, чем у многомодовых, но они более тонкие (10 мкм) и менее прочные, чем многомодовые стекловолокна. Затраты на оборудование для передачи и получения сигналов одномодового волоконного световода намного выше (по крайней мере в 4 раза), чем для многомодовых световодов. Главная причина использования стекловолокна в некоторых установках состоит в том, что устройства электронного шпионажа не могут перехватывать данные, передаваемые с помощью световых импульсов.

8.4.3. Беспроводные среды передачи данных

Для беспроводной передачи данных между интеллектуальными устройствами сети используются радиочастотные или инфракрасные волны. Ключевым компонентом при этом служит беспроводной концентратор, или пункт доступа, используемый для распределения сигнала, как это показано на рис. 8.23. Чтобы получать сигналы от пункта доступа, на контроллере необходимо установить беспроводную сетевую плату адаптера интерфейса. Для распространения радиосигналов не требуется никакой специальной физической среды, следовательно, это чрезвычайно универсальный способ формирования сетей.

Передача данных с помощью ИК-излучения. Это самый простой способ беспроводного управления, который был популярен в 80—90-х годах XX в., а в настоящее время активно вытесняется дешевеющими радиотехнологиями, которые не имеют присущих ИК-передаче недостатков. Это вытеснение коснулось даже такой, казалось бы, традиционной области для беспроводного ИК-управления, как беспроводное управление телевизионной и аудиоаппаратурой. Вершиной развития ИК-коммуникации было создание стандарта IrDA (Infrared Data Association) для высокоскоростного обмена информацией между двумя устройствами. Однако в системах управления освещением стандарт IrDA не применялся, так как для простейших задач, таких как «включить/выключить освещение», «установить уровень освещенности» и тому подобных он оказался избыточным. А реализация сколь-нибудь сложной сети на основе ИК-приемопередатчиков и применение в ней этого стандарта оказались

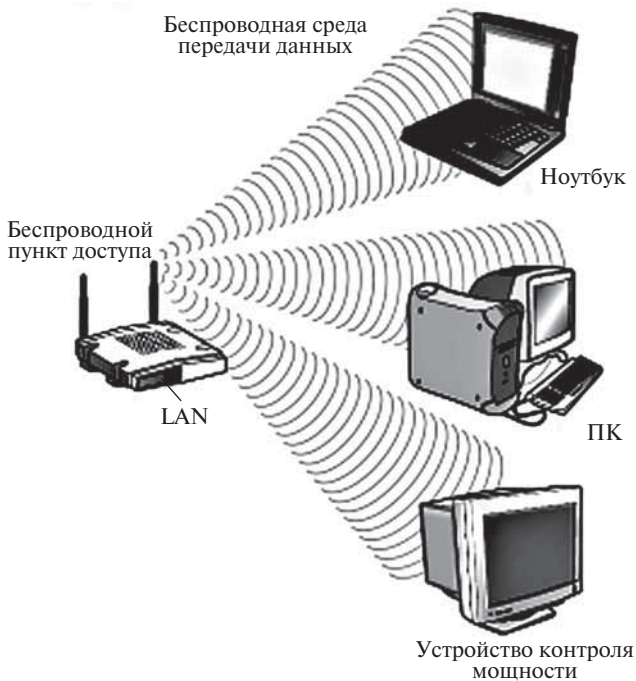


Рис. 8.23. Схема беспроводной передачи данных

с практической точки зрения невыгодными. В общем виде обмен информацией с помощью ИК-излучения выглядит следующим образом.

Управляющее устройство, например пульт управления, излучает последовательность импульсов с помощью инфракрасного диода с заданной длиной волны. Как правило, эта последовательность импульсов требует модуляции, для того чтобы приемник мог без проблем выделить полезную составляющую на фоне помех. На стороне приемника ИК-излучения обычно стоят микроконтроллер, микросхема демодулятора и чувствительный элемент с максимумом чувствительности на той же длине волны, что и у диода передатчика. Обработав программными средствами выделенную демодулятором последовательность импульсов, микроконтроллер произведет действие, соответствующее этой последовательности, например выключение светильника.

Использование ИК-передачи информации целесообразно исключительно при общении «точка—точка», создание сетей другой топологии (звезда, кольцо, каждый с каждым и т.п.) практически невозможно из-за необходимости расположения всех узлов в прямой видимости и ограниченной дальности связи (до 10 м). Как правило,

при обещении «точка—точка» управляющее устройство должно различать объекты управления. Идентификация реализуется установкой на приемник аппаратного регистра адреса (DIP-переключатель).

Передача информации с помощью радиочастот. Радиочастотные приемопередатчики позволяют организовать как самые простые сети типа «звезда», так и сложные сети типа «каждый с каждым» или «кластерное дерево». Передача информации в диапазоне радиоволн регламентируется рядом нормативных и законодательных актов, и на работу на большинстве частот требуется специальное разрешение. Однако существует международный свободный диапазон частот ISM (industrial, scientific and medical radio bands) для промышленных, научных и медицинских устройств. В этом же диапазоне работает большинство современных микросхем приемопередатчиков для реализации узлов сети управления освещением. До определенной мощности передатчика для работы в этом диапазоне не требуются регистрация и разрешение. Так, для устройств, работающих на частоте 2,4 ГГц, максимальная разрешенная мощность равна 100 мВт.

Как и при передаче информации с помощью ИК-излучения, сигнал модулируется и демодулируется для лучшего его выделения из общего шума. Стоит отметить, что в ISM-диапазоне работают такие источники, как автомобильные сигнализации, беспроводные радиотелефоны и мобильные телефоны. Даже микроволновые печи излучают радиоволны в этом диапазоне. При построении сложных беспроводных сетей помимо приемопередатчиков будут нужны еще более мощные (чем при связи типа «точка—точка») и достаточно дорогие микроконтроллеры, поскольку усложнение протокола передачи информации неизбежно ведет к усложнению программного кода и увеличению ресурсоемкости. Современные модули приемопередатчиков позволяют обеспечить дальность связи до 1,5 км на открытом пространстве. В условиях городской застройки это расстояние, разумеется, сокращается, но по-прежнему остается вполне приемлемым: 100—300 м.

Для беспроводного управления в АСУ освещением используются различные технологии и протоколы. Рассмотрим наиболее употребительные из них.

Ant — проприетарный (закрытый) протокол и технология беспроводной передачи сигнала фирмы Dynastream Innovations Inc., рабочая частота — 2,4 ГГц. Микросхемы приемопередатчиков производят фирмы Nordic Semiconductor и Texas Instruments. Протокол поддерживает сети типа радио—шина, точка—точка, дерево, звезда и многоячейковая сеть. Технология и протокол предназначены прежде всего для дешевых портативных устройств с небольшим трафиком (спортивные датчики сердцебиения, велокомпьютеры). Допускается

создание сети с сотнями узлов. Предельная скорость передачи данных 1 Мбит/с.

ZigBee — протокол и технология передачи данных по радиоканалу, разработанные альянсом ZigBee. Возможные топологии: точка—точка, дерево, звезда, многоячейковая сеть. Рабочая частота равна 2,4 ГГц, максимальная скорость передачи данных — 250 кбит/с. Теоретическое максимальное количество узлов приблизительно равно 15 000, но на практике обычно используют 200. Поддерживается режим самоопределения маршрута передачи данных, благодаря чему сеть может самовосстанавливаться. Протокол позволяет реализовать ряд стандартизированных профилей: Home Automation (направлен на управление освещением, кондиционированием, мультимедиа системами и системами безопасности в домах); Smart Energy (направлен на реализацию автоматизированной системы контроля и учета потребления электроэнергии) и т.п. Благодаря этому устройства стандартного профиля различных производителей оказываются полностью совместимыми один с другим.

Z-Wave — протокол и технология беспроводной передачи данных от компании Sigma Designs. По аналогии с альянсом ZigBee организован Z-Wave альянс. Частота передачи сигнала — субгигагерцовая, для европейских потребителей — 868 МГц, скорость передачи информации 9 кбит/с. Такой выбор частоты объясняется тем, что на частоте 2,4 ГГц существует слишком много источников помех (устройства Bluetooth и Wi-Fi, СВЧ-печи). Все устройства Z-Wave должны проходить обязательную сертификацию на совместимость с устройствами других производителей. Спецификации, стек и руководства разработчика выдает Sigma Designs.

8.4.4. Проводные и беспроводные АСУ освещением

При проектировании сетей управления освещением существуют три основные возможности:

- 1) создать или использовать имеющиеся проводные сети, описанные в п. 8.4.2;
- 2) использовать для передачи информации силовые провода;
- 3) передавать информацию по выделенным радиоканалам.

Если сравнить традиционное проводное управление интеллектуальными приборами освещения с бурно развивающимся в настоящее время беспроводным, то очевидным станет основное преимущество беспроводного управления — отсутствие затрат на прокладку кабеля. Это преимущество исчезает, когда кабели уже проложены и на объекте имеется одна или несколько проводных сетей. Если такие сети отсутствуют, то для объектов, подключенных к сети освещения,

можно использовать передачу управляющей информации по кабелям питания ОУ. И, наконец, существует возможность передачи информации по радиоканалам, каналам мобильной связи и по разнообразным каналам, образующим сеть Интернет. Преимущество использования радиоканалов состоит в мобильности и гибкости системы связи, когда можно получать информацию о состоянии системы освещения из любой точки, даже за пределами страны, легко дополнять существующую систему новыми интеллектуальными объектами, изменять алгоритмы управления программными методами, пользуясь хорошо отлаженными программными продуктами ведущих фирм отрасли. Недостатками беспроводного управления являются меньшая скорость передачи информации, неодинаковые условия приема информации в различных местах установки светильников и помехи приему.

Все эти факторы говорят о неоднозначности выбора сети, возможности применения нескольких сетей для управления сложным объектом, следовательно, выбор типа управления в каждом конкретном случае становится творческой задачей.

Наиболее масштабными по числу применяемых интеллектуальных осветительных устройств и по потенциалу энергосбережения являются установки внутреннего и наружного освещения.

Для внутреннего освещения расстояния, на которые передается информация, относительно невелики, и если здание не имеет готовой информационной сети, то целесообразно применять второй способ — передачу информации по силовым проводам. В этом случае гибкость системы не уступает управлению по радиоканалу, и если возникнет необходимость реконструкции или расширения АСУ, то задачу можно решить установкой дополнительного сетевого оборудования без прокладки новых кабелей.

При передаче информации на большие расстояния в сетях наружного освещения наиболее целесообразно смешанное управление. При этом рабочие станции операторов связаны с диспетчерским сервером по проводной сети, от сервера до блока группового управления информация передается по сети Интернет через встроенный в распределительный шкаф GSM-модем, а далее между интеллектуальными светильниками распространяется по радиоканалу. Основу системы составляют светильники с интеллектуальным источником питания, снабженные приемопередатчиком XBee Pro. Для связи используется беспроводная сеть стандарта IEEE 802.15.4. При этом реализуется многоячейковая топология сети с самовосстановлением работоспособности сети в случае выхода из строя одного из интеллектуальных источников, что значительно повышает надежность связи [46].

Дело в том, что надежность простейшей топологии датчик—ретранслятор—приемник недостаточно высока, поскольку при выходе из строя одного ретранслятора обрывается цепь передачи информации. Большие преимущества при применении в наружном освещении имеет сеть с многоячейковой топологией — ячеистая сеть. В таких сетях каждый узел оснащен приемопередающими устройствами, находится в зоне приема нескольких соседних узлов и сам может принимать от них информацию. Надежность таких сетей существенно выше, поскольку они охвачены множественными межузловыми связями, и при выходе из строя одного ретранслятора передача данных может происходить через исправные узлы по другому маршруту. В таких сетях могут быть устранены перекрестные помехи при рассеянной передаче данных по нескольким частотным каналам в пределах выделенной полосы частот в сочетании с цифровой коммутацией пакетов. Такой метод позволяет повысить помехостойкость при передаче и обеспечить защиту информации, поскольку полная информация сигнала собирается только на приемнике. Использование нескольких каналов позволяет также увеличить и скорость передачи.

Применение беспроводной связи дает возможность регулировать режим работы отдельных локальных групп светильников, что позволяет экономить электроэнергию при одновременном соблюдении норм освещенности.

Интеллектуальный источник питания может передавать на диспетчерский пункт информацию о неисправностях блока и светильника.

8.5. Аппаратное и программное обеспечение диспетчерского пункта

Задачи диспетчерского пункта. Диспетчерский пункт является «мозгом» всей АСУ освещением, хотя, как мы уже отмечали, так называемый интеллект присущ всем узлам системы. Он выполняет наиболее сложные задачи, стоящие перед АСУ освещением:

1. Осуществляет постоянное наблюдение за состоянием системы, регистрирует (записывает) все нестандартные ситуации и действия, предпринятые оператором для их разрешения, что позволяет анализировать и обобщать опыт эксплуатации АСУ, вносить коррективы в ее аппаратную и программную части.

2. Автоматически создает журнал наблюдений, пополняет и корректирует базу данных.

3. Осуществляет переход на ручное управление в тех случаях, когда оператор понимает неадекватность запрограммированной реакции системы.

4. Объединяет усилия нескольких операторов при разрешении сложных проблем, возникающих в процессе эксплуатации АСУ освещением. Для совместной работы им даже не нужно находиться в одном помещении.

5. Ведет учет всех ресурсов, в том числе и энергетических, бережущих которых придается все большее значение по мере роста числа потребителей и увеличения энергии, потребляемой каждым из них.

Аппаратная часть, необходимая для реализации всех этих задач, представляет собой сервер, выполняющий функции связи центрального узла со всеми периферийными интеллектуальными узлами сети для оперативного управления и сбора информации, и автоматические рабочие места операторов, реализующие функции визуализации состояния системы и оперативного управления с пультов операторов.

В простейшем случае обе эти функции может выполнять один оператор, имеющий персональный компьютер, на который установлено соответствующее программное обеспечение. Поскольку, как правило, АСУ является важным объектом жизнеобеспечения, необходимо сменное круглосуточное дежурство операторов.

В наиболее сложных системах «диспетчерский пункт/ситуационный центр» — это комплекс помещений, оборудованных системами связи, сбора информации, анализа ситуации и принятия решений, работающий в круглосуточном режиме и предназначенный для обеспечения штатного функционирования системы и сведения неблагоприятных последствий к минимуму в режиме нештатной ситуации.

Такие диспетчерские пункты оборудуются видеостеной, проекционным дисплеем большого размера с хорошим разрешением; локальными LCD-дисплеями высокого разрешения для каждого оператора из рабочей группы диспетчеров; индивидуальными микрофонами для проведения селекторных совещаний; высококачественными акустическими системами и видеокамерами.

Программное обеспечение диспетчерских пунктов в настоящее время базируется преимущественно на хорошо разработанной единой концепции SCADA [47]. В основе ее лежит автоматизированная разработка систем управления на базе программ с встроенными языками программирования, позволяющими пользователю, не владеющему в достаточной степени традиционными языками программирования, но хорошо понимающему специфику процессов в АСУ освещением, корректировать программное обеспечение при модернизации систем. Имеются программы-редакторы, которые дают возможность пользователю создавать свои программы-скрипты, выполняющие необходимый алгоритм в ответ на событие, определенное пользователем.

Наличие встроенных языков высокого уровня позволяет пользоваться библиотеками объектов и набором команд, написанных на естественном языке, не вникая в программную реализацию работы каждого модуля.

Большим достоинством SCADA-систем является также их открытость. Форматы данных и процедуры подключения к ним новых модулей опубликованы, что позволяет разрабатывать модули с учетом специфики конкретных АСУ освещением. С помощью SCADA-систем создаются «дружественные» по отношению к пользователю человеко-машинные интерфейсы, наглядные и интуитивно понятные. На экране дисплея отображаются состояние управляемых объектов и средства управления ими. Большинство SCADA-систем позволяют отображать положение управляемого объекта на карте или на плане здания вместе с информацией о его состоянии. Это дает возможность диспетчеру быстрее оценивать ситуацию на объектах и принимать решения в сложных нестандартных ситуациях. Помогает в этом также визуальная и звуковая сигнализация при аварийных ситуациях, обеспечиваемая специальной программой, которая анализирует события в системе по степени их опасности (нормальные, предупреждающие, аварийные) и определяет, должен ли проводить их обработку оператор или компьютер. Кроме того, поскольку для многих событий требуется быстрая реакция диспетчера, в SCADA-системах имеются программы, работающие в режиме реального времени, которые обрабатывают данные в пределах заданного времени и с учетом приоритетов.

8.6. Автоматизированная система управления освещением интеллектуального здания

Особенность АСУ освещением интеллектуального здания («умного дома») состоит в том, что она всегда является небольшой частью значительно более сложной АСУ зданием. Реальный пример такой АСУ представлен на рис. 8.24 [48].

Эта система состоит более чем из двух десятков систем, сосредоточенных в одном здании и управляемых из единого центра, и АСУ освещением — всего лишь одна из таких систем. Автоматизированные системы управления интеллектуальным зданием с помощью многочисленных датчиков осуществляют контроль за работой отдельных систем по заданному алгоритму в штатных ситуациях и формируют сигнал тревоги в аварийных ситуациях для привлечения к их разрешению диспетчера. В состав АСУ входят технические системы, управляемые службой эксплуатации здания, и системы безопасности, которыми управляет служба охраны. Причем такие приборы, как дат-

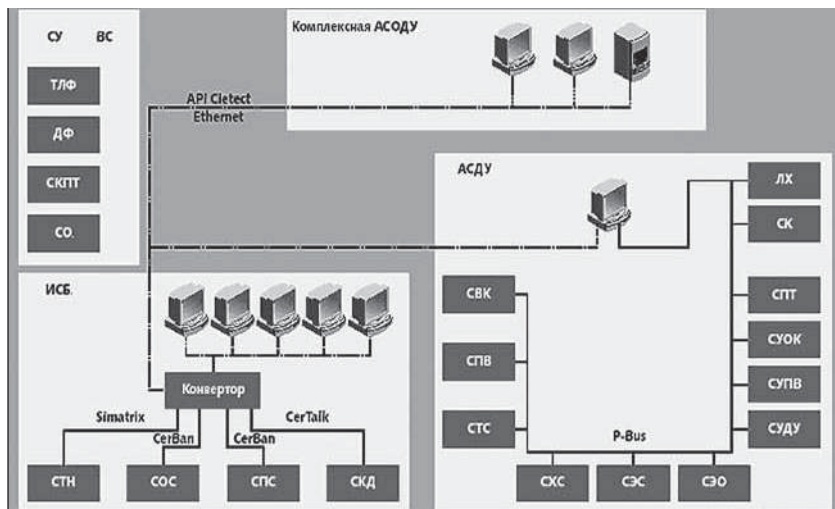


Рис. 8.24. АСУ зданием со встроенной АСУ освещением:

СУ ВС — системы управления вспомогательными системами; ТЛФ — телефонная система; ДФ — домофонная система; СКПТ — система коллективного приема телевидения; СО — система оповещения; ИСБ — интегрированная система безопасности; СТН — система теленаблюдения; СОС — система охранной сигнализации; СПС — система пожарной сигнализации; СКД — система контроля и управления доступом; АСУ — автоматизированная система диспетчерского управления; СВК — система вентиляции и кондиционирования; СПВ — система питьевого водоснабжения; СТС — система теплоснабжения; СХС — система холодоснабжения и утилизации тепла; СЭС — система электроснабжения; СУДУ — система управления дымоудалением; СУПВ — система управления подпором воздуха; СУОК — система управления огнезадерживающими клапанами; СПТ — система пожаротушения; СК — система канализации; ЛХ — лифтовое хозяйство; — • — — Ethernet; — — — объектовые шины

чки присутствия, могут в нерабочее время включаться в состав охранных систем. Вот почему система освещения должна разрабатываться с учетом взаимодействия с другими системами АСУ. Перед разработчиками интерфейса для такого проекта стоит проблема согласования многих систем с помощью специальных блоков.

8.7. Автоматизированные системы управления наружным освещением

В отличие от АСУ интеллектуальным зданием, при наружном освещении применяются автономные АСУ наружным освещением (АСУНО), не связанные с выполнением других функций. Это определяется большим количеством управляемых светильников, распределением их на протяженных территориях и удаленностью диспетчер-

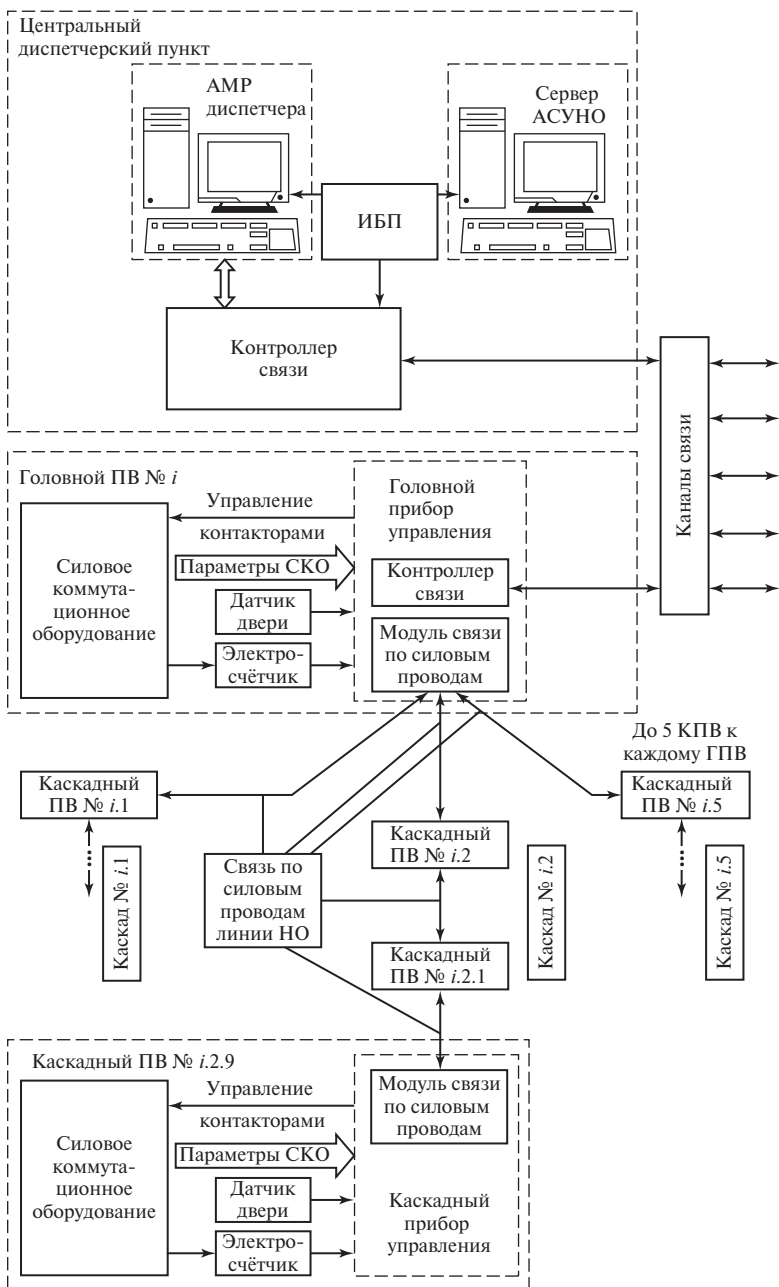


Рис. 8.25. Структура АСУНО с каскадным включением групп светильников

или отдельные светильники. В этом случае может быть использован ресурс экономии, связанный не только с включением-отключением светильников, но и с их регулированием. Кроме того, в подобных системах сигналы связи, проходящие по кабелю питания, комбинируются с сигналами беспроводной связи, распространяющимися по ячеистой сети и способными достигать каждого светильника. Конечно, это более сложные системы, но, учитывая постоянную миниатюризацию, снижение стоимости и одновременное расширение возможностей интеллектуальных микропроцессорных компонентов, можно сказать, что будущее, несомненно, за такими системами.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие средства, связанные с питанием и управлением осветительными установками, позволяют снизить энергопотребление? Какие из них дают максимальный эффект?
2. Какие основные элементы входят в состав автоматизированной системы управления освещением и каково их назначение?
3. Какими свойствами должны обладать интеллектуальные источники питания для энергосберегающего освещения? Какова их структура и какие функции они выполняют?
4. Какова типовая структура силовой части ИЭП и для чего служат ее отдельные компоненты?
5. Объясните зачем нужен корректор коэффициента мощности и каков принцип его работы.
6. Каким током (постоянным или переменным) питаются разрядные лампы (люминесцентные, металлогалогенные, натриевые)?
7. Какие типы преобразователей используются для питания разрядных ламп и СИД?
8. Каким образом осуществляется регулирование светового потока (диммирование) люминесцентных ламп?
9. В чем заключается явление акустического резонанса разрядных ламп высокого давления? Какие схемные решения и режимы питания позволяют избежать этого явления?
10. Каким образом производится диммирование ламп высокого давления (натриевых, металлогалогенных)?
11. К какой из двух идеальных характеристик должна быть близка выходная характеристика ИЭП для светодиодной лампы — к источнику напряжения или к источнику тока? Приведите обоснование вашего выбора.
12. В чем заключается процесс пуска люминесцентных ламп?
13. Каковы особенности пуска и перезапуска натриевых и металлогалогенных ламп?
14. Какие способы регулирования светового потока СИД существуют и в чем их различие?
15. Что такое интерфейс в АСУ освещением?
16. В чем состоит роль модели взаимодействия открытых систем OSI?

17. Какие виды проводных и беспроводных информационных сетей вы знаете? В чем заключаются их недостатки и преимущества?
18. В каких случаях АСУ освещением является самостоятельной системой и когда она — лишь часть более сложной АСУ?
19. Какие функции выполняет диспетчерский пункт в АСУ освещением?
20. Какая концепция программного обеспечения наиболее широко применяется для диспетчерских пунктов АСУ освещением?

Глава девятая

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

9.1. Разработка светотехнической части проекта ОУ

Разработка проекта ОУ — сложная и трудоемкая задача, требующая от проектировщика-светотехника не только глубоких технических знаний, но и знакомства с вопросами архитектуры, технологии производства и физиологии зрения.

Для выполнения полноценного проекта ОУ проектировщик должен располагать архитектурно-строительными, технологическими чертежами, знать санитарно-технические требования, предъявляемые к ОУ объекта. Если разрабатывается проект ОУ промышленного предприятия, то необходимо детальное знакомство с технологией производства. При проектировании общественных зданий нужно иметь представление о специфике использования помещений, а также об отделке помещений. Таким образом, речь идет о тесном контакте светотехника с архитекторами, технологами, а также с проектировщиками, ведущими одновременно проектирование водоснабжения, канализации, связи и др.

Проектирование ведется как для вновь строящихся зданий, так и для зданий, подлежащих реконструкции.

Требования к ОУ: утилитарные; гигиенические и охраны труда; эксплуатационно-монтажные; эстетические; технико-экономические.

Части проекта: светотехническая; электрическая; конструктивная; технико-экономическая (сметно-финансовая).

Деление на части проекта условное, так как все части связаны и, как правило, осуществляются одновременно. Нельзя, например, приступать к светотехническому расчету ОУ без предварительного выбора напряжения сети, а при размещении светильников нельзя не учитывать условий для прокладки сети и др.

Исходные данные для проектирования:

1. Техническое задание (что необходимо сделать в данном проекте), подписанное заказчиком.

2. Архитектурно-строительные чертежи (в масштабе):

- а) поэтажные планы;
- б) разрезы здания (характерные);
- в) наименование помещений (экспликация).

3. Архитектурные эскизы интерьеров (отделка, окраска стен, потолка, пола), предложения архитектора по устройству осветительный установок.

4. Фасады зданий.

5. Технологические чертежи (с размещением технологического оборудования).

6. Генеральный план участков застройки (обозначение дорог, железнодорожных путей, контуры зданий и сооружений и т.д.).

7. Условия присоединение к источнику питания, при подводке питания в земле — геоподоснова.

8. Характер среды в помещениях (нормальная, жаркая, сырая, взрывоопасная и т.д.).

9. Категория объекта.

Последовательность проектирования ОУ:

1. Выбор концепции освещения.

2. Ознакомление с объектом по чертежам.

3. Выбор количественных и качественных характеристик освещения, выбор коэффициентов запаса, выбор коэффициентов отражения.

4. Выбор системы освещения.

5. Выбор видов освещения.

6. Выбор ИС.

7. Выбор типа светового прибора (СП).

8. Расчет мощности ОУ.

9. Выбор размещения светильников.

10. Проверка обеспечения нормируемых значений количественных и качественных характеристик освещения.

11. Корректировка проекта.

12. Оформление светотехнической ведомости.

Выбор концепции освещения. На этом этапе происходит общее осмысление проекта освещения, предварительно изучаются или уточняются детали освещаемого помещения. Например, при освещении музея древних тканей необходимо изучить степень стойкости данных тканей к воздействию УФ- и ИК-излучения и высоких температур, с учетом полученных результатов выбираются значения нормируемых величин и тип ИС.

Выбор уровня нормированной освещенности для всех помещений $E_{\text{норм}}$, коэффициентов запаса K_z , выбор качественных характеристик освещения (объединенного показателя дискомфорта UGR; показателя ослепленности P ; цилиндрической освещенности $E_{\text{цил}}$, коэффициента пульсации K_p), **коэффициентов отражения.** Проектирование ведется по российским нормам. В зависимости

от назначения проектируемого помещения выбираются нормируемая освещенность и качественные показатели освещения. Для жилых и общественных зданий выбор ведется на основании СП 52.13330.2011 [63], ведомственных норм, а также МГСН 2.06—99; для производственных зданий — на основании отраслевых норм. Если не удастся найти нормированную освещенность для какого-то конкретного помещения, ищут похожее помещение с такой же зрительной работой либо с похожим разрядом зрительной работы. Нужно отметить, что при использовании ЛЛ минимальная освещенность не должна быть менее 75 лк, в противном случае наблюдается «эффект сумеречности», т.е. зрительно помещение выглядит «серым», плохо освещенным.

Таблица 9.1

Коэффициенты отражения различных материалов и поверхностей

Материал поверхности или цвет фасада	Коэффициент отражения материала поверхности
Белый: белые атмосферостойкие фасадные краски, белые керамогранит, мрамор и т.п.	0,7
Очень светлый: очень светлые фасадные краски, белый силикатный кирпич, светло-серый бетон, мрамор, белый камень (известняк, доломит, песчаник), бетон и декоративные штукатурки на белом цементе и светлых заполнителях, очень светлый керамогранит, керамическая плитка, ракушечник и т.п.	0,6
Светлый: светлые фасадные краски, мрамор, камень (туф, песчаник, известняк), бетон, светлые цветные штукатурки, керамический кирпич, светлый керамогранит, светлые породы мрамора, блоки, плитка, дерево (доски) и т.п.	0,5
Средне-светлый: серый офактуренный бетон, цветные фасадные краски, светлое дерево, серый силикатный кирпич, цветной керамогранит и т.п.	0,4
Темный: темные фасадные краски, мрамор, гранит, глиняный кирпич, силикатный кирпич, темный керамогранит, декоративные штукатурки и керамические плитки, потемневшее дерево, медь и т.п.	0,3
Очень темный: очень темные краски, мрамор, гранит, керамогранит и т.п.	0,2
Черный: черные краски, камень (мрамор, базальт, гранит), чугун, патинированная бронза, декоративные штукатурки и т.п.	0,15

Коэффициент запаса вводится для компенсации уменьшения светового потока в процессе эксплуатации ОУ (спад светового потока ИС в процессе эксплуатации, перегорание ИС, запыление, загрязнение СП, загрязнение стен и потолка помещения и, как следствие, уменьшение коэффициентов отражения). Этот коэффициент выбирается по СП 52.13330.2011. Например, для общественных зданий с нормальными условиями среды $K_3 = 1,4$; для пыльных, жарких и сырых помещений $K_3 = 1,6 \div 1,7$. Для промышленных зданий $K_3 = 1,3 \div 2,0$; для открытых территорий $K_3 = 1,5 \div 1,7$.

Если проектирование ведется по европейским нормам EN 12464-1, то нормируемые характеристики выбираются по этим нормам. Последовательность проектирования остается та же.

В зависимости от значения коэффициентов отражения потолка, стен и пола мощность ОУ может быть различна при прочих равных условиях (причем различие в мощности может быть до 30 %), поэтому выбору этих коэффициентов придается большое значение. Важно выбрать эти коэффициенты как можно ближе к реальным значениям отделки интерьера. При выборе коэффициентов отражения можно ориентироваться на табл. 9.1.

Выбор системы освещения. Системы освещения подразделяются на *общие* и *комбинированные*.

Система общего освещения предназначена для освещения не только рабочих поверхностей, но и всего помещения в целом, в связи с чем СП общего освещения обычно размещаются в верхней зоне помещения на достаточно большом расстоянии от рабочих поверхностей. При этом различают два вида размещения светильников общего освещения: равномерное и локализованное. Общее равномерное освещение выполняется светильниками, равномерно размещенными по потолку, общее локализованное освещение с учетом расположения рабочих мест таким образом, что световой поток перераспределяется по помещению неравномерно и концентрируется над некой зоной пространства, где происходит более напряженная зрительная работа, для чего создаются более высокие уровни освещения. Равномерное размещение светильников общего освещения применяется обычно в тех случаях, когда желательно обеспечить равномерность освещения всей площади в целом. При необходимости дополнительной подсветки отдельных, достаточно больших по площади участков освещаемого помещения прибегают к *локализованному* освещению.

Комбинированное освещение — это общее освещение плюс местное. Для местного освещения используются светильники, жестко

закрепленные на рабочем месте, служащие для освещения лишь рабочей поверхности. Это либо ОП, закрепленные над рабочим местом либо жестко закрепленные на рабочих столах настольные светильники. Общее освещение при этой системе выравнивает распределение яркости в поле зрения.

Настольные лампы не являются светильниками местного освещения, если они жестко не закреплены.

Освещенность рабочей поверхности, создаваемая светильниками общего освещения в системе комбинированного, должна составлять не менее 10 % нормируемой для комбинированного освещения (не менее 200 лк). Создавать освещенность от общего освещения в системе комбинированного более 1200 лк допускается только при наличии обоснований.

Применение одного местного освещения в ОУ не допускается.

В общественных и жилых помещениях, как правило, следует применять систему общего освещения.

Систему комбинированного освещения для общественных и жилых помещений рекомендуется использовать в таких помещениях, как проектные залы, конструкторские, чертежные бюро, читальные залы, макетные, столярные и ремонтные мастерские и т.п.

Применять систему комбинированного освещения для производственных помещений следует:

при выполнении в помещениях работ разрядов I—III, IVa, IVб, IVв, Va;

в помещениях с оборудованием, создающим глубокие тени на рабочей поверхности от системы общего освещения (прессы, штампы и т.д.);

в помещениях, где требуется изменение направления света в процессе работы;

в помещениях с оборудованием, рабочие поверхности которых расположены вертикально или наклонно и для них требуются высокие уровни освещенности.

Система общего освещения для производственных помещений может быть рекомендована:

при высокой плотности расположения оборудования, если это оборудование не создает теней на рабочих поверхностях и при этом не требуется переменное направление света (сборочные цеха);

в помещениях, в которых по всей площади выполняются однотипные работы (литейные цеха);

в помещениях, в которых работа не связана с большим и длительным напряжением зрения (разряды VI—VIII).

Система общего локализованного освещения для производственных помещений может быть рекомендована:

в помещениях, где рабочие места расположены группами, сосредоточенными на отдельных участках;

на разных участках, на которых выполняются работы различной точности, при разных уровнях освещенности;

в помещениях с большими по площади рабочими поверхностями или громоздким оборудованием, создающим тени, в которых невозможно устройство местного освещения.

Выбор видов освещения.

Рабочее освещение (РО) обеспечивает необходимые условия работы при нормальном режиме функционирования ОУ.

Охранное освещение (разновидность РО) — это освещение вдоль границ территории. Нормируемая освещенность равна 0,5 лк на уровне земли или 0,5 лк на вертикальной плоскости. Для охранного освещения могут быть использованы любые ИС, за исключением случаев, когда в нормальном режиме охранное совещание отключено, а включается автоматически от действия охранной сигнализации. Тогда используются следующие ИС:

а) СИД;

б) КЛЛ, работающие при отрицательных температурах;

в) РЛВД при условии их мгновенного зажигания и быстрого повторного зажигания как в горячем состоянии, после кратковременного отключения, так и в холодном состоянии быстрого пуска;

г) ЛН (при невозможности использовать другие ИС).

Дежурное освещение — освещение в нерабочее время. Освещенность, равномерность и требование к качеству освещения не нормируются.

Аварийное освещение (АО) обеспечивает необходимые условия для работы или эвакуации при временном выходе из строя РО. Аварийное освещение подразделяется на *аварийное эвакуационное освещение* (АЭО) и *аварийное резервное освещение* (АРО).

Аварийное эвакуационное освещение делится: а) на освещение путей эвакуации; б) освещение зон повышенной опасности; в) освещение больших площадей (антипаника).

Аварийное освещение путей эвакуации следует предусматривать по маршрутам эвакуации (см. § 4.10) в коридорах и проходах.

Горизонтальная освещенность путей эвакуации на полу на центральной линии должна быть не менее 1 лк, у края прохода — не менее 0,5 лк.

Аварийное эвакуационное освещение зон повышенной опасности следует предусматривать для безопасного завершения потенциально опасного рабочего процесса или ситуации.

Минимальная освещенность зон повышенной опасности должна составлять 10 % нормируемой освещенности общего рабочего освещения, но не менее 15 лк.

Аварийное эвакуационное освещение больших площадей (антипаника) устраивается в больших помещениях (площадью более 60 м²), оно направлено на предотвращение паники и обеспечивает безопасный подход к путям эвакуации.

Минимальная освещенность зон повышенной опасности не менее 0,5 лк на всей площади, за исключением зоны 0,5 м по периметру помещения.

Аварийное резервное освещение следует предусматривать, если по технологическому процессу или в соответствии с ситуацией требуется продолжение работы при исчезновении РО, а также в тех случаях, когда нарушение обслуживания оборудования и механизмов, связанное с исчезновением РО, может вызвать:

гибель, травмирование или отравление людей;

взрыв, пожар, длительное нарушение технологического процесса;

утечку токсических и радиоактивных веществ в окружающую среду;

нарушение работы таких объектов, как электрические станции, узлы радио- и телевизионных передач и связи, диспетчерские пункты, насосные установки водоснабжения, канализации и теплофикации, установки вентиляции и кондиционирования воздуха для производственных помещений, в которых недопустимо прекращение работ, и т.п.

Освещенность от резервного освещения должна составлять не менее 30 % нормируемой освещенности при общем рабочем освещении. Необходимость создания для резервного освещения более высоких уровней освещенности определяется технологами в зависимости от условий функционирования данного объекта.

Световые указатели устанавливаются:

над каждым эвакуационным выходом;

на путях эвакуации;

для обозначения поста медицинской помощи;

для обозначения мест размещения первичных средств пожаротушения;

для обозначения мест размещения средств экстренной связи и других средств, предназначенных для оповещения о чрезвычайной ситуации.

Для АО следует предусматривать СП со следующими ИС:

а) СИД;

б) ЛЛ — в помещениях с минимальной температурой воздуха не менее 5 °С и при условии питания ламп во всех режимах напряжением не ниже 90 % номинального;

в) РЛВД при условии их мгновенного или быстрого повторного зажигания как в горячем состоянии после кратковременного отключения, так и в холодном состоянии;

г) ЛН — при невозможности использовать другие ИС.

Выбор источников света. Источники света выбираются, как правило, совместно с СП, например, невозможно выбрать ИС, не зная, какой тип цоколя должен быть у конкретного СП.

При выборе ИС необходимо учитывать следующие характеристики:

1. *Светотехнические*: световой поток Φ_d ; яркость L ; общий индекс цветопередачи R_a ; цветовую температуру $T_{\text{цв}}$.

2. *Электрические*: напряжение U ; потребляемый ток I ; мощность P ; коэффициент мощности; потери в ПРА.

3. *Конструктивные*: тип цоколя; габаритные размеры ИС; массу.

4. *Характеристики надежности*: срок службы τ ; надежность включения и перезажигания; спад светового потока во времени.

5. *Экономические*: световую отдачу η ; стоимость.

6. *Экологические*: наличие ртути; наличие УФ-излучения; наличие ВЧ-излучения.

7. *Эксплуатационные*: высокие и низкие рабочие температуры; повышенная влажность и сырость; химически агрессивные среды; категории пожароопасности и взрывоопасности помещений; вибрацию в помещениях.

Все характеристики, перечисленные выше, очень важны, и их необходимо учитывать при выборе ИС. Для всех ИС, используемых в проекте, в пояснительной записке к проекту нужно дать таблицу, в которой сообщаются основные данные ИС.

Кроме общего индекса цветопередачи R_a рекомендуется указать спектр излучения используемого ИС, поскольку иногда R_a достаточно высок, а в спектре можно увидеть так называемый «провал», свидетельствующий о том, что в этом промежутке длин волн данный ИС плохо передает цвет.

Выбор светового прибора. Выбор СП — один из основных этапов проектирования ОУ, от правильности принятого решения зависят качество, надежность, долговечность и экономичность ОУ. Неправильный выбор СП влечет за собой увеличение установленной мощ-

ности, снижение качества освещения, а несоответствие эксплуатационных параметров светильника условиям окружающей среды освещаемого помещения снижает безопасность, долговечность и надежность действия ОУ, а в ряде случаев может привести к возникновению пожара или взрыва.

Основные характеристики СП:

1. *Светотехнические*: кривая силы света; коэффициент полезного действия; отношение светового потока в нижнюю полусферу ко всему световому потоку светильника $\Phi_{\downarrow}/\Phi_{\text{св}}$; защитный угол γ .

2. *Эксплуатационные*: способ установки; степень защиты IP — исполнение (Ingress Protection — защита от проникновения); взрывобезопасность; пожаробезопасность.

3. *Электрические*: напряжение; потребляемый ток I ; мощность; коэффициент мощности; класс электробезопасности.

4. *Эстетические*: внешний вид, дизайн.

5. *Конструктивные*: габаритные размеры; масса.

6. *Экономические*: стоимость; долговечность.

Светотехнические характеристики.

1. *Выбор СП по КСС*. Выбор КСС ведется с учетом следующих факторов:

чем более узкая КСС у СП, тем более экономична ОУ, однако необходимо учитывать, что качество освещения в отношении насыщенности помещения светом ($E_{\text{цпл}}$) при этом хуже;

важным показателем является соотношение l/h_p . Ориентировочно выбираем КСС по отношению l/h_p в соответствии с табл. 9.2;

необходимо иметь в виду отражающие свойства поверхностей. Чем меньше коэффициенты отражения потолка, стен и пола, тем больший световой поток будет теряться на многократные отражения. Значит, чем выше коэффициенты отражения, тем свободнее можно использовать светильники с более широкой КСС и, наоборот, чем

Таблица 9.2

Выбор оптимального значения l/h_p в зависимости от КСС

Тип КСС	l/h_p
К	0,4—0,6
Г	0,6—1,0
Д	1,0—1,5
Л	1,5—2,0
Ш	2,0—3,0

меньше коэффициенты отражения, тем рациональнее становится выбор СП с более узкой КСС;

нужно учитывать слепящее действие ОУ. Для уменьшения показателя UGR необходимо выбирать СП с более узкой КСС;

для увеличения насыщенности помещения светом нужна более широкая КСС;

необходимо учитывать затеняющее действие оборудования. Чем больше затенение, тем более узкая КСС должна быть у СП;

в промышленных зданиях используются, как правило, СП с КСС типа К и Г;

в общественных зданиях выбирают СП с КСС типа Г и Д, реже типа Л. Для акцентирующего освещения применяют СП с КСС типа К и Г;

для освещения улиц, площадей, а также туннелей используют СП с КСС типа Л, Ш.

Выбор СП по характеру светораспределения. По характеру светораспределения все СП делятся на пять классов (табл. 9.3).

В помещениях с низкими потолками, темными стенами используются СП класса П либо Н. В промышленных зданиях применяются, в основном СП класса П либо Н. В общественных зданиях СП могут быть любого класса, выбор зависит от того, какое требуется качество освещения, какие экономические задачи стоят перед проектировщиком. Чем больший световой поток уходит в нижнюю полусферу, тем меньше освещенность от многократных отражений, тем меньший поток теряется на многократные отражения, тем экономичней ОУ. Приборы класса О дают высокое значение цилиндрической освещенности, их можно использовать только в помещениях с высокими коэффициентами отражения.

Коэффициент полезного действия светильника. Если КСС светильников относятся к одному типу, то следует выбирать тот, КПД которого выше.

Таблица 9.3

Классификация СП по отношению $\Phi_{\ominus}/\Phi_{\text{св}}$

Класс СП	$\Phi_{\ominus}/\Phi_{\text{св}}$, %
Прямого света — П	Более 80
Преимущественно прямого света — Н	60—80
Рассеянного света — Р	40—60
Преимущественно отраженного света — В	20—40
Отраженного света — О	Менее 20

Защитный угол γ — это угол, в пределах которого глаз защищен от попадания на него прямого светового потока ИС. Если в помещении нормируется показатель дискомфорта, то защитному углу нужно уделять особое внимание.

Выбор СП по эксплуатационным характеристикам. *Выбор СП по степени защиты.* В обозначении степени защиты СП от пыли и влаги, а также от прикосновения к токоведущим элементам в соответствии с международными правилами есть буквы IP и две цифры. Первая цифра показывает степень защищенности СП от проникновения в него пыли и твердых посторонних тел (табл. 9.4), вторая — от проникновения влаги. Эта цифра может быть от 0 до 8 (табл. 9.5).

Рекомендуемые области применения СП приведены в табл. 9.6.

Таблица 9.4

Класс защиты СП от пыли

Обозначение	Класс ОП	Защита от прикосновения к токоведущим элементам	Защита СП от попадания внутрь твердых посторонних тел и пыли
2	Пыленезащищенные	Защита от возможности прикосновения пальцами	Специальная защита от пыли отсутствует, обеспечена защита от проникновения твердых тел диаметром не более 12 мм и длиной не более 80 см
3		Защита от возможности прикосновения отверткой	Специальная защита от пыли отсутствует, обеспечена защита от проникновения твердых тел диаметром не более 2,5 мм
4		Защита от возможности проникновения проволокой диаметром 1 мм	Специальная защита от пыли отсутствует, обеспечена защита от проникновения твердых тел диаметром не более 1 мм
5	Пылезащищенные	Полная защита от возможного прикосновения с помощью любого приспособления	Полная защита от попадания пыли на токоведущие элементы и колбу лампы
6	Пыленепроницаемые	Полная защита от возможного прикосновения с помощью любого приспособления	Полностью пыленепроницаемое исполнение СП. Токоведущие части и колба полностью защищены от пыли

Таблица 9.5

Класс защиты СП от влаги

Исполнение СП	Вторая цифра в обозначении степени защиты
Не защищен от влаги	0
Защита от капель, падающих вертикально	1
Защита от капель, падающих сверху под углом не более 15° к вертикали	2
Защита от капель и брызг, падающих сверху под углом не более 60° к вертикали	3
Защита от капель и брызг, падающих на прибор под любым углом	4
Защита от струй воды, падающих под любым углом	5
Защита от попадания воды при погружении СП на определенную глубину и на определенное время	7
Защита от попадания воды при погружении СП на заданную глубину и на неограниченное время	8

Примечание. При степени защиты 7 и 8 в технической документации и на самих СП указывается предельная глубина погружения (в метрах).

Таблица 9.6

Рекомендуемые области применения СП

Степень защиты СП	Рекомендуемые области применения
IP20	Большинство административных и жилых помещений с нормальными условиями среды
IP23	Промышленные предприятия с нормальными условиями среды
IP40	Чистые промышленные предприятия, помещения электрощитовых, венткамер
IP43	Моечные кухонной и столовой посуды, санузлы, кладовые продуктов, кладовые белья и инвентаря
IP44	Душевые, ваннные, кухни, горячие и кондитерские цеха, склады мучных изделий
IP53	Книгохранилища, архивы со стеллажным хранением, переплетные, макетные, столярные мастерские, помещения для нарезки тканей, регулировочная сцены и др.
IP54	Производственные помещения с высокой влажностью
IP65	Промышленные предприятия с тяжелой средой. Наружное освещение, в том числе архитектурное и ландшафтное освещение
IP67	Ландшафтное освещение
IP68	Освещение фонтанов, бассейнов

Выбор по взрывобезопасности. В зависимости от области применения взрывозащищенные СП условно разделяются на следующие типы:

I — рудничные взрывозащищенные СП для подземных выработок, шахт, рудников опасных по газу и пыли;

II — взрывозащищенные СП для внутренних и наружных установок, в местах, где возможно образование взрывоопасных смесей.

В зависимости от уровня взрывозащиты все СП подразделяются (табл. 9.7):

- на СП повышенной надежности против взрыва;
- взрывобезопасные;
- особовзрывобезопасные.

Под взрывозащитой понимаются специальные конструктивные средства и меры, которые обеспечивают невоспламенение окружающей

Таблица 9.7

Уровень взрывозащиты СП в зависимости от класса взрывоопасной зоны

Класс взрывоопасной зоны	Уровень взрывозащиты СП	Характер среды
<i>Стационарные установки</i>		
B-I	Взрывобезопасный	При нормальной эксплуатации возможно выделение веществ, образующих с воздухом взрывоопасные смеси
B-Ia; B-Iг	Повышенной опасности против взрыва	То же, но лишь при аварийной ситуации или неисправности
B-Iб	Без средств взрывозащиты при степени защиты IP53*	То же, при условии: 1) горючие газы с высоким концентрационным пределом воспламенения; 2) с резким запахом (например, машинные залы аммиачных компрессоров)
B-II	Повышенной надежности против взрыва	При нормальной эксплуатации могут возникнуть пыль или волокна, которые могут образовывать с воздухом взрывоопасные смеси
B-IIa	Без средств взрывозащиты при степени защиты IP53*	Могут возникнуть пыль или волокна только в результате аварии или неисправности

*Допускается изменение защиты оболочки от проникновения воды (2-я цифра) в зависимости от условий среды, в которой устанавливаются светильники.

щей взрывоопасной смеси от электрических искр, дуг и нагретых частей СП.

Осветительными приборами повышенной надежности против взрыва называются такие, в которых предусмотрены меры, затрудняющие возникновение опасных искр, дуг и нагрева только в режиме их нормальной работы, их маркировка 2 Ex.

Взрывобезопасными называются такие СП, в которых предусмотрены меры, затрудняющие возникновение опасных искр, дуг и нагрева не только в режиме нормальной работы, но и при вероятных повреждениях СП в процессе эксплуатации, их маркировка 1 Ex.

Особовзрывобезопасные — такие СП, в которых имеются специальные дополнительные средства взрывозащиты, например автоматическое отключение СП от источника питания при разрушении светопропускающего элемента или колбы лампы (маркировка 0 Ex).

Необходимо отметить, что при освещении некоторых помещений, в которых опасность взрыва особенно велика (например, склады горюче-смазочных материалов) СП устанавливаются вне помещений за двойным остеклением либо освещение ведется через специальные световые проемы.

Пожаробезопасность СП означает практическую невозможность загорания как самого СП, так и окружающей его среды, что обеспечивается его конструкцией, выбором комплектующих изделий и материалов с температурными характеристиками, соответствующими тепловому режиму работы СП.

Для потолочных, встраиваемых СП существенными в отношении пожарной безопасности являются параметры возгорания материалов, из которых изготовлены опорные поверхности. Эти материалы условно делятся на три группы:

нормально возгораемые (горючие) материалы, температура воспламенения которых менее 200 °С и которые не деформируются при этой температуре (например, дерево или материалы на его основе толщиной более 2 мм);

негорючие материалы, т.е. не поддерживающие горения (например, металл, бетон, штукатурка);




легко возгораемые материалы, которые не могут быть классифицированы как нормально возгораемые материалы (например, фанера или другие материалы, содержащие дерево, толщиной менее 2 мм).


Пожаробезопасность СП обозначается значками F, FF, M в перевернутых треугольниках. Световые приборы со значком




можно устанавливать на поверхности материалов с температурой

Классы защиты от поражения электрическим током

Условное обозначение	Класс защиты от поражения электрическим током
Отсутствует	0 — рабочая изоляция на всех токоведущих элементах СП
	I — кроме рабочей изоляции токоведущих частей, на СП имеется специальный зажим для подключения заземляющего проводника. В светильнике могут быть части с двойной или усиленной изоляцией
	II — безопасность СП обеспечивается двойной или усиленной изоляцией токоведущих частей. Заземление СП с классом защиты II не требуется; ОП с классом защиты II дороже аналогичных СП с классом защиты I
	III — безопасность СП обеспечивается питанием от электросети напряжением не выше 42 В. Заземление таких СП также не требуется. Это переносные светильники (ручные и налобные фонари), СП с галогенными лампами накаливания низкого напряжения и СИД

возгорания не ниже +200 °С, со значком  — на любые горючие материалы, в том числе на дерево толщиной менее 2 мм. Значком

 маркируются СП, предназначенные для встраивания в мебель.

Выбор СП по электробезопасности. Электробезопасность СП должна обеспечивать защиту людей от поражения электрическим током. Степень безопасности определяется классом защиты от соприкосновения с токоведущими частями, напряжением, сопротивлением и прочностью электрической изоляции. Существует четыре класса защиты от поражения электрическим током: 0, I, II, III (табл. 9.8).

Расчет мощности осветительной установки. Расчет ОУ можно проводить с помощью одной из компьютерных программ (например, программы DIALux), либо с использованием инженерного метода. Расчет в программе DIALux проводится путем выбора всех параметров, рассмотренных нами ранее, выбора ИС и СП. В помещении, которое необходимо осветить, выделяется рабочая зона, в пределах которой освещенность должна быть не ниже нормируемой. С помощью программы рассчитывается число светильников, а также осу-

ществляется поверочный расчет на соответствие качественным параметрам освещения.

Инженерный расчет ведется, как правило, методом коэффициента использования ОУ либо точечным методом.

Метод коэффициента использования ОУ может быть применен для расчета общего равномерного освещения. При расчете ОУ чаще всего первоначально намечается число рядов светильников

$$n_{\text{св}} = E_{\text{норм}} K_3 Sz / (u_{\text{о.у}} \Phi),$$

где $n_{\text{св}}$ — число светильников, необходимое для освещения; $E_{\text{норм}}$ — нормируемая освещенность; K_3 — коэффициент запаса; S — площадь помещения; z — коэффициент неравномерности (1,1 — для ЛЛ, 1,15 для ДРЛ, МГЛ); $u_{\text{о.у}}$ — коэффициент использования ОУ; Φ — световой поток всех ламп в светильнике.

Расчет удельной мощности ОУ. Установленная мощность ОУ

$$P_y = n_{\text{св}} P_{\text{св}} K_{\text{ПРА}},$$

где $P_{\text{св}}$ — мощность светильника, Вт; $K_{\text{ПРА}}$ — коэффициент потерь в ПРА; $K_{\text{ПРА}}$ равен: 1,05—1,10 — для электронных ПРА; 1,25 — для электромагнитных ПРА; 1,15 — для электромагнитных ПРА с пониженными потерями; 1,07—1,10 — для электромагнитных ПРА с особо низкими потерями.

Удельная мощность ОУ, Вт/м²:

$$p_{\text{уд}} = P_y / S.$$

Полученное в расчете значение удельной мощности необходимо сравнить со значением максимально допустимой удельной мощности для этого типа помещений (табл. 9.9 и 9.10).

Если результат расчета удельной мощности по сравнению со значением максимальной удельной мощности из табл. 9.9 и 9.10 оказался больше, значит ОУ — неэкономична. Для повышения экономичности ОУ существует несколько способов, можно выбрать:

- более экономичные ИС;
- светильники с другой КСС;
- СП с более высоким КПД;
- меньшую, если это возможно, высоту установки светильников;
- другую систему освещения (комбинированную).

Таблица 9.9

**Максимально допустимые удельные мощности искусственного освещения
в помещениях общественных зданий**

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
	3,0 и более	28
400	0,6	30
	0,8	28
	1,25	25
	2,0	22
	3,0 и более	20
300	0,6	25
	0,8	23
	1,25	20
	2,0	18
	3,0 и более	16
200	0,6—1,25	18
	1,25—3,0	14
	Более 3,0	12
150	0,6—1,25	15
	1,25—3,0	12
	Более 3,0	10
100	0,6—1,25	12
	1,25—3,0	10
	Более 3,0	8

Примечание. Значения удельной мощности даны с учетом мощности аппаратов включения и управления освещением.

Таблица 9.10

**Максимально допустимые удельные мощности искусственного освещения
в производственных помещениях**

Освещенность на рабочей поверхности, лк	Индекс помещения	Максимально допустимая удельная мощность, Вт/м ² , не более
750	0,6	37
	0,8	30
	1,25	28
	2,0	25
	3,0 и более	23
500	0,6	35
	0,8	22
	1,25	18
	2,0	16
	3,0 и более	14
400	0,6	15
	0,8	14
	1,25	13
	2,0	11
	3,0 и более	10
300	0,6	13
	0,8	12
	1,25	10
	2,0	9
	3,0 и более	8
200	0,6—1,25	11
	1,25—3,0	7
	Более 3,0	6
150	0,6—1,25	8
	1,25—3,0	6
	Более 3,0	5
100	0,6—1,25	7
	1,25—3,0	5
	Более 3,0	4

Примечание. Значения максимальной удельной мощности искусственного освещения для помещений других размеров и освещенности определяются интерполяцией.

Выбор размещения светильников. *Установка светильников внутреннего освещения.* Существуют два способа размещения СП: равномерное и локализованное. При локализованной системе освещения выбор места расположения светильников осуществляется в каждом конкретном случае индивидуально на основе подробного выяснения характера производственного процесса и особенностей оборудования цеха. Световые приборы должны быть равномерно распределены на потолке помещения. Это нужно как для улучшения условий работы глаза, так и по экономическим соображениям.

Как уже было сказано, выбор размещения СП непосредственно связан с формой КСС и соотношением l/h_p . Наиболее распространенными являются варианты размещения СП по углам прямоугольника (рис. 9.1, а) и шахматное (рис. 9.1, б). При этом наибольшая равномерность освещения достигается при размещении светильников по углам квадрата, а при шахматном размещении — по углам равностороннего треугольника.

Кроме того, рекомендуется сохранять следующее соотношение при установке светильников: если расстояние между рядами светильников L , то расстояние от крайнего ряда светильников до стен должна быть $0,5L$, но это расстояние может быть и $(0,25—0,4)L$, если рабочая плоскость в помещении приближена к стенам.

При выборе высоты установки светильников нужно учитывать:

1) необходимость обслуживания СП. Для обслуживания СП с лестниц высота их подвеса не может быть более 5 м, при обслуживании с мостиков высота должна быть не более 2,2 м;

2) ограничение слепящего действия СП. Чем больше высота установки СП, тем слепящее действие меньше;

3) электробезопасность СП. Чем больше высота его установки, тем электробезопасность выше. Необходимо помнить, что в опасных помещениях минимальная высота установки светильников должна быть 2,5 м, в противном случае в таких помещениях нужно применять пониженное напряжение;

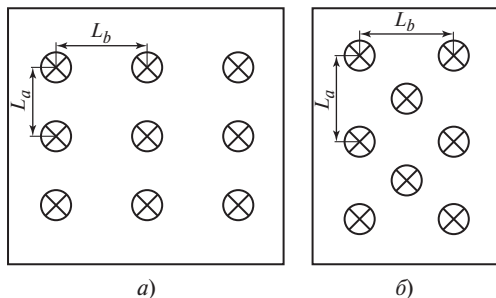


Рис. 9.1. Прямоугольное (а) и шахматное (б) размещение светильников (L_a — расстояние между СП в ряду; L_b — расстояние между рядами)

4) энергосбережение. Чем меньше высота установки СП, тем более экономична ОУ;

5) для увеличения экономичности ОУ при использовании светильников отраженного света высоту установки светильников по возможности нужно уменьшить;

б) при использовании световых карнизов для устранения ярких пятен на потолке расстояние от светильников, установленных в карнизе, до потолка должно быть не менее $0,2h_p$.

Размещение светильников наружного освещения. Освещение может выполняться как светильниками, так и прожекторами.

Преимущества прожекторного освещения:

а) возможность освещения больших открытых площадок без установки на них опор и прокладки сетей;

б) облегчение эксплуатации путем резкого сокращения числа мест обслуживания;

в) благоприятные условия освещения вертикальных поверхностей.

Недостатки прожекторного освещения:

а) большое слепящее действие прожекторов;

б) необходимость квалифицированного ухода за прожекторами (чистка отражателей, в ряде случаев — фокусировка);

в) резкие тени от крупных предметов, находящихся на территории.

Основными факторами при выборе прожекторного освещения чаще всего являются большие размеры освещаемой поверхности и, особенно, нежелательность или невозможность установки на ней опор.

Для ограничения слепящего действия установок наружного освещения в местах производства работ и на территориях промышленных предприятий высота установки светильников над уровнем земли должна быть: для светильников с защитным углом менее 15° — не менее указанной в табл. 9.11, для светильников с защитным углом 15° и более — не менее 3,5 м.

Допускается не ограничивать высоту подвеса светильников с защитным углом 15° и более (или с рассеивателями из молочного стекла без отражателей) на площадках для прохода людей или обслуживания технологического (или инженерного) оборудования, а также у входа в здание.

Высота установки светильников рассеянного света должна быть не менее 3 м при световом потоке источника света до 6000 лм и не менее 4 м при световом потоке более 6000 лм.

Отношение осевой силы света I_{\max} одного прибора (прожектора или наклонно расположенного СП прожекторного типа) к высоте установки этих приборов H в квадрате в зависимости от нормируемой освещенности не должно превышать значений, указанных в табл. 9.12.

Таблица 9.11

**Наименьшие высоты установки светильников по условиям ограничения
слепящего действия**

Светораспределение светильников	Наибольший световой поток ламп в светильниках, установленных на одной опоре, тыс. лм	Наименьшая высота установки светильников, м
Полуширокое	Менее 6	7,0
	От 6 до 10	7,5
	Свыше 10 до 20	8,0
	От 20 до 30	9,0
	От 30 до 40	10,0
	Свыше 40	11,5
Широкое	Менее 6	7,5
	От 6 до 10	8,5
	Свыше 10 до 20	9,5
	От 20 до 30	10,5
	От 30 до 40	11,5
	Свыше 40	13,0

Таблица 9.12

Отношение осевой силы света к высоте установки в квадрате

Нормируемая освещенность, лк	I_{\max}/H^2
0,5	100
1	150
2	250
3	300
5	400
10	700
20	1400
30	2100
50	3500

Примечание. При совпадении направлений осевых сил света нескольких СП допустимые значения I_{\max}/H^2 каждого прибора определяются путем деления табличного значения на число этих СП.

Проверка нормируемых величин ($E_{\text{норм}}$, UGR, $E_{\text{цил}}$, P , $K_{\text{п}}$) на соответствие требованиям норм. При расчете ОУ с помощью программы DIALux, поверочные характеристики определяются в этой программе. При расчете инженерным методом поверочный расчет ведется также инженерными методами.

Проверка нормируемой освещенности. Освещенность, установившаяся на расчетной плоскости, складывается из прямой и отраженной составляющих:

$$E = E_{\text{пр}} + E_{\text{отр}},$$

$E_{\text{пр}}$ вычисляется точечным методом в шести точках, затем освещенность в каждой точке делится на коэффициент запаса;

$$E_{\text{отр}} = n\Phi_{\text{д}}u_{\text{отр}}/(K_3S_2),$$

где $u_{\text{отр}}$ — коэффициент использования многократных отражений, $u_{\text{отр}} = u_{\text{о.у}} - u_{\text{пр}}$, (см. гл. 7).

Значение E сравнивается с нормируемыми значениями освещенности. Если значение E на рабочей плоскости равно или больше нормируемой освещенности, то количественный параметр освещенности выполняется. При выполнении расчетов в программе DIALux нужно сравнивать нормируемое значение освещенности с изолюксами или данными резюме программы DIALux.

Проверка качественных показателей освещения. Показатель UGR в программе DIALux определяется в точке нормирования. Значение UGR нормируется на оси помещения на середине торцевой стены на высоте 1,2 м от пола.

При расчете инженерным методом рассчитывается значение показателя дискомфорта M , затем он сравнивается с нормируемым значением UGR. Значения UGR и M связаны следующей зависимостью:

$$\text{UGR} = 16 \lg M - 4,8;$$

$$M = \mu M_{\text{T}};$$

$$\mu = 0,5 \sqrt{\frac{\Phi_{\ominus}}{\sigma}},$$

где Φ_{\ominus} — световой поток в нижнюю полусферу, клм; σ — площадь выходного отверстия СП, м²; $M_{\text{T}} = f(KCC; a/h^*; b/h^*; \Phi_{\ominus}/\Phi_{\text{св}}; \rho_{\text{потолка}}; \rho_{\text{стен}}; \rho_{\text{пола}})$ — табличное значение; здесь a — ширина помещения, м; b — его длина, м; h^* — расстояние от выходного отверстия светильника до точки, в которой нормируется UGR (1,2 м); $\rho_{\text{потолка}}$, $\rho_{\text{стен}}$, $\rho_{\text{пола}}$ — коэффициенты отражения потолка, стен и пола.

После определения M вычисляется значение UGR и сравнивается с нормируемым значением. Если значение UGR превышает нормируемое, то необходимо корректировать проект, например применить светильники с более узкими КСС либо взять светильники преимущественно отраженного или отраженного света.

Показатель ослепленности P рассчитывается инженерным методом. Исходные данные для расчета:

КСС СП;

h_p — высота от выходного отверстия светильника до расчетной плоскости нормирования освещенности;

l/h_p — отношение расстояния между рядами светильников к высоте h ;

L_a — расстояние между СП в ряду;

тип ИС по соотношению $K_{и}/K_{табл}$

$$P = P_T(0, 1/\rho_{р.п.})(K_{и}/K_{табл})K_p,$$

где $P_T = f(KCC, h, l/h, A)$ — находится по таблице [62]; $\rho_{р.п.}$ — реальный коэффициент отражения рабочей плоскости; $K_{и}/K_{табл}$ — соотношение, учитывающее используемый ИС [62]; K_p — коэффициент, учитывающий отражения потолка, стен и пола.

Цилиндрическая освещенность $E_{цил}$ нормируется на оси помещения на расстоянии 1 м от торцевой стены помещения на высоте 1,5 м от пола.

Определение цилиндрической освещенности базируется на следующих допущениях:

поверхности помещения (потолок, стены и пол) принимаются диффузными, равнорядными по всей площади;

множество СП заменяется равнорядкой поверхностью, каждый элемент которой имеет светораспределение, соответствующее светораспределению светильника;

светораспределение СП аппроксимируется формулой

$$I_\alpha = I_0 \cos^m \alpha,$$

где I_0 — сила света светильника в направлении вертикали ($\alpha = 0$); I_α —

сила света под углом α к вертикали; $m = \frac{2\pi I_0}{\Phi_\cup} - 1$, здесь Φ_\cup — световой поток СП в нижнюю полусферу.

Исходные данные для расчета:

$E_{гор}$ — горизонтальная освещенность в нормируемой точке;

КСС;

$R_{\text{потолка}}$, $R_{\text{стен}}$, $R_{\text{пола}}$ — коэффициенты отражения потолка, стен и пола;

индекс помещения $i = ab/(a + b)h_p$, где a , b — размеры помещения; h_p — высота от выходного отверстия светильника до расчетной плоскости нормирования освещенности.

Существуют графики $E_{\text{гор}}/E_{\text{цил}} = f(i)$ для определенных значений $R_{\text{потолка}}$, $R_{\text{стен}}$, $R_{\text{пола}}$ и значения m .

Вычисленное реальное значение $E_{\text{цил}}$ сравнивают с нормируемым значением $E_{\text{цил}}$; если реальное значение меньше нормируемого, то можно выбрать СП с другим типом КСС (более широким), либо взять светильник с другим соотношением $\Phi_{\cup}/\Phi_{\text{св}}$ (светильник с рассеянным, преимущественно отраженным или отраженным распределением света), либо осуществить дополнительную подсветку стен отдельными СП. Если и этими мерами не удалось добиться увеличения $E_{\text{цил}}$, то необходимо увеличить нормируемую освещенность на одну ступень.

Коэффициент пульсации светового потока $K_{\text{п}}$. Как правило, этот коэффициент не требует расчета. При использовании высокочастотных электронных ПРА этот коэффициент находится в пределах нормируемого. При использовании электромагнитных ПРА требуется «расфазировка» на три фазы А, В, С сетевого напряжения, т.е. соседние светильники должны быть подключены к разным фазам.

Корректировка проекта. Если какой-либо количественный или качественный показатель не выполняется, то требуется корректировка проекта.

Оформление светотехнической ведомости. После выполнения всех работ заполняется светотехническая ведомость, которая считается основной таблицей светотехнической части.

9.2. Электрическая часть осветительных установок

9.2.1. Схемы осветительных сетей

Сети освещения разделяются на питающие и групповые линии [50]. К питающей сети относятся линии от трансформаторных подстанций или других точек питания до групповых щитков, а к групповой сети — линии от групповых щитков до СП.

В начале каждой питающей линии устанавливаются аппараты защиты и отключения; в начале групповой линии обязателен аппарат защиты, а отключающий аппарат может не устанавливаться при наличии таких аппаратов по длине линии или когда управление освеще-

щением осуществляется аппаратами, установленными в линиях питающей сети.

Выбор схемы питания проводится с учетом всех условий электропитания объекта, для которого проектируется ОУ. На большинстве промышленных предприятий и практически во всех общественных и жилых зданиях питание внутреннего и наружного освещения осуществляется от трансформаторов, общих для силовых и осветительных электроприемников, со вторичным напряжением 380/220 В при глухом заземлении нейтрали. Самостоятельные осветительные трансформаторы применяются иногда для наружного освещения в больших городах и на некоторых промышленных предприятиях.

В больших производственных корпусах, где размещается значительное число трансформаторов, необходимых для питания силовых электроприемников, питание освещения рекомендуется выполнять не от всех трансформаторов, а от минимального их числа. При этом следует использовать только те трансформаторы, на шинах низшего напряжения которых частота и глубина резких изменений напряжения, вызванных работой силовых электроприемников, не превышают допустимых значений.

На промышленных предприятиях при питании силовых электроприемников напряжением 660/380 В с глухим заземлением нейтрали СП, рассчитанные на напряжение 380 В, могут питаться от общих с силовыми электроприемниками трансформаторов. Питание остальных СП осуществляется от промежуточных трансформаторов 660/380—220 В или от отдельных трансформаторов 10 (6) кВ/380—220 В, от которых питаются также некоторые силовые электроприемники.

Питание нагрузок категории III может осуществляться от одной однострансформаторной подстанции. Аварийное и рабочее освещение должны при этом иметь самостоятельное питание начиная от распределительного щита подстанции (рис. 9.2, *а*) или от ввода в здание (рис. 9.2 *б*).

Для электронагрузок категории II при соблюдении ряда условий (наличие централизованного резерва трансформаторов, питание трансформатора по кабельным линиям не менее чем двумя кабелями и др.) формально также допустимо питание от одной однострансформаторной подстанции, но в действительности для осветительных нагрузок категории II желательно иметь более надежную схему питания.

В большинстве случаев электронагрузки категории II имеют ту же схему питания, что и нагрузки категории I. При питании ОУ здания более чем от одной однострансформаторной подстанции для рабочего и аварийного освещения используются разные трансформаторы (рис. 9.3). Если при этом трансформаторы получают независимое питание, то такая схема обеспечивает электроснабжение осветительных нагрузок категории I.

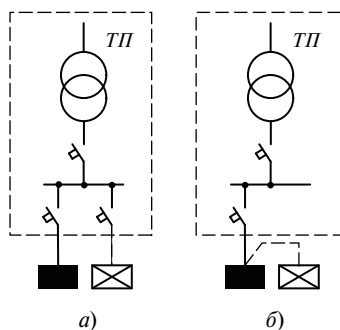


Рис. 9.2. Схема питания освещения от одной однострансформаторной подстанции: *а* — самостоятельные линии рабочего и аварийного освещения начиная от щита трансформаторной подстанции (ТП); *б* — общая линия рабочего и аварийного освещения с разделением ее на вводе в здание

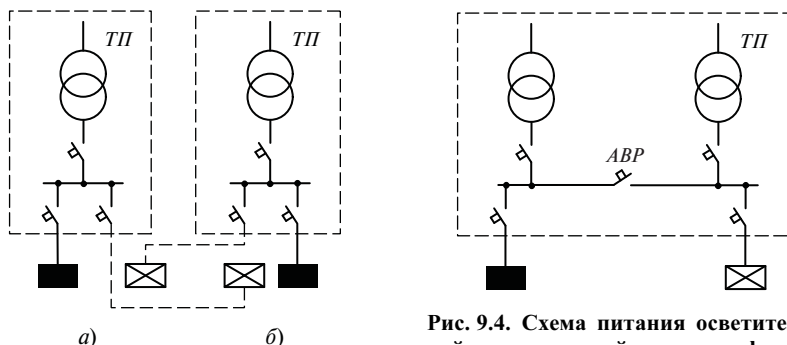


Рис. 9.3. Схема питания ОУ от двух однострансформаторных подстанций

Рис. 9.4. Схема питания осветительной сети от одной двухтрансформаторной подстанции (АВР — автоматическое включение резервного питания)

При наличии в здании двухтрансформаторных подстанций рабочее и аварийное освещение питается от разных трансформаторов одной (рис. 9.4) или разных подстанций. При независимом питании трансформаторов эта схема обеспечивает электроснабжение осветительных нагрузок категории I. Шины щита низшего напряжения двухтрансформаторных подстанций, как правило, разделяются на две секции, по числу трансформаторов. Между секциями устанавливается секционный выключатель, позволяющий при аварийном отключении одного из трансформаторов объединить обе секции в одну.

Для электронагрузок категории I в качестве второго источника питания (питание аварийного освещения) применяются также аккумуляторные батареи, дизельные станции, бензиновые двигатели или же используются электрические связи с ближайшими независимыми источниками.

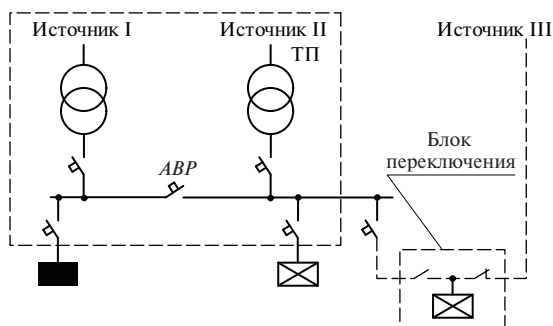


Рис. 9.5. Схема питания осветительной сети от трех источников

Эти источники применяются и в качестве третьего независимого источника при питании электронагрузок особой категории (рис. 9.5).

В качестве аварийных источников постоянного тока, как правило, используются стационарные аккумуляторные батареи 110—220 В, предусматриваемые для питания оперативных цепей в схемах электроснабжения и электропривода (машинные залы прокатных станков, преобразовательные подстанции и др.). В тех же случаях, когда аккумуляторная батарея предназначена только для питания осветительной сети и потребляемая ею мощность мала, применяются стартерные аккумуляторные батареи или батареи с сухими элементами на напряжение 12—42 В.

Включение резервного питания или переключение на него освещения может выполняться автоматически (например, с помощью блоков серии БУ8000—ПУ8000) или вручную (например, с помощью пакетных переключателей или рубильников). Для нагрузок категорий I и особой при аварийном питании от трансформаторов и аккумуляторных батарей используется только автоматический ввод резерва, при аварийном питании от дизельных станций — ручное включение (переключение).

При использовании схемы трансформатор—магистраль—главная магистраль, питаемая от трансформатора и прокладываемая по цеху магистраль выполняет роль шин распределительного щита трансформаторной подстанции (рис. 9.6).

Ответвления от главной магистрали к осветительным и силовым щиткам делаются по всей длине магистрали с установкой защитных аппаратов в местах ответвлений или в непосредственной близости от них.

Рабочее и аварийное освещение питается от различных магистралей. Использовать для питания освещения вторичные силовые магистрали не рекомендуется, поскольку во время эксплуатации возможны их временные отключения, и качество напряжения на них не всегда

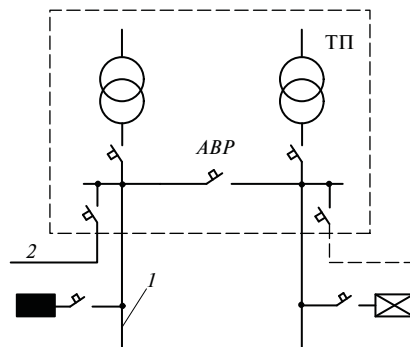


Рис. 9.6. Схема питания осветительной сети при системе трансформатор—магистраль:

1 — главные магистрали; 2 — линии, питающие внецеховые нагрузки

надлежащее. В отдельных случаях вторичные магистрали могут быть использованы для питания аварийного освещения.

Осветительные нагрузки, присоединение которых к главной магистрали нецелесообразно (освещение соседних зданий, территорий, участков, удаленных от главной магистрали, и т.п.), питаются по обычной схеме. Для этих целей на распределительных щитах ТП сохраняется небольшое число линейных выключателей.

9.2.2. Расчет и выбор источников питания с учетом качественных показателей напряжения питающей сети

При системе напряжения для силовых и осветительных сетей 380/220 В с заземленной нейтралью питание силовых и осветительных электроприемников должно осуществляться от общих трансформаторов [51]. Применение отдельных осветительных трансформаторов допускается:

а) в случаях, когда при питании освещения от силовых трансформаторов невозможно обеспечить требований, чтобы допустимые значения размахов (изменений) напряжения у ламп в зависимости от их частоты и повторения или интервалов времени между ними не превышали значений, определяемых по ГОСТ 13109—87 [52];

б) при большой плотности осветительной нагрузки, когда может быть экономически оправдано применение для питания освещения самостоятельных трансформаторов.

При этом в случае, указанном в пункте «а», должна быть также рассмотрена целесообразность установки общих трансформаторов для освещения и части силовых нагрузок, не вызывающих резких изменений напряжения.

Не рекомендуется для питания освещения использовать трансформаторы, работающие в блоке с определенной совокупностью технологических механизмов, отключаемых вместе с питающими их трансформаторами при остановке этих механизмов на ремонт. При неизбежности такого питания следует предусматривать обеспечение питания освещения при отключении подстанции по перемычке между щитами двух ближайших подстанций, включаемой вручную.

Выбор схем соединений обмоток трансформаторов, применяемых для совместного питания силовых и осветительных электроприемников:

а) если нагрузка на трансформатор от РЛ (включая потери в ПРА) превышает 25 % его номинальной мощности, то должны быть использованы трансформаторы со схемой соединений обмоток «треугольник — звезда с нулем»;

б) если нагрузка на трансформатор от РЛ (включая потери в ПРА) меньше 25 % его номинальной мощности, то может быть применен трансформатор со схемой соединений обмоток «звезда — звезда с нулем».

Напряжение на лампах должно быть не выше номинального значения. Понижение напряжения у наиболее удаленных ламп сети внутреннего рабочего освещения, а также прожекторных установок должно быть не более 5 % номинального напряжения; у наиболее удаленных ламп сети наружного и аварийного освещения и в сети напряжением 12—50 В — не более 10 %.

Питание светильников на напряжение не выше 42 В осуществляется от однофазных или трехфазных трансформаторов с первичным напряжением не выше 380 В, с электрически не связанными обмотками высшего и низшего напряжения. Один из выводов или средняя точка, или нейтраль на стороне низшего напряжения трансформатора должны быть занулены или заземлены. Применение автотрансформаторов не допускается.

Питание светильников местного освещения может быть от силовой сети производственного оборудования, на котором эти светильники устанавливаются.

Светильники рабочего освещения и светильники аварийного освещения, а в производственных зданиях без естественного освещения также светильники эвакуационного освещения должны питаться от независимых источников или автоматически переключаться на независимый источник при отключении основного источника питания.

Допускается питание рабочего и аварийного освещения от разных трансформаторов одной двухтрансформаторной подстанции при питании трансформаторов от независимых источников.

В особо ответственных случаях (обеспечение обслуживания электроприемников особой группы) аварийное и эвакуационное освеще-

ние или часть аварийного освещения должны осуществляться от третьего независимого источника энергии, решение об этом принимается с учетом обеспечения питанием и части силового оборудования.

Допускается питание аварийного освещения от силовой сети (за исключением производственных зданий без естественного освещения) при условии, что рабочее освещение и силовые электроприемники питаются от независимых источников.

Светильники эвакуационного освещения производственных зданий с естественным освещением могут получать питание от трансформаторов, используемых для рабочего освещения, самостоятельными линиями начиная от щита подстанции или распределительных пунктов освещения, а для зданий, не имеющих собственных встроенных или пристроенных подстанций, самостоятельными линиями начиная от вводного распределительного устройства в здание.

9.2.3. Выбор групповых щитов и планировка сети

Осветительные щитки предназначены для приема и распределения электроэнергии в ОУ, для управления освещением, а также для защиты групповых линий при длительных перегрузках и коротких замыканиях. Щитки выбираются с учетом условий окружающей среды, числа присоединяемых к ним линий, их расчетных токов и требуемых защитных аппаратов [2].

На промышленных объектах в ОУ могут применяться осветительные щитки типов ЯОУ8500, ОП, ОЩ, ОЩВ, УОЩВ, ЩО 8505, ЩРО 8505, распределительные пункты типа ПР8501 и др. (табл. 9.13—9.15).

Таблица 9.13

Технические данные осветительных групповых щитков серии ЯОУ8500

Тип щитка	Тип вводного аппарата	Автоматические выключатели групповых линий		Способ установки
		Тип	Число, шт.	
ЯОУ8501	ПВ3-60	АЕ 1031-1	6	На стене
ЯОУ 8502	ПВ3-100	АЕ 1031-1	12	
ЯОУ8503	ПВ3-100	АЕ 2044-10	6	
ЯОУ8504	ПВ3-100	АЕ 2046-10	2	
ЯОУ8505	ПВ3-60	АЕ 1031-1	6	В нише
ЯОУ8506	ПВ3-100		12	
ЯОУ8507	—		6	
ЯОУ8508	—		12	

Примечание. ПВ3 — пакетный выключатель.

Таблица 9.14

**Технические данные осветительных групповых щитков
серий ОП, ОЩ, ОЩВ, УОЩВ**

Тип щитка	Число однофазных групп	Устройство или аппарат на вводе	Аппараты на отходящих линиях	Способ установки
ОП-3УХЛ4	3	Отсутствует	АЕ 1000	На стене
ОП-6УХЛ4	6			
ОП-9УХЛ4	9			
ОП-12УХЛ4	12			
ОЩ-6УХЛ4	6		А 63	
ОЩ12УХЛ4	12			
ОЩВ-6АУХЛ4	6	АЕ 2046-10	А 3161	В нише
ОЩВ-12АУХЛ4	12			
УОЩВ-6АУХЛ4	6			
УОЩВ-12АУХЛ4	12			

Таблица 9.15

Технические данные осветительных групповых щитков серии ЩО 8505

Номер схемы	Тип щитка	Наличие выключателя ввода и номинальный ток его расцепителя, А	Выключатели групповых линий	
			Наибольший номинальный ток расцепителя, А	Максимальное число выключателей, шт.
02	ЩО 8505-0206	Отсутствует	31,5	6
02	ЩО 8505-0209		20,0	9
03	ЩО 8505-0306		31,5	6
03	ЩО 8505-0309		20,0	9
04	ЩО 8505-0406	63,0	31,5	6
06	ЩО 8505-0504		31,5	2
12	ЩО 8505-1212	Отсутствует	16,0	12
12	ЩО 8505-1215		12,5	15
12	ЩО 8505-1218		10,0	18
13	ЩО 8505-1312		16,0	12
13	ЩО 8505-1315		12,5	15
13	ЩО 8505-1318		10,0	18
14	ЩО 8505-1409	63,0	20,0	9
14	ЩО 8505-1412		16,0	12
14	ЩО 8505-1415		12,5	15
16	ЩО 8505-1603		63,0	3

На лицевой стороне щитков и сборок сети освещения должны быть надписи (маркировка) с указанием наименования (щитка или сборки), номера, соответствующего схеме на диспетчерском пункте. С внутренней стороны (например, на дверцах) должны быть: однолинейная схема, надписи с указанием значения тока плавкой вставки на предохранителях или номинального тока автоматических выключателей и наименование электроприемников, получающих через них питание. Автоматические выключатели должны обеспечивать селективность отключения потребителей, получающих от них питание.

Расположение групповых щитков должно отвечать рациональному и экономически целесообразному построению осветительной сети с учетом заданного размещения источников питания, принятой системы управления освещением и т.д. Щитки должны размещаться в местах, постоянно доступных для обслуживания. Щитки, с которых осуществляется оперативное управление освещением, желательно размещать так, чтобы с места их установки были видны управляемые светильники и по возможности вблизи основного входа в помещение.

Применение для рабочего освещения и освещения аварийного (и эвакуационного) общих групповых щитков (хотя бы с секционированными шинами), а также установка аппаратов дистанционного управления обоими видами освещения (за исключением сигнальных ламп и ключей управления) в общих шкафах запрещаются.

Конструктивное исполнение щитков или шкафов, в которых они установлены, должно удовлетворять условиям среды помещений. Следует по возможности выносить щитки из помещений с тяжелыми условиями среды, а также из помещений с пожаро- и взрывоопасными зонами, размещая их в помещениях с более благоприятными условиями среды.

В начале каждой групповой линии, в том числе питаемой непосредственно от шинных магистралей, должны быть установлены аппараты защиты на всех незаземленных проводках, а в групповых линиях, питающих светильники, размещенные в помещениях с взрывоопасными зонами класса В-I, аппараты защиты должны быть установлены также и в нулевых проводках двухпроводных групп. В остальных случаях установка аппаратов защиты на заземленных нулевых проводках запрещается.

Номинальный ток расцепителя автомата или плавкого элемента предохранителя, применяемых для защиты линий групповой сети, должен быть не выше 25 А.

В групповых линиях, питающих РЛ мощностью 125 Вт и более или ЛН мощностью 300 Вт и более, а также в сетях напряжением не выше 42 В можно применять аппараты защиты с номинальным током до 63 А.

При защите групповых линий автоматами с тепловыми или комбинированными расцепителями, установленными в закрытых шкафах или щитках, рабочий ток групповой линии должен быть не выше 90 % номинального тока уставки автомата.

Загрузка фаз в пределах каждого щитка и линии должна быть достаточно равномерной. Распределение групп щитка и светильников линии по фазам отражается в проекте.

При распределении светильников линии между фазами рекомендуется следующий порядок фазировки: А—В—С, А—В—С ... — при необходимости уменьшения коэффициента пульсации в случае, когда нужно сохранить равномерность освещения по всей площади при отключении одной-двух фаз для наружного освещения; А—А—А, В—В—В, С—С—С ... — при необходимости включения освещения по участкам площади при условии, что уменьшения $K_{\text{п}}$ не требуется; А—В—С, С—В—А ... — в прочих случаях.

Каждая групповая линия, как правило, должна содержать на фазу не более 20 ЛН, ДРЛ, ДРИ, ДРИЗ, ДНаТ.

В производственных, общественных и жилых зданиях на однофазные группы освещения лестниц, этажных коридоров, холлов, технических подполий и чердаков допускается подключать до 60 ЛН мощностью до 60 Вт.

К групповым линиям, питающим световые карнизы, световые потолки с ЛН, а также светильники с ЛЛ мощностью до 80 Вт, рекомендуется присоединять до 60 ламп на фазу; к линиям, питающим светильники с ЛЛ мощностью до 40 Вт включительно, можно присоединять до 75 ламп на фазу, а мощностью до 20 Вт включительно — до 100 ламп на фазу.

Для групповых линий, питающих многоламповые люстры, число ламп любого типа на фазу не ограничивается.

9.2.4. Выбор марки проводов и способов прокладки сети

В осветительных сетях всех напряжений следует применять провода и кабели с изоляцией, рассчитанной на номинальное напряжение сети. Нулевые рабочие проводники должны иметь изоляцию, равноценную изоляции фазных проводников.

В питающих сетях с заземленной нейтралью (за исключением линий освещения помещений с взрывоопасными зонами) допускается использовать в качестве нулевых рабочих проводников алюминиевые оболочки кабелей, которые могут нагружаться током, не превышающим 75 % тока, допустимого для фазной жилы.

При напряжении сети не выше 42 В в производственных помещениях с нормальными условиями среды допускается применять в качестве одного из рабочих проводников стальные трубы и тросы

электропроводок, открыто проложенные металлические конструкции зданий, производственного оборудования и механизмов.

В осветительных сетях следует, как правило, использовать провода и кабели с алюминиевыми жилами. Провода и кабели с медными жилами должны применяться:

- а) для присоединения передвижных и переносных светильников;
- б) в помещениях со средой, химически активной по отношению к алюминию;
- в) в помещениях со взрывоопасными зонами классов В-I и В-Ia;
- г) для прокладки по основаниям, подверженным вибрациям;
- д) для зарядки светильников с ЛН и РЛВД высокого давления (ДРЛ, ДРИ, ДРИЗ, ДНаТ), если вводимые в светильники проводники присоединяются непосредственно к контактным зажимам ламповых патронов;
- е) при непосредственной подвеске на них светильников;
- ж) при открытой прокладке проводов на чердаках.

Применяемые в осветительных сетях виды электропроводок должны обеспечивать их надежную и долговременную работу в данных условиях среды, обладать достаточной механической прочностью и по возможности наглядностью и доступностью для обслуживания.

Следует широко использовать электропроводки, допускающие выполнение электромонтажных работ промышленными методами: самонесущие провода, тросовые и струнные проводники, прокладку кабелей и проводов на лотках и в коробах, магистральные, распределительные и осветительные шинопроводы.

Применение прокладки проводов на изолирующих опорах (кроме прокладки в виде перекидок между фермами) следует ограничивать, допуская ее, как правило, только для временных установок и сельскохозяйственных объектов.

В административно-конторских, проектно-конструкторских, лабораторных, а также в производственных помещениях с особым режимом по чистоте следует, как правило, использовать скрытую электропроводку.

Следует строго ограничивать применение электропроводок в стальных трубах и предусматривать их, как правило, лишь в помещениях со взрывоопасными зонами классов В-I и В-II и за подвесными потолками из горючих материалов. Для прокладки в трубах следует, как правило, применять одножильные провода.

Для прокладки осветительных сетей используются стальные и пластмассовые трубы. Стальные трубы применяются во взрывоопасных и пожароопасных зонах. Пластмассовые трубы используются нескольких видов: трудносгораемые жесткие поливинилхлоридные

(ПВХ); сгораемые полиэтиленовые (ПЭ) и полипропиленовые (ПП). Для открытой прокладки можно использовать только ПВХ-трубы, для скрытой — ПВХ, ПЭ и ПП.

Электропроводку за подвесными и подшивными потолками из несгораемых и трудносгораемых материалов следует выполнять в ПВХ-трубах, из сгораемых материалов — в стальных трубах. Электропроводка за подвесными потолками из несгораемых и трудносгораемых материалов может выполняться также открыто прокладываемыми за подвесным потолком кабелями при условии возможности их замены.

Прокладку осветительной сети внутри сборных гипсокартонных перегородок с каркасом из несгораемых и трудно сгораемых материалов следует осуществлять проводами в ПВХ-трубах или непосредственно кабелем без труб или в ПЭ- и ПП-трубах. В перегородках с деревянным каркасом проводка должна выполняться проводами в стальных трубах или гибких металлорукавах.

При прокладке в стальных и других механически прочных трубах, а также в металлорукавах, коробах, лотках и замкнутых каналах строительных конструкций здания рекомендуется совместная прокладка проводов и кабелей:

- а) цепей, питающих сложные светильники;
- б) цепей нескольких групп одного вида освещения с общим числом проводников в одной трубе не более восьми;
- в) линий напряжением до 42 В вместе с линиями напряжением до 380 В при условии заключения первых в отдельную изолированную трубу.

Линии аварийного или эвакуационного освещения допускается прокладывать как независимо от линий рабочего освещения (по строительным основаниям, на тросах и т.п.), так и следующими способами:

- а) по внешней поверхности корпусов осветительных шинопроводов рабочего освещения;
- б) в одном коробе с проводами рабочего освещения для установки светильников с ЛЛ при условии невозможности соприкосновения проводников рабочего и аварийного (эвакуационного) освещения;
- в) совместно с проводами рабочего освещения в корпусах светильников с ЛЛ, если они предназначены для прокладки питающих проводов и при условии невозможности соприкосновения проводников рабочего и аварийного (эвакуационного) освещения;
- г) на общих с проводниками рабочего освещения тросах или струнах с расстоянием между проводниками рабочего и аварийного (эвакуационного) освещения не менее 20 мм.

В случаях, указанных в пунктах б, в и г, кабели и провода должны иметь изоляцию на напряжение не ниже 660 В.

Для зарядки светильников с ЛН и РЛВД мощностью более 100 Вт в случаях, когда вводимые в светильники проводники непосредственно присоединяются к зажимам ламповых патронов (а не к зажимам контактных колодок или к контактным зажимам встроенных в светильник штепсельных разъемов), должны, как правило, применяться провода с нагревостойкой изоляцией.

Виды электропроводок и способы прокладки проводов и кабелей в зависимости от окружающей среды приведены в [53].

9.3. Электрическая часть проекта ОУ

Определение электрических нагрузок ОУ. Знание электрических нагрузок на освещение необходимо при выборе электрооборудования и расчете осветительных сетей. Они учитываются также в общих нагрузках зданий, сооружений, установок, производственных объектов и т.п.

Расчетная осветительная нагрузка производственных и общественных зданий, а также наружного освещения определяется исходя из суммарной мощности ламп, полученной в результате светотехнического расчета. Установленная мощность находится суммированием номинальной мощности всех ламп стационарных СП напряжением более 42 В и СП местного освещения. В осветительных установках с разрядными лампами расчетная нагрузка определяется с учетом потерь мощности в ПРА.

Расчетная нагрузка на вводе в здание или в начале питающей линии вычисляется по формуле

$$P_p = K_c \sum_{i=1}^n K_{\text{ПРА } i} P_{\text{ном } i},$$

где K_c — коэффициент спроса осветительной нагрузки; $K_{\text{ПРА}}$ — коэффициент, учитывающий потери в ПРА i -й лампы; $P_{\text{ном}}$ — номинальная мощность i -й лампы; n — число ламп, питающихся по данной линии (установленных в здании или помещении).

При отсутствии данных обследования ОУ коэффициент спроса для расчета питающей сети рабочего освещения производственных зданий следует принимать равным: 1,0 — для небольших зданий и линий, питающих отдельные групповые щитки; 0,95 — для помещений, состоящих из отдельных крупных пролетов; 0,9 — для библиотек и административных зданий; 0,85 — для зданий, состоящих из многих отдельных помещений; 0,8 — для лечебных, конторско-бытовых и лабораторных зданий; 0,6 — для складских зданий, состоящих

из многих отдельных помещений, а также для электрических подстанций.

При расчете групповой сети рабочего освещения и всех звеньев сети аварийного освещения производственных зданий, а также наружного освещения используется коэффициент спроса, равный единице.

Значение $K_{\text{ПРА}}$ принимается равным: 1,0 — для ЛН; 1,1 — для ламп типа ДРЛ, ДРИ; 1,2 — для ЛЛ со стартерной схемой включения; 1,3 — для ЛЛ при бесстартерной схеме включения.

В электронных ПРА потери мощности примерно на 20—50 % меньше по сравнению с потерями в электромагнитных ПРА.

Расчетная нагрузка понижающих трансформаторов с вторичным напряжением 12—42 В складывается из установленной мощности стационарных осветительных приборов общего и местного освещения и нагрузки переносного освещения. Для переносного освещения принимают мощность одного ручного светильника 40 Вт при напряжении 12 В и 50 Вт при напряжении 36 и 42 В с коэффициентом спроса, значение которого определяется степенью использования переносного освещения. При отсутствии конкретных данных коэффициент спроса для ручных светильников можно считать равным 0,5.

При расчете питающей сети рабочего освещения и вводов в общественные здания коэффициент спроса следует принимать в зависимости от установленной мощности рабочего освещения по табл. 9.16.

Коэффициент спроса для расчета групповой сети рабочего освещения, распределительных и групповых сетей аварийного и эвакуационного освещения зданий, освещения витрин и световой рекламы следует принимать равным единице.

Расчетную электрическую нагрузку линий, питающих розетки, определяют по следующей формуле:

$$P_{\text{р.р}} = K_{\text{с.р}} P_{\text{у.р}} n,$$

где $K_{\text{с.р}}$ — коэффициент спроса розеточной сети, выбираемый по табл. 9.17; $P_{\text{у.р}}$ — установленная мощность розетки, принимаемая 0,06 кВт (в том числе для подключения оргтехники); n — число розеток.

При смешанном питании общего освещения и розеточной сети общую расчетную нагрузку $P_{\text{р.о}}$ определяют по формуле

$$P_{\text{р.о}} = P'_{\text{р.о}} + P_{\text{р.р}},$$

Коэффициенты спроса для расчета нагрузок рабочего освещения питающей и распределительной сети общественных зданий

Организации, предприятия и учреждения	K_c в зависимости от установленной мощности рабочего освещения, кВт								
	До 5	10	15	25	50	100	200	400	500 и более
Гостиницы, спальные корпуса и административные помещения санаториев, домов отдыха, пансионатов, турбаз, детских лагерей отдыха	1	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,35	0,3	0,3
Предприятия общественного питания, детские ясли-сады, учебно-производственные мастерские профтехучилищ	1	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6	0,5
Организации и учреждения управления, учреждения финансирования, кредитования и государственного страхования, общеобразовательные школы, специальные учебные заведения, учебные здания профтехучилищ, предприятия бытового обслуживания, торговли, парикмахерские	1	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6
Проектные, конструкторские организации, научно-исследовательские институты	1	1	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65
Актовые залы, конференц-залы (освещение зала и президиума), спортзалы	1	1	1	1	1	1	—	—	—
Клубы и дома культуры	1	0,9	0,8	0,75	0,7	0,65	0,55	—	—
Кинотеатры	1	0,9	0,8	0,7	0,65	0,6	0,5	—	—
Лечебные корпуса больниц, санаториев, профилакториев	1	0,75	0,8	0,6	0,5	0,45	0,4	0,38	0,36
Операционные, родильные, реанимационные блоки, палатные корпуса больниц, поликлиники	1	0,85	0,85	0,75	0,7	0,67	0,65	0,65	0,65

Примечание. Коэффициент спроса для установленной мощности рабочего освещения, не указанной в таблице, определяется интерполяцией.

Коэффициенты спроса розеточной сети освещения

Организации, предприятия и учреждения	Групповые сети	Распределительные сети	Вводы зданий
Организации и учреждения управления, проектные и конструкторские организации, научно-исследовательские институты, учреждения финансирования, кредитования и государственного страхования, общеобразовательные школы, специальные учебные заведения, учебные заведения профтехучилищ, больницы, поликлиники	1	0,2	0,1
Гостиницы, обеденные залы ресторанов, кафе и столовых, предприятия бытового обслуживания, библиотеки, архивы	1	0,4	0,2

где $P'_{p.o}$ — расчетная нагрузка линий общего освещения, кВт; $P_{p.p}$ — расчетная нагрузка розеточной сети.

Коэффициент спроса для расчета нагрузок линий, питающих постановочное освещение в залах, клубах и домах культуры, следует принимать равным 0,35 для регулируемого освещения и 0,2 — для нерегулируемого.

Расчетная нагрузка освещения отдельных помещений и зданий, для которых не проводился полный светотехнический расчет, может быть приближенно определена (в киловаттах) по выражению

$$P_p = K_c p_{уд} F \cdot 10^{-3},$$

где $p_{уд}$ — удельная мощность общего равномерного освещения, Вт/м²; F — площадь помещения, м².

Удельная мощность освещения выбирается в зависимости от типа и номинальной мощности применяемых ИС, расчетной высоты, площади помещения, освещенности, КСС и других показателей освещения.

Значение удельной мощности в каждом конкретном случае находят пропорциональным пересчетом по формуле

$$P_{уд} = \frac{P_{уд\tau} K_3 E_{норм}}{K_{3\tau} \eta 100},$$

где $P_{уд\tau}$ — табличное значение удельной мощности освещения; K_3 и $K_{3\tau}$ — фактическое и табличное значения коэффициента запаса;

$E_{\text{норм}}$ — значение нормированной освещенности; η — КПД выбранного светильника ($\eta = 0,5 \div 0,8$).

Расчетную нагрузку наружного освещения можно определить аналогично. Учитывая, что коэффициент спроса для наружного освещения принимается равным единице, расчетную нагрузку в данном случае определяют по одному из следующих выражений:

$$P_p = p_{\text{уд}i} L \cdot 10^{-3};$$

$$P_p = p_{\text{уд}} F \cdot 10^{-3},$$

где $p_{\text{уд}i}$ и $p_{\text{уд}}$ — удельные мощности ОУ, Вт/м и Вт/м², соответственно; L — суммарная длина линий наружного освещения, м; F — освещаемая площадь дорожного покрытия, м².

При необходимости расчетная реактивная мощность осветительной нагрузки определяется по формуле:

$$Q_p = P_p \operatorname{tg} \varphi,$$

где $\operatorname{tg} \varphi$ — среднее значение коэффициента реактивной мощности ОУ.

Зная Q_p и P_p , можно найти полную мощность расчетной нагрузки S_p и расчетный ток.

Выбор сечения проводников по нагреву. Нагрев проводников обуславливается током, который определяется по формулам:

для трехфазной сети (четырёх- и пятипроводной) расчетный ток

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3} U_{\text{ном}} \cos \varphi} = \frac{P_p}{3 U_{\text{ном.ф}} \cos \varphi};$$

для двухфазной сети с рабочим и защитным нулевым проводами (трех- и четырехпроводной)

$$I_p = \frac{P_p}{2 U_{\text{ном.ф}} \cos \varphi};$$

для однофазной сети (двух- и трехпроводной)

$$I_p = \frac{P_p}{U_{\text{ном.ф}} \cos \varphi},$$

где $U_{\text{ном.ф}}$ и $U_{\text{ном}}$ — соответственно номинальное фазное и междуфазное напряжение сети; $\cos \varphi$ — коэффициент мощности.

При неравномерной нагрузке фаз расчетная активная нагрузка линии принимается равной утроенному значению нагрузки наиболее загруженной фазы.

Сечения проводников осветительной сети по нагреву выбираются по таблицам длительно допустимых токов $I_{\text{доп}}$ в зависимости от значения I_p по условию

$$I_{\text{доп}} \geq I_p / K_{\text{пр}},$$

где $K_{\text{пр}}$ — поправочный коэффициент на фактические условия прокладки проводов и кабелей.

Если условия прокладки проводов и кабелей не отличаются от принятых в ПУЭ, то $K_{\text{пр}} = 1$.

Для осветительных сетей напряжением до 1 кВ, как правило, поправочный коэффициент

$$K_{\text{пр}} = K_1 K_2,$$

где K_1 и K_2 — коэффициенты, с помощью которых учитываются фактическая температура окружающей среды и число совместно проложенных проводников (принимаются по ПУЭ).

Длительно допустимые токовые нагрузки для проводов и кабелей с резиновой и пластмассовой изоляцией с алюминиевыми и медными жилами принимаются по ПУЭ.

При определении числа жил кабелей и проводов, прокладываемых в одной трубе, принимается в расчет нулевой рабочий провод (N , PEN) трехфазной линии, если по нему протекает ток, значение которого сопоставимо с током фазных проводов (например, при питании линии РЛ без компенсации $\cos \varphi$ ток в нулевом проводнике может превышать токи в фазных проводниках).

Допустимые токовые нагрузки проводников, способы прокладки которых отличаются от указанных в справочных таблицах, принимаются:

для тросовых проводов — как для кабелей с резиновой и пластмассовой изоляцией;

для проводов, проложенных в пластмассовых трубах или электротехнических плинтусах, — как для проводов в стальных трубах с понижением допустимых нагрузок на 10—15 %;

для проводов, проложенных в каналах строительных конструкций, а также замоноличенных проводов — как для проводов в трубах;

для пятипроводных линий, проложенных в трубах или каналах строительных конструкций, питающих светильники с ЛН (или силовые электроприемники), — как для трех одножильных проводов, прокладываемых в одной трубе, а для таких же линий, питающих РЛ, — как для четырех одножильных проводов, прокладываемых в одной трубе;

для пятижильных кабелей, питающих ЛН, — как для трехжильных кабелей, а при питании РЛ — как для четырехжильных кабелей;

для проводов, проложенных в коробах, а также в лотках пучками, — как для проводов, проложенных в трубах;

для кабелей, проложенных в коробах или лотках, — как для кабелей, проложенных в воздухе;

для проводов, проложенных в лотках в один ряд, — как для открыто проложенных проводов;

при числе одновременно нагруженных проводов более трех, проложенных в трубах, коробах, а также в лотках пучками, — как для проводов, проложенных открыто с введением понижающих коэффициентов: 0,68 — для 5 и 6; 0,63 — для 7—9 и 0,6 — для 10—12 проводов.

Выбор сечения проводов по допустимой потере напряжения. Допустимое значение потери напряжения (в процентах) в осветительной сети рассчитывается по формуле

$$\Delta U_{\text{доп}} = U_{\text{х}} - U_{\text{л}} - \Delta U_{\text{т}},$$

где $U_{\text{х}}$ — напряжение холостого хода на шинах низшего напряжения трансформатора, $U_{\text{х}} = 105\%$; $U_{\text{л}}$ — минимальное допустимое напряжение у наиболее удаленной лампы, $U_{\text{л}} = 95\%$; $\Delta U_{\text{т}}$ — потеря напряжения в трансформаторе, к которому подключена ОУ, %.

С учетом значений $U_{\text{х}}$ и $U_{\text{л}}$ можно считать:

$$\Delta U_{\text{доп}} = 10 - \Delta U_{\text{т}}.$$

Потери напряжения в трансформаторах с достаточной для практических целей точностью могут быть определены по формуле

$$\Delta U_{\text{т}} = \beta_{\text{т}}(U_{\text{к.а}} \cos \varphi + U_{\text{к.р}} \sin \varphi),$$

где $\beta_{\text{т}}$ — коэффициент загрузки трансформатора; $U_{\text{к.а}}$ и $U_{\text{к.р}}$ — активная и реактивная составляющие напряжения короткого замыкания, %; $\cos \varphi$ — коэффициент мощности нагрузки трансформатора.

Значения $U_{\text{к.а}}$ и $U_{\text{к.р}}$ вычисляются по формулам:

$$U_{\text{к.а}} = \frac{\Delta P_{\text{к}} \cdot 100}{S_{\text{ном}}}; \quad U_{\text{к.р}} = \sqrt{U_{\text{к}}^2 - U_{\text{к.а}}^2},$$

где $\Delta P_{\text{к}}$ — потери короткого замыкания, кВт; $S_{\text{ном}}$ — номинальная мощность трансформатора, кВ · А; $U_{\text{к}}$ — напряжение короткого замыкания, %.

Сечение проводов осветительной сети, мм², по допустимой потере напряжения определяется по формуле

$$F = \frac{M}{C \Delta U_{\text{доп}}},$$

где M — момент нагрузки рассматриваемого участка сети, кВт·м; C — расчетный коэффициент, значение которого принимается по табл. 9.18.

Полученное значение сечения округляют до ближайшего большего стандартного.

В общем случае для линии длиной L с сосредоточенной нагрузкой P_p (рис. 9.7, а) момент нагрузки $M = P_p L$.

Если группа светильников одинаковой мощности присоединяется к групповой линии с равными интервалами l (рис. 9.7, б), то сосредоточенная нагрузка линии заменяется суммарной сосредоточенной, приложенной в середине участка. Тогда значение L определяем по формуле

$$L = l_1 + l \frac{N_p - 1}{2},$$

где l_1 — длина участка линии от осветительного щитка до первого светильника; N_p — число светильников в одном ряду.

Сечения нулевых проводов в сетях с заземленной нейтралью должно отвечать требованиям, указанным в табл. 9.19.

Таблица 9.18

Значения коэффициента C для расчета сети по потере напряжения

Номинальное напряжение сети, В	Система сети и род тока	Значение коэффициента для проводов	
		из меди	из алюминия
400/230	Трехфазная с нулевым рабочим проводом	79	48,0
230	Трехфазная без нулевого рабочего провода	26	16,0
400/230	Двухфазная с нулевым рабочим проводом	35	21,5
230	Однофазная переменного или двухпроводная постоянного тока	13	8,0

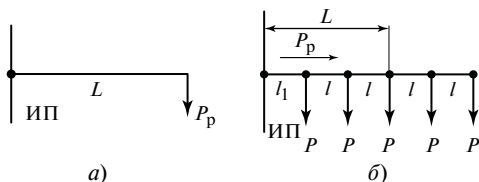


Рис. 9.7. Схемы осветительных сетей:

а — линия с сосредоточенной нагрузкой; б — групповая линия с равномерно распределенной нагрузкой

Допустимые токи нулевых проводов

Линия	Допустимый ток, определяющий сечение нулевого провода
<p>Трехфазная четырехпроводная линия, рассчитанная как симметрично нагруженная, питающая преимущественно:</p> <p>а) ЛН</p> <p>б) ЛЛ</p> <p>в) РЛВД с некомпенсированными ПРА</p> <p>г) РЛВД с компенсированными ПРА</p> <p>д) ЛЛ и ЛН</p> <p>е) ЛЛ и РЛВД с некомпенсированными ПРА</p> <p>ж) ЛЛ, РЛВД с компенсированными ПРА и ЛН</p>	<p>Около 50 % тока фазного провода</p> <p>Не менее 100 % расчетного тока линейного провода</p> <p>Около 50 % тока линейного провода</p> <p>Не менее 100 % расчетного тока линейного провода</p> <p>Не менее суммы 100 %-ного расчетного тока ЛЛ и 50 %-ного расчетного тока ЛН</p> <p>Не менее суммы 100 %-ного расчетного тока ЛЛ 50 %-ного расчетного тока РЛВД</p> <p>Не менее суммы 100 %-ного расчетного тока ЛЛ и РЛВД и 50 %-ного расчетного тока ЛН</p>
<p>Трехфазная четырехпроводная линия, питающая ЛН, рассчитанная как равномерно нагруженная:</p> <p>а) с одновременным отключением фаз</p> <p>б) с равномерным отключением фаз или с установкой местных выключателей</p>	<p>Около 50 %-ного тока фазного провода</p> <p>Не менее 100 % расчетного тока линейного провода</p>
<p>Трехфазная четырехпроводная линия, питающая ЛН с неравномерной нагрузкой, с разновременным отключением фаз</p>	<p>Не менее 100 % фазного тока наиболее нагруженной фазы</p>
<p>Трехфазная четырехпроводная линия, питающая ЛЛ, рассчитанная как равномерно нагруженная с одновременным или разновременным отключением фаз</p>	<p>Около 100 % тока линейного провода</p>

Линия	Допустимый ток, определяющий сечение нулевого провода
Трехфазная четырехпроводная линия, питающая РЛВД фазным напряжением в светильниках с некомпенсированными ПРА, рассчитанная как на одновременное, так и на разновременное отключение фаз	Около 50 % тока фазного провода
Трехфазная четырехпроводная линия, питающая РЛВД фазным напряжением в светильниках с компенсированными ПРА, рассчитанная как симметрично нагруженная, при одновременном или разновременном отключении фаз	Приблизительно равен расчетному значению тока линейного провода
Трехфазная четырехпроводная линия, питающая РЛВД фазным напряжением в светильниках с некомпенсированными ПРА, с одновременным отключением всех фаз и дополнительным подключением к групповой линии у щитка трехфазного конденсатора для повышения коэффициентов мощности	Около 50 % тока фазного провода
Многофазная многопроводная линия с общим нулевым проводником, питающая любые ИС, с разновременным отключением фаз или имеющая местные выключатели в фазных проводниках	Не менее суммы расчетных токов наиболее нагруженных фаз
Двухфазная трехпроводная линия симметрично и несимметрично нагруженная, питающая любые ИС	Не менее фазного тока наиболее нагруженной фазы
Однофазная двухпроводная линия, питающая любые ИС	Не менее фазного тока

Зануление и заземление. Зануление должно быть предусмотрено в сетях переменного тока с заземленной нейтралью напряжением более 42 В до 660 В и в сетях постоянного тока напряжением более 110 В до 440 В с заземленной средней точкой или одним из заземленных выводов.

Заземление обеспечивается в сетях переменного тока с изолированной нейтралью (или без выведенной нейтрали) и в сетях постоян-

ного тока напряжением более 110 В до 220 В с изолированными выводами.

В ОУ взрывоопасных зон всех классов зануление или заземление должно быть предусмотрено при всех значениях напряжения (в том числе 42 В и менее переменного тока и 110 В и менее постоянного тока).

Зануление и заземление необходимо предусматривать в ОУ помещений с повышенной опасностью, особо опасных и в наружных ОУ. В сетях переменного тока с заземленной нейтралью в качестве зануляющего провода в питающей и групповой сетях используется рабочий нулевой провод.

В групповых сетях переменного тока с заземленной нейтралью зануление светильников следует осуществлять:

а) во взрывоопасных зонах класса В-I — самостоятельным проводом, начиная от группового щитка;

б) во взрывоопасных зонах классов В-Iа, В-Iб, В-II, В-IIа, В-Iг — самостоятельным проводом, начиная от ближайшей к светильнику ответвительной коробки;

в) при вводе в светильник изолированных незащищенных проводов, тросовых электропроводах кабелем и тросовым самонесущим проводом, изолированным незащищенным проводом на изолирующих опорах — гибким проводом, начиная от ближайшей к светильнику неподвижной опоры или ответвительной коробки;

г) при скрытой электропроводке или при вводе кабеля, металло рукава, изолированных приборов в трубах в светильники с ЛН, ЛЛ, РЛВД со встроенными внутрь светильника ПРА ответвлением от рабочего нулевого провода внутри светильника;

д) при светильниках с РЛВД с независимыми (вынесенными из светильника) ПРА — самостоятельным проводником, начиная от вводимого в ПРА рабочего нулевого провода.

Однофазные групповые линии, питающие светильники общего освещения и двухполюсные штепсельные розетки с защитным контактом, устанавливаемые в административно-бытовых, конторских, проектно-конструкторских, лабораторных помещениях при системах напряжения 380/220 В и 220/127 В с заземленной нейтралью, должны быть трехпроводными, состоящими из фазного проводника, присоединяемого к групповому щитку через аппарат защиты (автомат, плавкий предохранитель), нулевого рабочего и нулевого защитного проводов. При этом присоединение к щитку нулевого рабочего и нулевого защитного проводов под общий контактный зажим не допускается.

Трехфазные и двухфазные групповые линии, питающие светильники общего освещения и двухполюсные штепсельные розетки с защитным контактом, установленные в административно-бытовых, конторских, проектно-конструкторских, лабораторных помещениях

при системах напряжения 380/220 В и 220/127 В с заземленной нейтралью должны быть соответственно пяти- и четырехпроводными, имеющими три или два фазных провода, присоединяемых на групповом щитке через однополюсные аппараты защиты (автоматы или плавкие предохранители), и нулевого рабочего и нулевого защитного проводов. При этом присоединение к щитку нулевого рабочего и нулевого защитного проводов под общий контактный зажим не допускается.

В групповых сетях постоянного тока с заземленной средней точкой или с одним из заземленных выводов зануление светильников следует осуществлять самостоятельным проводником, начиная от группового щитка. Заземляющий проводник рекомендуется прокладывать вместе с рабочими проводами групповой линии.

В групповых линиях переменного тока с изолированной нейтралью (или без нейтрали) и в групповых линиях постоянного тока без заземленных выводов заземление светильников следует предусматривать самостоятельным проводом, начиная от группового щитка. Заземляющий провод рекомендуется прокладывать вместе с рабочими проводами групповой линии.

В административно-конторских помещениях, бытовых, инженерных, лабораторных корпусах, медицинских лечебных заведениях, в общественных и жилых зданиях должны быть предусмотрены двухполюсные штепсельные розетки с третьим защитным контактом для зануления или заземления однофазных переносных бытовых электроприборов, настольных средств оргтехники, медицинских электроприборов и других электроприемников напряжением выше 42 В, имеющих металлические корпуса.

Металлические отражатели светильников, укрепленные на корпусах из изолирующих материалов, занулять и заземлять не требуется.

Зануление и заземление металлических корпусов переносных светильников при напряжении выше 42 В, используемых в помещениях с повышенной опасностью, особо опасных и в наружных установках, должны отвечать следующим требованиям:

а) штепсельные розетки, предназначенные для присоединения таких светильников, должны иметь защитный контакт;

б) зануляющие и заземляющие контактные зажимы штепсельных розеток следует присоединять к самостоятельным защитным проводникам;

в) гибкий кабель переносного светильника должен быть трехжильным. При этом одна из жил предназначается для зануления или заземления, и ее нельзя использовать для подвода рабочего тока.

Для исключения опасности поражения током при замыканиях между обмотками высшего и низшего напряжения понижающих трансформаторов следует занулять или заземлять корпус трансфор-

матора и один из выводов или нейтраль (среднюю точку вторичной обмотки).

Защита электрических сетей от токов короткого замыкания и перегрузки. Защита осветительных сетей осуществляется аппаратами защиты. Аппаратом защиты называется аппарат, автоматически отключающий защищаемую электрическую цепь при аномальных режимах. К аппаратам защиты относятся предохранители и автоматические выключатели (автоматы).

Для защиты осветительных сетей чаще используются автоматические выключатели. Предохранители имеют ограниченное применение из-за отсутствия производства распределительных пунктов и групповых щитков с предохранителями. Одним из преимуществ автоматов перед предохранителями является возможность использовать их в качестве не только защитных, но и отключающих аппаратов (аппаратов управления).

Для защиты осветительных сетей следует применять автоматы с расцепителями, имеющими обратнoзависимую от тока временную характеристику (с возрастанием тока время отключения уменьшается). Автоматы, имеющие только электромагнитный мгновенно действующий расцепитель, для осветительных сетей использовать не рекомендуется.

Автоматические выключатели, применяемые для защиты осветительных сетей, имеют следующие обратнoзависимые от тока временные характеристики расцепителей:

тепловые нерегулируемые;

комбинированные (тепловые и электромагнитные) нерегулируемые;

комбинированные (тепловые и электромагнитные) регулируемые.

Защита электрических сетей от токов короткого замыкания (КЗ) должна обеспечивать отключение аварийного участка с наименьшим временем и по возможности селективно. В целях обеспечения селективности защиты, если это не приводит к завышению сечения проводников, ток каждого аппарата защиты рекомендуется принимать не менее чем на две ступени больше тока следующего аппарата, считая от электроприемника, наиболее удаленного от источника питания. Разница не менее чем на одну ступень обязательна при всех условиях, однако если вводные автоматы осветительных щитков приняты с расцепителями только в целях большей стойкости этих автоматов к токам КЗ, то это требование на них не распространяется.

Номинальные токи уставок автоматов и плавких элементов предохранителей следует выбирать по возможности наименьшими по расчетным токам защищаемых участков сети.

Данные для выбора токов аппаратов защиты с учетом пусковых токов ИС

Аппарат защиты	Отношение номинального тока плавкой вставки или уставки теплового расцепителя автомата к рабочему току линии, не менее		
	для ЛН	для ДРЛ	для ЛЛ
Плавкие предохранители	1,0	1,2	1,0
Автоматические выключатели с тепловыми расцепителями:			
с уставками менее 50 А	1,0	1,4	1,0
с уставками 50 А и выше	1,0	1,0	1,0
Автоматические выключатели с комбинированными расцепителями:			
с уставками менее 50 А	1,4	1,4	1,0
с уставками 50 А и выше	1,4	1,0	1,0

В табл. 9.20 приведены ориентировочные данные для выбора плавких вставок предохранителей и уставок автоматов с учетом пусковых токов мощных ЛН и ДРЛ.

При защите автоматами, имеющими только электромагнитный расцепитель, ток КЗ должен быть не меньше тока уставки, умноженного на коэффициент 1,4 для автоматов до 100 А и на 1,25 — для прочих автоматов. При установке автоматов с тепловыми и комбинированными расцепителями в шкафах или ящиках и выборе расцепителей по расчетным токам линий указанные в каталогах номинальные токи расцепителей рекомендуется понижать на 10 % из-за того, что температура воздуха в шкафу или ящике может оказаться выше 25 °С, т.е. температуры, на которую калибруется тепловой расцепитель. Проверку токов расцепителей на отключение при токах КЗ и на соблюдение соотношений между допустимыми токами расцепителей рекомендуется проводить по указанным в каталогах или на автоматах номинальным токам расцепителей (без понижения на 10 %). Допускается не выполнять расчетной проверки кратности токов КЗ, если обеспечено соотношение между длительно допустимым током проводника и номинальным током защитного аппарата, приведенное в табл. 9.21. В этой же таблице даны аналогичные соотношения при защите сетей от перегрузки. Если сечения, определяемые условиями защиты, оказываются большими, чем необходимо по расчетному току, то могут быть приняты ближайшие меньшие сечения (но не менее необходимого по расчетному току).

Аппараты защиты следует располагать в доступных для обслуживания местах таким образом, чтобы была исключена возможность их

**Нормируемые соотношения между длительно допустимым током проводов
и номинальными токами аппаратов защиты**

Провод	Помещения, в которых требуется защита проводов	Отношение токов для аппаратов защиты			
		Плавкие предохранители	Автоматические выключатели с обратозависимой от тока характеристикой		Автоматические выключатели, имеющие только максимальные мгновенно действующие расцепители
			нерегулируемый расцепитель	регулируемый расцепитель	
<i>Сети, защищаемые от токов короткого замыкания</i>					
Всех типов	Любые	0,33	1,0	0,66	0,22
<i>Сети, защищаемые от перегрузки</i>					
Открыто проложенные изолированные провода с горючей оболочкой	Производственные невзрывоопасные	1,0			
	Все прочие	1,25	1,0	1,0	1,25
Защищенные провода, кабели с резиновой и пластмассовой изоляцией, провода в трубах	Производственные пожароопасные	1,0			
	Торговые, служебно-бытовые, промышленных предприятий, общественные и жилые здания, взрывоопасные установки	1,25	1,0	1,0	1,25
Кабели с бумажной изоляцией	Пожароопасные, торговые, служебно-бытовые промышленных предприятий, общественные и жилые здания, взрывоопасные установки	1,0	1,0	0,8	1,0

Примечание. Под номинальным током аппарата защиты подразумевается номинальный ток расцепителя автоматического выключателя или плавкой вставки предохранителя (для автоматических выключателей с регулируемым расцепителем — ток трогания, для автоматических выключателей, имеющих только максимальный мгновенно действующий расцепитель, — ток отсечки).

механического повреждения. Устанавливать аппараты защиты следует так, чтобы при оперировании ими или при их срабатывании были исключены опасность для обслуживающего персонала и возможность повреждения окружающих предметов. Аппараты защиты с открытыми токоведущими частями должны быть доступны только квалифицированному персоналу.

Аппараты защиты должны быть установлены в следующих пунктах осветительной сети: в местах присоединения сети к источникам питания (распределительные щиты, подстанции, распределительные пункты, магистральные шинопроводы и т.д.); на вводах в здания; на групповых щитках; в местах уменьшения сечения провода (по направлению к потребителям энергии); со стороны высшего напряжения понижающих трансформаторов 12—42 В. Аппараты защиты во всех перечисленных случаях должны быть рассчитаны на ток, возможно близкий к номинальному току трансформаторов.

В осветительных сетях аппараты защиты допускается не устанавливать в следующих местах: при снижении сечения по длине линии и на ответвлениях от нее, если защитный аппарат линии защищает также участок со сниженным сечением; при снижении сечения по длине линии и на ответвлениях от нее, если сниженное сечение составляет не менее половины сечения начального участка линии; в местах ответвлений от линий к электроприемникам малой мощности (светильники, бытовые приборы и др.); если питающая линия защищается аппаратом с уставкой не более 25 А, без ограничения длины и сечения; в местах ответвлений от линии к электрическим приемникам малой мощности, если линия защищена аппаратом с уставкой выше 25 А, но не более 63 А при длине линии до 3 м и любом способе прокладки, кроме прокладки в стальной трубе (в этом случае длина линии не ограничивается).

Устанавливать аппараты защиты необходимо непосредственно в местах присоединения защищаемых проводов к питающей линии. Допускается отнесение аппаратов защиты от места ответвления на длину до 6 м и до 30 м при соблюдении требований, указанных в табл. 9.22.

Аппараты защиты должны быть установлены в цепи следующих проводов:

при защите сетей предохранителями. Последние должны устанавливаться во всех нормально не заземленных полюсах или фазах; установка предохранителей в нулевых рабочих проводах запрещается;

при защите сетей с глухозаземленной нейтралью автоматами их расцепители должны устанавливаться во всех нормально не заземленных проводах; в однофазных двухпроводных линиях во взрывоопасных зонах класса В-I расцепители автоматов должны устанавливаться в цепи рабочих и нулевых проводов;

Требования к выполнению ответвления

Длина линии от места ответвления до аппарата защиты	Сечение провода	Способ прокладки	Область применения
До 6 м	Не менее сечения провода после аппарата защиты	Для проводов с горючей оболочкой или изоляцией — в стальных трубах, металлорукавах или коробах,	Там, где безусловно необходимо
До 30 м	Не менее сечения, определяемого расчетным током, но не менее 10 % пропускной способности питающей линии	в остальных случаях (кроме кабельных сооружений, пожароопасных и взрывоопасных зон) — открыто по конструкциям при условии защиты проводов от механических повреждений	Для ответвлений в труднодоступных местах (например, на большой высоте)

при защите сетей с изолированной нейтралью в трехпроводных сетях трехфазного тока и двухпроводных сетях однофазного тока или 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 одних и тех же фазах (полюсах).

Контрольные вопросы и задания

1. Перечислите исходные данные для проектирования светотехнической части ОУ.
2. Каков порядок проектирования ОУ?
3. По каким параметрам проводится выбор источников света?
4. Назовите параметры, определяющие выбор светового прибора.
5. Как оценить экономичность выполненной ОУ?
6. Какой способ питания осветительных нагрузок предпочтителен для больших производственных корпусов, где размещается значительное число трансформаторов, необходимых для электросиловых нагрузок?
7. Каково допустимое значение понижения напряжения у наиболее удаленных ламп сети внутреннего рабочего освещения?
8. Как проводится расчет осветительной нагрузки производственных и общественных зданий? Что необходимо учитывать при расчете нагрузок?
9. Что такое коэффициент спроса?
10. Для чего необходимо зануление или заземление металлических нетоковедущих частей осветительных установок?
11. Каков принцип выбора аппаратов защиты осветительной нагрузки?

Глава десятая

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

10.1. Основные положения правильной эксплуатации ОУ: приемка в эксплуатацию, чистка светильников и смена ламп

Правильная эксплуатация ОУ заключается в обеспечении их бесперебойной работы и поддержании требуемой освещенности каждого производственного помещения. Это достигается внимательным обслуживанием установок, регулярной чисткой СП, своевременной заменой вышедших из строя ламп, выполнением текущего и капитального ремонтов [55].

Осмотр и ремонт ОУ (чистку светильников, смену ламп и плавких вставок, ремонт сети) проводят при отключенном напряжении.

Для нормальной эксплуатации ОУ необходимо иметь исполнительные чертежи и схемы осветительной сети объекта.

При приемке в эксплуатацию ОУ проверяют:

соответствие проекту всех элементов ОУ;

надежность контактов и правильность работы коммутирующих аппаратов (выборочно);

надежность закрепления СП, щитков, выключателей, штепсельных розеток и других элементов электроосветительного оборудования (выборочно);

качество выполнения защитного заземления;

сопротивление изоляции осветительной сети;

соответствие действительной освещенности принятой в проекте или требуемой по нормам.

В процессе эксплуатации систематически контролируют постоянство напряжения у светильников и на отдельных участках сети и устраняют причины, вызывающие потери или колебания напряжения.

Вся осветительная сеть и аппараты установок подвергаются периодическим проверкам и профилактическим ремонтам. Сроки проведения осмотров и ремонтов зависят от условий окружающей среды, в которой работает осветительное оборудование.

Устройство автоматического переключения аварийного освещения проверяют 1 раз в три месяца (днем), также 1 раз в три месяца

проверяют исправность аварийного освещения при одновременном отключении рабочего освещения.

Сопrotивление изоляции установки должно быть не менее 0,5 МОм. Сопrotивление изоляции сетей рабочего и аварийного освещения, кабелей и заземляющих устройств проверяют не реже 1 раза в три года, при этом замеры производят на участках между двумя смежными предохранителями или другими защитными аппаратами. Во время проверки сопrotивления изоляции плавкие вставки снимают, ЛН вывертывают, а светильники с ЛЛ и ДРЛ отсоединяют от сети.

Ремонт переносных понижающих трансформаторов, ламп и присоединенных к ним проводов проводится 1 раз в три месяца, а стационарных понижающих трансформаторов — 1 раз в год.

Значение освещенности производственных цехов предприятия и основных рабочих мест проверяют не реже 1 раза в год.

Уход за светильниками. Сохранность условий освещения, создаваемых ОУ в процессе эксплуатации, зависит от ухода за ней и в значительной степени от своевременности замены ИС и содержания в чистоте светильников. Самый простой и, к сожалению, наиболее часто применяемый метод замены — это индивидуальный метод замены ламп по мере выхода их из строя. Недостаток этого метода — длительное использование потерявших свою эффективность ламп и связанное с этим снижение освещенности, создаваемой ОУ.

Очень важной, необходимой и трудоемкой частью работ по эксплуатации ОУ является периодическая очистка колб ламп и отражающих, рассеивающих и других поверхностей и деталей светильников от накапливающейся на них пыли и грязи. Частота чистки светильников зависит от многих факторов и прежде всего от среды освещаемого помещения. Так, светильники в цехах металлургического завода нуждаются в более частом обслуживании, чем светильник, установленные в коридоре больницы. Точно так же светильники в шлифовальной мастерской должны чиститься чаще, чем светильники в зале заседания, расположенном в том же здании.

Число чисток, определенное главой СНиП II-4—79 «Искусственное освещение. Нормы проектирования» с учетом количества пыли, дыма и копоти, содержащихся в воздушной среде помещений и наружных пространств, указано в табл. 10.1.

Лампы, патроны, колпаки и внешние части корпусов СП протирают мягкой тряпкой. Иногда, если это необходимо, колпаки и отражающие поверхности промывают. Одновременно с чисткой СП проверяют исправность крепежных деталей и контактов. Замеченные неисправности устраняют.

Число чисток светильников

Освещаемый объект	Число чисток, не менее
Производственные помещения, в воздушной среде которых содержатся пыль, дым и копоть в количествах:	
10 мг/м ³ и более	2 раза в мес
от 5 до 10 мг/м ³	1 раз в мес
не более 5 мг/м ³	1 раз в 3 мес
Вспомогательные помещения с нормальной воздушной средой и помещения общественных и жилых зданий	1 раз в 3 мес
Площадки промышленных предприятий, в воздушной среде которых содержатся пыль, дым и копоть в количествах:	
более 5 мг/м ³	1 раз в 3 мес
до 0,5 мг/м ³	1 раз в 6 мес
Улицы, площади, дороги, территории общественных зданий, жилых районов и выставок, парки, бульвары	1 раз в 6 мес

Уход за светильниками с ЛЛ. Эксплуатация светильников с ЛЛ несколько отличается от эксплуатации светильников с ЛН. При низких температурах и низком значении напряжения ЛЛ не зажигаются. Если в установке с ЛЛ наблюдается неисправность, ее необходимо срочно устранить, так как наличие одного неисправного элемента схемы может привести к выходу из строя остальных элементов. Неисправность лампы приводит к порче стартера и ПРА, а неисправность стартера вызывает порчу лампы и ПРА. Ниже приведены наиболее характерные случаи неисправностей светильников с ЛЛ и способы их устранения.

1. Лампа не зажигается. Причиной могут быть нарушение контакта или обрыв провода, обрыв электродов в лампе, неисправность стартера и недостаточное напряжение в сети. Для определения и устранения неисправности прежде всего следует сменить лампу; если она не зажигается, заменить стартер и проверить напряжение на контактах патрона. При отсутствии напряжения на контактах патрона необходимо найти и устранить обрыв сети и проверить контакты в местах присоединения проводов к ПРА и патрону.

2. Лампа мигает, но не зажигается, свечение наблюдается только с одного конца лампы. Причиной неисправности может быть замыкание в проводах, патроне или в выводах самой лампы. Для определения и устранения неисправности необходимо перевернуть лампу в светильнике. Если при этом неисправность не будет устранена, следует заменить лампу или искать дефект в патроне или проводке.

3. На концах лампы видно тусклое оранжевое свечение, лампа не зажигается. Причина неисправности — натекание лампы. Такая лампа подлежит замене.

4. Лампа вначале зажигается нормально, но затем наблюдается сильное потемнение ее концов и она гаснет. Обычно такое явление связано с неисправностью ПРА, не обеспечивающего необходимый режим работы лампы. В этом случае следует его заменить.

5. Лампа периодически зажигается и гаснет. Это может быть из-за неисправности лампы или стартера. Необходимо заменить лампу или стартер.

6. При включении лампы перегорают ее электроды и чернеют концы лампы. В этом случае следует проверить напряжение питающей сети, а также ПРА. Если напряжение сети соответствует норме, то неисправен ПРА, который должен быть заменен.

Осветительные установки с ЛЛ необходимо ежедневно осматривать и устранять замеченные дефекты. Не реже 1 раза в месяц ЛЛ и всю осветительную аппаратуру нужно очищать от пыли и проверять в работе. Дежурный монтер, обслуживающий ОУ, должен иметь в запасе исправные лампы и стартеры в количестве 5—10 % общего числа ламп, находящихся в эксплуатации. Хранить лампы следует в заводской упаковке на специальном стеллаже или в ящике отдельно от неисправных ламп.

Переносные светильники и понижающие трансформаторы. При осмотре установок и ремонтных работах применяют переносные светильники, к которым предъявляются повышенные требования для безопасности персонала.

Рукоятка переносного светильника должна быть выполнена из изоляционного влаго- и теплостойкого материала. Все токоведущие части светильника и лампы защищают, чтобы исключить случайное прикосновение к ним.

Лампу и патрон закрывают специальной предохранительной металлической сеткой, закрепляемой на рукоятке светильника таким образом, чтобы ее невозможно было снять без применения специального инструмента. Переносной светильник должен быть заряжен шланговым гибким шнуром.

Переносные светильники могут представлять значительную опасность для персонала при повреждении изоляции провода, особенно

если они подключены к сети напряжением 110—220 В. В помещениях с повышенной опасностью и особо опасных переносные светильники применяют на напряжение не выше 36 В. При особо неблагоприятных условиях, когда работающий может соприкоснуться с металлическими (хорошо заземленными) поверхностями или находиться в особо сырых помещениях (в котлах, баках, колодцах), для питания переносных светильников следует применять напряжение не выше 12 В.

Переносные светильники присоединяют к стационарной сети напряжением 12—36 В или к сети напряжением 110—220 В через понижающие трансформаторы. Длина проводов от штепсельной розетки на напряжение 127—220 В до переносного трансформатора должна быть не более 2 м. Не реже 1 раза в месяц проверяют изоляцию переносных проводов, а также понижающих трансформаторов. Результаты проверки заносят в специальный контрольный журнал. При работах внутри металлических баков, котлов понижающий трансформатор располагают снаружи.

У понижающих трансформаторов корпус и обмотки низшего напряжения заземляют, открытые токоведущие незащищенные части ограждают. Все соединения должны иметь хорошие плотные контакты.

Осветительные щитки. На осветительных щитках у предохранителей, рубильников, выключателей должны быть надписи с указанием назначения линии или группы и номинального тока плавкой вставки.

В осветительных сетях необходимо применять только калиброванные плавкие вставки, которые должны соответствовать току нагрузки осветительных линий. Контактные соединения на щитках, зажимы, аппаратуру и их отдельные части следует хорошо затянуть и прочно укрепить. Все контактные поверхности на щитках по мере обгорания очищают или заменяют новыми.

Выключатели, переключатели, штепсельные розетки должны иметь хорошие контакты с проводами и работать при токах не выше номинальных. Все контакты по мере обгорания очищают. Штепсельные розетки для сети напряжением 12—16 В должны по внешнему виду отличаться от розеток для сети напряжением 127—220 В; вилки на напряжение 12—36 В не должны подходить к розеткам на напряжение 127 и 220 В.

Средства доступа к светильникам. При установке светильников на высоте не более 5 м над полом их обслуживание разрешается проводить со стремянок или приставных лестниц. При этом светильники не должны располагаться над крупным оборудованием, прямыми

и в других местах, где установка стремянок или приставных лестниц невозможна.

Для светильников, которые по условиям конструкции зданий и требований, предъявляемых к ОУ, не могут быть установлены на высоте, доступной для обслуживания с пола с помощью стремянок или приставных лестниц, должны быть предусмотрены способы доступа для обслуживания. При этом принятый способ доступа должен указываться в проекте и обеспечиваться специальными устройствами.

Для обеспечения удобства и безопасности обслуживания светильников рекомендуется принимать следующие высоты их установки:

2,1 м — в помещениях при установке светильников вблизи открытых токоведущих частей;

не более 3,5 м — на технологических площадках, мостиках, переходах при установке светильников на стенах;

2,5 м — на технологических площадках, мостиках, переходах при установке светильников на стойках вдоль ограждений;

на уровне настила +0,5 — на мостиках для обслуживания светильников.

Светильники над мостовыми кранами должны устанавливаться на уровне не менее 1,8 м над настилом моста крана или на уровне нижнего пояса ферм.

При выборе способа обслуживания светильников со стационарных электротехнических мостиков и площадок проектировщикам следует выдавать строительные задания на сооружение мостиков и площадок. При этом нужно, по возможности, ориентироваться на утвержденные типовые проекты мостиков и площадок.

Если обслуживание светильников в проекте предусмотрено из проходных технических этажей, то необходимо выдать строительные задания проектировщикам строительной части объектов на проемы в подвесных потолках для светильников. В случаях, когда подвесной потолок не является несущим, т.е. не рассчитан на проход по нему людей, необходимо выдавать строительные задания на ходовые мостики на техническом этаже вдоль линий размещения светильников.

10.2. Проведение планово-предупредительных осмотров и ремонтов

Для нормальной работы ОУ во время ее эксплуатации необходимо осуществлять предупредительные периодические осмотры, проверки и ремонты элементов осветительного оборудования. Сроки осмотров и ремонтов устанавливаются службой электрохозяйства предприятия в соответствии с правилами технической эксплуатации в зависи-

Рекомендуемые сроки планово-предупредительных осмотров и ремонтов

Объект осмотра и ремонта	Помещения с нормальной средой и установки наружного освещения	Помещения сырые, особо сырые, пыльные, с едкими парами или газами, пожаро- или взрывоопасные
Щитки, выключатели, штепсельные розетки, ОП и ОУ	1 раз в 4 мес	1 раз в 2 мес
Щитки, выключатели, ОП, относящиеся к аварийному освещению, за исключением штепсельных розеток	1 раз в 2 мес	1 раз в 1 мес

мости от среды помещения, особенностей и назначения элементов осветительного оборудования.

Осмотру, ремонту и проверке подлежат светильники, групповые и магистральные щитки, провода, выключатели, переключатели, штепсельные розетки. Рекомендуемые сроки планово-предупредительных осмотров и ремонтов всех перечисленных элементов ОУ указаны в табл. 10.2.

При осмотре и проверке светильников должны устанавливаться: наличие, целостность и надежность закрепления рассеивателей, защитных стекол, экранирующих решеток, отражателей, надежность электрических контактов, состояние изоляции зарядных проводов. В светильниках с ЛЛ должны выявляться и устраняться возникающие неисправности, причиной которых могут быть лампы, стартеры, ПРА, ошибки в схеме и др.

В установках с большим количеством светильников с ЛЛ их проверку для обнаружения причин повреждения желательно проводить на стенде в ремонтном отделении мастерской. На стенде должны проверяться лампы и детали светильников, снятые с эксплуатации, и новые перед установкой.

Работы по осмотру, проверке и ремонту светильников должны быть приурочены ко времени их чистки. Обнаруженные неисправные или пришедшие в негодность части и детали светильников должны заменяться при ремонте аналогичными новыми. Это, естественно, касается только достаточно легко снимаемых частей светильников, таких как патроны, рассеиватели, защитные стекла, экранирующие решетки, стартеры, ПРА, уплотняющие прокладки и др. Если пришедшая в негодность часть светильника не может быть заменена, заменяется весь светильник.

К работам по ремонту светильников должны быть также отнесены восстановление надежности контактных соединений и замена зарядных проводов светильников с ЛН и ДРЛ.

10.3. Контроль освещенности рабочих мест и качества напряжения осветительной сети

Перед проведением обследования ОУ рекомендуется заменить все перегоревшие лампы, провести чистку ламп, светильников, остеклений светопроемов [56]. Проверку условий освещения допускается выполнять без предварительной подготовки (это должно быть отмечено при оформлении результатов обследования). Перед измерениями проводится сбор данных — устанавливаются:

- 1) наличие или отсутствие естественного освещения;
- 2) тип светильников;
- 3) параметры размещения светильников;
- 4) состояние светильников (загрязнение, укомплектованность отражателями, решетками, рассеивателями, уплотнителями и т.д.);
- 5) тип ламп (для оценки соответствия требованиям норм, расчета фактического значения освещенности, определения показателя ослепленности и коэффициента пульсации освещенности);
- 6) наличие расфазировки светильников и типы ПРА;
- 7) наличие и состояние светильников местного освещения;
- 8) число негорящих ламп;
- 9) загрязнение остеклений светопроемов, стен, потолков и др.;
- 10) наличие графика чистки светильников и остеклений светопроемов и его выполнение.

Собранные данные заносятся в промежуточный протокол обследования.

Измерения освещенности должны проводиться в соответствии ГОСТ 24940—96 «Здания и сооружения. Методы измерения освещенности» [57]. Измерения освещенности от установок искусственного освещения (в том числе при работе в режиме совмещенного освещения) должны осуществляться в темное время суток (за исключением ОУ, расположенных в зданиях без естественного света). В начале и в конце измерений следует проводить контроль напряжения на щитках распределительных сетей освещения.

Освещенность измеряется люксметрами, погрешность которых не должна превышать 10 %. Люксметры должны проходить либо государственную поверку (приборы, прошедшие государственные приемочные испытания), либо государственную метрологическую аттестацию. Представляемые на поверку приборы должны быть в исправном состоянии и в полном комплекте.

Для измерения напряжения сети следует применять вольтметры класса точности не ниже 1,5.

Эксплуатация и хранение приборов должны осуществляться в соответствии с заводской инструкцией.

При работе с люксметром необходимо соблюдать следующие требования:

1) приемная пластина фотоэлемента должна размещаться на рабочей поверхности в плоскости ее расположения (горизонтальной, вертикальной, наклонной);

2) на фотоэлемент не должны падать случайные тени от человека и оборудования; если рабочее место затеняется в процессе работы самим работающим или выступающими частями оборудования, то освещенность следует измерять в этих реальных условиях;

3) не допускается установка пластины фотоэлемента на металлические поверхности.

Освещенность рабочего места следует измерять на рабочей поверхности, указанной в отраслевых (ведомственных) нормах искусственного освещения. При наличии нескольких рабочих поверхностей освещенность измеряется на каждой из них, указанной в нормах.

При наличии протяженных рабочих поверхностей на них должно быть выбрано несколько контрольных точек, позволяющих оценить различные условия освещения.

При комбинированном освещении рабочих мест вначале измеряют суммарную освещенность от светильников общего и местного освещения, затем светильники местного освещения отключают и измеряют освещенность от светильников общего освещения.

Если в помещении предусмотрено АО, то проверяется освещенность, создаваемая этим видом освещения. При необходимости продолжения работы в аварийных ситуациях и отсутствии АО в материалах обследования делается отметка об этом.

Слепящее действие, возникающее от прямой блескости ИС, оценивается показателем ослепленности P , максимально допустимое значение которого регламентируется нормами. На рабочих местах в помещениях общественных и административных зданий слепящее действие ОУ в соответствии с СП 52.13330.2011 [63] должно оцениваться по показателю дискомфорта M . Допускается на рабочих местах в зданиях, где выполняются работы разрядов А, Б, В (здания управления, конструкторские, научно-исследовательские, проектные организации, учреждения финансирования, кредитования и страхования, предприятия бытового обслуживания и др.), оценивать слепящее действие по показателю ослепленности.

Показатель ослепленности не регламентируется и не контролируется (за исключением случаев явного нарушения требований к устройству ОУ):

1) в помещениях, длина которых не превышает двойной высоты установки светильников над полом;

2) в помещениях с временным пребыванием людей и на площадках, предназначенных для прохода или обслуживания оборудования.

Для рабочих мест, расположенных вне зданий, проверка слепящего действия светильников наружного освещения осуществляется путем определения их защитного угла и контроля высоты установки над уровнем земли.

Для ОУ наружного освещения высота подвеса светильников не ограничивается для светильников с защитным углом 15° и более (или с рассеивателями из молочного стекла без отражателей) на площадках для прохода людей или обслуживания технологического (или инженерного) оборудования, а также у входов в здания.

Предварительная оценка слепящего действия ОУ проводится визуально. При обнаружении фактов явного нарушения требований к устройству ОУ (наличие в поле зрения работающих ИС, не перекрытых отражателями, рассеивателями из молочного стекла, затенителями), при жалобах работников на повышенную яркость должно быть зафиксировано значение показателя ослепленности, превышающее нормативное. В остальных случаях значение показателя ослепленности определяется расчетным путем.

Для расчета показателя ослепленности (для рабочих мест внутри зданий) необходимы следующие параметры ОУ: тип светильника (тип КСС); тип и мощность ламп; высота установки светильников над рабочей поверхностью; расстояние между рядами светильников или между светильниками в ряду; коэффициенты отражения рабочей поверхности, потолка, стен, пола.

При определении слепящего действия наружных осветительных ОУ (для рабочих мест вне зданий) необходимы следующие параметры: тип светильника; защитный угол светильника; тип и световой поток ИС; осевая сила света светильника (для прожекторов); высота установки светильников над уровнем земли.

Яркость рабочих поверхностей, освещаемых по способу «на просвет», должна контролироваться путем измерений с помощью яркомера. Измерения яркости должны проводиться в соответствии с ГОСТ 26824—86 «Здания и сооружения. Методы измерения яркости». Кроме того, необходим контроль наличия конструктивных элементов, обеспечивающих изменение площади светящей поверхности в зависимости от размеров изделий, рассматриваемых на просвет.

Для ограничения отраженной блескости регламентируется яркость рабочей поверхности в зависимости от ее площади. Контроль яркости необходим:

при выполнении работ разрядов Iv, Pв, если площадь рабочей поверхности более $0,1 \text{ м}^2$ и коэффициент ее отражения более 0,5;

при существенном превышении уровнем освещенности нормируемых значений;

при наличии жалоб на повышенную яркость;

при наличии поверхностей с направленно-рассеянным отражением (блестящих).

Яркость рабочей поверхности может быть измерена яркомером в соответствии с ГОСТ 26824—86. Для диффузно отражающих поверхностей яркость может быть определена расчетным путем по формуле

$$L = \rho E/3,14,$$

где L — яркость поверхности, $\text{кд}/\text{м}^2$; E — освещенность, лк; ρ — коэффициент отражения рабочей поверхности.

Измерения яркости проводятся в темное время суток при включенном рабочем освещении.

При выполнении работ с поверхностями, имеющими направленное или направленно-рассеянное (смешанное) отражение, т.е. с блестящими поверхностями, должны соблюдаться специальные приемы освещения, которые заключаются прежде всего в ограничении яркости светящей поверхности и в правильном размещении светильников по отношению к рабочей поверхности и к глазу работающего.

Наличие или отсутствие мероприятий по ограничению отраженной блескости также оценивается и отмечается в промежуточном протоколе.

Глубина пульсации освещенности оценивается коэффициентом пульсации $K_{\text{п}}$, в нормах регламентируется его максимальное значение. Контроль требований по ограничению пульсации освещенности не требуется:

при питании РЛ переменным током с частотой 300 Гц и выше;

для помещений с периодическим пребыванием людей при отсутствии в них условий для возникновения стробоскопического эффекта.

При контроле коэффициента пульсации освещенности особое внимание должно быть уделено тем рабочим местам, где в поле зрения работающего имеются быстро движущиеся или вращающиеся предметы, т.е. возможно появление стробоскопического эффекта. В этих случаях необходимо включение соседних ламп в три фазы питающего напряжения или включение их в сеть с ЭПРА.

Для оценки уровня освещенности при наличии нескольких контрольных точек в зоне обслуживания используется минимальное фактическое значение из последовательности значений освещенности в контрольных точках. При наличии на одном рабочем месте рабочих поверхностей с уровнями освещенности выше и ниже нормативных оценка этих поверхностей по освещенности проводится отдельно и по ним даются различные рекомендации.

Полученные в результате измерений и обработки значения показателей освещения должны быть сопоставлены с уровнями, регламентированными нормами. Для этого в протоколе обследования условий освещения рабочего места рекомендуется указать нормативные значения всех проверенных показателей.

При определении нормативных уровней освещенности необходимо иметь в виду, что в основной таблице освещенности в СНиП 23-05—95 (СП52.13330.2011) и в большинстве отраслевых (ведомственных) норм искусственного освещения уровни освещенности нормированы для ОУ с разрядными ИС, расположенных в зданиях с достаточным естественным освещением.

Нормативные значения для показателя ослепленности и коэффициента пульсации освещенности следует принимать по отраслевым (ведомственным) нормам искусственного освещения.

По результатам сопоставления измеренных значений параметров с нормативными вычисляются отклонения отдельных показателей освещения от норм, которые наряду с фактическими и нормативными значениями заносятся в таблицу оценки условий труда по фактору «световая среда».

10.4. Организация хранения и утилизации ртутьсодержащих ламп

К ртутьсодержащим отходам относятся ЛЛ всех типов, ДРЛ, КЛЛ, бактерицидные и другие лампы, отработавшие приборы с ртутным наполнением, ртуть из вышедших из строя приборов, другие виды отходов, для утилизации которых разработана специальная технология переработки. По гигиенической классификации ртуть и ее соединения относятся к классу I опасности — к чрезвычайно токсичным веществам. Предельно допустимая концентрация (ПДК) ртути в атмосферном воздухе и воздухе жилых, общественных помещений составляет $0,0003 \text{ мг/м}^3$. *В закрытом и непроветриваемом помещении в результате повреждения одной лампы в течение нескольких часов возможно достижение концентрации ртути в воздухе до $0,05 \text{ мг/м}^3$, что превышает ПДК в 160 раз.*

Порядок сбора и накопления отработавших ртутьсодержащих ламп [58]. Потребители ртутьсодержащих ламп (кроме физических лиц) осуществляют накопление отработавших ламп отдельно от других видов отходов. Не допускаются самостоятельное обезвреживание, использование, транспортирование и размещение отработавших ртутьсодержащих ламп потребителями отработавших ламп, а также их накопление в местах, являющихся общим имуществом собственников помещений многоквартирного дома.

Потребители ртутьсодержащих ламп (кроме физических лиц) для накопления поврежденных отработавших ламп обязаны использовать специальную тару. Органы местного самоуправления организуют сбор отработавших ртутьсодержащих ламп и информирование юридических лиц, индивидуальных предпринимателей и физических лиц о порядке осуществления такого сбора. Сбор отработавших ртутьсодержащих ламп у потребителей осуществляют специализированные организации. Транспортирование отработавших ртутьсодержащих ламп осуществляется в соответствии с требованиями правил перевозки опасных грузов. Для транспортировки используется специальная тара, обеспечивающая герметичность и исключающая возможность загрязнения окружающей среды.

В местах сбора, размещения и транспортирования отработавших ртутьсодержащих ламп (включая погрузочно-разгрузочные пункты и грузовые площадки транспортных средств), в которых может создаваться концентрация ртути, превышающая гигиенические нормативы, предусматривается установка автоматических газосигнализаторов на пары ртути. Зоны возможного заражения необходимо снабдить средствами индивидуальной защиты органов дыхания, доступными для свободного использования в аварийных ситуациях.

Размещение отработавших ртутьсодержащих ламп в целях их обезвреживания, последующей переработки и использования переработанной продукции осуществляется специализированными организациями.

Отработавшие ртутьсодержащие лампы должны храниться в специально выделенном для этой цели помещении, защищенном от химически агрессивных веществ, атмосферных осадков, поверхностных и грунтовых вод, а также в местах, исключающих повреждение тары. Допускается хранение отработавших ртутьсодержащих ламп в неповрежденной таре из-под новых ламп или в другой таре, обеспечивающей их сохранность при хранении, погрузочно-разгрузочных работах и транспортировании. Не допускается совместное хранение поврежденных и неповрежденных ртутьсодержащих ламп.

Утилизация отработавших ртутьсодержащих ламп не может осуществляться путем их захоронения. Обезвреживание ламп пораз-

дят специализированные организации методами, обеспечивающими выполнение санитарно-гигиенических, экологических и иных требований.

В случае возникновения аварийной ситуации у потребителя, в частности боя ртутьсодержащей лампы, загрязненное помещение должно быть покинуто людьми и должен быть организован вызов представителей специализированных организаций для проведения комплекса мероприятий по обеззараживанию помещений.

Обезвреживание ртутного загрязнения может быть выполнено потребителями ламп (кроме физических лиц) самостоятельно с помощью демеркуризационного комплекта, включающего в себя необходимые препараты (вещества) и материалы для очистки помещений от локальных ртутных загрязнений, не требующего специальных мер безопасности при использовании.

Использование отработавших ртутьсодержащих ламп осуществляют специализированные организации, ведущие их переработку, учет и отчетность по ним. Полученные в результате переработки ртуть и ртутьсодержащие вещества передаются в установленном порядке организациям — потребителям ртути и ртутьсодержащих веществ.

Контрольные вопросы и задания

1. Каковы основные положения правильной организации эксплуатации ОУ?
2. Опишите порядок эксплуатации светильников с ЛЛ.
3. Как осуществлять контроль освещенности рабочих мест и качества напряжения осветительной сети?
4. Как проводить сбор и хранение отработавших ртутьсодержащих ламп?

Глава одиннадцатая

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЭКОНОМИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ОСВЕЩЕНИЯ

11.1. Эффективность использования электроэнергии для освещения

По оценке Международного энергетического агентства 19 % всей потребляемой в мире электроэнергии расходуется на освещение. Современные световые технологии позволяют сэкономить до 40 % потребляемой электроэнергии, что в мировом масштабе эквивалентно 106 млрд евро в год. В экологическом отношении это соответствует: сокращению выбросов углекислого газа в атмосферу на 555 млн т в год, ежегодному сбережению 2 ТВт электроэнергии и экономии 1,5 млрд баррелей нефти.

Экономия электроэнергии в ОУ имеет большое значение, так как в России на нужды освещения расходуется около 14 % всей вырабатываемой электроэнергии. Доля потребляемой электроэнергии ОУ в различных бюджетных учреждениях колеблется от 10 до 70 %. Экономия электроэнергии может быть получена в результате оптимизации светотехнической части ОУ и осветительных сетей, систем управления и регулирования освещения, рациональной организации эксплуатации освещения.

Оптимизация светотехнической части ОУ и осветительных сетей включает в себя следующие мероприятия: правильный выбор системы освещения и типов ИС; принятие экономичных схем размещения светильников; правильный выбор типов светильников по светораспределению и конструктивному исполнению.

Основной тип ламп, используемый в различных бюджетных учреждениях, — это ЛЛ. Лампы высокого давления применяются в меньшей степени, в основном для освещения промышленных предприятий, спортивных залов и прилегающей территории.

Лампы накаливания имеют самую низкую световую отдачу и самый малый срок службы. Чаще всего ЛН используются в бюджетных учреждениях во вспомогательных и подсобных помещениях, коридорах и на лестничных клетках, а также там, где другие лампы не подходят по условиям окружающей среды (повышенная влажность и др.), или при специальных требованиях по ограничению

радиопомех. На срок службы ЛН сильно влияет значение напряжения питания.

Световая отдача ЛЛ составляет 50—115 лм/Вт, что намного выше, чем у ЛН. Срок службы ЛЛ (не менее 5000 ч) также существенно выше срока службы ЛН.

Разрядные лампы высокого давления широко используются для наружного освещения и для освещения производственных помещений, в которых нет жестких требований к качеству цветопередачи. Электрические и световые параметры РЛВД мало зависят от влажности и температуры окружающего воздуха. Потери мощности в индуктивных ПРА составляют до 10 % мощности лампы. На световые параметры ламп влияет их положение: в горизонтальном положении световой поток может снизиться до 15 % по сравнению с вертикальным положением. Световая отдача и срок службы у ДРЛ и МГЛ примерно такие же, как и у ЛЛ. У натриевых ламп световая отдача примерно в 2 раза выше, но очень плохая цветопередача.

В последнее время появился новый вид ИС — СИД. Они имеют очень большой срок службы (до 50 тыс. ч) и высокую световую отдачу. На лабораторных образцах СИД достигнута рекордная световая отдача — 250 лм/Вт; доступные СИД некоторых фирм (Стее, Philips, OSRAM, «Оптоган») имеют световую отдачу более 100 лм/Вт. В области энергосбережения СИД открывают беспрецедентные перспективы.

В табл. 11.1 представлены некоторые параметры основных групп ИС, главной из которых является показатель удельной световой энергии, вырабатываемой за срок службы. Если световую энергию от ЛН принять за единицу, то все остальные типы ламп многократно

Таблица 11.1

Основные параметры ИС

Тип	Средний срок службы, тыс. ч	Индекс цветопередачи, R_a	Световая отдача, лм/Вт	Удельная световая энергия, вырабатываемая за срок службы (среднее значение)	
				Млм · ч / Вт	отн. ед.
ЛН	1	100	8—17	0,013	1
КЛЛ	10—20	57—92	48—104	1,140	88
ДРЛ	12—24	40—57	19—63	0,738	57
НЛВД	10—28	21—40	66—150	2,050	157
МГЛ	3,5—20	65—93	68—120	1,020	78
СИД	25	85—90	До 150	2,500	192

(в несколько раз или даже на порядок) вырабатывают больше световой энергии. Необходимо отметить, что ЛН, которые сыграли огромную роль в развитии человечества, сегодня являются устаревшими ИС.

Во многих странах мира это очень отчетливо осознают, и в последнее время там принимают эффективные меры по вытеснению ЛН. Например, в ноябре 2008 г. вышло постановление Правительства Украины о том, что начиная с 2009 г. во всех правительственных зданиях ЛН должны быть заменены на другие, более энергоэффективные ИС.

С начала 2009 г. в Великобритании из продажи исчезли ЛН мощностью 75, 100 и 150 Вт. Решено, что специальные уполномоченные будут инспектировать магазины и даже отдельные квартиры, проверяя, какие лампочки продаются и какими пользуется население. Уполномоченные наделены правом изъятия «нелегальных» ЛН. По оценкам британских аналитиков, экономия от таких мер может составить до 8 млрд долл. США. Евросоюз принял решение полностью перейти на энергосберегающие ИС к 2012 г.

В США вышло постановление, подписанное президентом, о том, что с 2011 г. исключаются из производства и применения ЛН мощностью 100 Вт, в 2012 г. — 75 Вт и так далее до 2014 г., когда ЛН должны быть полностью ликвидированы. Это понятно и очевидно, потому что если бы все страны мира перешли на использование КЛЛ, то можно было бы высвободить столько электроэнергии, сколько потребляет вся Австралия за четыре года.

В России новый закон об энергосбережении (№ 261-ФЗ от 23 ноября 2009 г., ст. 10, п. 8) с 1 января 2011 г. вводит запрет на использование ЛН мощностью 100 Вт и более. А с 1 января 2013 г. может быть введен запрет на ЛН мощностью 75 Вт и более, с 1 января 2014 г. — на ЛН мощностью 25 Вт и более.

11.2. Критерии оценки энергоэффективности осветительной установки

Эффективность освещения оценивается расходом электроэнергии на освещение 1 м^2 площади помещений. Критерием оценки эффективности энергосбережения в области освещения в общем случае служат соотношение затрат на модернизацию ОУ и отделку помещений и стоимость сэкономленной электрической энергии. Одним из важных критериев энергетической эффективности является мощность, затрачиваемая на освещение 1 м^2 поверхности, отнесенная к 100 лк при КПД светильника 100 % и коэффициенте запаса 1,5. Максимально допустимые значения приведены в МГСН 2.01—99.

Для общего искусственного освещения помещений следует использовать, как правило, разрядные ИС, отдавая предпочтение (при равной мощности) ИС с наибольшими световой отдачей и сроком службы. При выборе типа и мощности ИС следует также учитывать требования к цветопередаче и к равномерности распределения освещенности в помещении согласно СНиП 23-05—95*.

Удельные установленные мощности общего искусственного освещения должны быть не выше максимально допустимых значений, установленных МГСН 2.06—97.

В установках искусственного освещения следует, как правило, использовать светильники с ЭПРА.

Коэффициент полезного действия применяемых светильников должен соответствовать ГОСТ 8607—82 и ГОСТ 15597—82.

Коэффициент мощности $\cos \varphi$ в ОУ с разрядными ИС должен быть не менее 0,92 и обеспечиваться индивидуальной либо групповой компенсацией мощности.

На искусственное освещение в нашей стране расходуется около 14 % вырабатываемой электроэнергии, что в 2010 г. составило не менее 100 млрд кВт/ч. Бережное с наибольшим экономическим эффектом расходование такого значительного количества энергии является большой и важной народнохозяйственной задачей. Экономия электроэнергии на освещение не должна достигаться за счет отключения части ОУ или отказа от использования освещения при недостаточном уровне естественного света, поскольку уменьшение освещенности приводит к ухудшению психофизиологического состояния людей, повышению травматизма, снижению производительности труда и качества продукции. Потери от ухудшения условий освещения значительно превышают стоимость сэкономленной электроэнергии.

Основные рекомендации и мероприятия по экономному и рациональному использованию электроэнергии в ОУ:

1. Использование АСУ освещением с датчиками освещенности и присутствия. Одно только это мероприятие может дать экономию электроэнергии до 50 %.

2. Применение современных ИС с высокой световой отдачей (ЛЛ в колбах диаметром 16 мм, КЛЛ, СИД, НЛВД, МГЛ с керамическими горелками). Расход электроэнергии сокращается при замене ЛН на ЛЛ до 80 %, на МГЛ до 75 % и на НЛВД до 90 %.

3. Замена электромагнитных балластов на ЭПРА, особенно для ЛЛ. Такая замена позволит экономить 10—20 % электроэнергии.

4. Использование РЛ возможно большей мощности при соблюдении нормативных требований к качеству освещения (к ослепленности, отраженной блескости, пульсации освещенности).

5. Применение НЛВД в производственных помещениях, в которых не предъявляются жесткие требования к цветопередаче.

6. Использование системы освещения, наиболее рациональной для данных условий работы. В помещениях, где выполняются зрительные работы I разряда, следует применять систему комбинированного освещения, для разрядов II—IV при наличии технико-экономических обоснований допускается система общего освещения. Комбинированное освещение целесообразно применять: для зрительных работ II разряда, когда площадь на одного работающего в помещении составляет в среднем 3 м^2 и более; для III разряда, когда площадь на одного работающего — 5 м^2 и более, а для IV разряда — 10 м^2 и более.

Применение локализованного размещения ОУ общего освещения при системе общего освещения в помещениях с несимметричным расположением технологического оборудования и малой плотностью его размещения, а также при выполнении в помещении зрительных работ различной точности.

7. Выбор СП с наиболее целесообразным светораспределением и размещение СП при наивыгоднейших соотношениях расстояния между ними и высоты установки.

8. Выбор для помещений с тяжелыми условиями среды СП соответствующего конструктивного исполнения, использование которого позволяет уменьшать значение коэффициента запаса на 0,2.

9. Применение комплексных осветительных устройств со щелевыми светододами для освещения помещений с тяжелыми условиями среды (взрывоопасных, пыльных и т.п.), относящихся по точности зрительных работ к III—VI разрядам, а также при трудном доступе к ОУ. Это может дать экономию электроэнергии 10—15 % по сравнению с освещением СП для тяжелых условий среды.

10. В производственных зданиях с боковым и комбинированным (верхним и боковым) естественным светом и в помещениях общественных зданий должно быть предусмотрено отключение рядов СП, параллельных окнам, что позволяет снизить расход электроэнергии на 5—10 %; в помещениях с совмещенным освещением рекомендуется проводить включение и выключение отдельных групп СП в зависимости от уровня освещенности, создаваемого естественным светом в различных зонах помещения. Эта мера дает экономию электроэнергии 10—20 %. Для наружного освещения промышленных предприятий, городов и населенных пунктов и для внутреннего освещения больших производственных помещений целесообразно устройство централизованного автоматического управления, что дает экономию электроэнергии в размере 10—15 %.

11. Питание напряжением 660/380 В (система с глухим заземлением нейтрали) ОУ большой мощности без промежуточной трансформации, включая специально предназначенные для этого ОУ на фазное напряжение 380 В. Питание ОУ напряжением 660/380 В может дать экономию электроэнергии до 12 % благодаря увеличению световой отдачи ИС и уменьшению потерь в сети и ПРА.

12. Применение в ОУ, в которых мощность РЛВД значительна (сотни киловатт и более), групповых трехфазных компенсирующих конденсаторов, которые снижают потери электроэнергии и сокращают потребность в кабелях, проводах, коммутационных и защитных аппаратах для осветительных сетей.

13. Использование устройств и приспособлений для удобного и безопасного доступа к ОУ для их очистки в процессе эксплуатации. На стадии проектирования следует также определять штаты персонала, необходимого для обслуживания освещения.

14. Чистка остеклений окон и световых фонарей в производственных и общественных зданиях не реже 2 раз в год, что позволит сокращать время работы искусственного освещения и даст экономию электроэнергии в среднем 5—10 %.

15. Повышение коэффициента использования естественного и искусственного освещения путем использования при окраске помещений производственных и общественных зданий светлых тонов.

16. Реконструкция старых ОУ, не отвечающих современным требованиям к искусственному освещению.

Контрольные вопросы и задания

1. Каков потенциал экономии энергии в ОУ при использовании современных технологий?
2. Какие основные критерии оценки эффективности ОУ?
3. Перечислите основные мероприятия по экономии электроэнергии в ОУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Рохлин Г.Н.** Дуговым источникам света 200 лет. — М.: ВИГМА, 2001.
2. **Петров В.И.** Азбука освещения. — М.: ВИГМА, 1999.
3. **Гуторов М.М.** Основы светотехники и источники света. — М.: Энергоатомиздат, 1983.
4. **Луизов А.В.** Цвет и свет. — М.: Энергоатомиздат, 1989.
5. **Криксунов Л.З.** Справочник по основам инфракрасной техники. — М.: Советское радио, 1978.
6. **ГОСТ Р 54350—2011.** Приборы осветительные. Светотехнические требования и методы испытаний. — М.: Стандартинформ, 2011.
7. **Рекомендации МКО 153:1982.** Методы оценки характеристик радиометров и фотометров.
8. **Рекомендации МКО 69:1987.** Методы оценки характеристик люксметров и яркометров: работа, характеристики, спецификации.
9. **Рекомендации МКО 127:2007.** Измерения светодиодов.
10. **Рекомендации МКО 121:1996.** Фотометрия и гониофотометрия светильников.
11. **IESNA LM-63:1995.** Стандартный формат файла для электронной передачи фотометрических данных и связанной информации.
12. **Рекомендации МКО 84:1989.** Измерение светового потока.
13. **Рекомендации МКО 15:2004.** Колориметрия. 3-е изд.
14. **Мешков В.В., Матвеев А.Б.** Основы светотехники. Ч. 2. — М.: Энергоатомиздат, 1989.
15. **Юстова Е.Н.** Цветовые измерения (колориметрия). — СПб.: Изд-во СПбГУ, 2000.
16. **Луизов А.И.** Инерция зрения. — М.: Оборонгиз, 1961.
17. **Островский М.А., Флодина Т.Л.** Вопросы нормирования наружного освещения городов // Светотехника. 1962. № 9. С. 9—14.
18. **Островский М.А.** К вопросу обоснования норм средней яркости дорожных покрытий в установках наружного освещения городов // Светотехника. 1962. № 6. С. 10—12.
19. **Adrian W.K.** Visibility of targets: model for calculation // Lighting Research & Technology. 1989. Vol. 21 (4). P. 181—188.
20. **CIE Pub. No. 115.** Recommendations for the Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic, 1995.
21. **CIE Pub. No. 140.** Road Lighting Calculations, 2000.
22. **Recommended Practice for Roadway Lighting RP8-1998.** Roadway Lighting Committee of the Illuminating Engineering Society of North America. IESNA, New York. Under public review by the American National Standards Institute, ANSI, ANSI/IESNA RP-8-90 Draft, American National Standard Practice for Roadway Lighting, 1990.

23. **Гвоздев С.М., Куш О.К., Сторожева В.А.** Моделирование и расчет энергоэффективных систем интеллектуального освещения // *Оптический журнал*. 2011. № 12 (77). С. 37—44.
24. **Адриан В.** Основы освещения автодорог // *Светотехника*. 2004. № 5. С. 2—12.
25. **Боммель В.В.** Качество освещения и энергоэффективность: критический обзор // *Светотехника*. 2011. № 1. С. 6—11.
26. **Мешков В.В., Епанешников М.М.** Осветительные установки. — М.: Энергия, 1972.
27. **Мешков В.В.** Основы светотехники. Ч. 1. — М.: Энергия, 1979.
28. **Гвоздев С.М.** Интеллектуальное освещение // *Коммунальный комплекс России*. 2009. № 5. С. 64—69.
29. **Близнюк В.В., Гвоздев С.М.** Квантовые источники излучения. — М.: ВИГМА, 2006.
30. **Международный светотехнический словарь** / Под общ. ред. Д.Н. Лазарева. — 3-е изд. — М.: Русский язык, 1979.
31. **Уэймаус Д.** Газоразрядные лампы. — М.: ВИГМА, 1999.
32. **Иванов А.П.** Электрические источники света. — М.: Госэнергоиздат, 1955.
33. **Юнович А.Э.** Светодиоды и их применение для освещения. — М.: Знак, 2011.
34. **Семенов В.Г.** Почему именно ЭНЕРГОСбережение? // *Энергосовет*. 2009. № 1 (1). http://www.energosoвет.ru/bul_stat.php?id=4.
35. **Электронные балласты для трубчатых люминесцентных ламп** / Д.И. Панфилов, В.Д. Поляков, Ю.Д. Поляков, А.Н. Барышников // *Инженерная микроэлектроника*. 1999. № 2. С. 18—22.
36. **A Fluorescent Lamp Model for High Frequency Wide Range Dimming Electronic Ballast Simulation** // Naoki Onishi, Tsutomu Shiomi, Akio Okude and Tokushi Yamauchi // *Proceedings of APEC'99*. 14—18 March, 1999, Dallas, Texas. Vol. 2. P. 1001—1005.
37. **Березин М.Ю., Троицкий А.М.** Электронные пускорегулирующие аппараты для разрядных ламп высокого давления // *Новости светотехники*. Вып. 8 / под ред. Ю.Б. Айзенберга. — М.: Дом Света, 1998. С. 3—16.
38. **Материалы** фирмы STMicroelectronics. AN2952. 35W electronic ballast for HID lamps, 09 2009.
39. **Материалы** фирмы Philips. LUXEON®. K2, Datasheet DS51, 30.07.2007.
40. **Применение** светодиодов — проблемы и их решения, материалы фирмы «Политекс», 2006. http://www.radiodetali.com/pdf/led/led_adn_dr.pdf
41. **Миранович В., Филоненко И.** Мощные светодиоды: особенности применения, проблемы и методы решения на примере светодиодов компании Prolight Opto Technology // *Электронные компоненты*. 2007. № 6. С. 45—49.
42. **Дмитриев С.К.** Датчики движения и присутствия — реальная экономия электроэнергии // *Энергосбережение*. 2009. № 7. С. 38—44. http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?id=4452
43. **Датчики** присутствия ThebenHTS. <http://www.verdit.ru/catalog/08/ThebenHTS.pdf>.
44. **Горячев А., Нисковский А.** Модель OSI // *Компьютер Пресс*. 1999. № 6. <http://www.compress.ru/article.aspx?id=10853&iid=437>

45. **Rehg J.A., Sartori G.J.** Industrial Electronics. — Pearson, Prentice Hall, Uper Saddle River, New Jersey, 2006.
46. **Образцов С.А., Панфилов Д.И.** Децентрализованная беспроводная система управления наружным освещением // Светотехника. 2012. № 1. С. 32—36.
47. **Андреев Е.Б., Куцевич Н.А., Синенко О.В.** SCADA-системы: взгляд изнутри. — М.: РТСофт, 2004.
48. **Иванов В.** Интеллектуальное здание. <http://www.asutp.ru/?p=600391>
49. **Зотин О.Т.** Автоматизированные системы управления наружным освещением: актуальные вопросы проектирования и эксплуатации, перспективы развития // СТА. 2008. № 1. С 20—23.
50. **Кнорринг Г.М., Фадин И.М., Сидоров В.Н.** Справочная книга для проектирования электрического освещения. — 2-е изд., перераб. и доп. — СПб.: Энергоатомиздат. Санкт-Петербургское отд-ние, 1992.
51. **Проектирование** осветительных электроустановок промышленных предприятий. Внутреннее освещение. Нормы технологического проектирования. (М788-1088). Редакция 1996 г.
52. **ГОСТ 13109—87.** Электрическая энергия. Требования к качеству электрической энергии в электрических сетях общего назначения.
53. **Ктиторов А.Ф.** Практическое руководство по монтажу электрического освещения. — М.: Высшая школа, 1990.
54. **Правила устройства электроустановок.** (Седьмое издание). Раздел 3.
55. **Егоров Г.П., Коварский А.И.** Устройство, монтаж, эксплуатация и ремонт промышленных электроустановок. — 4-е изд. — М.: Высшая школа, 1974.
56. **Методические** указания МУ 2.2.4.706-98ОМ/МУ ОТ РМ 01-98. Оценка освещения рабочих мест. (Утв. Минтруда РФ, Минздравом РФ, Главным государственным санитарным врачом РФ 16 июня 1998 г.); <http://www.zakonprost.ru/content/base/53763>
57. **ГОСТ 24940—96.** Здания и сооружения. Методы измерения освещенности.
58. **Постановление** Правительства Российской Федерации от 03 сентября 2010 г. № 681. «Об утверждении Правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств, электрических ламп, ненадлежащие сбор, накопление, использование, обезвреживание, транспортирование и размещение которых может повлечь причинение вреда жизни, здоровью граждан, вреда животным, растениям и окружающей среде».
59. **Целуйко В.И.** О концепции энергоэффективного освещения // Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы». 2002. № 3.
60. **МГСН 2.01—99.** Энергосбережение в зданиях. Нормативы по теплозащите и тепловодоэлектроснабжению.
61. **Каталог** энергоэффективных решений. ОАО «Мосэнергосбыт», 2010.
62. **Справочная книга по светотехнике /** Под ред. Ю.Б. Айзенберга. — М.: Энергоатомиздат, 1995.
63. **СП 52.13330.2011.** Свод правил. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СРиП 23-5—95*, 2001.
64. **МГСН 2.06—99.** Естественное, искусственное и совмещенное освещение. М., 1999.
65. **Light and lighting-lighting of work places.** EN 12464-1. Wien 2002, 43. Европейские нормы освещения.

Учебное издание

**Гвоздев Сергей Михайлович
Панфилов Дмитрий Иванович
Романова Татьяна Константиновна
Шестопалова Инесса Павловна
Шевченко Анатолий Сергеевич
Хухтикова Валентина Андреевна**

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

Учебное пособие

*Редактор Т.Н. Платова
Художественный редактор А.Ю. Землеруб
Технический редактор Т.А. Дворецкова
Корректор Р.М. Ваничкина
Компьютерная верстка В.В. Пак*

Подписано в печать с оригинала-макета 29.01.12

Бумага офсетная

Гарнитура Таймс

Печать офсетная

Усл. печ. л. 18,0

Уч.-изд.л. 16,5

Формат 60×90/16

Тираж 500 экз.

Заказ №

ЗАО «Издательский дом МЭИ», 111250, Москва, ул. Красноказарменная, д. 14,
тел/факс: (495) 361-1681, адрес в Интернете: <http://www.idmei.ru>,
электронная почта: info@idmei.ru