

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Учебное пособие

*Рекомендовано федеральным государственным автономным учреждением
«Федеральный институт развития образования» (ФГАУ «ФИРО»)
в качестве учебного пособия для использования в учебном процессе
образовательных организаций, реализующих программы высшего
образования по направлению подготовки 13.03.02
Электроэнергетика и электротехника (уровень бакалавриата)*

Казань 2016

УДК 628.9
ББК 31.294.9
О-72

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор, генеральный директор
ОАО «Татэлектромонтаж» *Ю.И. Солуянов*;
доктор биологических наук, профессор Казанского государственного
энергетического университета *Р.Х. Тукишаитов*

О-72 Осветительные установки промышленных предприятий:
учеб. пособие / Н.В. Денисова, И.В. Ившин, В.В. Максимов,
С.Р. Сидоренко. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2016. – 206 с.

ISBN 978-5-89873-469-0

В учебном пособии изложены физические основы работы светотехнических изделий, содержатся сведения о принципах нормирования, расчета, проектирования светотехнических установок, а также приведены рекомендации по освещению промышленных предприятий, дан справочный материал, необходимый для расчетов. Приведена методика выбора электрооборудования и сечения проводников для надежной работы осветительной установки.

Предназначено для студентов академического и прикладного бакалавриата направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», изучающих дисциплины «Системы освещения» и «Проектирование систем освещения», а также может быть использовано при выполнении выпускных квалификационных работ.

УДК 628.99

ББК 31.294.9

ISBN 978-5-89873-469-0

© Денисова Н.В., Ившин И.В., Максимов В.В.,
Сидоренко С.Р., 2016

© Казанский государственный
энергетический ун-т, 2016

ВВЕДЕНИЕ

В общепринятом понимании освещение – это создание освещенности поверхностей предметов, обеспечивающее видимость этих предметов... При этом освещение бывает естественным, искусственным и смешанным.

Естественное освещение, создаваемое природными источниками света, меняется в широких пределах в зависимости от времени суток и года, географической широты местности, состояния атмосферы и т.д. При естественном свете открытых пространств освещенность горизонтальных поверхностей составляет: в безлунную ночь – 0,0005 лк, при свете полной луны – до 0,2 лк, при прямом свете солнца – до 100000 лк.

Естественное освещение, являясь с физиологической точки зрения наиболее благоприятным для человека, не может полностью обеспечить его нормальную жизнедеятельность, поэтому еще в доисторические времена у людей возникла потребность в искусственном освещении. В качестве искусственных источников света использовались костры, факелы, свечи, керосиновые лампы и т.д. На рубеже IX и XX вв. в быт стало прочно входить электрическое освещение, ставшее к настоящему времени основным; основной количественной нормируемой его характеристикой служит освещенность, которая устанавливается в пределах от 5 до 5000 лк в зависимости от назначения помещений, условий и рода выполняемой людьми работы.

При выборе искусственного освещения для улиц и площадей в качестве нормируемой величины используют среднюю яркость дорожных покрытий.

Рациональное освещение производственных помещений требует так называемого общего освещения всей площади. Оно во многих случаях дополняется местным освещением рабочих мест, образуя комбинированное. Устройство только местного освещения запрещено.

Освещение городов подразделяют на утилитарное и архитектурно-декоративное. Основной задачей первого является повышение безопасности движения транспорта и пешеходов. Известно, что на хорошо освещенных улицах количество дорожно-транспортных происшествий, (при прочих равных условиях) на 30 % меньше, чем на неосвещенных.

Количественные и качественные показатели установок утилитарного освещения регламентируются соответствующими нормами и правилами.

В зависимости от интенсивности движения механизированного транспорта освещенность транспортной магистрали должна обеспечивать определенную величину средней яркости сухих дорожных покрытий.

Нормируются также качественные показатели освещения (слепящее действие и допустимая неравномерность распределения яркости дорожного покрытия).

О масштабах современной светотехники можно судить по следующим цифрам. В нашей стране в настоящее время только в промышленности и сельском хозяйстве, в общественных и жилых зданиях и на улицах городов установлено более 1,5 млрд световых точек суммарной мощностью около 150 млн кВт.

При существующей динамике потребления к 2020 году это значение достигнет величины более 200 млрд кВт/ч в год. При этом наибольшее потребление формировали бы традиционные лампы накаливания, которые в соответствии с принятым Федеральным Законом подлежат замене.

Сегодня в бывших странах СССР выпускается более 2,5 млрд различных электрических источников света и более 120 млн светильников и комплектующих изделий для них. На производстве светотехнических изделий, в сфере проектирования, монтажа и эксплуатации осветительных установок трудится (по приближенной оценке) более 250 тыс. человек.

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

Во второй половине XX века особое значение имели работы по созданию и освоению производства металлогалогенных ламп, натриевых ламп высокого давления и компактных люминесцентных ламп. В начале XXI века первенство в создании высококачественного освещения и эффективного использования электроэнергии захватила светодиодная техника.

В нашей стране светотехника получила подлинное развитие, когда были созданы собственная промышленность, научная и проектная базы. Советская светотехническая школа внесла значительный вклад в прогресс мировой светотехники. Работы С.И. Вавилова (люминесценция, действие света), М.А. Шателена (фотометрия, нормирование), С.О. Майзеля (физические основы процесса зрения), А.А. Гершуна (теоретическая фотометрия), П.М. Тиходеева (нормирование, световые эталоны и измерения), В.В. Мешкова, М.М. Епанешникова (принципы нормирования и расчета) [1, 2], В.А. Фабриканта (теория и создание люминесцентных ламп, открытие принципа действия квантовых генераторов), Г.М. Кнорринга (принципы светотехнических расчетов и проектирования осветительных установок) [4] сыграли большую роль в развитии отечественной и мировой светотехники.

«Справочная книга по светотехнике» под редакцией академика Ю.Б. Айзенберга признается как отраслевая энциклопедия [3].

Светотехническими исследованиями и разработками в странах СНГ систематически занимались многие научные и учебные центры. Среди них Всесоюзный научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт источников света им. А.Н. Лодыгина (ВНИИИС, Саранск), Всесоюзный проектно-конструкторский и технологический институт светотехнической промышленности (УПКТИ свет, Тернополь), светотехнические лаборатории научно-исследовательских институтов охраны и гигиены труда, кафедры светотехники ряда учебных институтов (Московского энергетического института, Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарева, Харьковского института инженеров коммунального строительства и др.), светотехнические лаборатории институтов Госстроя СССР и Госкомархитектуры СССР (НИИСтройфизики, ЦНИИЭП инженерного оборудования, жилых зданий, учебных и лечебных зданий и др.). Работы по светотехническому проектированию возглавляются ВНИПИ Тяжпромэлектропроект, ГПИ Электропроект и их отделениями, управлениями Моспроект-1, Моспроект-2.

В настоящее время в Казанском государственном энергетическом университете светотехнические исследования проводятся на кафедре «Промышленная электроника и светотехника» под руководством Р.Х. Тукшаитова [5, 6].

В условиях рыночной экономики задачей оптимального проектирования и рациональной эксплуатации осветительных установок является обеспечение с наименьшими затратами требуемой освещенности

и необходимого качества освещения помещений с целью создания нормальных условий для жизнедеятельности людей. Недопустимо экономить электроэнергию за счет ухудшения освещенности и ее качества, так как это может повлечь за собой лишние нагрузки работников, повышение травматизма, снижение качества продукции и т.д.

Будучи Председателем Правительства РФ, В.В. Путин подписал Постановление Правительства РФ от 20 июля 2011 года № 602 «Об утверждении требований к осветительным устройствам и электрическим лампам, используемым в цепях переменного тока в целях освещения». Документ устанавливает требования к осветительным устройствам и электрическим лампам в части минимально допустимых значений их световой отдачи и продолжительности горения.

Требования не распространяются на лампы с направленным светоизлучением и лампы со световым потоком ниже 150 лм.

Также в Постановлении отражены требования к максимальному содержанию ртути и свинца в компактных люминесцентных лампах, минимально допустимые значения индекса цветопередачи, значения коррелированной цветовой температуры светодиодных ламп ненаправленного света, модулей светодиодных источников света и компактных люминесцентных ламп.

Цель написания учебного пособия состоит в суммировании знаний в области светотехники и электротехники, необходимых для проектирования осветительных установок промышленных предприятий инженерными методами расчета с учетом современных требований.

В процессе изучения дисциплины «Системы освещения» у студентов формируются:

- способность проводить обоснование проектных решений;
- готовность определять параметры оборудования объектов профессиональной деятельности;
- способность использовать технические средства для измерения и контроля основных параметров технологического процесса;
- способность использовать правила техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности и нормы охраны труда.

Авторы выражают благодарность за полезные замечания и обсуждения в процессе работы над пособием профессору кафедры «Промышленная электроника и светотехника» КГЭУ Р.Х. Тукшаитову и начальнику электротехнического отдела ООО «Казанский Промстройпроект» В.Н. Бомонину.

ГЛАВА 1. ОСНОВНЫЕ СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЕ ПОНЯТИЯ И ВЕЛИЧИНЫ

Для гигиенической оценки условий труда используются светотехнические единицы, принятые в физике [1, 2].

Одним из основных понятий в системе световых величин является световой поток Φ , который определяется как часть мощности лучистой энергии (лучистого потока), воспринимаемой человеческим глазом как световое ощущение. За единицу измерения Φ принят люмен (лм), 1 лм соответствует световому потоку, излучаемому в единичном телесном угле точечным изотропным источником с силой света 1 кандела.

Сила света I – пространственная плотность светового потока: отношение светового потока к телесному углу, в котором он получается:

$$I = d\Phi / d\Omega = \Phi / \omega. \quad (1.1)$$

Единица силы света – кандела (кд) – одна из основных единиц системы источников света.

Кандела равна силе света, испускаемого в перпендикулярном направлении с площади в $1/600\,000 \text{ м}^2$ черного тела при температуре затвердевания платины $T = 2045 \text{ К}$ и давлении $101\,325 \text{ Па}$.

Телесный угол определяется как отношение площади S части поверхности сферы, на которую он опирается, к квадрату радиуса r этой сферы:

$$\omega = \frac{S}{r^2}. \quad (1.2)$$

Единицей измерения телесного угла является *стерадиан* (ср). Стерадиан представляет собой телесный угол, вырезающий на поверхности сферы участок, площадь которого эквивалентна площади квадрата со стороной, равной радиусу сферы (рис. 1.1).

Соответственно, кандела может быть выражена как сила света точечного источника, испускающего световой поток в один люмен, равномерно распределенный внутри телесного угла в один стерадиан. Таким образом, можно представить, что $\text{лм} = \text{кд} \cdot \text{ср}$.

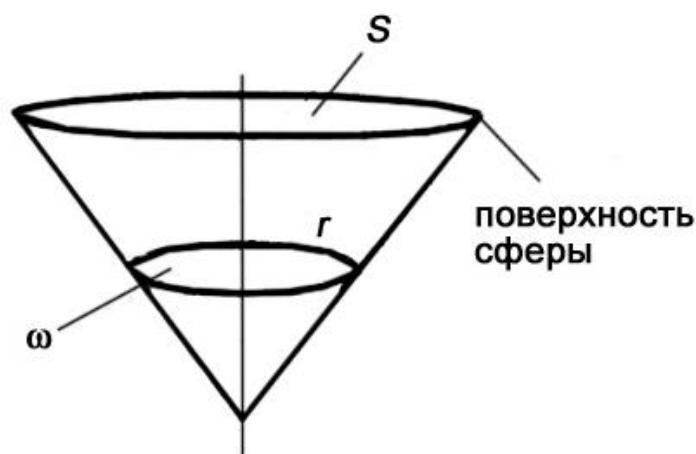


Рис. 1.1. Телесный угол:
 S – площадь части поверхности сферы; r – радиус сферы

Следовательно, люмен – это световой поток, испускаемый точечным источником света силой в одну канделу внутри телесного угла, равного стерadianу (ср). Стерadian (от греч. Stereos – телесный, пространственный радиан) – единица измерения телесного угла. Полная сфера образует телесный угол, равный 4π .

Распределение в пространстве потока излучения точечного источника однозначно определяется его *фотометрическим телом* – частью пространства, ограниченного поверхностью, проведенной через концы радиусов-векторов силы излучения. Сечение фотометрического тела плоскостью, проходящей через начало координат и точечный источник, определяет *кривую силы света* (КСС) источника для данной плоскости сечения. Если фотометрическое тело имеет ось симметрии, источник излучения характеризуют КСС в продольной плоскости (рис. 1.2).

Освещенность E – плотность светового потока по освещаемой поверхности:

$$dE = d\Phi/dS; E_{\text{ср}} = \Phi/S, \quad (1.3)$$

где dE и $E_{\text{ср}}$ – освещенность участка поверхности dS и средняя освещенность поверхности S .

За единицу освещенности принят люкс (лк). Освещенность в 1 лк имеет поверхность, на 1 м^2 которой падает и равномерно по ней распределяется световой поток в 1 лм.

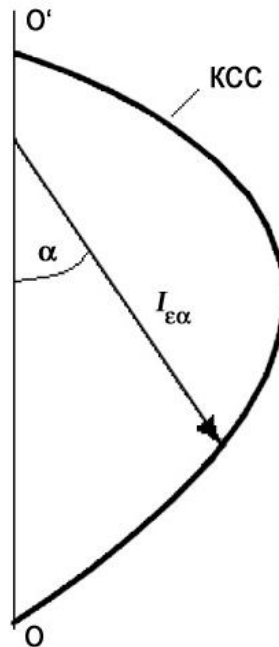


Рис. 1.2. Кривая силы света в продольной плоскости

Яркость в направлении α тела или участка его поверхности равна отношению силы света в направлении α к проекции излучающей поверхности на плоскость, перпендикулярную этому направлению:

$$L_{\alpha} = dI_{\alpha} / (dS \cos \alpha), \quad (1.4)$$

где L_{α} – яркость участка поверхности dS в направлении α , проекция которого на плоскость, перпендикулярную этому направлению, равна $(dS \cos \alpha)$; I_{α} – сила света, испускаемая поверхностью dS в направлении α .

За единицу измерения яркости (кд/м^2) принята яркость такой плоской поверхности, которая в перпендикулярном направлении излучает силу света в 1 кд с площади в 1 м^2 .

Параметры источников света условно можно разделить на две основные группы: технические (физические) и эксплуатационные

Технические параметры характеризуют излучение (световой поток, сила света, яркость, спектр излучаемого света), электрический режим (мощность лампы, рабочее напряжение на ней, напряжение питания, сила и род тока, для газоразрядных ламп – потери мощности в пуско-регулирующих аппаратах (ПРА), коэффициент мощности лампы и конструктивные особенности колбы, ее оптические свойства – прозрачная, матированная и т.п., конструкция и размеры электродов и т.д.).

К числу наиболее важных эксплуатационных параметров источников света относят эффективность (КПД лампы, световая отдача лампы) и надежность. Под надежностью понимается свойство объекта выполнять требуемые функции в определенных условиях эксплуатации в течение заданного времени при сохранении значений основных параметров в заранее установленных пределах. Для источников оптического излучения наиболее важным показателем надежности является срок службы. Различают полный срок службы (до перегорания источника света), полезный срок службы (до момента выхода одного из параметров за допустимые пределы), а также минимальную продолжительность горения, которая определяется с учетом вероятности безотказной работы лампы в течение заданного времени.

Излучение газоразрядных ламп пульсирует с удвоенной частотой переменного тока, питающего осветительную установку. Глубина пульсации оценивается *коэффициентом пульсации*, значение которого в процентах определяется выражением [3]:

$$K_n = \frac{\Phi_{\max} - \Phi_{\min}}{2\Phi_{\text{ср}}} \cdot 100, \quad (1.5)$$

где $\Phi_{\min}$ и $\Phi_{\max}$ – максимальное и минимальное значения светового потока за период его колебаний, равный 0,02 с для частоты 50 Гц; $\Phi_{\text{ср}}$ – среднее значение светового потока за этот же период.

Глаз реагирует на изменение во времени освещенности. Глубина пульсации освещенности, регламентируемая ГОСТ Р 54945-2012, оценивается коэффициентом ее пульсации

$$K_n = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{2E_{\text{ср}}} \cdot 100, \quad (1.6)$$

где $E_{\max}$, $E_{\min}$ и $E_{\text{ср}}$ – соответственно максимальное, минимальное и среднее значения освещенности за период ее колебания.

Наибольшее значение коэффициента пульсации нормируется в зависимости от разряда зрительных работ и установлено в пределах от 10 до 20 %. При периодическом общем наблюдении за ходом производственного процесса или инженерными коммуникациями данный показатель не нормируется.

При необходимости оценить экономичность того или иного источника света пользуются понятием *световой отдачи* (h_v), единицей измерения которой принят люмен на ватт (лм/Вт):

$$h_v = \frac{\Phi}{P}, \quad (1.7)$$

где Φ – световой поток источника света, лм; P – мощность источника света, Вт.

В зависимости от требований к освещенности конкретных объектов при выборе источников света могут использоваться и другие световые характеристики [4].

Важной характеристикой источников света является цвет излучаемого света и качество передачи цветов освещаемых предметов. Цветность излучения источника света определяется цветовой температурой (T_c), измеряемой в кельвинах (К). Значение T_c представляет собой температуру, при которой излучение абсолютно черного тела («идеального» тела, которое поглощает весь падающий на него свет и отражение которого равно нулю) имеет цветность, совпадающую с данной.

Известно, что при повышении температуры нагрева абсолютно черное тело изменяет характер излучения, которое из красного становится желтым, белым и, наконец, синеватым, но никогда не бывает, например, зеленым или коричневым. Поэтому не все цветности могут быть достоверно охарактеризованы цветовой температурой.

Величина T_c может не иметь ничего общего с физической температурой излучателя. Так, приписывая некоторому типу люминесцирующих ламп значение $T_c = 4850$ К, а синему небосводу $T_c = 11000$ К, необходимо знать, что эти излучатели подобной температуры не имеют [7, 9].

Поэтому цветовую температуру следует рассматривать как некоторый оценочный показатель цветности источников света. Чем большее значение имеет этот показатель, тем более близок к естественному цвет излучаемого источника света. Существуют три главные цветности света: тепло-белая ($T_c < 3300$ К), нейтрально белая ($T_c = 3300\text{--}5000$ К) и белая дневного света ($T_c = 5000$ К).

Однако лампы с одинаковой цветностью могут по-разному передавать цвета освещаемых предметов, что объясняется отличием спектрального состава излучаемого ими света. Качество выражается

общим индексом (коэффициентом) цветопередачи (R_a), который показывает соответствие зрительного восприятия объекта, освещенного исследуемым и эталонным источниками света при определенных условиях наблюдения.

Его максимальное значение составляет 100.

Источники света, имеющие значение $R_a = 90-100$, обладают хорошей цветопередачей, а уровень $R_a = 50$ и менее соответствует слабой цветопередаче. Различные спектры излучения ламп, несмотря на одинаковую цветность, вызывают различное восприятие цвета.

Если, например, в спектре ламп мало красного цвета, то красные цвета предмета будут переданы не в полной степени. Лампы с высоким индексом (90 и больше) передают все цвета натурально, при низком индексе цвета воспринимаются искаженно, например, красные воспринимаются как оранжевые, зеленые – как желтые.

Контрольные вопросы

1. Почему световой поток не измеряется в единицах мощности?
2. Чему равен полный телесный угол?
3. От каких параметров зависит кривая силы света?
4. Опишите фотометрическое тело точечного источника излучения.
5. В каких единицах измеряется освещенность?
6. Поясните суть коэффициента цветопередачи.

ГЛАВА 2. СОВРЕМЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА

Источники света – это устройства, непосредственно преобразующие электрическую энергию в энергию видимых излучений. К источникам света относятся электрические лампы различного вида.

Современные электрические лампы по принципу действия можно разделить на три основные группы:

- 1) накаливания – основанные на принципе теплового излучения;
- 2) разрядные – основанные на использовании излучения электрического разряда в газах и парах металлов;
- 3) твердотельные – преобразующие электрическую энергию в энергию светового излучения.

Работа ламп характеризуется:

- номинальным напряжением U_n , В, т.е. напряжением, при котором лампа должна работать (указывается на цоколе или колбе);
- номинальной мощностью P_n (Вт), т.е. расчетной электрической мощностью, потребляемой лампой при ее включении на номинальное напряжение;
- световым потоком лампы Φ (лм) – приведены в справочной литературе;
- световой отдачей η_v (лм/Вт), представляющей собой отношение измеряемого светового потока к электрической мощности этой лампы:

$$\eta_v = \frac{\Phi}{P_n};$$

– средней продолжительностью горения, которая определяется как среднее арифметическое из сроков служб отдельных ламп испытываемой партии.

Для электрического освещения применяют лампы накаливания и газоразрядные лампы (люминесцентные, ртутные лампы давления с исправленной цветностью, натриевые, ксеноновые типа ДРЛ, ДРИ, ДНаТ).

Весьма перспективными представляются так называемые твердотельные источники света – светоизлучающие диоды. Первоначально светодиоды использовались в основном в сигнальных и индикаторных устройствах, архитектурном освещении, в настоящее время они применяются повсеместно: для освещения промышленных помещений, общественных зданий, спортивных сооружений и т.п. [11].

При выборе источников света следует учитывать их срок службы, световую отдачу, а также ряд других характеристик.

Рассмотрим конструкции, основные параметры источников света и их особенности при использовании в осветительных установках.

Лампы всех групп и типов должны удовлетворять требованиям ГОСТ 19190-84 «Лампы электрические. Общие технические условия».

2.1. Лампы накаливания

Принцип действия лампы накаливания (ЛН) основан на испускании видимого излучения разогретой до температуры 2600–3000 °С вольфрамовой спиралью.

Основные достоинства ламп накаливания:

- простота изготовления и низкая стоимость;
- малые первоначальные затраты при оборудовании осветительной установки;
- высокий уровень механизации производства;
- удобство эксплуатации, простота в обслуживании;
- мгновенное зажигание;
- изготовление в широком сортаменте, на самые разные мощности и напряжения;
- разнообразие конструкций, приспособленных к определенным условиям применения;
- непосредственное включение в сеть без дополнительных аппаратов;
- работоспособность (хотя и с резко изменяющимися характеристиками) даже при значительных отклонениях напряжения сети от номинального;
- почти полная независимость от условий окружающей среды, в том числе от температуры.

Недостатками ЛН являются их низкая световая отдача (8–20 лм/Вт для ламп общего назначения), преобладание в спектре излучений желто-красной части, ограниченный срок службы (не более 2000 ч).

Галогенные лампы накаливания в кварцевой колбе имеют более стабильный световой поток, повышенный срок службы и световую отдачу.

Основными характеристиками ЛН являются номинальные значения напряжения, мощности, светового потока, срок службы, а также габаритные размеры.

Лампы общего назначения – вакуумные (В), биспиральные аргоновые (Б), биспиральные, криптоновые (БК), газополные моноспиральные (Г) (ГОСТ 2239-79) – предназначены для освещения помещений

и открытых пространств, рассчитаны на напряжения 127 и 220 В. Срок службы ламп – 1000 ч. Учитывая нестабильность напряжения в сетях, ГОСТ 2239-79 предусматривает выпуск ЛН на расчетные напряжения 130, 220, 225, 235 и 240 В (на лампе указывают диапазон напряжений: 125–135, 215–225, 220–230, 230–240 и 235–245 В).

На рис. 2.1 показан внешний вид наиболее распространенных ЛН.

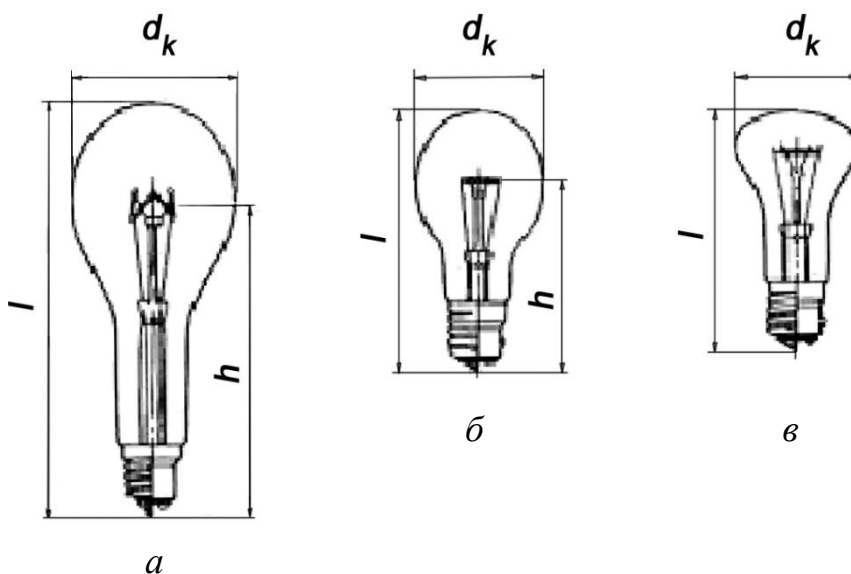


Рис. 2.1. Лампы накаливания общего назначения:

а – моноспиральная с аргоновым наполнением; *б* – вакуумная или биспиральная с аргоновым наполнением, *в* – биспиральная с криптоновым наполнением

При эксплуатации ЛН должно соблюдаться следующее:

а) использование ламп в соответствии с назначением, т.е. в тех светильниках, для которых они предназначены, поэтому на каждом светильнике или в паспорте на него указываются максимально допустимая мощность лампы, ее тип и другие данные;

б) обеспечение соответствия напряжения, указанного на лампе, напряжению сети;

в) соответствие климатических факторов предусмотренным техническими условиями на лампы, например ЛН нормального исполнения рассчитаны для работы при относительной влажности не более 98 % в интервале от -60 до $+50$ °С и при внешнем давлении 680–1010 гПа (550–760 мм рт. ст.).

Необходимо отметить, что лампы накаливания, которые сыграли значительную роль в развитии светотехники, сегодня являются недопустимо устаревшими источниками света. Например, компактные

люминесцентные лампы (КЛЛ) имеют в 4–5 раз большую световую отдачу и в 8–10 раз больший срок службы, т.е. генерируют за срок службы в 32–50 раз большую световую энергию.

Важным достоинством ЛН являются также низкие значения коэффициента пульсации светового потока (среднее значение составляет около 7 %). Лампы практически не критичны к изменениям условий внешней среды и экологически безупречны.

В основном ЛН используются в бытовых целях. Госэкспертиза РФ делает замечания при использовании ЛН при проектировании осветительных установок для промышленных помещений, административных и общественных зданий.

Во многих странах мира в последнее время принимаются эффективные меры по вытеснению ламп накаливания. С начала 2009 г. в Великобритании из продажи исчезли лампы накаливания 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» ламп накаливания. По оценкам британских аналитиков, экономия от таких мер может составить до 8 млрд долл. США. Евросоюз принял решение полностью перейти на энергосберегающие светильники к 2012 г.

В США вышло постановление, подписанное президентом, о том, что с 2001 г. исключаются из производства и применения лампы накаливания мощностью 100 Вт, в 2012 г. – 75 Вт и т.д. до 2014 г., когда лампы накаливания должны быть полностью изъяты из обращения. В Австралии издано постановление правительства о полном переходе на компактные люминесцентные лампы (КЛЛ) к 2012 г.

В России Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. № 261 «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (ст. 10, п. 8) постановил:

«С 1 января 2011 года к обороту на территории Российской Федерации не допускаются электрические лампы накаливания мощностью 100 Ватт и более, которые могут быть использованы в цепях переменного тока в целях освещения. С 1 января 2011 года не допускается размещение заказов на поставки электрических ламп накаливания для государственных или муниципальных нужд, которые могут быть использованы в цепях переменного тока в целях освещения».

2.2. Люминесцентные лампы низкого давления

Люминесцентные лампы (ЛЛ) представляют собой разрядные источники света низкого давления, в которых ультрафиолетовое (УФ) излучение ртутного разряда преобразуется люминофором в более длинноволновое излучение.

Конструкция люминесцентной лампы низкого давления представлена на рис. 2.2.

Люминесцентные лампы вошли в нашу жизнь давно и прочно. Первые образцы отечественных люминесцентных ламп были созданы в 1936–1940 гг. группой московских ученых и инженеров под руководством академика С.И. Вавилова.

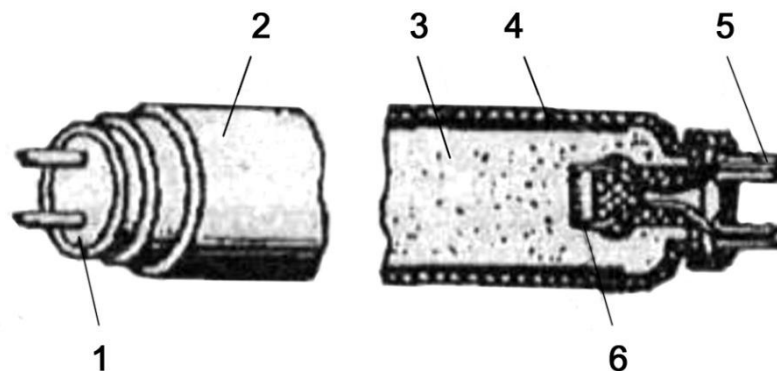


Рис. 2.2. Внешний вид и разрез люминесцентной лампы:

1 – цоколь; 2 – колба; 3 – ртутные пары; 4 – слой люминофора;
5 – контактные штырьки цоколя, 6 – биспиральный электрод из вольфрама

Производство и применение ЛЛ объясняется рядом их достоинств: 1) высокой световой отдачей и большим сроком службы; 2) малой себестоимостью изготовления в связи с высокой степенью механизации, простотой конструкции и доступностью сырья и материалов; 3) благоприятным спектром излучения, обеспечивающим высокое качество цветопередачи; 4) низкими яркостью и температурой поверхности лампы. Характеристики ламп непрерывно улучшались: продолжительность горения увеличилась до 15–18 тыс. ч, световая отдача возросла с 50 до 85 лм/Вт, а спад световой отдачи к концу средней продолжительности горения при этом уменьшился с 40 до 20 %.

Люминесцентные лампы делятся на осветительные общего назначения и специальные. К ЛЛ общего назначения относят лампы мощностью от 15 до 80 Вт с цветовыми и спектральными характеристиками, имитирующими естественный свет различных оттенков.

Для классификации ЛЛ специального назначения используют различные параметры. По мощности их разделяют на маломощные (до 15 Вт) и мощные (свыше 80 Вт); по типу разряда – на дуговые, тлеющего разряда и тлеющего свечения; по излучению – на лампы естественного света, цветные лампы, лампы со специальными спектрами излучения, лампы ультрафиолетового излучения; по форме колбы – на трубчатые и фигурные; по светораспределению – с ненаправленным световым излучением и с направленным (рефлекторные, щелевые, панельные и др.).

Маркировка обычно состоит из 2–3 букв. Первая буква Л означает люминесцентная. Следующие буквы означают цвет излучения: Д – дневной; ХБ – холодно-белый; Б – белый; ТБ – тепло-белый; Е – естественно-белый; К, Ж, З, Г, С – соответственно красный, желтый, зеленый, голубой, синий; УФ – ультрафиолетовый. У ламп с улучшенным качеством цветопередачи после букв, обозначающих цвет, стоит буква Ц, а при цветопередаче особо высокого качества – буквы ЦЦ. В конце ставят буквы, характеризующие конструктивные особенности: Р – рефлекторная, У – U-образная, К – кольцевая, А – амальгамная, Б – быстрого пуска. Цифры обозначают мощность в ваттах. Маркировка ламп тлеющего разряда начинается с букв ТЛ.

Всего различается 7 типов люминесцентных ламп, тип зависит от марки люминофора. К примеру: холодного естественного света (ЛХБ); дневного света с улучшенной цветопередачей (ЛДЦ); теплого белого света (ЛТБ); дневного света (ЛД); белого света (ЛБ); естественного света с улучшенной цветопередачей (ЛЕЦ); холодного белого света (ЛХБ).

Наиболее общеупотребительной является форма в виде цилиндрической прямой трубки. Существуют также люминесцентные лампы U-образной формы, которые имеют укороченную длину и цоколи с одной стороны. Бывают также кольцевые лампы. У них четырехштырьковый цоколь, а само кольцо – трех различных диаметров. Лампы люминесцентные ультрафиолетовые – альтернатива лампам накаливания, они применяются в различных типах облучателей, использующих фотохимическое и биологическое действие ультрафиолетового света.

Компактные люминесцентные лампы (для светильников) имеют меньшие размеры по сравнению с обычной колбочатой лампой. Основная особенность устройства компактных люминесцентных ламп (КЛЛ) состоит в придании различными способами разрядной трубке таких форм, которые бы обеспечили резкое снижение длины лампы. Кроме того, большинство маломощных ламп, предназначенных для замены ламп накаливания, устроены таким образом, что могут непосредственно или через адаптер ввертываться в резьбовой патрон.

Люминесцентная лампа, в отличие от лампы накаливания, не может быть включена напрямую в электрическую сеть. Причин для этого две:

1. Для зажигания дуги в люминесцентной лампе требуется предварительный прогрев электродов и импульс высокого напряжения.

2. Люминесцентная лампа имеет отрицательное дифференциальное сопротивление, после ее зажигания ток в ней многократно возрастает. Если его не ограничить, лампа выйдет из строя.

Для решения этих проблем применяют специальные устройства – балласты, включаемые в сеть последовательно с люминесцентной лампой.

Наиболее распространенные на сегодняшний день балласты:

1. ЭМПРА – электромагнитная пускорегулирующая аппаратура со стартером или без него.

2. ЭПРА – электронная пускорегулирующая аппаратура с различными разновидностями электронных балластов.

В последние 5–6 лет схемы включения люминесцентных ламп с ЭМПРА постепенно вытеснялись системами с более функциональными и экономичными электронными пускорегулирующими аппаратами (ЭПРА).

При работе люминесцентных ламп с некомпенсированной ПРА коэффициент мощности комплекта «лампа – ПРА» в зависимости от мощности ламп находится в пределах 0,35–0,5; при двухламповых компенсированных ПРА – не ниже 0,92; при одноламповых компенсированных – не ниже 0,85.

Время зажигания ламп при номинальном напряжении электрической сети должно составлять не более 10 с, а время выхода ламп на предельные характеристики – не более 15 мин. Обычные типы ламп предназначены для работы при температуре окружающей среды 15–25 °С. При больших или меньших температурах световая отдача ламп снижается, а при температурах ниже 5 °С устойчивое зажигание ламп не обеспечивается. В жарких помещениях применяются специальные амальгамные лампы (типа ЛБА), имеющие нормальную световую отдачу при высоких температурах.

Люминесцентные лампы общего назначения имеют международную маркировку T12 (первое поколение ЛЛ) и представляют собой трубчатые конструкции диаметром 38 мм. Лампы предназначены для общего освещения закрытых помещений, а также для наружных установок, питаемых от сети переменного тока напряжением 230 В.

Серия энергоэкономичных ЛЛ в колбе диаметром 26 мм и мощностью 18, 36 и 58 Вт имеет международную маркировку T8 (второе поколение ЛЛ) и предназначена для общего и местного освещения промышленных, общественных, административных (ЛБ18, ЛДЦ18, ЛБ36, ЛБ58) и жилых помещений (ЛЕЦ18, ЛЕЦ36, ЛЕЦ58).

Энергоэкономичные ЛЛ эксплуатируются как в светильниках, предназначенных для стандартных ламп, так и в специально разработанных (светильники типа ЛПОЗ, ЛПОЗ4, ЛПС18).

У энергоэкономичных ламп повышено напряжение зажигания, поэтому их нельзя применять в бесстартерных схемах, а для надежного зажигания рекомендуется использовать унифицированный стартер, дающий более длительный и высокий импульс напряжения (900 вместо 400 В) [14].

Технические данные энергоэкономичных ЛЛ приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Технические данные энергоэкономичных люминесцентных ламп

Тип лампы	Номинальные значения			Продолжительность горения, <i>r</i>
	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Световая отдача, лм/Вт	
ЛБ18-1	18	1250	69,4	15000
ЛДЦ18	18	850	47,2	15000
ЛЕЦ18	18	850	47,2	13000
ЛБ36	36	3050	84,7	15000
ЛДЦ36	36	2200	61	13000
ЛЕЦ36	36	2150	59,7	15000
ЛБ58	58	4800	82,8	15000
ЛЕЦ58	58	3330	57,4	15000

Компактные люминесцентные лампы работают по такому же принципу, как и обычные люминесцентные лампы, но имеют другое конструктивное исполнение. Общий вид такой лампы показан на рис. 2.3.

Компактные люминесцентные лампы типа КЛС предназначены для непосредственной замены малоэффективных ламп накаливания, что позволяет экономить до 75 % потребляемой электроэнергии. Они имеют встроенный пускорегулирующий аппарат (ПРА) и снабжены стандартным резьбовым цоколем Е27. Лампы типа КЛЛ работают с выносным ПРА (типа КЛ). Выпускаются компактные люминесцентные лампы мощностью от 5 до 57 Вт со световыми отдачами комплекта «лампа – ПРА» от 30 до 75 лм/Вт и сроками службы от 6 до 12 тыс. ч. [7]

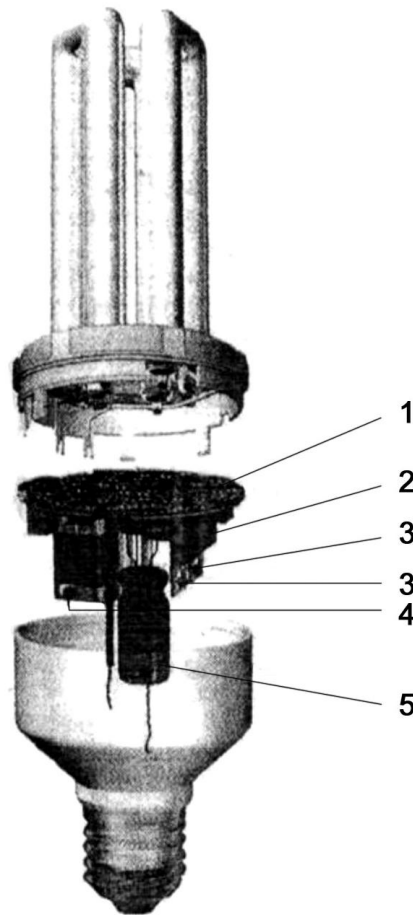


Рис. 2.3. Устройство компактной люминесцентной лампы:

- 1 – терморезистор с положительным температурным коэффициентом для мгновенного запуска без мерцания; 2 – устройство подавления радиопомех; 3 – переключающие транзисторы; 4 – стабилизатор тока лампы; 5 – конденсатор, обеспечивающий работу без мигания

Разработка КЛЛ стала возможна только в результате создания высокостабильных узкополосных люминофоров, активированных редкоземельными материалами, которые могут работать при более высоких поверхностных плотностях облучения, чем в стандартных ЛЛ. За счет этого удалось значительно уменьшить диаметр разрядной трубки. Что касается сокращения габаритов ламп в длину, то эта задача была решена путем деления трубок на несколько более коротких участков, расположенных параллельно и соединенных между собой либо изогнутыми участками трубки, либо вваренными стеклянными патрубками.

Электроды энергосберегающей лампы представляют собой тройную спираль, покрытую оксидным слоем. Именно этот слой придает электродам их свойства создавать поток электронов (термоэлектродная эмиссия).

Главное преимущество КЛЛ – совместимость с инфраструктурой, созданной для обычных ламп накаливания.

В настоящее время ведущими мировыми производителями светотехнической продукции освоен выпуск новых люминесцентных ламп (международная маркировка T5 – третье поколение ЛЛ), имеющих диаметр разрядной трубки 16 мм и обладающих рядом существенных преимуществ по сравнению с аналогическими лампами предыдущих поколений, в частности с более высокой световой отдачей (до 104 лм/Вт), сроком службы (до 16 тыс. ч), пониженным содержанием ртути (3 мг) и др.

Более полно основные технические характеристики таких ламп даны в табл. 2.2 [7].

Таблица 2.2

Технические данные люминесцентных ламп типа T5

Номинальные значения			Номинальные значения		
Мощность, Вт	Световой поток, лм	Световая отдача, лм/Вт	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Световая отдача, лм/Вт
14	1100	92,0	24	2000	83,3
21	2000	95,2	39	3400	87,2
28	2800	100	54	5000	92,6
15	3600	102,9	80	7000	87,9

Выпускаются также эритемные и бактерицидные лампы. Первые используются в установках искусственного ультрафиолетового облучения людей и животных, а вторые – для обеззараживания воздуха в помещениях. Колбы этих ламп изготавливаются из специального стекла, пропускающего ультрафиолетовые лучи. В бактерицидных лампах люминофор отсутствует, а в эритемных применяется специальный люминофор, обеспечивающий ультрафиолетовое излучение с диапазоном длин волн, наиболее активно вызывающих загар, первоначально сопровождающийся покраснением участков кожи человека. Название лампы «эритемная» происходит от греческого слова «эритема», что означает «краснота».

Для зажигания и горения ламп необходимо, как уже указывалось, включение последовательно с ними пускорегулирующих аппаратов. Существуют стартерные и бесстартерные ПРА, причем в первых начальный подогрев электродов обеспечивается кратковременным замыканием контактов стартера, включенного параллельно лампе, во вторых – подачей на электроды напряжения от специальных устройств,

построенных на базе схем умножения напряжения, накальных трансформаторов и т.п. Стартерные схемы включения люминесцентных ламп (рис. 2.4) получили большее распространение, поскольку достаточно просты, имеют малые потери мощности и меньшую стоимость по сравнению с бесстартерными схемами. Однако наличие стартера иногда может приводить к «миганиям» и выходу из строя ламп. Кроме того, при пониженной температуре, если электроды лампы не успели как следует прогреться, лампа может не зажечься. Существуют различные типы стартеров. Наиболее распространенным является стартер тлеющего разряда, представляющий собой небольшую газоразрядную лампу тлеющего разряда в стеклянной колбе, заполненной смесью инертных газов (60 % аргона, 28,8 % неона и 11,2 % гелия). Стеклянная колба помещена в пластмассовый или металлический корпус. Один из электродов стартера жесткий, неподвижный, изготовленный из никеля, а второй – подвижный, представляющий собой биметаллический элемент, состоящий из двух пластин с различными коэффициентами линейного расширения (существуют конструкции стартера с двумя подвижными контактами).

В момент включения схемы в сеть к электродам лампы 1 и стартера 2 приложено полное сетевое напряжение, так как тока в цепи нет и потеря напряжения на дросселе 3 отсутствует. Пока электроды лампы не нагрелись, напряжения сети недостаточно для зажигания стартера. В стартере возникает разряд и в схеме протекает ток по цепи: сеть – первый электрод лампы – стартер – второй электрод лампы – дроссель – сеть.

Значение тока в этот момент составляет всего лишь сотые доли ампера, поэтому электроды лампы сильно разогреться не могут. Но для нагрева биметаллического электрода в стартере достаточно теплоты, выделяющейся при разряде. В результате нагрева биметаллическая пластина изгибается и замыкает стартер накоротко. При этом ток в цепи возрастает до 0,5–0,6 А и электроды лампы быстро разогреваются. Поскольку тлеющий разряд, сопровождающийся выделением теплоты, в стартере при замыкании электродов прекращается, электроды стартера начинают остывать и размыкаются. Мгновенный разрыв цепи вызывает появление ЭДС на дросселе в виде мгновенного пика напряжения. При этом лампа, электроды которой уже раскалены, зажигается. После зажигания лампы в ее цепи устанавливается рабочий ток. Напряжение на зажимах лампы составляет около половины подведенного, остальная часть напряжения теряется на дросселе. Следовательно, в нормальном режиме работы лампы на зажимах стартера напряжение составляет примерно половину напряжения сети, что недостаточно для его повторного срабатывания.

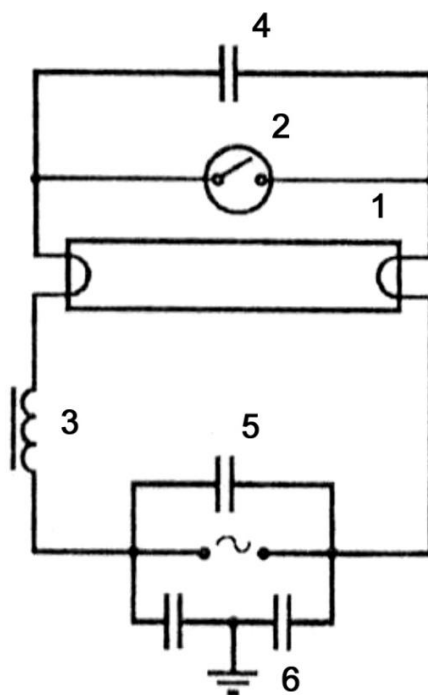


Рис. 2.4. Стартерная схема включения люминесцентной лампы:
1 – электроды лампы; 2 – стартер; 3 – дроссель; 4, 5, 6 – конденсаторы

Для устранения ряда недостатков, сопровождающих работу газоразрядных ламп, в схему вводятся конденсаторы 4–6. Параллельно электродам стартера включается конденсатор 4, назначение которого состоит в уменьшении амплитуды и увеличении длительности импульса напряжения, что способствует надежному зажиганию лампы. Кроме того, этот конденсатор снижает уровни радиопомех, возникающих при включении лампы. Параллельно лампе включается конденсатор 5. Он предназначен для повышения коэффициента мощности.

В настоящее время для зажигания и работы люминесцентных ламп широко применяются электронные пускорегулирующие аппараты, в которых частота питающего тока повышается до 20–40 кГц. Данные устройства обладают следующими преимуществами по сравнению с традиционными электромагнитными пускорегулирующими аппаратами:

- снижение потребления электроэнергии комплектом «ЭПРА – лампа» в среднем на 20 %;
- повышение световой отдачи лампы на 5–7 % при работе на повышенной частоте;
- экономия дефицитных материалов – меди и стали;
- высокое качество светового потока лампы вследствие низких значений коэффициента пульсации светового потока (5–15 %) и отсутствия стробоскопического эффекта;

- снижение массогабаритных показателей на 40–70 %;
- благоприятный («щадящий») режим зажигания лампы;
- повышение срока службы лампы на 10–50 % за счет стабильных параметров зажигания и горения;
- отсутствие мигания лампы в пусковом режиме;
- бесшумность работы ЭПРА;
- возможность регулирования светового потока светильника в диапазоне 10–100 % в ручном или автоматическом режимах;
- автоматическое отключение ламп в конце их срока службы, а также неисправных ламп.

Влияние отклонений напряжения на работу люминесцентных ламп сказывается меньше, чем на работу ламп накаливания, однако при понижении напряжения на 10 % лампа может не зажечься или же ее включение будет сопровождаться многократным миганием. Повышение напряжения, подведенного к зажимам лампы, облегчает процесс зажигания, но снижает ее световую отдачу из-за увеличения потребляемой мощности и сокращает срок службы (при повышении напряжения на 20 % срок службы ЛЛ, работающих в схемах с дросселем, уменьшается до 50 %). Срок службы ЛЛ также определяется режимом работы ее электродов. Чем меньше число включений, тем меньше износ оксидного слоя, покрывающего электроды, а следовательно, больше часов горения лампы.

Работа ламп создает, хотя и незначительные, радиопомехи, распространяемые как по эфиру, так и по сети. Для снижения в конструкцию стартера входит конденсатор, являющийся в большинстве случаев достаточной мерой защиты.

Замечено, что в ряде случаев источники света, находясь в тесной взаимосвязи с электрической системой электроснабжения, оказывают то или иное влияние на технические характеристики этой системы. В частности, в работе [25] показано, что КЛЛ ряда фирм ухудшали показатели качества электроэнергии в сети за счет изменения гармонического состава.

2.3. Дуговые ртутно-кварцевые лампы высокого давления

Для освещения высоких (более 5 м) производственных помещений большой площади, в которых не требуется правильной цветопередачи, а также стройплощадок применяются дуговые ртутные люминесцентные лампы высокого давления ДРЛ (Д – дуговая, Р – ртутная, Л – люминесцентная).

В обычных ртутных лампах при разряде в парах ртути спектр характеризуется отсутствием лучей красного цвета, вследствие чего цветность освещаемых предметов резко искажается. Используя в лампах ДРЛ специальный люминофор, который под действием ультрафиолетовых лучей разряда испускает оранжево-красный цвет, и, добавляя к ртутному разряду недостающее излучение в красной области спектра, можно исправить цветопередачу лампы.

Конструктивно лампа ДРЛ (см. рис. 2.5) состоит из кварцевой газоразрядной трубки (баллона) 2, заполненной аргоном с добавлением дозированной капли ртути, облегчающей процесс зажигания лампы.

В торцах трубки впаяны два основных вольфрамовых активных электрода 3 (двухэлектродная лампа (рис. 2.5, *а*) либо к двум основным горелкам 7 дополнительно подключаются два электрода 8, облегчающих возникновение разряда между основными электродами (четырёхэлектродная лампа, рис. 2.5, *б*). Кварцевая трубка помещается в колбе, которая изготовлена из тугоплавкого стекла. На внутреннюю поверхность колбы нанесен слой люминофора 4. В качестве основного люминофора для лампы ДРЛ применяют фторогерманат магния, активизированный марганцем. Для обеспечения охлаждения кварцевой горелки пространство между ней и стеклянной колбой заполняется инертным газом, обычно азотом.

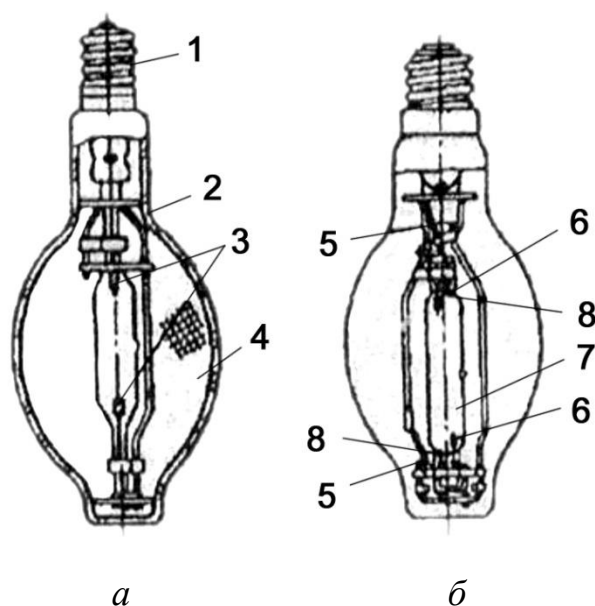


Рис.2.5. Газоразрядные лампы типа ДРЛ:

а – двухэлектродная; *б* – четырехэлектродная; 1 – цоколь; 2 – внешний баллон;
3 – электрод; 5 – сопротивление; 6 – основной электрод; 7 – кварцевая горелка;
8 – дополнительный электрод

Основное преимущество четырехэлектродной лампы ДРЛ по сравнению с двухэлектродной состоит в том, что для ее зажигания не требуется специального поджигающего устройства (разрядник, выпрямитель, зарядный резистор и конденсатор), что упрощает схему включения лампы в электрическую сеть.

Отечественная промышленность выпускает лампы ДРЛ на напряжение 220 В мощностью 250, 500, 750, 1000 Вт (двухэлектродные) и мощностью 80, 125, 250, 400, 700, 1000 и 2000 Вт (четырёхэлектродные) со световым потоком 3400, 6000, 12000, 23000, 40000, 57000 и 120000 лм. Световая отдача ламп ДРЛ выше, чем у ламп накаливания, но ниже, чем у люминесцентных ламп низкого давления, и колеблется от 44 до 60 лм/Вт.

Большую часть ДРЛ выпускают четырехэлектродными. Средняя продолжительность горения двухэлектродных ламп ДРЛ – 5000 ч, четырехэлектродных – 10000 ч.

Лампа ДРЛ устойчива к атмосферным воздействиям, ее световой поток и процесс зажигания не зависят от температуры окружающей среды.

Однако при включении лампы в сеть номинальный ее световой поток устанавливается только через 5–7 мин после включения. Повторное зажигание возможно только после ее полного охлаждения, т.е. через 10–15 мин.

Лампы ДРЛ рекомендуется применять также для наружного освещения и в высоких (от 12 до 18 м) промышленных помещениях, в которых выполняемая работа не связана с различением цветов, например, в машиностроительной, металлургической промышленности, в судостроении и т.п.

В последнее время для увеличения световой отдачи и улучшения цветопередачи в горелки ламп ДРЛ стали добавлять смеси иодидов натрия, талия и индия, позволяющих повысить световую отдачу в 1,5–2 раза и существенно улучшить цветопередачу по сравнению с лампами ДРЛ.

Лампы ДРЛ можно с успехом применять для освещения горячих цехов, где выполняются работы, требующие общего наблюдения за ходом технологического процесса, при грубых работах, а также при работах средней точности, не требующих большого напряжения зрения.

Более эффективными среди газоразрядных ламп являются металло-галогенные лампы ДРИ (Д – дуговая, Р – ртутная, И – с излучающими добавками) и конструктивно мало отличаются от ламп ДРЛ соответствующей мощности, хотя имеют более простую форму и характеризуются меньшим диаметром.

Лампы ДРИ 250-5, ДРИ 250-7, ДРИ 250-6, ДРИ 400-5, ДРИ 400-7, ДРИ 400-6, ДРИ 700-5, ДРИ 700-6 включаются в сеть переменного тока частотой 50 Гц напряжением 220 или 380 В с пускорегулирующей аппаратурой (ПРА) по ГОСТ Р МЭК60922 и ГОСТ Р МЭК 923 и импульсным зажигающим устройством (ИЗУ) по ГОСТ Р МЭК 926 и ГОСТ Р МЭК 927 на 220 или 380 В, соответственно.

Характеристики ДРИ приведены в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Основные параметры МГЛ типа ДРИ общего назначения

Тип лампы	Мощность лампы, Вт	Напряжение на лампе, В	Ток, А	Световой поток, клм	Средняя продолжительность горения, тыс. ч	Диаметр, мм	Полная длина лампы, мм
ДРИ125	125		1,3	8,3	3	46	170
ДРИ175	175	110	1,8	12	4	46	211
ДРИ250-5 ДРИ250-6	250		2,15	19 19	10 3	91 60	227
ДРИ400-5 ДРИ400-6	400	130	3,3	35 32	10 3	122 62	290
ДРИ700-5 ДРИ700-6	700		6.0	60 56	9 3	152 80	370 350
ДРИ1000-5 ДРИ1000-6 ДРИ2000-6	1000 2000	230	4,7 9,2	90 90 200	9 3 2	176 80 100	390 350 430
ДРИ3500-6	3500		16	350	1,5	100	430

Примечание. Лампы предназначены для работы в сетях 220/380 В частотой 50 Гц. В лампах с добавками иодидов натрия и скандия цифры после дефиса обозначают модификацию: 5 – для работы в любом положении с эллипсоидной внешней колбой; максимальная допустимая температура на колбе – 480 °С, на цоколе – 230 °С; 6 – для работы в горизонтальном положении (± 60 °С) с цилиндрической внешней колбой; максимальная допустимая температура на колбе – 550 °С.

Лампы ДРИ имеют принципиальное отличие от ламп ДРЛ, так как их наружная колба прозрачна и не покрыта люминофором. Весь световой поток их генерируется в горелке. Цветовая температура $T_{\text{цв}} = 4200 \text{ К}$, индекс цветопередачи $R_a = 65$. Применяются эти лампы в помещениях, где требуется более качественная цветопередача.

Лампы ДРИ называют также металлогалогенными лампами (МГЛ) или ртутно-галогенными. Они характеризуются высокой светоотдачей (до 100 лм/Вт) и значительно лучшим спектральным составом света, но их срок эксплуатации существенно меньше, чем у ДРЛ.

2.4. Специальные газоразрядные лампы

Натриевые лампы – одна из наиболее эффективных групп источников видимого излучения. Они обладают самой высокой световой отдачей среди разрядных ламп и незначительным снижением светового потока при длительном сроке службы. Поэтому натриевые лампы, в первую очередь высокого давления, все шире применяются в разных системах освещения, особенно в наружном освещении. Недостатком ламп является низкое качество цветопередачи.

Принцип действия ламп основан на использовании резонансного излучения D – линий натрия (589 и $589,6 \text{ нм}$). Исходя из рабочего давления паров натрия выделяют два типа ламп – НЛНД и НЛВД.

Зажигание НЛВД осуществляется специальным устройством, подающим на лампу высоковольтный высокочастотный импульс с амплитудой $2\text{--}4 \text{ кВ}$. Время разгорания лампы составляет $5\text{--}7$ мин и определяется скоростью нагрева лампы и испарения натрия и ртути. Время повторного зажигания погасшей лампы определяется временем остывания разрядной трубки до температуры, при которой подаваемые импульсы напряжения достаточны для повторного зажигания разряда, и составляет $2\text{--}3$ мин.

Температура окружающей среды слабо влияет на характеристики НЛВД, и они могут работать при температуре от -60 до $+40 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Основные типы НЛВД и их параметры приведены в табл. 2.4.

Отечественная промышленность выпускает натриевые лампы ДНаТ мощностью от 45 до 140 Вт со световым потоком от 2500 до 10000 лм . Голландская фирма PHILIPS выпустила на рынок натриевые лампы SON (световая отдача 120 лм/Вт), SON Plus (140 лм/Вт), SON Comfort с улучшенным цветовым восприятием, создающие комфортную обстановку в жилых и других видах помещений. Световой поток таких ламп колеблется от 4400 до 130000 лм (у лампы SON 1000 – E).

Ксеноновые лампы (разряд в парах ксенона) имеют спектр излучения, близкий к солнечному свету, поэтому они обеспечивают хорошую цветопередачу освещаемых объектов. Так как промышленность выпускает ксеноновые лампы ДКсТ на большие мощности (5, 10, 20 и 50 кВт), они могут быть использованы только для освещения высоких помещений (свыше 20 м), городских площадей, открытых пространств, спортивных сооружений, железнодорожных станций, строительных площадок и т.п.

Таблица 2.4

Основные параметры НЛВД

Тип лампы	Электрические характеристики				Световые характеристики		Срок службы, тыс. ч
	Мощность, Вт	Напряжение сети, В	Напряжение на лампе, В	Рабочий ток, А	Начальный световой поток, клм	Осевая яркость, кд/см^2	
ДНаТ50	50	220	85	0,76	4	—	6
ДНаТ70	70	220	90	1,0	6	—	10
ДНаТ100	100	220	100	1,2	10	—	10
ДНаТ150	150	220	100	1,8	15	—	15
ДНаТ250	250	220	100	3,1	26	400	20
ДНаТ400	400	220	100	4,6	50	700	20

Световая отдача ксеноновых ламп ниже, чем у ртутно-кварцевых ламп высокого давления, и колеблется в пределах 19,6–30 лм/Вт.

2.5. Светодиоды

Следует напомнить, что открытие светодиодного (полупроводникового) излучения принадлежит нашему соотечественнику профессору О.В. Лосеву, а среди тех, кто впервые описал свойство гетеропереходов, был и наш ученый – академик Ж.И. Алферов (Нобелевская премия 2000 г.).

Светодиод – это полупроводниковый прибор, основанный на p - n переходе и предназначенный для получения света в видимом диапазоне. Как известно, p - n переход представляет собой соединенные вместе две части из полупроводников с различными типами проводимости. Проводимостью типа p обладают полупроводники с избытком положительных зарядов (дырок), а n – с избытком отрицательных зарядов (электронов).

При подключении светодиода к источнику постоянного напряжения плюсом к контакту p , а минусом – к n через светодиод потечет ток. При прохождении электронов через зону p – n -перехода (активная зона p – n -перехода прибора) электроны соединяются с дырками, происходит рекомбинация электронов и дырок. Рекомбинация может быть излучательной с созданием фотона и безизлучательной с нагревом кристаллической решетки [26]. Для производства светодиодов используются материалы, в которых соединение носит не тепловой, а излучательный характер, т.е. энергия, выделяемая при таком соединении, идет не на нагревание материала полупроводника, а на излучение фотонов в оптическом спектре.

Светодиод имеет два вывода, один из которых катод («минус»), а другой – анод («плюс») (см. рис. 2.6).

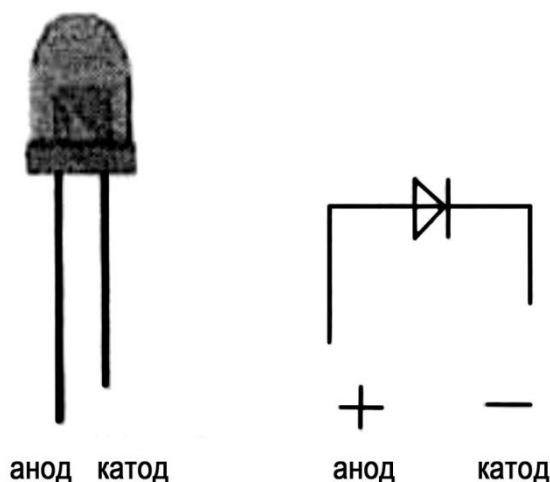


Рис. 2.6. Подключение светодиода

Светодиод состоит из полупроводникового кристалла на подложке, корпуса с контактными выводами и оптической системы. Современные светодиоды мало похожи на первые корпусные светодиоды, применявшиеся для индикации. Конструкция мощного светодиода схематически изображена на рис. 2.7.

Светодиод излучает в узкой части спектра, его цвет «чист» ($T_c = 4000\text{--}5000\text{ K}$), что особенно ценят дизайнеры, а УФ- и ИК-излучения, как правило, отсутствуют. Светодиод механически прочен и исключительно надежен, его срок службы может достигать 100 тыс. ч., что почти в 100 раз больше, чем у лампочки накаливания, и в 5–10 раз больше, чем у люминесцентной лампы. Наконец, светодиод – низковольтный электроприбор, а стало быть, безопасный.

Конструкция светодиода призвана обеспечить минимальные потери излучения при выходе во внешнюю среду и фиксирование света в заданном телесном угле. Кроме того, должен быть обеспечен эффективный отвод теплоты от кристалла.

Для обычного освещения интерес представляют светодиоды, которые излучают белый свет. В настоящее время известны несколько способов создания таких светодиодов. Первый способ предполагает смешение излучения трех и более цветов. Но для практических применений этот способ доставляет неудобства, поскольку нужно иметь несколько источников различного напряжения, много контактных вводов и устройства, смешивающие и фокусирующие свет от нескольких и более светодиодов.

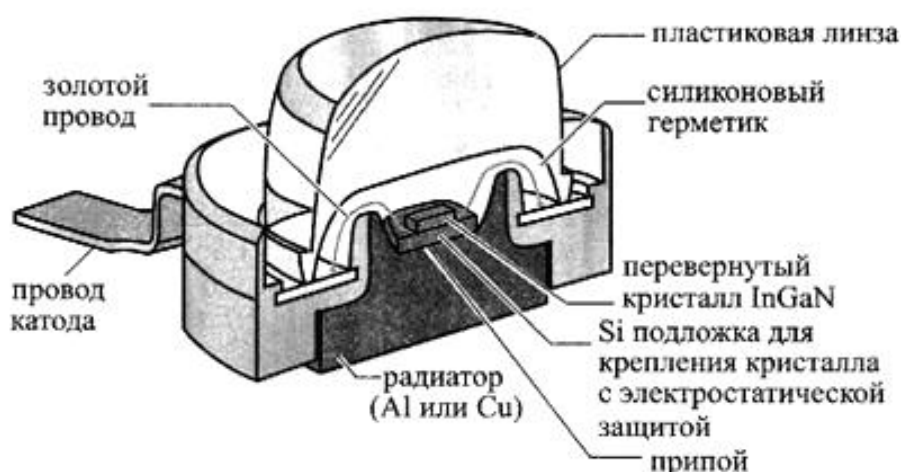


Рис. 2.7. Конструкция мощного светодиода

Наиболее простыми и экономичными способами являются: смешение голубого излучения от светодиода с излучением желто-зеленого люминофора, возбуждаемого этим голубым светом, или возбуждение синим светодиодом зеленого и красного люминофоров.

Смешиваясь, эти цвета дают свет, близкий по спектру к белому.

Кристалл покрывается слоем геля с порошком люминофора так, чтобы часть голубого излучения возбуждала люминофор, а часть – проходила без поглощения. Форма держателя, толщина слоя геля и форма пластикового купола рассчитываются и подбираются так, чтобы спектр имел белый цвет в нужном телесном угле (конусе света). В настоящее время существуют около десятка различных люминофоров для белых светодиодов.

Еще один способ основан на смешении излучения трех люминофоров (красного, зеленого и голубого), размещенных слоями.

Люминофоры возбуждаются ультрафиолетовым светодиодом. При таком способе используются люминофоры, разработанные в течение многих лет для люминесцентных ламп, в которых излучение света происходит по тому же принципу. Требуется только два контактных ввода на один излучатель. Однако такой способ связан с существенными потерями энергии при преобразовании света в люминофорах.

Эффективность данного способа снижается из-за того, что каждый из люминофоров имеет свой определенный спектр возбуждения люминесценции, не точно соответствующий спектр излучения кристалла ультрафиолетового светодиода.

Принято следующее деление светодиодов по группам [11]:

- светодиоды с током питания менее 30 мА, силой света 500–1000 мкд, которые применяются для сигнализации в системах отображения информации;
- светодиоды с током питания 30–100 мА, силой света 1–3 кд, используемые как для сигнализации в системах отображения информации, так и для освещения;
- светодиоды с током питания более 100 мА, световой поток которых составляет более 10 лм, предназначенные для освещения;
- светодиоды со специальными устройствами для оптимизации рабочих режимов.

Основными показателями светодиодов, определяющими их эффективность, являются квантовый выход, коэффициент полезного действия, долговечность и световая отдача.

Под квантовым выходом понимается количество полученных квантов света на одну рекомбинировавшую электронно-дырочную пару, выраженное в процентах. Различают внутренний и внешний квантовый выход.

Внутренний – это характеристика самого *p-n*-перехода, его конструкции и материала, внешний квантовый выход определяет характеристику прибора в целом.

Разница между внутренним и внешним квантовым выходом обусловлена потерями в материале светодиода. Внутренний квантовый выход для кристаллов с хорошим теплоотводом достигает почти 100 %. Максимальное значение внешнего квантового выхода для красных светодиодов составляет 55 %, а для синих – 35 %. Внешний квантовый выход – одна из основных характеристик эффективности светодиода.

К основным достоинствам светодиодов относят их высокую надежность и долговечность. Срок службы светодиодов достигает 100 тыс. ч.

В светодиодном модуле отдельные световоды могут быть включены последовательно, и суммарное напряжение может быть более высоким (обычно 12 или 24 В). При подключении световода необходимо соблюдать полярность, иначе прибор может выйти из строя. Напряжение пробоя указывается изготовителем и обычно составляет более 5 В для одного светодиода.

Светодиоды можно питать и от источников переменного тока. При этом последовательно со светодиодом должен быть включен выпрямительный диод.

Светодиоды также допускается питать в импульсном режиме. В этом случае импульсный ток, протекающий через прибор, может быть выше, чем значения постоянного тока (до 190 мА при длительности импульсов 100 мкс и их частоте 1 кГц).

Для управления яркостью светодиодов (и цветом, в случае смешения цветов) используется широтно-импульсная модуляция (ШИМ). Это позволяет создавать специальные управляющие устройства – контроллеры с функцией плавного изменения яркости (диммеры) и цвета (колор чейнджеры), их можно эффективно применять в системах декоративного освещения.

Яркость светодиода характеризуется световым потоком и осевой силой света, а также диаграммой направленности. Существующие светодиоды разных конструкций излучают в телесном угле от 4 до 140 градусов.

Анализ развития светодиодной отрасли в мире показывает значительные перспективы ее роста.

Характеристики мощных светодиодов, используемых для производства светодиодного оборудования, приведены в табл. 2.5.

Таблица 2.5

Характеристики мощных светодиодов

№ пп	Марка светодиодов	Страна- произво- дитель	Потреб- ляемая. мощность (Вт)	Рабочий ток (мА)	Световая отдача (лм/Вт)	Цветовая температура (К)
1	Epistar	Тайвань	1	300–330	120–130	2700–3000 6500–7000
2	SEOUL SEMICONDUCTOR	Корея	0,5	130–150	115–120	4000–4500
3	NICHIA	Япония	1	300–330	130–140	4000–4500
4	CREE	США	8	1400	95–100	5500–6000

По данным международной консалтинговой компании McKinsey & Company [28], на рис. 2.8 представлен прогнозируемый объем рынка светотехники. Приведены перспективы изменения объема выпуска газоразрядных, компактных люминесцентных и светодиодных источников света до 2025 года. Единственный быстрорастущий и привлекательный сегмент на рынке светотехники – это светодиоды. Среднегодовой темп роста инвестиции – CAGR (Compound Annual Growth Rate) – в светодиодную продукцию с 2014 по 2025 оценивается в 14,1 %.

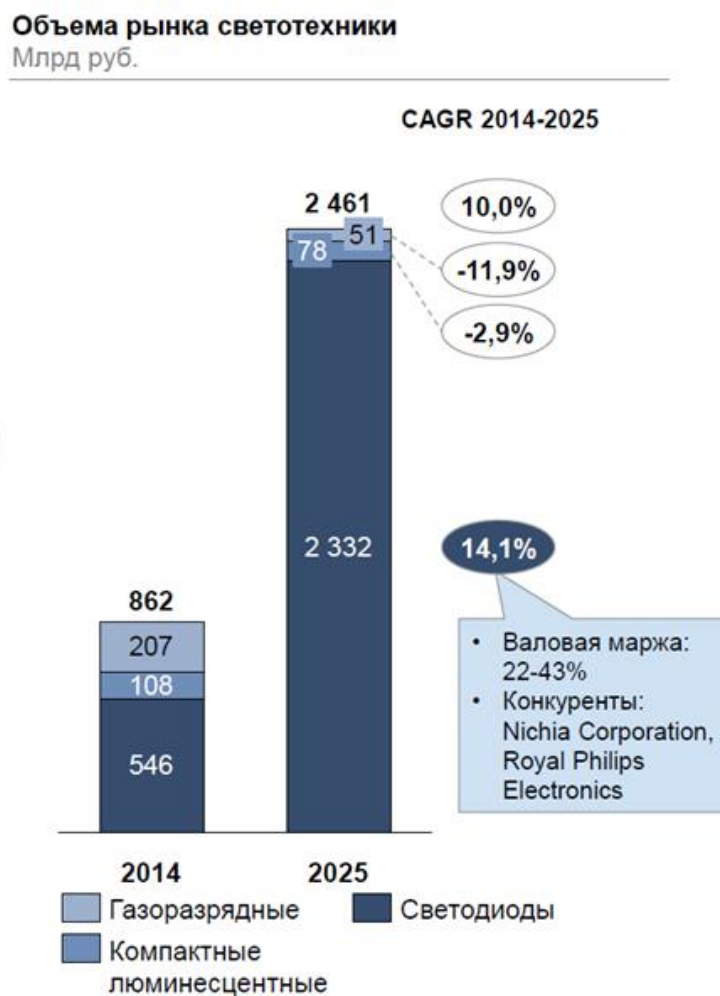


Рис. 2.8. Прогнозируемый объем рынка светотехники

Светодиоды, в том числе белого света, выпускаются и в России фирмами «Корвет-лайтс» (www.corvette-lights.ru), «Протон» (www.proton.orel.ru), «Транс-Лед» (www.transled.ru), НПЦ ОЭП ОПТЭЛ (www.optelcenter.com), «Оптоника» (www.optonica.ru), «Светлана Оптоэлектроника» (www.svetlana-o.spb.ru).

Полный переход на светодиодное освещение в России ожидается к 2030 году.

2.6. Выбор источников света

Выбор типа источника света определяется следующими основными факторами [9]:

- электрическими характеристиками (напряжением, мощностью, родом тока, силой тока);
- функциональными светотехническими параметрами:
 - световым потоком;
 - силой света;
 - цветовой температурой;
 - спектральным составом излучения;
- конструктивными параметрами:
 - диаметром колбы;
 - полной длиной ламп;
- средней продолжительностью горения;
- стабильностью светового потока;
- экономичностью:
 - стоимостью;
 - световой отдачей источника света.

В табл. 2.6 представлены характеристики основных источников света. Главной характеристикой среди указанных в табл. 2.6 является показатель удельной световой энергии, вырабатываемый за весь срок службы. Если величину световой энергии от лампы накаливания принять за единицу, то можно видеть, что все остальные типы ламп многократно вырабатывают больше световой энергии за период жизни.

Наиболее эффективны в рассматриваемом плане (по относительной удельной световой энергии за весь срок службы) светодиоды и натриевые лампы высокого давления (НЛВД). Люминесцентные лампы, в том числе и компактные (КЛЛ), а также дуговые ртутные лампы (ДРЛ) имеют высокие (57–88 отн. ед.) значения световой энергии, генерируемой за весь срок эксплуатации источника.

Общее (независимо от принятой системы освещения) искусственное освещение производственных помещений, предназначенных для постоянного пребывания людей, должно обеспечиваться газоразрядными источниками света [12].

Общее освещение общественных зданий, помещений для занятий в учебных заведениях и детских учреждениях, в палатах больниц следует выполнять преимущественно люминесцентными (в том числе КЛЛ) лампами с электронными ПРА [13].

В [12] приведены рекомендации по выбору источников света, обеспечивающих минимум расхода электроэнергии. Для помещений малой высоты (примерно до 6 м) наиболее эффективными являются люминесцентные лампы типа ЛБ (как имеющие малую пульсацию светового потока и более высокую световую отдачу по сравнению с лампами типа ЛД). Для помещений средней высоты (6–10 м) целесообразнее использовать лампы типа ДРИ или ДРЛ.

Таблица 2.6

Основные характеристики источников света

Тип источника света	Средний срок службы, тыс. ч	Индекс цветопередачи, Ra	Световая отдача, лм/Вт	Удельная световая энергия, вырабатываемая, за срок службы (средняя величина)	
				М лм·ч/Вт	Отн. един.
Лампы накаливания	1	100	8–17	0,013	1
Люминесцентные лампы (ЛЛ)	10–20	57–92	49–104	1,140	88
Компактные люминесцентные лампы (КЛЛ)	5–15	80–85	65–87	0,780	60
Дуговые ртутные лампы (ДРЛ)	12–24	40–57	19–63	0,738	57
Натриевые лампы высокого давления (НЛВД)	10–28	21–60	66–150	2,050	157
Металлогалогенные лампы (МГЛ)	3,5–20	65–93	68–105	1,020	78
Светодиоды	25	85–90	80–120	2,5	192

Для освещения помещений высотой 10–20 м используются газоразрядные лампы высокого давления типа ДРЛ и ДРИ, а также лампы ДНаТ. Применение натриевых ламп типа ДНаТ для внутреннего освещения только начинается. Эти лампы рекомендуют применять в помещениях, где отсутствуют требования к цветопередаче и производятся зрительные работы малой точности, а также для наружного освещения.

Определяющее значение при выборе типа источников света имеют кроме высоты помещения и требования к цветопередаче. При использовании люминесцентных ламп число светильников всегда значительно

больше, чем при применении ламп типа ДРЛ, и повышенная трудоемкость их обслуживания особенно сказывается в высоких помещениях, заставляя уже по одной этой причине отдавать предпочтение лампам типа ДРЛ или ДРИ.

При повышенных требованиях к цветопередаче и при выполнении работ высокой точности, при которых лампы типа ДРЛ противопоказаны, в основном применяются люминесцентные лампы типа ЛБ как наиболее экономичные, и только при специальных требованиях к цветопередаче – другие типы ламп, кроме ЛТБ.

При выборе между различными типами газоразрядных ламп можно руководствоваться требованиями к качеству освещения, как показано в табл. 2.7.

Натриевые лампы типа ДНаТ вследствие высокой пульсации их светового потока и специфического спектра оптического излучения, имеющего выраженную желто-оранжевую составляющую, для внутреннего освещения на промышленных предприятиях применяются ограниченно, в основном в сочетании с лампами типа ДРЛ и ДРИ.

Основная область использования натриевых ламп – освещение территорий промышленных объектов, автострад, улиц, площадей и т.п.

Ксеноновые лампы предназначены для освещения больших открытых пространств (карьеров, мостов, погрузочно-разгрузочных площадок), архитектурных сооружений и т.д.

Компактные люминесцентные лампы сегодня являются основной альтернативой лампам накаливания на пути энергосбережения, так как они имеют малые размеры, стандартный резьбовой цоколь и могут заменять напрямую лампы накаливания в действующих светильниках.

Такой областью применения является, бесспорно, жилой сектор (установки жилых зданий). В большинстве стран мира именно в жилье ЛН остается основным источником света, в то время как в промышленности, коммерческих и общественных зданиях прямолинейные ЛЛ и разрядные лампы высокого давления (РЛВД) занимают доминирующее положение.

Определенным тормозом на пути более широкого внедрения КЛЛ на настоящем этапе является их высокая цена относительно ЛН. Вместе с тем, как показали многовариантные расчеты, срок окупаемости затрат на КЛЛ составляет (в зависимости от стоимости электроэнергии, числа часов использования ламп и их цены) от 0,5 до 1 года.

Таблица 2.7

Выбор источников света по требованиям к цветоразличению

Характеристика зрительной работы по требованиям к цветоразличению	Освещенность при системе комбинированного освещения, лк	Примерные типы источников света для освещения	
		общего	местного
Контроль цвета с очень высокими требованиями к цветоразличению (контроль готовой продукции на швейных фабриках, тканей на текстильных фабриках, сортировка кожи, подбор красок для цветной печати и т.п.)	150 и более	ЛБЦТ, ЛДЦ	ЛДЦ, ЛДЦ УФ, ЛХЕ
Сопоставление цветов с высокими требованиями к цветоразличению (ткачество, швейное производство, цветная печать и т.д.)	150 и более	ЛБ, ЛХБ, МГЛ	ЛБЦТ, ЛДЦ, ЛДЦ УФ
Различение цветных объектов при невысоких требованиях к цветоразличению (сборка радиоаппаратуры, прядение, намотка проводов и т.п.)	500	ЛБ, ЛХБ, МГЛ, НЛВД + МГЛ	ЛБ, ЛХБ
	300, 400	ЛБ, ЛХБ, МГЛ, ДРЛ	ЛБ, ЛХБ
	150, 200	НЛВД + МГЛ ЛБ, ЛХБ, НЛВД + МГЛ, МГЛ, ДРЛ	ЛБ, ЛХБ
Требования к цветоразличению отсутствуют (механическая обработка металлов, пластмасс, сборка машин и инструментов и т.п.)	500	ЛБ, ЛХБ, МГЛ, НЛВД + МГЛ	ЛБ, ЛХБ
	300, 400	ЛБ, ЛХБ, МГЛ, ДРЛ	ЛБ, ЛХБ
	150, 200	НЛВД + МГЛ ЛБ, ЛХБ, НЛВД, МГЛ, ДРЛ	ЛБ, ЛХБ

В жилых зданиях освещение коридоров, лестничных клеток, лифтовых холлов, вестибюлей, общих гардеробов, помещений культурно-массовых мероприятий, комнат отдыха, помещений коменданта и воспитателя, служебных помещений обслуживающего персонала следует, как правило, выполнять люминесцентными лампами. Лестничные клетки, вестибюли, колясочные целесообразно освещать светодиодами.

Контрольные вопросы

1. Какая величина характеризует экономичность источника света?
2. Перечислите основные характеристики ламп накаливания.
3. Какие источники света относятся к газоразрядным?
4. Можно ли применять ЛЛ для наружного освещения?
5. Расшифруйте маркировку ламп ЛБ, ЛТБ, ЛХБ.
6. В чем состоят преимущества использования ламп ДРИ по сравнению с ДРЛ?
7. Перечислите основные характеристики светодиодных источников света.
8. Какие основные факторы учитываются при выборе типа источника света?

ГЛАВА 3. ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И УСТАНОВКИ

Осветительными приборами называются источники света (лампы) с осветительной арматурой.

Осветительные приборы, предназначенные для освещения близко расположенных объектов, считаются светильниками, а удаленных объектов – прожекторами.

Осветительная арматура выполняет в рассматриваемых приборах следующие функции:

1) рационально распределяет световой поток, излучаемый лампой, направляя его либо сконцентрировано на небольшой участок, либо равномерно на значительную часть освещаемой поверхности;

2) защищает глаза наблюдателя от чрезмерной яркости источника света (прозрачные или полупрозрачные колпаки, решетчатые затенители и др.);

3) предохраняет источник света от воздействия внешней среды (загрязнений, влаги, механических повреждений, взрыво- и пожароопасной пыли и паров);

4) является конструкцией для крепления источника света и подводящих электроэнергию проводов;

5) в ряде случаев создает художественное оформление освещаемого помещения или здания.

3.1. Светильники

Светильником (C) принято также считать световой прибор, осуществляющий перераспределение светового потока лампы внутри больших телесных углов (до 4π) и предназначенный для освещения относительно близко расположенных объектов на расстояниях, соизмеримых с размерами этих приборов.

Светораспределение – важнейшая светотехническая характеристика C , определяющая распределение его светового потока в пространстве, окружающем C .

Светораспределение прожекторов и светильников общего освещения обуславливается формой фотометрического тела C и описывается кривыми силы света.

В зависимости от формы фотометрического тела C подразделяются на симметричные, фотометрическое тело которых имеет ось или плоскость симметрии, и несимметричные, отличающиеся отсутствием элементов симметрии фотометрического тела. К первой группе относятся широко

распространенные круглосимметричные прожекторы и светильники, фотометрическое тело которых имеет ось симметрии, концентрирующие поток в конусе, а также различные светильники, направляющие световой поток достаточно равномерно в пределах всего окружающего пространства.

Для характеристики светораспределения применяют понятие «коэффициент усиления» K_y , под которым понимают величину, характеризующую усиление светильником силы света лампы в данном направлении. При этом для круглосимметричных приборов K_y определяется отношением силы света светильника в данном направлении I_α к среднесферической силе света $I_{\text{до}}$ круглосимметричной лампы:

$$K_y = I_\alpha / I_{\text{до}} = I_\alpha \cdot 4\pi / \Phi_{\text{л}}. \quad (3.1)$$

По светораспределению светильники в зависимости от соотношения светового потока $\Phi_{\text{л}}$, направляемого в нижнюю полусферу, и полного светового потока $\Phi_{\text{св}}$ подразделяются на 5 классов, указанных в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Классы светильников по светораспределению

Обозначение класса светильника по светораспределению	Наименование класса светильника по светораспределению	Доля светового потока, направляемая в нижнюю полусферу $\Phi_{\text{л}} / \Phi_{\text{св}}$, %
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	20 и менее

Кривые силы света светильников указанных классов (в любых меридиональных плоскостях в верхней и нижней полусферах) в зависимости от формы КСС подразделяются на 7 типов в соответствии с табл. 3.2. Форма КСС в табл. 3.2 является независимой характеристикой светораспределения, а не подклассом соответствующего класса, указанного в табл. 3.1.

Типы КСС светильников

Обозначение типа КСС	Наименование типа КСС в верхней и нижней полусферах	Зона возможных направлений максимальной силы света, град
К	Концентрированная	0–15
Г	Глубокая	0–30; 180–150
Д	Косинусная	0–35; 180–145
Л	Полуширокая	35–55; 145–125
Ш	Широкая	55–85; 125 – 95
М	Равномерная	0–90; 180–90
С	Синусная	70–90; 110–90

В соответствии с классификацией каждому световому прибору (СП) присваивается светотехническое наименование, которое образуется из наименований его класса по светораспределению и типа КСС. При этом в наименовании СП, как правило, указывается, какой полусфере или меридиональной плоскости свойственна данная типовая КСС. В наименовании не указывается, какой полусфере свойственна типовая КСС, если основной светотехнической характеристикой СП является его КСС в нижней полусфере.

Система обозначений разработана и утверждена ГОСТ 17677-82 для самой широкой группы светильников для помещений промышленных, общественных и жилых зданий, рудников и шахт, светильников для наружного освещения. В соответствии с ней каждому световому прибору присваивается шифр, структура которого по ГОСТ 13828-74 такова:

1 2 3 4-5 × 6-7-8,

где 1 – буква, обозначающая источники света: Н – лампы накаливания общего назначения; С – лампа-светильник (зеркальные и диффузные); И – кварцевые ГЛН; Л – прямые трубчатые ЛЛ; Ф – фигурные ЛЛ; Р – ртутные лампы типа ДРЛ; Г – ртутные лампы типа ДРИ; Ж – натриевые лампы типа ДНаТ; Б – бактерицидные лампы; К – ксеноновые трубчатые лампы;

2 – буква, обозначающая способ установки светильника: С – подвесной; П – потолочный; В – встраиваемый; Д – пристраиваемый; Б – настенный; Н – настольный, опорный; Т – напольный, венчающий; К – консольный, торцевой; Р – ручной; Г – головной;

З – буква, обозначающая основное назначение светильника: П – для промышленных и производственных зданий; О – для общественных зданий; Б – для жилых (бытовых) помещений; У – для наружного освещения; Р – для рудников и шахт; Т – для кинематографических и телевизионных студий;

4 – число, обозначающее номер серии (от 01 до 99);

5 – обозначение числа ламп в светильнике, при этом для одноламповых оно не указывается и знак «×» не ставится, а мощность лампы дается непосредственно после черточки;

6 – число, обозначающее мощность ламп в ваттах;

7 – число, обозначающее номер модификации светильника (от 001 до 999);

8 – буквы и числа, обозначающие климатическое исполнение и категорию размещения (например: УЗ – умеренный климат и эксплуатация в закрытых неотапливаемых помещениях; УХЛ5 – умеренный и холодный климат и эксплуатация в особо сырых помещениях).

В шифре светильника после номера серии ставится дефис, между числом ламп и цифрой, указывающей их мощность, – знак «×». При отсутствии цифры 1, обозначающей число ламп в СП, после номера серии перед цифрой, указывающей мощность ламп, должен стоять знак «×».

Примеры обозначений светильников.

1. Светильник с ЛН мощностью 500 Вт, общего назначения, подвесной, для промышленных предприятий, серии 05, модификации 016, климатического исполнения У, категории размещения 3: НСП05×500-016-УЗ.

2. Светильник с лампами типа ДРЛ мощностью 400 Вт, консольный, уличный, серии 08, модификации 014, климатического исполнения ХЛ, категории размещения 1: РКУ08×400-014-ХЛ1.

3. Светильник с двумя ЛН мощностью по 40 Вт, общего назначения, настольный, для жилых (бытовых) помещений, серии 02, модификации 005, климатического исполнения У, категории размещения 4: ННБ02-2×40-005-У4 («Орфей»).

Защита от воздействия среды обеспечивается выбором конструкционных и светотехнических материалов, а также герметизацией внутреннего объема СП или его отдельных полостей. Степень защиты обозначается двумя буквами IP (International Protection) и двумя цифрами. Показатели защищенности приведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Показатели защищенности (IPXX)

	1-я цифра: защита от попадания твердых тел	2-я цифра: защита от проникновения влаги
0	Защита отсутствует	Защита отсутствует
1	Защита от попадания твердых тел, превышающих 50 мм (контакт с рукой)	Защита от вертикальных брызг воды (конденсация)
2	Защита от попадания твердых тел, превышающих 12 мм (контакт с пальцами руки)	Защита от брызг воды, падающих под углом до 15 ° от вертикали
3	Защита от попадания твердых тел, превышающих 2,5 мм (инструмент, винт)	Защита от брызг воды, падающих под углом 60 ° от вертикали
4	Защита от попадания твердых тел, превышающих 1 мм (мелкий инструмент, тонкие провода)	Защита от брызг воды во всех направлениях
5	Защита от проникновения пыли (не остается вредной пыли)	Защита от струй воды во всех направлениях
6	Полная защита от проникновения пыли	Полная защита от брызг и струй, подобных морским накатам
7		Защита от кратковременного погружения
8		Защита от продолжительного погружения в особых условиях

Для административных помещений выбирают светильники преимущественно прямого, рассеянного и отраженного света.

В станкостроительной и инструментальной промышленности в помещениях высотой 12–18 м используются светильники концентрированного распределения с лампами ДРЛ.

Для освещения невысоких помещений (6–8 м) рационально использовать диффузные светильники типа ЛД.

Для помещений, где используются длинные светящиеся линии, можно применять осветительные устройства типа ЛОУ. Конструкция подвесных потолков и условия технологии термоконтактных цехов прецизионного

станкостроения требуют использования для их освещения встроенных светильников типа ВЛО [15].

В основных металлургических цехах целесообразны светильники глубокого, а иногда и концентрированного светораспределения. Во вспомогательных цехах применяют светильники глубокого, косинусного или полуширокого светораспределения.

В высоких сталеплавильных, прокатных, электролизных и литейных цехах применяют глубокоизлучатели различных типов [15].

При малой высоте помещений и тяжелых условиях среды рекомендуются светильники ПВЛМ, ПВЛП.

Учитывая характер зрительных работ, при механической обработке деталей типовые решения ориентированы на преимущественное употребление люминесцентных ламп типа ЛБ. Лампы ДРЛ можно использовать в высоких цехах (свыше 10 м), в которых применяют зеркальные светильники. В основном предлагаются варианты освещения диффузионными светильниками типов ЛД (ЛДОР), ЛОУ и зеркальных ЛСПО1.

Большим спросом пользуются сегодня встраиваемые растровые светильники, выпускаемые зарубежными предприятиями (например, серии «Престиж», «Стандарт», «Комфорт» (4×18 Вт фирмы SIEMENS)), потолочные светильники для галогенных ламп COSMO (AL Mat, AL Blu и др.), настенные светильники (ARK DETEK, NOVA 31, KONOS 28), а также установки наружного освещения SYNKRO VISA и др.

На рис. 3.1, 3.2 представлены примеры исполнения светильников наружного и внутреннего освещения.

На рис. 3.4 и 3.5 показаны примеры осветительных стоек, используемых при строительстве для размещения светильников.

На рис. 3.6 показана электрическая схема встраиваемого потолочного светильника с зеркальным растром типа ЛВО 19-4×18 (NORTHCLIFFE).

Размещение светильников по высоте помещения показано на рис. 3.7.

Расстояние от потолка до светильника h_c обычно принимается 0,5–0,7 м (в жилых и общественных зданиях пониженной высоты – 0,3–0,4 м).

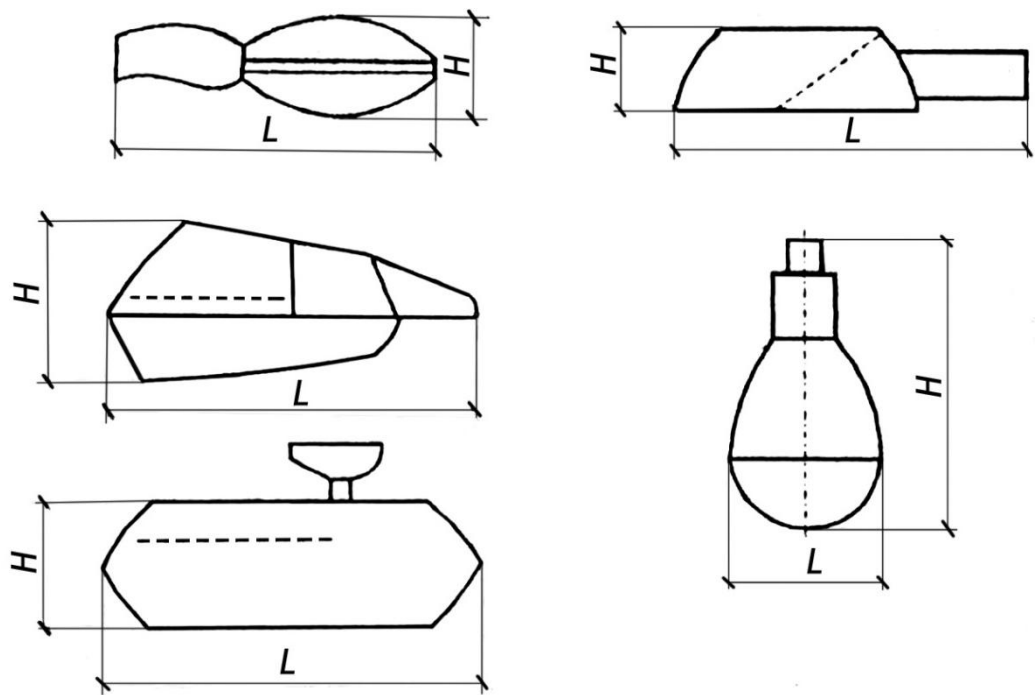


Рис. 3.1. Примеры исполнения светильников наружного освещения

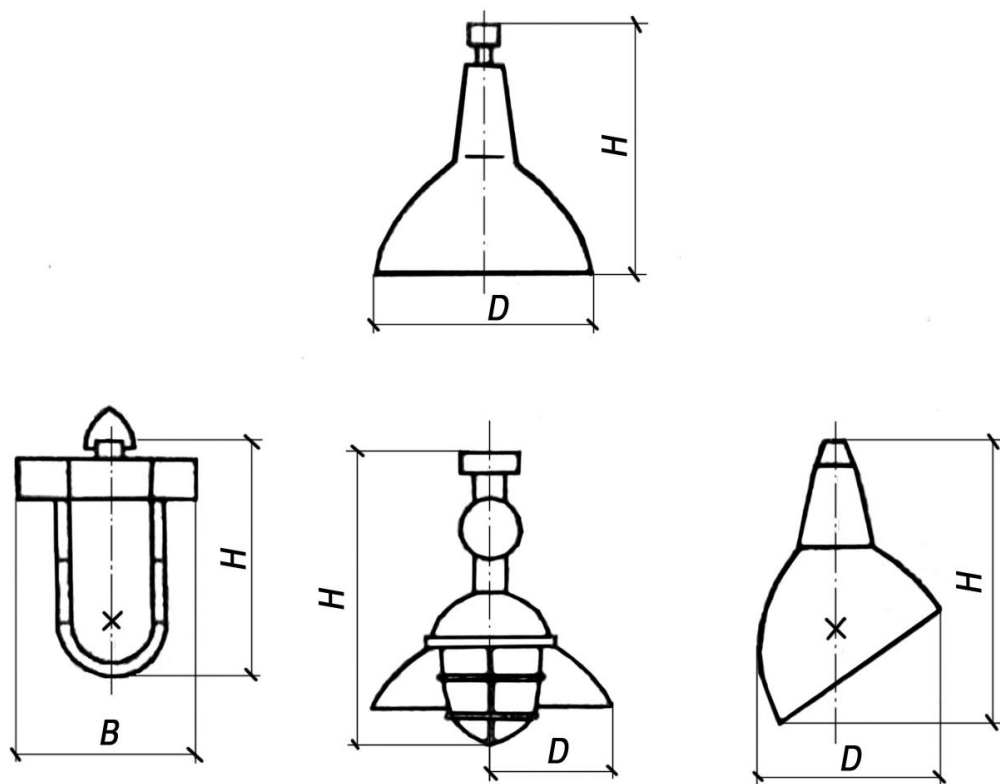


Рис. 3.2. Примеры исполнения светильников внутреннего освещения

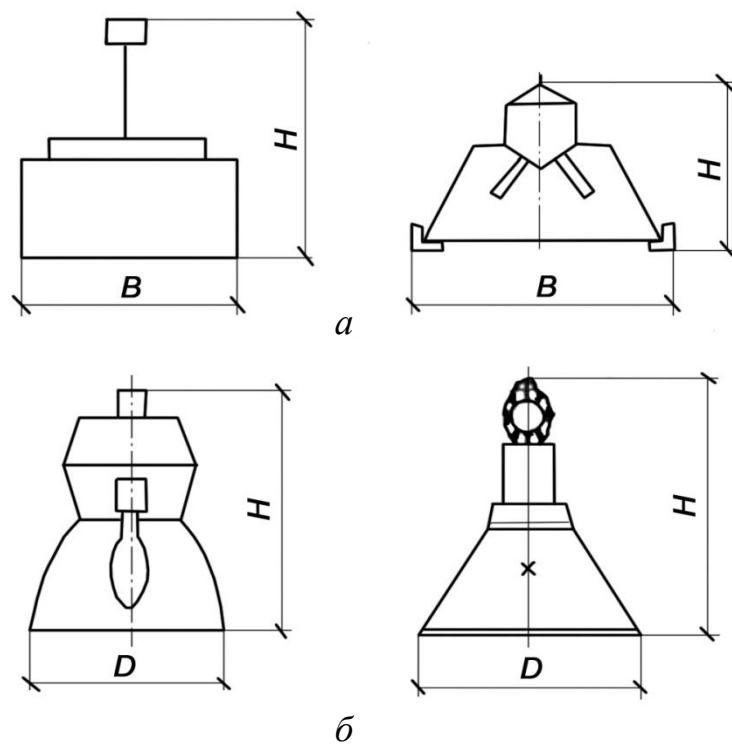


Рис. 3.3. Примеры светильников:
а – с люминесцентными лампами; *б* – с лампами ДРЛ

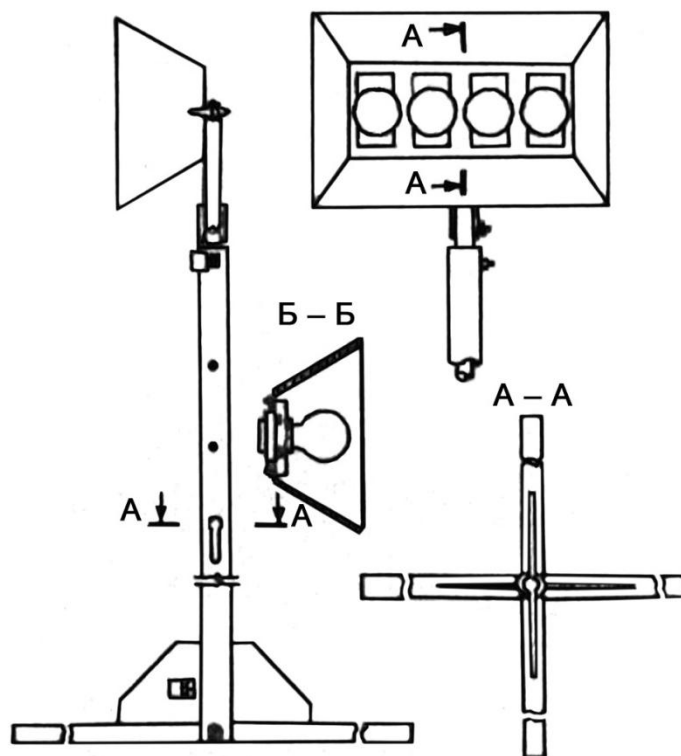


Рис. 3.4. Раздвижная осветительная стойка

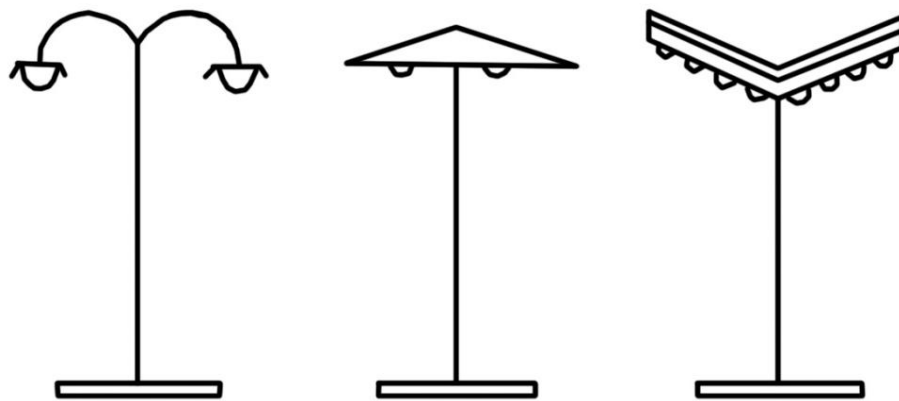
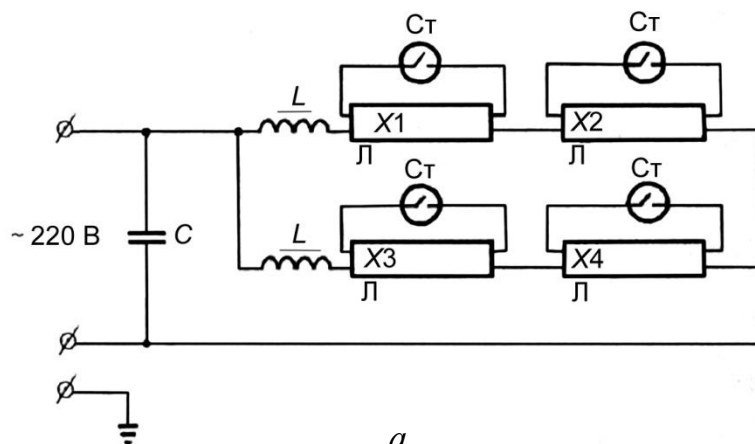
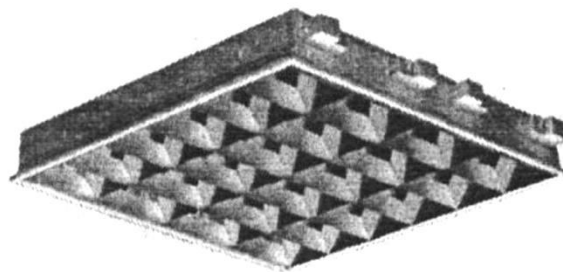


Рис. 3.5. Осветительные стойки, используемые в строительстве



a



б

Рис. 3.6. Электрическая схема светильника с зеркальным растром типа ЛВО 19-4×18 на 4-х люминесцентных лампах по 18 Вт:

a – Л – люминесцентная лампа, С – конденсатор, L – дроссель, Ст – стартер;
б – растровый светильник фирмы SIEMENS

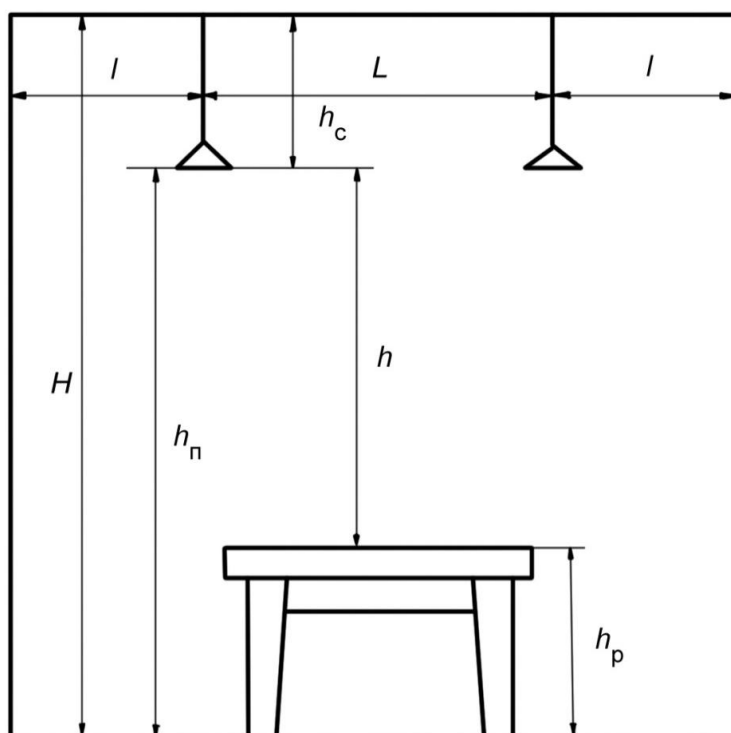


Рис. 3.7. Расположение светильников по высоте помещения:

H – высота помещения; h – высота подвеса светильника над освещаемой поверхностью;

$h_{\text{п}}$ – высота подвеса светильника над полом; $h_{\text{с}}$ – высота свеса светильника;

$h_{\text{р}}$ – высота рабочей поверхности над полом

Равномерность распределения яркости по потолку обеспечивается при отношении $h_{\text{с}}/h = 0,2 - 0,25$.

На рис. 3.8 показано широко используемое размещение светильников с ЛН, ДРЛ и ЛЛ по вершинам прямоугольника.

Установлено, что расстояние между светильниками зависит от наивыгоднейшей величины отношения:

$$K = l_B / h, \text{ откуда } l_B = K \cdot h,$$

где l_B – расстояние между рядами светильников по ширине помещения B ; h – высота подвеса светильника над освещаемой поверхностью.

Значения коэффициента K приведены в справочной литературе и колеблются в пределах от 0,9 до 2,6 в зависимости от типов светильников.

Очень часто по архитектурным или конструкторско-строительным и другим условиям не могут быть приняты наивыгоднейшие значения l_B/h . В таких случаях вполне допускается отступление от них, но только в сторону уменьшения.

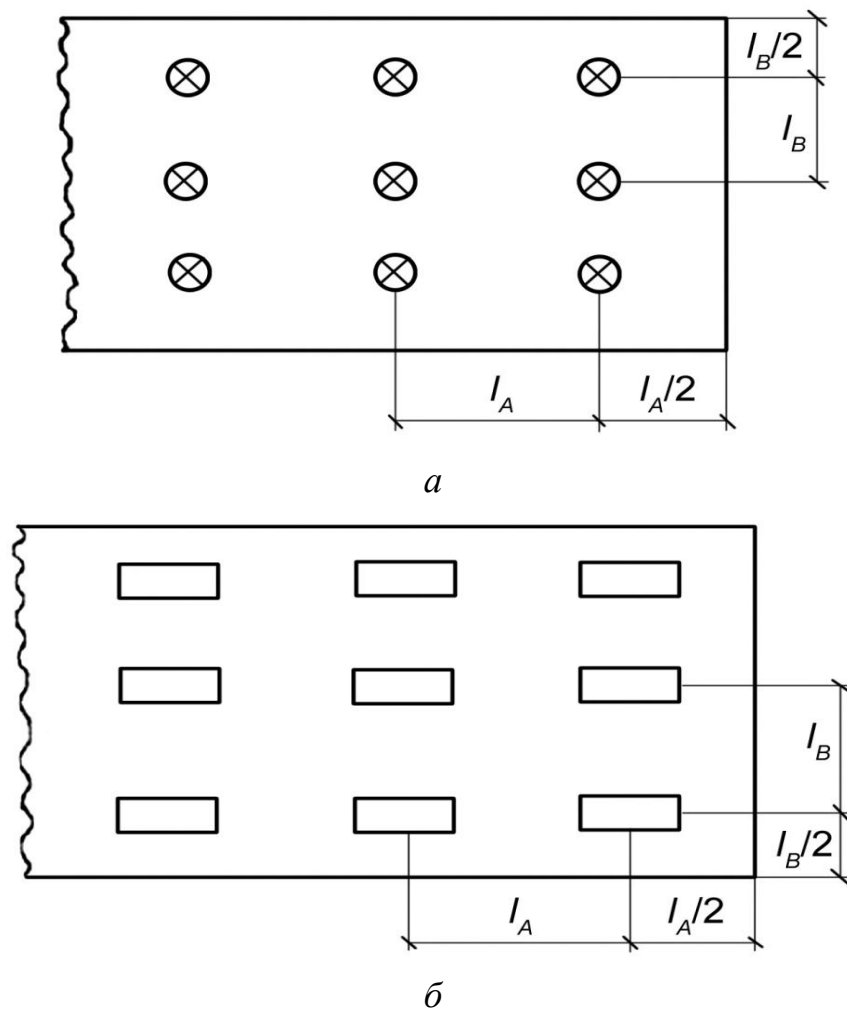


Рис. 3.8. Размещение светильников:
a – с ЛН, ДРЛ; *б* – с люминесцентными лампами

Расстояние между светильниками n_B по ширине B помещения можно принять равным

$$l_B = B/n_B,$$

где n_B – число рядов светильников по ширине помещения.

Ряды люминесцентных светильников рекомендуется располагать параллельно длинной стороне помещения со световыми проемами.

Расстояние от крайнего ряда светильников до стен можно также принимать равным $l_B/2$ (рис. 3.8, *a*).

При общем освещении рабочих помещений светильники с ЛЛ для создания равномерного освещения рекомендуется располагать непрерывными рядами. Однако допускается размещать их и с разрывами.

С некоторым приближением расстояние между центрами светильников по длине помещения A может быть принято (рис. 3.8, б)

$$l_A = A/n_A,$$

где n_A – число рядов по длине помещения.

Расстояние же от центра крайнего светильника до стены принимается часто равным $l_A/2$.

3.2. Технические характеристики светильников с люминесцентными лампами

Технические характеристики основных светильников с люминесцентными лампами низкого давления, разных типов для производственных помещений с нормальными и тяжелыми условиями среды даны в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Технические данные светильников для производственных и общественных помещений с люминесцентными лампами

Тип светильника	Тип лампы	Класс светораспределения	Тип КСС	КПД, %	Степень защиты	Габаритные размеры, мм
1	2	3	4	5	6	7
ЛВПО04-4×65-001	ЛБ65	П	Д	51	IP54	1630×545×405
ЛВПО05-4×65-001				52	IP20	1630×545×435
ЛВПО05-4×65-002				55		
ЛВПО05-4×65-003				60		
ЛВПО06-4×65-001				52	IP54	1630×545×440
ЛВПО06-4×65-002				46		1630×545×425
ЛВПО06-4×65-003				51		1630×545×403
ЛСП01-2×36	ЛБ65			75; 60	IP64	1400×260×210
ЛСП01-2×40	ЛБ40			82; 60	5'0	1400×260×210
ЛСП01-2×58	ЛБ58			75; 60	IP64	1700×260×210
ЛСП01-2×65	ЛБ65	П	М, Д	82; 60	5'0	1700×260×210
ЛСП02-2×40-01-03	ЛБ40	Н	Д	75	IP20	1234×280×159
ЛСП02-2×40-10-12		П		60		
ЛСП02-2×40-13-15		Н		65		
ЛСП02-2×40-16-18		П		60		
ЛСП02-2×40-19-21		Н		70		
ЛСП02-2×65-01-03	ЛБ65	Н	Д	75	IP20	1534×280×159

Продолжение табл. 3.4

1	2	3	4	5	6	7
ЛСП02-2×65-04-06		П		70		
ЛСП02-2×65-07-09		Н		70		
ЛСП02-2×65-10-12		П		60		
ЛСП02-2×65-13-15		Н		65		
ЛСП02-2×65-16-18		П		60		
ЛСП02-2×65-19-21		Н		65		
ЛСП10-36	ЛБ36	–	Д	84	IP65	1248×124×170
ЛСП10-58	ЛБ58					1548×124×170
ЛСП10-2×36	ЛБ36					1248×124×170
ЛСП10-2×58	ЛБ58					1548×124×170
ЛСП12-2×40	ЛБ40 (36)				IP66	1270×124×132
ЛСП/ЛПП12-2×20	ЛБ20 (18)			64	IP254	686×186×160/ 127
ЛСП/ЛПП12-2×420	ЛБ40 (36)				IP54	12986×186×160/ 127
ЛСП02-2×40-04-06	ЛБ40			П		70
ЛСП02-2×40-07-09		Н	70			
ЛСП/ЛПП12-2×40	ЛБ40 (36)				IP65	12986×186×160/127
ЛСП13-2×65-001	ЛБ65	П	Л	75	IP20	1546×480×154
ЛСП13-2×40-001	ЛБ40					1246×480×154
ЛСП13-2×65-002	ЛБ65			70		1546×48×154
ЛСП13-2×40-002	ЛБ40					1246×480×154
ЛСП13-2×65-003	ЛБ65		Г	70		1546×480×156
ЛСП13-2×40-003	ЛБ40			1246×480×156		
ЛСП13-2×65-004	ЛБ65			70		1546×480×156
ЛСП13-2×40-004	ЛБ40	П	Г	75	IP20	1246×480×156
ЛСП13-2×65-005	ЛБ65		специальная	70		1546×480×156
ЛСП13-2×40-005	ЛБ40					1046×480×156
ЛСП13-2×65-006	ЛБ65			65		1546×480×156
ЛСП13-2×40-006	ЛБ40					1546×480×156
ЛСП18-40	ЛБР40	Н	специальная	88	5'4	1130×65×165
ЛСП18-65	ЛБР65					1130×65×165
ЛСП18-2×40	ЛБР40			85		1310×160×170
ЛСП18-2×65	ЛБР65					1610×160×173
ЛСП18-18	ЛБ18		М	75	IP65	750×75×180
ЛСП18-36	ЛБ36					1630×75×180
ЛСП18-58	ЛБ58					1630×75×180

Продолжение табл. 3.4

1	2	3	4	5	6	7
ЛСП18-18	ЛБ18	П	Д	70	5'4	720×152×204
ЛСП18-36	ЛБ36					1330×152×204
ЛСП18-58	ЛБ58					1630×152×204
ЛСП18-2×18	ЛБ18					720×270×204
ЛСП18-2×36	ЛБ36					1330×270×204
ЛСП18-2×58	ЛБ58					1630×270×204
ЛСП18-2×18	ЛБ18	Р	специальная	70	IP65	710×240×126
ЛСП18-2×36	ЛБ36					1320×240×126
ЛСП18-2×58	ЛБ58					1620×240×126
ЛСП18-2×18	ЛБ18					710×240×126
ЛСП18-2×36	ЛБ36					1320×240×126
ЛСП18-2×58	ЛБ58					1620×240×126
ЛСП22-2×65-001	ЛБР65	Н	Д	85	5'0	1625×148×170
ЛСП22-2×65-002						
ЛСП22-2×65-101	ЛБ65	П	Д		5'3	1625×280×215
ЛСП22-2×65-102	ЛБ65	П		70	5'3	1625×280×215
ЛСП22-2×65-201		Н		75	5'0	
ЛСП22-2×65-202						
ЛСП22-2×65-111		П		65	5'3	
ЛСП22-2×65-112						
ЛСП22-2×65-211		Н		70	5'0	
ЛСП22-2×65-212						
ЛПП04-2×40(36)	ЛБ40 (36)	П	Д		IP54	1290×190×140
ЛПП07-1×18	ЛБ18				IP65	660×100×100
ЛПП07-1×36	ЛБ36					1270×100×100
ЛПП07-1×58	ЛБ58					1570×100×100
ЛПП07-2×18	ЛБ18					660×160×100
ЛПП07-2×36	ЛБ36					1270×160×100
ЛПП07-2×58	ЛБ58					1570×160×100
ЛПП12-18	ЛБ18	–		75		790×78×125
ЛПП12-2×18	ЛБ18					790×170×125
ЛПП12-36	ЛБ36					1396×78×125
ЛПП12-2×36	ЛБ36	–		75		1396×170×125
ЛПП12-58	ЛБ58					1660×78×125
ЛПП12-2×58	ЛБ58					1660×170×125
ЛПП12-2×40	ЛБ40 (36)			84	IP66	1270×124×180
ЛПП20-18	ЛБ18			75	IP54	680×103×114
ЛПП202-2×18	ЛБ18					680×1175×114
ЛПП20-36	ЛБ36					1235×103×114
ЛПП20-2×36	ЛБ36					1235×175×114

Окончание табл. 3.4

1	2	3	4	5	6	7		
ЛПП20-58	ЛБ58	–	Д	75	IP54	1585×103×114		
ЛПП20-2×58	ЛБ58			1585×175×114				
ЛПБ01-2×11	КЛЛ11	П		65		305×105×85		
ЛПП05-2×11	КЛЛ11			60		410×158×100		
ЛПП06	ЛБ18			–		410×158×100		
ЛББ07	КЛЛ11			50		300×80×90		
ЛПО06-1×20	ЛБ20		70	IP20	650×60×115			
ЛПО06-1×40	ЛБ40				1250×60×115			
ЛПО06-2×20	ЛБ20				650×180×90			
ЛПО06-2×40	ЛБ40				1250×180×90			
ЛПО06-2×65	ЛБ65				1550×180×80			
ЛПО06-2×80	ЛБ80				1550×180×150			
ЛПО06-4×20	ЛБ20				650×350×90			
ЛПО06-4×40	ЛБ40				1250×350×90			
ЛПО02-2×20	ЛБ20	Г/Д	50		650×100×220			
ЛПО02-2×40	ЛБ40				1260×100×220			
ЛПО02-4×20	ЛБ20	–	Г		70	645×100×420		
ЛПО11-2×18	ЛБ18				–	Г	70	650×340×94
ЛПО11-36	ЛБ36			–	Г	70	IP20	1255×170×94
ЛПО11-2×36	ЛБ36							1255×340×94
ЛПО11-4×18	ЛБ18							650×650×94
ЛПО12-2×18(20)	ЛБ18 (20)				Д	75		645×165×91
ЛПО12-2×40(36)	ЛБ40 (36)		1250×165×91					
ЛПО12-2×58	ЛБ58 (65)		1555×165×91					
ЛСО12-58	ЛБ58		70					1538×127×120
ЛСО20-36	ЛБ36		М		70	1265×90×120		
ЛСО20-2×36	ЛБ36					2530×90×120		
ЛСО20-58	ЛБ58					1565×90×120		
ЛСО20-2×58	ЛБ58	3130×90×120						
ЛБО12-18	ЛБ18	П	Д			694×520×300		
ПВЛМ-2×40-01	ЛБР40		Д	85	5'0	1325×148×160		
ПВЛМ-2×40-02					5'0			
ПВЛМ-ДО-2×40-01	ЛБ40			75	5'0	1325×275×215		
ПВЛМ-ДО-2×40-01					5'0			

3.3. Технические характеристики светильников с лампами ДРЛ, ДРИ, ДНаТ

Технические характеристики указанных светильников даны в табл. 3.5–3.7.

Таблица 3.5

Технические данные светильников для производственных помещений с лампами типа ДРЛ

Тип светильника	Тип лампы	Тип КСС	КПД, %	Степень защиты
1	2	3	4	5
РПП01-50	ДРЛ50	Д	65	IP54
РПП01-80	ДРЛ80		60	
РПП01-125	ДРЛ125			
РСП02-80-111	ДРЛ80	М	80	
РСП02-125-111	ДРЛ125			
РСП04-250	ДРЛ250	Д	60	IP54
РСП04-250		Г	60	IP54
РСП04-250		Д	65	IP23
РСП04-250		Г	60	
РСП04-400	ДРЛ400	Д	60	IP54
РСП04-400		Д	60	IP23
РСП04-400	ДРЛ400	Д	65	IP23
РСП04-400		Г	70	
РСП05-250	ДРЛ250	Д	70	IP20
РСП05-400	ДРЛ400	Д	70	IP20
РСП05-700	ДРЛ700			
РСП04-1000	ДРЛ1000			
РСП07-175	ДРЛ175	К	60	IP54
РСП07-250	ДРЛ250	Г		
РСП07-250		Д		
РСП07-250		Г	70	IP23
РСП07-250		Д	70	IP23
РСП08-250Д		Д	75	IP20
РСП08-250Г		Г	80	5'3
РСП08-250Л		Л	80	IP20, 5'0, IP60
РСП08-700	ДРЛ700	Г	60	IP54
РСП08-700		Д	60	IP54
РСП08-700	ДРЛ700	Г	65	IP23
РСП08-700		Д	65	
РСП10-1000	ДРЛ1000	Г	70	IP52
РСП10-1000		Г	60	

Продолжение табл. 3.5

1	2	3	4	5	
РСП11-400-002	ДРЛ400	М	72	IP52	
РСП13-700-001	ДРЛ700	Д	71	5'4	
РСП13-700-002		Г	76		
РСП13-700-003		К	76		
РСП13-1000-001	ДРЛ1000	Д	71		
РСП13-1000-002		Г	76		
РСП13-1000-003		К	76		
РСП14-2×700-001	ДРЛ700	Д	60	IP60	
РСП14-2×700-012			70	5'0	
РСП14-2×700-021		Г	70	IP60	
РСП14-2×700-022			75	5'0	
РСП16-400-101	ДРЛ400	Д	62	IP54	
РСП16-400-103		Г			
РСП17-250	ДРЛ250	Г	70	IP54	
РСП17-400	ДРЛ400	Г	70	IP54	
РСП18-250-001	ДРЛ250	Д	70	IP20	
РСП18-250-002		Г	75		
РСП18-250-003		К	75		
РСП18-400-001	ДРЛ400	Д	70		
РСП18-400-002		Г	75		
РСП18-400-003		К	75		
РСП18-700-001	ДРЛ 700	Д	70		
РСП18-700-002		Г	75		
РСП18-700-003		К	75		
РСП18-1000-001	ДРЛ1000	Д	70	IP20	
РСП18-1000-002		Г	75		
РСП18-1000-003		К	75		
РСП19-250-145	ДРЛ250	Кососвет	77		
РСП19-400-145	ДРЛ400	Кососвет	77		
РСП20-250-101	ДРЛ250	Д	62	IP54	
РСП20-250-102		Г	62	IP54	
РСП20-250-191		Д	72	IP23	
РСП20-250-192		Г			
РСП20-400-191	ДРЛ400	Д			
РСП20-400-192		Г			
РСП20-700-191	ДРЛ700	Д	65		
РСП20-700-192	ДРЛ700	Г	70	IP23	
РСП21125(80)X11	ДРЛ125 (ДРЛ80)	Д	60	IP53	
РСП21125(80)X21			65	5'3	
РСП21125(80)X31				5'0	
РСП21125(80)41				IP25	
РСП21125(80)32		специальная		5'0	
РСП21-125(80)X52				IP20	

Окончание табл. 3.5

1	2	3	4	5
РСП25-80	ДРЛ80	Д	60	IP54
		специальная	80	
РСП25-125	ДРЛ125			
РСП25-250	ДРЛ250			
РСП26-125-001	ДРЛ125	Д	70	5'1

Примечание. Все светильники имеют класс светораспределения типа П (прямого света).

Таблица 3.6

**Технические данные светильников для производственных помещений
с лампами типа ДРИ**

Тип светильника	Тип лампы	Тип КСС	КПД, %	Степень защиты	Коэффициент мощности
1	2	3	4	5	6
ГПП01-125	ДРИ125	Д	60	IP54	0,50
ГПП04-250	ДРИ250	К,Г	60-65	IP23, IP54	0,45–0,85
ГПП04-400	ДРИ400	Г,Д	60-65	IP23, IP54	0,45–0,85
ГПП05-175	ДРИ175	М	70	IP54	0,85
ГПП07-175		К,Г	70–60	IP23, IP54	
ГПП09-700	ДРИ700	Г	70	IP23	
ГПП09-700			60	IP54	
ГПП09-1000			60	IP23	
ГПП09-1000			70	IP54	
ГСП15-400-101	ДРИ400		75	IP20, 5'0	0,32
ГСП15-400-102			70		
ГСП17-700-014	ДРИ700-5				
ГСП17-700-114					
ГСП17-700-024	ДРИ700 ДРИ2000	Г	70	IP20, 5'0	0,32
ГСП17-700-124					
ГСП17-700-015		К			
ГСП17-700-115					
ГСП17-700-025					
ГСП17-700-125					
ГСП17-2000-014		Г			0,53

Окончание табл. 3.6

1	2	3	4	5	6
ГСП17-2000-024	ДРИ2000-6 ДРИ250-5			IP20	
ГСП17-2000-015					
ГСП17-2000-025					
ГСП18-250-004					
ГСП18-250-005					
ГСП18-250-006	ДРИ250-5 ДРИ400-5	Д	75		0,32
ГСП18-400-004		Г	75		
ГСП18-400-005		К	70		
ГСП18-400-006	ДРИ700-5	Д	75		
ГСП18-700-004		Г	75		
ГСП18-700-006		К	75		
ГСП18-700-006	ДРИ700-5	Д	75		
ГСП19-700		Г	60–70		
ГСП19-1000		Г	60–70		
ГСП20-2000	ДРИ2000	К	60–70	IP23, IP54	0,85
				IP23, IP54	
				IP23, IP54	

Примечание. Все светильники имеют класс светораспределения типа П (прямого света).

Таблица 3.7

**Технические данные светильников для производственных помещений
с лампами типа ДНаТ**

Тип светильника	Тип лампы	Тип КСС	КПД, %	Степень защиты
1	2	3	4	5
ЖПП01-70	ДНаТ70	Д	60	IP54
ЖПП01-100	ДНаТ100			
ЖПП02-250	ДНаТ250	Г/Л	60–70	IP23, IP54
ЖВП03/04-70	ДНаТ70		60	IP23, IP54
ЖВП03/04-100	ДНаТ100		60	IP65
ЖСП01-400-001	ДНаТ400-4	К	73	IP65
ЖСП01-400-002				IP53
ЖСП01-400-041				
ЖСП01-400-042				IP23
ЖСП01-400-011				
ЖСП01-400-012				
ЖСП01-400-051				—

1	2	3	4	5
ЖСП01-400-052				
ЖСП02-70-113	ДНаТ70	специальная	80	IP54
ЖСП02-250-121	ДНаТ250	Д	72	5'0
ЖСП04-250	ДНаТ250	Г, Д	60–65	IP23, IP54
ЖСП04-400	ДНаТ400	К, Г	60–65	IP23, IP54
ЖСП05-150	ДНаТ150	М	70	IP54
ЖСП07-150		К, Г	70-60	IP23, IP54
ЖСП09-1000	ДНаТ1000	Г	70	IP23
ЖСП09-1000		Г	60	IP54
ЖСП12-250	ДНаТ250	Д	70	IP54
ЖСП12-400	ДНаТ400	Д	70	IP54
ЖСП17-250	ДНаТ250	Г	65	IP54
ЖСП19-1000	ДНаТ1000	Г	60–70	IP23, IP54

Примечание. Класс светораспределения светильников – П, коэффициент мощности – 0,5.

3.4. Светодиодные светильники

В настоящее время рынок светотехнических изделий поступательно развивается в направлении создания новых светодиодных продуктов.

На сегодня СД уже стали хорошей заменой практически для всех типов ламп – от накаливания до разрядных. Их основные преимущества – высокая световая отдача, компактные размеры, надежность и возможность выбирать необходимый оттенок света – повсеместно используются разработчиками в различных отраслях. Разнообразие применений обусловлено, прежде всего, многообразием типов и моделей СД различных цветов, размеров, форм и параметров [27].

Сравнительная оценки качества офисных светильников ряда производителей проведена в работе [6], где светильники ранжированы по технико-экономической эффективности и разделены на классы.

В России функционируют компании, которые производят светодиодные осветительные системы и конкурируют с известными мировыми брендами. К ним относятся: завод Фалди, Лидер Лайт, Ledel, ЛайтСвет, Novolight, LEDeffect, Svetlon (Светлон), VARTON и многие другие.

Продуктовая линейка светодиодных светильников обширна, постоянно обновляется и представлена в многостраничных каталогах фирм производителей.

В качестве примера на рис. 3.9 приведен светодиодный промышленный светильник серии КЕДР на скобе LE-СБУ-22-080-0250-65X фирмы LEDeffect со следующими характеристиками:

- светодиоды фирмы NICHIA (Япония) 757-й и 219-й серии;
- светильники обладают высокой светоотдачей – более 120 лм/Вт;
- светильники могут быть снабжены дополнительной оптикой, позволяющей сформировать КСС тип «Ш» или тип «Г»;
- новая технология установки дополнительной оптики позволяет исключить потери на рассеивателе;
- экономия электроэнергии более чем в 2 раза по сравнению со светильниками с лампами ДРЛ 125 Вт;
- смена источника питания без демонтажа светильника;
- моментальное включение светильника при низких температурах;
- не требует специального обслуживания;
- не требует специальной утилизации;
- степень защиты IP67;
- рабочий ресурс более 50 000 часов;
- монтаж производится при помощи тросов или цепей к потолку;
- потребляемая мощность – 50 Вт, световой поток – 6100 лм;
- потребляемая мощность – 100 Вт, световой поток – 12200 лм;

Экономичность и энергосбережение при использовании светодиодных светильников способствуют тому, чтобы полностью оснастить улицы городов новым источником света, близким к естественному. Технология использования светодиодов дает более чем двукратную экономию электроэнергии по сравнению с обычными осветительными приборами. Не требуются затраты на обслуживание.



Рис. 3.9. Светодиодный промышленный светильник серии КЕДР на скобе LE-СБУ-22-080-0250-65X

Академик Ю.Б. Айзенберг в работах [17, 29] привел следующие элементы оценки световых приборов на базе СД:

1. Высокая световая отдача (100–150 лм/Вт).
2. Малое энергопотребление (единицы Вт).
3. Возможное обеспечение высоких КПД световых приборов и коэффициентов использования световых потоков в осветительных установках.
4. Возможное обеспечение малых габаритов световых устройств (точечные или плоские приборы).
5. Высокая долговечность (более 10 лет непрерывной работы).
6. Отсутствие пульсации светового потока.
7. Возможность получения излучения различного спектрального состава.
8. Возможность снижения коэффициента запаса осветительных свойств (благодаря стабильности характеристик и высокой долговечности).
9. Возможность использования для освещения выцветающих объектов (произведений искусства, продукции полиграфии, текстильного производства и т.п.).
10. Высокая устойчивость к внешним воздействиям (температуре, вибрации, ударам, влажности).
11. Электробезопасность и взрывоопасность.
12. Возможность резкого уменьшения материалоемкости и трудоемкости производства световых приборов.
13. Возможность создания необслуживаемых световых приборов.
14. Высокая степень управляемости (возможность построения систем многоуровневого управления освещением).
15. Высокая технологичность при массовом производстве.
16. Низкие затраты на упаковку и транспортировку.

3.5. Прожекторы

Прожектор (от лат. *projectus* – брошенный вперед) – световой прибор, концентрирующий с помощью оптической системы световой поток лампы в ограниченном телесном угле.

Если средняя яркость источника света, помещенного в фокусе оптической системы (отражателя), равна L , то максимальная сила света прожектора на его оптической оси равна

$$I_0 = K \cdot L \cdot A,$$

где A – площадь светового отверстия прожектора (площадь проекции отражателя на плоскость, перпендикулярную оптической оси); K – коэффициент потерь (в реальных конструкциях равный 0,7–0,8).

Кроме величины I_0 прожектор характеризуют значением плоского угла излучения α_{10} , в пределах которого сила света снижается до $0,1 \cdot I_0$. По функциональному назначению различают прожекторы дальнего действия, заливающего света и сигнальные.

Прожекторы дальнего действия, получившие распространение в военном деле, дают круглоконические световые пучки, формируемые стеклянными параболоидными отражателями диаметром до 3 м. Прожекторы этого вида комплектовались мощными дуговыми угольными лампами высокой интенсивности – имели значение I_0 до 10^9 кд.

При помощи прожектора заливающего света освещают открытые территории (железнодорожные пути, аэродромы, карьеры, строительные площадки, причалы и т.д.), а также фасады зданий, киносъемочные площадки, театральные сцены и другие объекты. В таких прожекторах используют как стеклянные, так и металлические отражатели, дающие веерообразный пучок света. В этих прожекторах используются все современные источники.

За рубежом получили широкое распространение портативные установки различных типов – от легких переносных треножников с 1–2 лампами с отражателями до тяжелых трейлеров с телескопическими мачтами высотой 33 м, несущими несколько прожекторов и имеющими собственные электрические генераторы.

Аналогичные устройства используются сегодня и на отечественных стройплощадках.

В ходе проектирования прожекторной установки, призванной обеспечить на объекте заданный уровень освещенности, рекомендуется выполнить следующие мероприятия:

- 1) определить назначение освещенной территории или ее участков, по генплану найти ее геометрические размеры и оценить особенности планировки объекта, а также наличие на строительстве или близлежащей территории высотных сооружений и естественных возвышенностей;
- 2) исходя из п.1, а также с учетом экономических или снабженческих соображений выбрать систему прожекторного освещения, тип прожекторов и вид источника света (ламп);
- 3) выбрать вариант размещения прожекторных мачт;
- 4) определить высоту установки прожекторов над освещаемым объектом или площадкой;

5) рассчитать общее количество прожекторов (например, по методу удельной мощности);

6) найти число прожекторных мачт, количество прожекторов на каждой и расстояние между мачтами (проверить соответствие расстояния между мачтами рекомендуемой кратности их высоты).

7) определить угол наклона прожекторов на мачтах.

Минимально допустимая высота установки прожекторов регламентируется ограничением слепящего действия при условии создания на объекте освещенности, соответствующей нормам.

При этом отношение осевой силы света I_M прожектора к квадрату высоты его установки над уровнем глаза наблюдателя не должно быть более 300.

Отсюда минимальная высота установки H прожекторов будет определяться из уравнения:

$$H = \sqrt{\frac{I_M}{300}} = 0,058\sqrt{I_M}.$$

Рассчитанные по этому соотношению для некоторых типов прожекторов и ламп значения H приведены в табл. 3.8.

Таблица 3.8

Минимально допустимая высота установки прожекторов [10]

Тип прожектора	Источник света (лампа)			Наименьшая высота установки, H , м
	Тип лампы	Мощность, Вт	Максимальная сила света, I_M , ккд	
ПЗС-45	НГ 220-1000	1000	13,0	22
	ДРЛ 400	400	14,0	8
ПСМ-50-2	ПЖ 220-1000	1000	640	45
ПЗС-35	НГ 220-500	500	50	15
ПЗС-25	НГ 220-200	200	16,0	5
ПЗР-250	ДРЛ-250	250	11,0	6
ПФС-45-1	ПЖ 220-1000	1000	750	50
ПКН-1500-1	КГ 220-1500	1500	900	18
ОУК _с Н-2000	ДК _с Т20000	20000	650	28

При необходимости установки прожектора на высоте H_1 ниже минимальной H следует иметь в виду, что освещенность E будет увеличиваться. С достаточной для практики степенью точности величина E может быть определена из выражения:

$$E \geq \frac{E_H}{H_1} \sqrt{3,33 \cdot 10^{-3} I_M}.$$

Сигнальные прожекторы применяют для передачи информации (световыми проблесками) или для обозначения места расположения прожектора (маяки). В первом случае сигнальные прожекторы оснащают параболоидными отражателями диаметром 0,25–0,4 м и газоразрядными источниками света, во втором – они по конструкции практически не отличаются от прожектора дальнего действия.

В оптических системах маяков применяют не только зеркальные отражатели, но также кольцевые (дисковые) и поясные (цилиндрические) линзы Френеля.

С 1988 г. отечественными предприятиями выпускаются прожекторы общего назначения серии ПЦЖ с дуговыми натриевыми лампами ДНаТ – 400 (400 Вт).

Прожекторы ПЗР используют ртутные лампы ДРЛ (250 или 400 Вт).

Для архитектурного освещения фасадов зданий, памятников, а также удаленных от мачт территорий промышленность выпускает серию из 7 типов прожекторов ПФС (фасадного освещения): от ПФС-60-1 (лампа ПЖ-53 мощностью 3 кВт) до ПФС-35-4 (лампа ПЖ-50 мощностью 300 Вт).

Прожекторы ПФС снабжены прожекторными лампами с фокусирующими цоколями, стеклянными серебряными отражателями, наборами рассеивателей и светофильтров, что позволяет гибко решать задачи освещения архитектурных сооружений.

Расчет прожекторной установки сводится к определению:

- количества прожекторов, подлежащих установке для создания заданной освещенности;
- высоты установки прожекторных мачт и прожекторов;
- углов наклона прожекторов в вертикальной и разворота в горизонтальной плоскостях.

Расчет производится на основе нормируемой освещенности в горизонтальной плоскости [8].

3.6. Виды и системы освещения

Искусственное освещение подразделяется на рабочее, аварийное, охранное и дежурное. Аварийное освещение (АО) разделяется на освещение безопасности и эвакуационное. Освещение безопасности и предназначено для продолжения работы при аварийном отключении рабочего освещения.

Светильники рабочего освещения и светильники освещения безопасности должны питаться от независимых источников.

Устройство рабочего освещения обязательно во всех помещениях независимо от устройства в них других видов освещения.

Светильники аварийного освещения рекомендуется по возможности выделять из числа светильников рабочего освещения.

Самостоятельные светильники для АО предусматривают в случае, когда источники рабочего освещения запрещены к применению для аварийного освещения; когда питание АО резервируется от источников ограниченной мощности; когда мощность светильников рабочего освещения свыше 150 Вт.

Аварийное освещение необходимо в помещениях и на открытых площадках, если прекращение нормальной работы из-за отсутствия рабочего освещения может вызвать:

- взрыв, пожар, отравление людей;
- длительное нарушение технологического процесса;
- нарушение работы жизненных центров предприятий и городов, обслуживающих связь, электро- и водоснабжение;
- опасность травматизма в местах массового скопления людей;
- нарушение нормальной работы операционных, кабинетов неотложной помощи, приемных покоев.

АО должно создавать освещенность 5 % от нормированной для общего освещения, но не менее 2 лк в зданиях и 1 лк вне их.

Аварийное освещение для эвакуации людей необходимо:

- в местах, опасных для прохода людей;
- по путям эвакуации людей из производственных и общественных зданий, где пребывают более 50 чел.

Согласно табл. 5.1 СП 31-110-2003 [12], системы аварийного освещения в жилых и общественных зданиях должны быть обеспечены электропитанием по I категории надежности. Аналогичные требования выдвигает Госэкспертиза в отношении промышленных зданий.

Искусственное освещение может быть:

- общим, равномерным или локализованным (т.е. осуществляющим распределение светового потока с учетом расположения освещаемых поверхностей);

- комбинированным, состоящим из общего и местного освещений отдельных рабочих поверхностей.

Устройство в помещениях только местного освещения запрещено.

Временное местное освещение, осуществляемое преимущественно ручными светильниками, считается переносным.

Систему комбинированного освещения следует, как правило, применять для производственных помещений [24]:

- при выполнении зрительных работ любых разрядов I, II, III, IV, V_a и V_б;

- при выполнении зрительных работ любых разрядов, если характер этих работ предъявляет требования к качеству освещения, невыполнимые при общем освещении (например, строго определенное или переменное направление света, специальный спектральный состав света и т.п.).

В остальных случаях следует применять систему общего освещения.

При производстве работ I разряда устройство системы общего освещения допускается как исключение только при технической невозможности устройства местного освещения.

В помещениях, где производятся зрительные работы разрядов II, III, IV, V_a и V_б, допускается устройство системы общего освещения при наличии технических, экономических или гигиенических оснований, а также при условии, что при общем освещении могут быть полностью соблюдены требования к его качеству (например, в помещениях с очень большой плотностью расположения рабочих мест).

Общее освещение следует выполнять локализованным во всех случаях, когда это дает увеличение осветительной установки, уменьшение установленной мощности или повышение качества освещения, в частности:

- при необходимости по характеру работы или планировке помещения создания на различных участках разной освещенности;

- при наличии в помещении крупногабаритного оборудования, создающего затенение или препятствующего равномерному расположению светильников;

- при наличии в помещениях крупных рабочих поверхностей, где имеются повышенные требования к освещению по сравнению с остальной частью помещения;

- в складских помещениях со стеллажами.

Охранное освещение предназначено для создания освещенности, обеспечивающей надежную охрану производственных и иных зданий, строительных площадок, открытых складов, железнодорожных мостов, туннелей и других объектов.

Такое освещение устанавливается вдоль границ охраняемой территории и должно обеспечить освещенность не менее 0,5 лк на уровне земли.

Используются в основном светильники и прожекторы в тех случаях, когда охрана производит наблюдение с постоянных постов (с вышек).

Применяются прожекторы ПЗС-25, ПЗС-35 и реже ПЗС-45 (будут рассмотрены далее).

Одним из типовых решений охранного освещения стройплощадок является установка прожекторов указанного типа на столбах высотой 6–7 м с углом наклона 4° через каждые 70 м.

Для охраны, например, железнодорожных мостов длиной до 300 м, кроме светильников у постов охраны, устанавливается 4 прожектора ПЗС-35 (ПЗС-45) по 2 с каждого конца моста. На мостах длиной свыше 1000 м размещается 8 прожекторов, установленных с возможностью их поворота в любую сторону.

Сигнальное освещение на строительной площадке предназначено для обозначения опасной рабочей зоны (например, зоны работы башенного крана) или опасного участка строительства (например, открытого под фундамент котлована).

Светильники размещаются на сигнальном ограждении опасного участка и должны иметь источники света пониженного напряжения (36 В).

Сигнальное освещение (светооградительные огни) устанавливается и для обеспечения безопасности полетов самолетов на высотных зданиях 16 этажей и выше, прожекторных мачтах высотой 50 м и более, телевизионных вышках и т.д.

Контрольные вопросы

1. Какие функции выполняет светильник?
2. Можно ли отказаться от светильника?
3. На каком месте в обозначении светильников стоит мощность ламп?
4. Как классифицируются светильники по светораспределению?
5. Какую степень защиты от воздействия среды должны иметь светильники наружного освещения?

6. Как определяется угловой размер объекта?
7. Какими величинами определяется разряд зрительной работы?
8. На сколько подразрядов делятся разряды?
9. К какому разряду по зрительной работе относится цех сборки часов?
10. Перечислите различные виды освещения.
11. Как должны питаться источники аварийного освещения?
12. В каких случаях предусматривается освещение безопасности?
13. Какие существуют системы искусственного освещения?
14. Какое освещение применяют в помещении при производстве зрительной работы I разряда?
15. Как определить расчетную высоту h ?
16. Для каких целей введена величина λ (относительное расстояние между светильниками)?
17. К чему приводит увеличение (уменьшение) величины λ ?
18. Как рекомендуется располагать люминесцентные светильники в длинных помещениях с окнами?
19. Какое расстояние рекомендуется предусматривать между стеной и крайними светильниками?
20. Назовите основные технические показатели светодиодных светильников.

ГЛАВА 4. НОРМИРОВАНИЕ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Общесоюзные нормы освещения являются самостоятельной главой «Строительных норм и правил» (СНиП). Формально они распространяются на проектирование вновь строящихся и реконструируемых зданий и сооружений.

Требования к освещению регламентируются в разделе «Строительных норм и правил Российской Федерации» (СНиП 23-05-95) «Естественное и искусственное освещение» [18]. Приказом Минрегиона России от 27 декабря 2010 г. № 783 утверждена и введена в действие с 20 мая 2011 г. актуализированная редакция настоящего документа с шифром СП 52.13330.2011 [19].

Нормируемые значения освещенности приводятся в точках ее минимального значения на рабочей поверхности. Нормированные значения освещенности в люксах, отличающиеся на одну ступень, следует принимать по шкале: 0,2; 0,3; 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 10; 15; 20; 30; 50; 75; 100; 150; 200; 300; 400; 500; 600; 750; 1000; 1250; 1500; 2001; 2500; 3000; 3500; 4000; 4500; 5000.

По точности зрительной работы производственные операции подразделяются на 8 разрядов, из которых первые 6 характеризуются размерами объектов различения, их контрастом с фоном и отражающими свой фон; разряд VII относится к работам со светящимися материалами и изделиями; разряд VIII – к работам, связанным с общим наблюдением за ходом производственного процесса. Как видно из табл. 4.1, объекты наблюдения характеризуются линейными размерами в долях миллиметра, хотя условия зрительной работы определяются угловыми размерами объектов. В большинстве случаев в производственных условиях расстояние от глаза наблюдателя до рассматриваемого объекта составляет 0,35–0,5 м. Можно считать с достаточной точностью, что при этих условиях 0,1 мм линейного размера объекта различения соответствует 1' его углового размера.

Каждый разряд норм (см. табл. 4.1) с I по V разделен на подразряды «а», «б», «в» и «г», которые характеризуются определенным сочетанием контраста объекта с фоном и коэффициентом отражения фона. Уровень освещенности и коэффициент отражения фона определяют яркость фона, т.е. величину, определяющую условия работы глаза, уровень его чувствительности. Разряд зрительной работы зависит от размера объекта различения. Подразряд «а» соответствует самым трудным условиям зрительной работы – объекты с малым контрастом на темном фоне, «г» – наиболее легким – большой контраст на светлом фоне.

Таблица 4.1

Требования к освещению помещений промышленных предприятий

Характеристика зрительной работы	Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение					Естественное освещение		Совмещенное освещение	
						Освещенность, лк			Сочетание нормируемых величин показателя ослепленности и коэффициента пульсации	КЕО е, %				
						При системе комбинированного освещения		При системе общего освещения		При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении	При верхнем или омбинированном освещении	При боковом освещении	
						всего	в том числе от общего							P , не более
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Наивысшей точности	менее 0,15	I	a	малый	темный	5000	500	–	20	10	–	–	6,0	2,0
						4500	500	–	10	10				
			б	малый средний	средний темный	4000	400	1250	20	10				
						3500	400	1000	10	10				
			в	малый средний большой	светлый средний темный	2500	300	750	20	10				
						2000	200	600	10	10				
			г	средний большой	светлый средний	1500	200	400	20	10				
						1250	200	300	10	10				

Продолжение табл. 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Очень высокой точности	от 0,15 до 0,30	II	<i>a</i>	малый	темный	4000 3500	400 400	– –	20 10	10 10	–	–	4,2	1,5
			<i>б</i>	малый средний	средний темный	3000 2500	300 300	750 600	20 10	10 10				
			<i>в</i>	малый средний большой	светлый средний темный	2000 1500	200 200	500 400	20 10	10 10				
			<i>г</i>	средний большой	светлый средний	1000 750	200 200	300 200	20 10	10 10				
Высокой точности	от 0,30 до 0,50	III	<i>a</i>	малый	темный	2000 1500	200 200	500 400	40 20	15 15	–	–	3,0	1,2
			<i>б</i>	малый средний	средний темный	1000 750	200 200	300 200	40 20	15 15				
			<i>в</i>	малый средний большой	светлый средний темный	750 600	200 200	300 200	40 20	15 15				
			<i>г</i>	средний большой	светлый средний	400	200	200	40	15				
Средней точности	св. 0,5 до 1,0	IV	<i>a</i>	малый	темный	750	200	300	40	20	4,0	1,5	2,4	0,9
			<i>б</i>	малый средний	средний темный	500	200	200	40	20				
			<i>в</i>	малый средний большой	светлый средний темный	400	200	200	40	20				
			<i>г</i>	средний большой	светлый средний	–	–	200	40	20				

Продолжение табл. 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Малой точности	св.1 до 5	V	<i>a</i>	малый	темный	400	200	300	40	20	3,0	1,0	1,8	0,6
			<i>б</i>	малый средний	средний темный	—	—	200	40	20				
			<i>в</i>	малый средний большой	светлый средний темный	—	—	200	40	20				
			<i>г</i>	средний большой	светлый средний	—	—	200	40	20				
Грубая (очень малой точности)	более 5	VI		Независимо от характе- ристик фона и контраста объекта с фоном		—	—	200	40	20	3,0	1,0	1,8	0,6
Работа со светящимися материалами и изделиями в горячих цехах	более 0,5	VII		То же		—	—	200	40	20	3,0	1,0	1,8	0,6

Продолжение табл. 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Общее наблюдение за ходом производственного процесса		VIII												
Постоянное			<i>a</i>			—	—	200	40	20	3,0	1,0	1,8	0,6
Периодическое при постоянном пребывании людей в помещении			<i>b</i>			—	—	75	—	—	1,0	0,3	0,7	0,2

Окончание табл. 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
то же, при периодическом пребывании людей			<i>в</i>			–	–	50	–	–	0,7	0,2	0,5	0,2
общее наблюдение за инженерными коммуникациями			<i>г</i>			–	–	20	–	–	0,3	0,1	0,2	0,1

Примечание. 1. Для подразряда норм от Ia до IIIв может приниматься один из наборов нормируемых показателей, приведенных для данного подразряда в гр. 7–11.

2. Наименьшие размеры объекта различения и соответствующие им разряды зрительной работы установлены при расположении объектов различения на расстоянии не более 0,5 м от глаз работающего.

3. Освещенность при работах со светящимися объектами размером 0,5 мм и менее следует выбирать в соответствии с размером объекта различения и относить их к подразряду «в».

4. Показатель ослепленности регламентируется в гр. 10 только для общего освещения (при любой системе освещения).

5. Коэффициент пульсации $K_{\text{п}}$ указан в гр. 10 для системы общего освещения или для светильников местного освещения при системе комбинированного освещения. $K_{\text{п}}$ от общего освещения в системе комбинированного не должен превышать 20 %.

6. Предусматривать систему общего освещения для разрядов I–III, IVa, IVб, IVв, Va допускается только при технической невозможности или экономической нецелесообразности применения системы комбинированного освещения, что конкретизируется в отраслевых нормах освещения, согласованных с Роспотребнадзором.

Для различных отраслей промышленности устанавливают и утверждают отраслевые нормы освещенности и разрабатывают ведомственные рекомендации. Нормы освещенности и показатели качества общего освещения для некоторых основных цехов разных отраслей промышленности приведены в табл. П1–П3 Прил. 1.

В процессе эксплуатации осветительной установки освещенность на рабочих поверхностях снижается вследствие уменьшения со временем светового потока из-за загрязнения ламп, осветительной арматуры и отражающих поверхностей (стен и потолков). Для обеспечения освещенности на рабочих поверхностях на уровне нормируемой расчетное значение освещенности E_p принимают больше нормируемого $E_{\text{норм}}$ с учетом коэффициента запаса k_3 :

$$k_3 = E_p / E_{\text{норм}}. \quad (4.1)$$

Существуют коэффициенты запаса, учитывающие снижение освещенности в процессе эксплуатации, и соответствующие им сроки чистки светильников. Например, в производственных помещениях с нормальной воздушной средой коэффициент запаса при газоразрядных лампах – 1,5, при лампах накаливания – 1,3. Для правильного выбора светильников необходимо учитывать условия окружающей среды, в которой будет работать светильник, требуемое распределение светового потока в зависимости от назначения и характера отделки помещения и экономичности светильника. Для общего освещения производственных помещений с нормальными условиями работы в зависимости от отражающих свойств стен и потолков применяют подвесные или потолочные светильники с люминесцентными лампами типа ЛД (ОД). Из светильников накаливания применяют светильник «Универсаль» (У) в помещениях высотой от 4 до 6 м и типа «Глубокоизлучатель» (Гс, Гэ) в помещениях высотой свыше 6 м. В сырых, жарких, пыльных и пожароопасных помещениях применяют светильники типа ППД, ПУН, ПГТ и т.п. и люминесцентные типа ПВЛ-1, ПВЛЛ, ПВЛМ. Сейчас количество видов светильников возросло, включая поставки иномарок.

При проектировании естественного, искусственного и совмещенного освещения для компенсации спада освещенности в процессе эксплуатации рекомендуется вводить коэффициент запаса k_3 , принимаемый по табл. 4.2.

Таблица 4.2

Коэффициенты запаса для естественного и искусственного освещения

Помещения и территории	Примеры помещений	Искусственное освещение			Естественное освещение			
		Коэффициент запаса K_3	Количество чисток светильников в год		Коэффициент запаса K_3	Количество чисток остекления светопроемов в год		
		Эксплуатационная группа светильников			Угол наклона светопропускающего материала к горизонту, град.			
		1–4	5–6	7	0–15	16–45	46–75	76–90
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Производственные помещения с воздушной средой, содержащей в рабочей зоне:								
а) св. 5 мг/м ³ пыли, дыма, копоти	Агломерационные фабрики, цементные заводы и обрубные отделения литейных цехов	2,0	1,7	1,6	2,0	1,8	1,7	1,5
		–	–	–	–	–	–	–
		18	6	4	4	4	4	4
б) от 1 до 5 мг/м ³ пыли, дыма, копоти	Цехи кузнечные, литейные, мартеновские, сборного железобетона	1,8	1,6	1,6	1,8	1,6	1,5	1,4
		–	–	–	–	–	–	–
		6	4	2	3	3	3	3
в) менее 1 мг/м ³ пыли, дыма, копоти	Цехи инструментальные, сборочные, технические, механосборочные, пошивочные	1,5	1,4	1,4	1,6	1,5	1,4	1,3
		–	–	–	–	–	–	–
		4,0	2,0	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0
г) значительные концентрации паров, кислот, щелочей, газов	Цехи химических заводов по выработке кислот, щелочей, едких реактивов, ядохимикатов, удобрений, цехи гальванических покрытий	1,8	1,6	1,6	2,0	1,8	1,7	1,5
		–	–	–	–	–	–	–
		6	4	2	3	3	3	3

Продолжение табл. 4.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
2. Производственные помещения с особым режимом по чистоте воздуха при обслуживании светильников:								
а) с технического этажа		1,3	1,3	1,1	1,2	1,3	1,2	1,1
б) снизу из помещения		1,4	1,3	1,2	1,4	1,3	1,3	1,3
3. Помещения общественных и жилых зданий:								
а) пыльные, жаркие и сырые	Горячие цехи предприятий общественного питания,	1,7	1,6	1,6	2,0	1,8	1,7	1,6
	охлаждаемые камеры, помещения для приготовления растворов в прачечных, душевые и т.д.	—	—	—	—	—	—	—
		2,0	2,0	2,0	3,0	3,0	3,0	3,0
б) с нормальными условиями среды	Кабинеты и рабочие помещения, офисные помещения, жилые комнаты, учебные помещения, лаборатории, читальные залы, залы совещаний, торговые залы и т.д.	1,4	1,4	1,4	1,5	1,4	1,3	1,2
		—	—	—	—	—	—	—
		2	2	2	3	3	3	3
4. Территории с воздушной средой, содержащей:								
а) большое количество пыли (более 1 мг/м ³)	Территории металлургических, химических, горнодобывающих предприятий, шахт, рудников, железнодорожных станций и прилегающих к ним улиц и дорог	1,5	1,5	1,5	—	—	—	—
		—	—	—	—	—	—	—
		4,0	4,0	4,0	—	—	—	—

Окончание табл. 4.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
б) малое количество (менее 1 мг/м ³)	Территории промышленных предприятий, кроме указанных в подпункте «а», и общественных зданий	2,0	2,0	2,0	—	—	—	—
5. Населенные пункты	Улицы, площади, дороги, территории жилых районов, парки, бульвары, пешеходные тоннели, фасады зданий, памятники	1,6	1,5	1,5	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—
	транспортные тоннели	2,0	2,0	—	—	—	—	—

Примечания. 1. Значения коэффициента запаса, указанные в гр. 6–9, следует умножать: на 1,1 – при применении узорчатого стекла, стеклопластика, армопленки и мативированного стекла, а также при использовании световых проемов для аэрации; на 0,9 – при применении органического стекла.

2. Значения коэффициентов запаса, указанные в гр. 3, следует снижать при односменной работе по поз. 1, б, 1, с – на 0,2; по поз. 1, в – на 0,1; при двухсменной работе – по поз. 1, б, 1, с – на 0,15.

В табл. 4.3 даны максимально допустимые удельные установленные мощности искусственного освещения в производственных помещениях.

Таблица 4.3

Максимально допустимые удельные установленные мощности искусственного освещения в производственных помещениях

Освещенность на рабочей поверхности, лк	Индекс помещения	Максимально допустимая удельная установленная мощность, Вт/м ² , не более
750	0,6	37
	0,8	30
	1,25	28
	2,0	25
	3 и более	23
500	0,6	35
	0,8	22
	1,25	18
	2,0	16
	3 и более	14
400	0,6	15
	0,8	14
	1,25	13
	2,0	11
	3 и более	10
300	0,6	13
	0,8	12
	1,25	10
	2,0	9
	3 и более	8
200	0,6–1,25	11
	1,2 –3,0	7
	Более 3	6
150	0,6–1,25	8
	1,2 –3,0	6
	Более 3	5
100	0,6–1,25	7
	1,2 –3,0	5
	Более 3	4

Примечание. Значения максимальных удельных мощностей искусственного освещения для помещений других размеров и освещенностей определяются интерполяцией.

4.1. Выбор расположения и установки светильников

Выбор типа светильников следует производить с учетом характера их светораспределения, экономической эффективности и условий окружающей среды. Размещение светильников в плане и разрезе помещения определяется следующими размерами:

H – высота помещения;

h_c – расстояние светильников от перекрытия («свес»);

$h_{\Pi} = H - h_c$ – высота светильника над полом;

h_p – высота расчетной поверхности над полом, принимается равной 0,8–1 м;

$h = h_{\Pi} - h_p$ – расчетная высота;

L – расстояние между соседними светильниками или рядами люминесцентных светильников (если по длине и ширине помещения расстояния различны, то они обозначаются L_a и L_b);

l – расстояние от крайних светильников до стены.

Основное требование при выборе расположения светильников – доступность их для обслуживания.

Обслуживание с приставных лестниц или стремянок разрешается при $h_{\Pi} \leq 5,0$ м.

Для некоторых случаев практикой рекомендуется следующее h_{Π} : 2,5 м – при установке на стойках вдоль ограждений технологических площадок; $\leq 3,5$ м – при установке на стенах и потолках площадок верхних отметок; $\approx 2,1$ м – при установке вблизи открытых токоведущих частей.

Свес светильников колеблется от 0,4 до 2 м, например, для светильников типа ПВЛМ, ЛД, ПВЛП – $h_c = 0,4$; ЛСПО2 – $h_c = 0,5$ –1 м, ЛОУ1П – $h_c = 0,5$ –1–2 м.

При размещении светильников учитывают удобство обслуживания, ограничение слепящего действия, экономичность, равномерность освещения и направления света.

Поскольку нормы предусматривают наименьшую (а не среднюю) освещенность, большое значение имеет отношение расстояния между светильниками L к высоте их установки над освещаемой поверхностью h .

Светильники с люминесцентными лампами в основном располагают рядами. При большой нормированной освещенности и высоте устраивают вдвоенные или строенные ряды светильников. Ряды следует ориентировать параллельно продольной оси помещения, а в помещениях с естественным светом – параллельно стене с окнами (под L в данном случае понимается расстояние между рядами светильников).

Рекомендуемые пределы отношения $\lambda = L : h$ приведены в табл. 4.4.

Таблица 4.4

Рекомендуемые значения λ для светильников с типовыми кривыми

Типовая кривая	λ_c	λ_{Σ}
Концентрированная	0,6	0,6
Глубокая	0,9	1,0
Косинусная	1,4	1,6
Равномерная	2,0	2,6
Полуширокая	1,6	1,8

Значениями λ_c следует пользоваться при люминесцентных лампах, значениями λ_{Σ} – в остальных случаях.

Допускается, кроме случая кривой К, увеличение этих отношений не более чем на 30 %.

Чрезмерное увеличение этих значений ведет к резкой неравномерности освещенности, ухудшению качества освещения и к возрастанию расхода электроэнергии. Уменьшение их может оказаться обязательным по условиям размещения светильников в том или ином помещении, а также в случаях, когда для получения заданной освещенности необходима лампа неосуществимо большой мощности. Уменьшение величины λ приводит к удорожанию устройства и обслуживания освещения.

В производственных помещениях большой высоты рекомендуется: в случаях, когда при отношении $L : h$ расчетная мощность лампы превышает возможную, взамен частого расположения светильников устанавливать в одной точке несколько светильников; при наличии ферм и особенно при устройстве вдоль цеха мостков обслуживания по возможности сокращать число рядов светильников, уменьшая расстояния между последними в рядах и следя, чтобы расстояния L между рядами не превышали допустимых значений.

Размер l принимается в пределах $0,3-0,5L$ в зависимости от наличия вблизи стен рабочих мест.

На рис. 4.1–4.4 показаны примеры размещения светильников.

В конкретных условиях светильники располагают с учетом всех обстоятельств. В галереях транспортеров (рис. 4.2) светильники размещают в каждом проходе, но не над лентами. Светильники соседних рядов располагают в шахматном порядке.

В электрощитовых помещениях люминесцентные светильники (ОДР, ШОД, ШЛП) располагают перед фасадом щита так, чтобы зеркально отраженный от приборов свет не падал в глаза монтера.

В цехах электролиза целесообразно трехрядное размещение светильников (см. рис. 4.4).

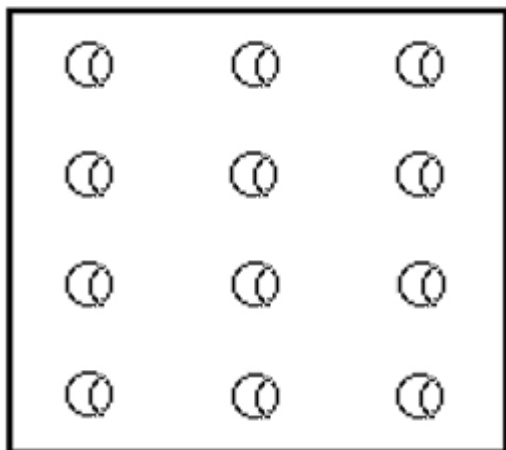


Рис. 4.1. Равномерное размещение светильников с КЛЛ или ДРЛ

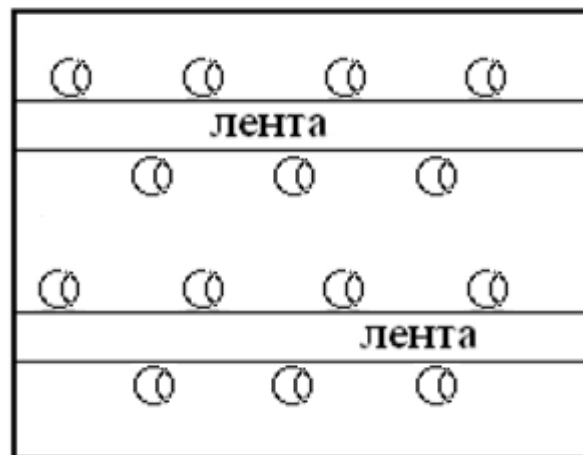


Рис. 4.2. Схема размещения светильников в галереях транспортеров

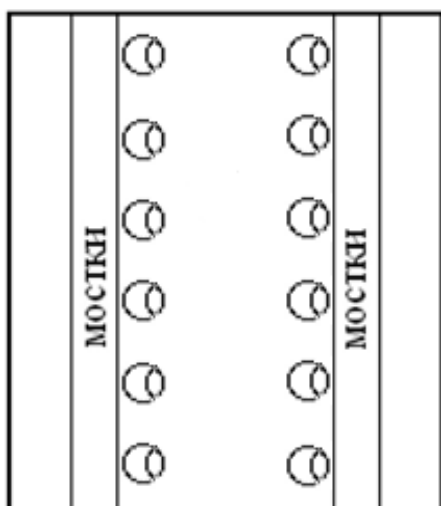


Рис. 4.3. Размещение светильников вдоль мостков обслуживания



Рис. 4.4. Схема размещения светильников в цехе электролиза алюминия

Контрольные вопросы

1. Какими величинами определяется разряд зрительной работы?
2. К какому разряду по зрительной работе относится цех сборки часов?
3. Какую роль исполняют коэффициенты запаса естественного освещения?
4. Как определить расчетную высоту h ?
5. Для каких целей введена величина λ (относительное расстояние между светильниками)?
6. Как рекомендуется располагать люминесцентные светильники в длинных помещениях с окнами?
7. К какому разряду по точности выполнения зрительной работы относятся учебные аудитории?

ГЛАВА 5. РАСЧЕТ ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

После того как произведен выбор типа ламп, выяснены их расположение в рассматриваемом помещении и количество, необходимо определить мощность отдельных ламп и всей осветительной установки в целом, имея в виду, что источником света являются однофазные электроприемники. При их небольшой единичной мощности (обычно не выше 2 кВт) в осветительной сети распределением осветительных приборов по фазам можно достичь достаточно равномерной нагрузки (с несимметрией не более 5–10 %).

Основными методами расчета являются:

- расчет освещения методом коэффициента использования светового потока. Расчетную освещенность определяют на горизонтальной поверхности с учетом светового потока, падающего на освещаемую поверхность и отраженного от стен, потолка и самой поверхности;
- точечный метод, позволяющий определить освещенность любой точки на рабочей поверхности, расположенной горизонтально, вертикально или наклонно. Являясь поверочным, он не учитывает отраженных потоков;
- комбинированный метод расчета освещенности;
- приближенный метод расчета по удельной мощности. Он широко применяется в проектной практике и позволяет без выполнения светотехнических расчетов определить мощность и количество осветительных приборов. Кроме того, метод применяется для оценки правильности произведенного светового расчета электроосветительной установки. Базируется он на методе коэффициента использования светового потока.

Точечный метод также служит для расчета освещения произвольно расположенных поверхностей и при любом распределении источников света. Он применяется в основном для нахождения освещенности в определенных точках и, следовательно, наиболее приспособлен для обеспечения ее минимального значения. Метод коэффициента использования светового потока служит для определения средней освещенности, и при расчете по этому методу минимальная освещенность оценивается лишь относительно и без выявления точек, в которых она имеет место. Применение метода коэффициента использования целесообразно для расчета общего равномерного освещения горизонтальных поверхностей при отсутствии затенений, требующих учета. Наиболее полно инженерные методы расчета освещенности представлены в работах Г.М. Кнорринга [15].

Метод коэффициента использования. При расчетах методом коэффициента использования необходимый световой поток каждого осветительного прибора определяется по формуле:

$$\Phi = \frac{EK_{\text{зап}}S \cdot z}{N\eta}, \quad (5.1)$$

где E – заданная минимальная освещенность, лк; $K_{\text{зап}}$ – коэффициент запаса; S – освещаемая площадь, м²; $z = E_{\text{ср}} / E_{\text{min}}$ – коэффициент минимальной освещенности (приблизительно можно принимать $z = 1,1$ – для люминесцентных ламп, $z = 1,15$ – для ламп накаливания и ДРЛ); N – число светильников (намечается до расчета), η – коэффициент использования светового потока источника света, доли единиц.

По найденному значению Φ выбирается ближайшая стандартная лампа в пределах допуска от -10 до $+20$ %. Если такое приближение не реализуется, то корректируется число светильников.

Нормы освещенности для работ различной степени трудности зрительного восприятия приведены в СНиП в зависимости от углового размера объекта различения, контраста объекта и фона, коэффициентов отражения потолка, стен и пола, учитываются также и уровни (условия) естественного освещения. В табл. 5.1 приведен пример нормирования части показателей освещения.

Таблица 5.1

Нормируемые показатели искусственного освещения основных административных зданий

Помещения	Освещенность E , лк, при освещении*		Коэффициент пульсации освещенности** $K_{\text{п}}$, %
	комбинированном	общем	
Кабинеты, рабочие комнаты, офисы, представительства	400/200	300	≤ 15
Проектные залы и комнаты конструкторские, чертежные бюро	600/400	500	≤ 10
Помещения для посетителей, экспедиции, помещения обслуживающего персонала	+400/200	300	≤ 15

Примечание.* В числителе – всего, в знаменателе – от общей освещенности.

****** Показатель дискомфорта освещения M для административных зданий не превышает 40.

При расчете освещения, выполненного люминесцентными лампами, чаще всего первоначально намечается число рядов n , которое в формуле (5.1) соответствует величине N . Тогда под Φ следует понимать поток ламп одного ряда.

Если световой поток ламп в каждом светильнике составляет $\Phi_{\text{ном}}$, то число светильников в ряду определяется по формуле

$$N = \Phi / \Phi_{\text{ном}}. \quad (5.2)$$

Суммарная длина N светильников сопоставляется с длиной помещения, при этом возможны следующие случаи:

1) суммарная длина светильников в ряду превышает длину помещения. В этом случае необходимо применить более мощные лампы или увеличить число рядов, можно компоновать ряды из сдвоенных, строенных светильников;

2) суммарная длина светильников равна длине помещения: устанавливается непрерывный ряд светильников;

3) суммарная длина ряда меньше длины помещения: принимается ряд с равномерно распределенными вдоль него разрывами между светильниками. Рекомендуются, чтобы расстояние между светильниками в ряду l не превышало $0,5h$.

Коэффициент использования светового потока является функцией индекса помещения i , который определяется по формуле

$$i = \frac{A \cdot B}{h(A + B)},$$

где A – длина помещения, м; B – ширина помещения, м.

Пример 5.1. Рассчитайте освещение механического цеха, размеры которого $A \times B \times H = 28 \times 21 \times 7$ м; к установке примите светильники РС05/Г03 типа «глубокоизлучатель» с лампами ДРЛ.

Решение. 1. Определим расчетную высоту подвеса светильника

$$h = H - (h_c + h_p) = 7 - (1,2 + 0,8) = 5 \text{ м, где } h_p = 0,8 \text{ м, } h_c = 1,2 \text{ м.}$$

2. Для принятого светильника, имеющего глубокую кривую силы света (буква Г в обозначении светильника), находим значение $\lambda = L_A / h = 1$.

Определяем расстояние между светильниками L_A :

$$L_A = \lambda \cdot h = 1 \cdot 5 = 5 \text{ м.}$$

3. Наметим число светильников в ряду:

$$n_A = 1 + \frac{A}{L_A} = 1 + \frac{28}{5} \approx 6 \text{ шт., тогда расстояние от торцевых стен}$$

до крайнего светильника составит:

$$l_a = (A - L_A(n_A - 1)) / 2 = (28 - 5(6 - 1)) / 2 = 1,5 \text{ м.}$$

4. Выберем расстояние между рядами L_B , при этом необходимо учесть следующее условие $L_A / L_B \leq 1,5$. Примем $L_B = 4 \text{ м}$, тогда $L_A / L_B = 5 / 4 = 1,25 \leq 1,5$.

Расстояние от боковых стен до крайних светильников составит:

$$l_b = (B - L_B(n_B - 1)) / 2 = (21 - 4(5 - 1)) / 2 = 2,5 \text{ м.}$$

5. Число светильников в цехе $N = n_A \cdot n_B = 6 \cdot 5 = 30$. Размещение светильников представлено на рис. 5.1.

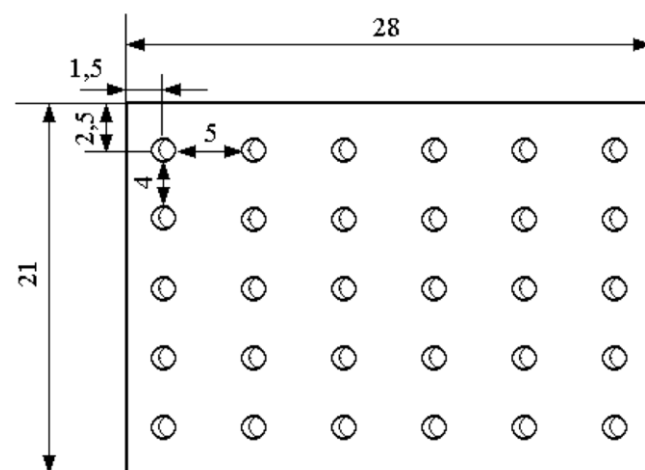


Рис. 5.1. Размещение светильников в цехе, принятое по расчетам примера 5.1

6. Определим индекс помещения

$$i = \frac{A \cdot B}{h(A + B)} = \frac{28 \cdot 21}{5(28 + 21)} 2,4.$$

7. По табл. П4 (Прил. 1) принимаем коэффициенты отражения стен, потолка и рабочей поверхности $\rho_c = 50 \%$, $\rho_{\Pi} = 30 \%$, $\rho_p = 10 \%$.

8. Из табл. П6 находим коэффициент использования светового потока $\eta = 0,73$.

9. Определим расчетный световой поток светильника при $E = 250$ лк, $K_{зап} = 1,5$ (принят по табл. П5):

$$\Phi = \frac{EK_{зап}Sz}{N_{\eta}} = \frac{250 \cdot 1,5 \cdot 21 \cdot 28 \cdot 1,15}{0,73 \cdot 30} = 11578,77 \text{ лм.}$$

Выбираем лампу ДРЛ мощностью $P_H = 250$ Вт со световым потоком $\Phi_{ном} = 13000$ лм. $\Phi_{ном}$ отличается от Φ на 10 %, что находится в допустимых пределах (от –10 до + 20 %).

Пример 5.2. Рассчитайте электрическое освещение одного из помещений механического завода, где минимальная освещенность по нормам должна составлять 300 лк. Исходные данные: длина цеха $A = 40$ м, ширина $B = 20$ м, высота $H = 5,2$ м. Применяется система общего освещения.

Решение. Коэффициенты отражения стен, потолка и рабочей поверхности $\rho_c = 50$ %, $\rho_{п} = 30$ %, $\rho_p = 10$ %. Коэффициент запаса равен $K_{зап} = 1,5$. Поскольку к правильной цветопередаче не предусмотрено особых требований, то для освещения выбираем люминесцентную лампу ЛБ–40. Для освещения цеха применяем светильники ПВЛМ с 2 лампами.

Вычисляем значение расчетной высоты светильника при $h_c = 0,4$ м; $h_p = 0,8$ м, $h = 5,2 - 0,4 - 0,8 = 4$ м.

Согласно рекомендациям по выбору расстояния между рядами светильников, для светильника этого типа $L : h = 1,4$. Расстояние между рядами должно быть не более $6 \times 1,4 = 8,4$ м.

Примем для освещения помещения 3 ряда светильников с расстоянием между рядами 8 м, а расстояние от крайнего ряда до стен – 2 м (рис. 5.2).

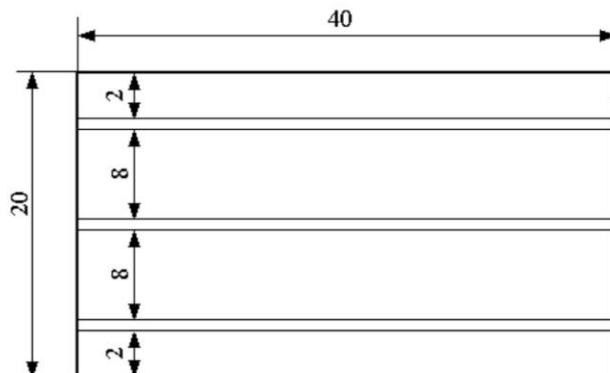


Рис. 5.2. Размещение светильников в цехе, принятое по расчетам примера 5.2

Определим индекс помещения:

$$i = \frac{40 \cdot 20}{4(40 + 20)} = 3,3.$$

Из табл. П11 находим коэффициент использования светового потока $\eta = 0,61$.

Определим световой поток светильников одного ряда:

$$\Phi = \frac{EK_{\text{зап}} S_z}{N_{\eta}} = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 40 \cdot 20 \cdot 1,1}{3 \cdot 0,61} = 216393 \text{ лм.}$$

Световой поток лампы равен $\Phi_{\text{л}} = 3200 \text{ лм}$, световой поток светильника $\Phi_{\text{с}} = 6400 \text{ лм}$.

Определим количество светильников в ряду:

$$n = \Phi / \Phi_{\text{с}} = \frac{216393}{6400} = 34 \text{ шт.}$$

Сопоставим длину ряда светильников с длиной помещения

$$L_p = n \cdot l = 34 \cdot 1,325 = 45,05 \text{ м} > 40 \text{ м},$$

где $l = 1,325 \text{ м}$ длина светильника с лампами мощностью 40 Вт. Длина ряда светильников получилась больше длины помещения, поэтому необходимо увеличить мощность ламп.

Примем к установке светильники того же типа с лампами мощностью $P_{\text{н}} = 80 \text{ Вт}$, со световым потоком $\Phi_{\text{ном}} = 5400 \text{ лм}$ и $l = 1,625 \text{ м}$.

Определим количество светильников в ряду:

$$n = \Phi / \Phi_{\text{с}} = \frac{216393}{10800} = 20 \text{ шт.}$$

Сопоставим длину ряда светильников с длиной помещения

$$L_p = n \cdot l = 20 \cdot 1,625 = 32,5 \text{ м} < 40 \text{ м}.$$

Длина ряда получилась меньше длины помещения. Скомпонуем ряд с равномерно распределенными разрывами между светильниками.

Определим величину промежутка между светильниками:

$$L_{\text{пр}} = (A - L_p) / (n - 1) = (40 - 32,5) / 19 = 0,4 \text{ м.}$$

Величина промежутка между светильниками должна быть меньше половины расчетной высоты $L_{\text{пр}} < 0,5h$. В данном случае $L_{\text{пр}} < 2 \text{ м}$.

Окончательно принимаем к установке в помещении 60 светильников общей мощностью всех ламп $60 \cdot 2 \cdot 80 = 9600 \text{ Вт}$.

Для решения некоторых расчетных задач удобно пользоваться **методом удельной мощности**. Он является производным от метода коэффициента использования, более прост, но менее точен. Под удельной мощностью w понимается отношение установленной мощности источника света к освещаемой площади (Вт/м^2). Удельная мощность является важнейшим энергетическим показателем осветительной установки, используемым для оценки экономичности, для предварительного определения осветительной нагрузки и на начальных стадиях проектирования.

Таблицы удельной мощности (табл. П12–П15) составлены с применением конкретных параметров. При освещении лампами накаливания к ним относятся:

- тип светильников;
- освещенность;
- коэффициент запаса (при его значениях, отличающихся от указанных в таблицах, допускается пропорциональный пересчет значений удельной мощности);
- коэффициенты отражений поверхностей помещения (табл. П4 Прил. 1) (для светильников прямого света таблицы рассчитаны для $\rho_{\text{п}} = 50 \%$; $\rho_{\text{с}} = 30 \%$; $\rho_{\text{р}} = 10 \%$ и для них допускается при более светлых поверхностях уменьшать, а при более темных – увеличивать значения w на 10%);
- значения расчетной высоты;
- площадь помещения.

В таблицах учтен коэффициент z , характеризующий неравномерность освещения; световая отдача принята для соответствующей мощности ламп; отношение L/h согласно табл. 4.4 для светильников с тепловыми кривыми.

Для люминесцентных ламп сохраняет силу все вышесказанное, но со следующими отличиями:

– таблицы приводятся только для освещенности 100 лк, так как в данном случае имеет место прямая пропорциональность между E и w ;

– в качестве одного из параметров в таблицах принят тип и мощность лампы и соответствующая световая отдача.

Таблицы удельной мощности для ламп типа ДРЛ составлены также для освещенности 100 лк (с пропорциональным пересчетом при других освещенностях), так как световая отдача всех употребительных типоразмеров этих ламп одинакова.

При составлении таблиц удельной мощности не учитывается форма помещения и i определяется по формуле

$$i = 0,48\sqrt{S}/h, \quad (5.3)$$

достаточно точной при отношении $A : B < 2,5$.

При пользовании таблицами для длинных помещений следует определить значение для условной площади $2B^2$ и распространить на всю площадь помещения.

Ниже приведен порядок расчета по определению единичной мощности при лампах накаливания и лампах типа ДРЛ.

1. Найти нормированную освещенность E для данного вида помещения по табл. П1–П3 Прил. 1, СНиП II-4-79.

2. Определить по табл. П5 Прил. 1 коэффициент запаса; по табл. П4 коэффициент отражения поверхностей помещения.

3. Выбрать тип светильника по табл. П1–П3 Прил. 1.

4. Подсчитать значение расчетной высоты светильника над рабочей поверхностью.

5. Определить площадь помещения S .

6. Найти удельную мощность осветительной установки по соответствующей таблице и пересчитать ее на заданный коэффициент запаса.

7. Определить единичную мощность лампы:

$$P = wS/N.$$

Выбрать ближайшую стандартную по мощности лампу $P_{\text{л}}$.

8. Проверить расчетную освещенность $E_{\text{р}}$:

$$E_{\text{р}} = E \frac{P_{\text{л}} N}{P}.$$

Допускается отклонение расчетной освещенности от нормированной на $-10 - +20 \%$.

Порядок определения единичной мощности при люминесцентных лампах.

1. Выбрать все решения по освещению помещения, включая число рядов светильников n и спектральный тип лампы.

2. По соответствующим табл. П.12–П.15 Прил. 1 найти значение удельной мощности w для освещенности 100 лк для нескольких возможных к применению мощностей ламп. Произвести пересчет на заданную освещенность.

3. Определить необходимое число светильников в ряду делением произведения wS на мощность одного светильника и осуществить компоновку ряда.

Пример 5.3. Рассчитайте освещение механического цеха, размеры которого $A \times B = 62 \times 25 \text{ м}^2 = 1550 \text{ м}^2$; $h_p = 4,7 \text{ м}$, к установке примите светильники НСП 01×500/Д005У3 (старое обозначение – УПМ15) с лампами накаливания; $E_{\text{ном}} = 150 \text{ лк}$; $\lambda = 1,6$.

Решение. Определяем расстояние между светильниками L_A :

$$L_A = \lambda \cdot h = 1,6 \cdot 4,7 = 7,5 \text{ м.}$$

$$\text{Определяем количество светильников } n_A = 1 + \frac{62}{7,5} \approx 9, \quad n_B = 1 + \frac{25}{7,5} \approx 4.$$

Общее количество светильников $N = 9 \times 4 = 36$ штук.

В табл. П.12 Прил. 1 учтены значения $\rho_{\text{п}} = 50 \%$, $\rho_{\text{с}} = 30 \%$, $\rho_{\text{р}} = 10 \%$; $K_{\text{зап}} = 1,3$; $z = 1,15$. Величина $w = 10,9 \text{ Вт/м}^2$. Пересчитаем на $K_{\text{зап}} = 1,5$: $w = \frac{10,9 \cdot 1,5}{1,3} = 12,5 \text{ Вт/м}^2$.

$$\text{Определим мощность лампы } P_{\text{л}} = \frac{12,5 \cdot 62 \cdot 25}{36} = 543 \text{ Вт}$$

Принимаем ближайшую стандартную по мощности лампу.

В табл. 5.2 приведены значения удельных мощностей $P_{\text{уд}}$ для светильников ЛЛ при освещенности 100 лк. Если освещенность помещения отличается от этого значения, величину $P_{\text{уд}}$, определенную по табл. 5.2, необходимо увеличить или уменьшить во столько раз, во сколько больше или меньше освещенность помещения, равная 100 лк.

Таблица 5.2

**Значение удельных мощностей для одной из групп светильников
с люминесцентными лампами при $E_H = 100$ лк**

Расчетная высота подвеса светильника, h , м	Площадь помещения, S , м ²	Удельная мощность $P_{уд}$ (Вт/м ²) для светильников с люминесцентными лампами ($\rho_{\Pi} = 70$ %, $\rho_c = 50$ %, $\rho_{расч} = 10$ %, $K_{зап} = 1,5$, $z = 1,1$)			
		ЛБ 40, 65	ЛД40 ЛБ80 ЛХБ40,65 ЛТ40,65	ЛХБ80, ЛТБ80, ЛД65, ЛДЦ40	ЛД80, ЛДЦ65, ЛДЦ80
2–3	10–15	10,1	11,6	13,2	15,5
	15–25	8,5	9,6	10,8	12,9
	25–50	7,0	8,0	9,1	10,4
	50–150	5,7	6,7	7,7	8,8
	150–300	5,1	6,0	6,7	7,8
	Более 300	4,5	5,4	6,3	7,2

Ниже покажем развернутый вариант расчета осветительной установки по методу удельной мощности:

– в зависимости от вида освещаемого помещения выбирают тип светильника и лампы;

– так как количество ламп в выбранном светильнике известно, находят мощность всего светильника;

– задаются расчётной высотой $h_{расч}$ и находят площадь помещения $S = A \times B$;

– по таблицам, приведенным в СНиП [18], определяют минимальную освещенность объекта E_H в зависимости от его назначения. В качестве примера в табл. 5.3 приведены значения для некоторых объектов;

– по табл. 5.2 для заданной h , S и по типу лампы находят $P_{уд100}$ (удельную мощность при 100 лк) и пересчитывают ее в $P_{уд}$ при заданной освещенности E_H :

$$P_{уд} = P_{уд100} \cdot E_H / 100;$$

– определяют установленную мощность осветительной установки всего помещения:

$$P_{\text{уст}} = P_{\text{уд}} \cdot S;$$

– находят общее число светильников N этой установки:

$$N = P_{\text{уст}} / n \cdot P_{\text{л}},$$

где n – число ламп в светильнике; $P_{\text{л}}$ – мощность 1 лампы светильника;

– задаются числом линий светильников по ширине помещения « n_B » и определяют число светильников в линии $N_{\text{л}}$:

$$N_{\text{л}} = N/n_B.$$

Размещают светильники по длине помещения A (с учетом рекомендаций, приведенных выше)

$$l_A = A/N_{\text{л}},$$

а также по ширине B

$$l_B = B/n_B.$$

Пример 5.4. Рассчитайте электроосветительную установку в учебной аудитории образовательного учреждения. Площадь аудитории $S = A \times B = 12 \times 8 = 96 \text{ м}^2$.

Для освещения предусмотрены светильники ЛС002 (на 2 люминесцентные лампы по $P_{\text{л}} = 40$ Вт каждая). Светильники предполагается установить на высоте $h = 2,2$ м над освещаемой поверхностью. Коэффициенты отражения $\rho_{\text{п}} = 70 \%$, $\rho_{\text{с}} = 50 \%$, $\rho_{\text{расч}} = 10 \%$ (потолок побелен, стены светлые).

Определите количество светильников, потребное для обеспечения нормированного освещения $E_{\text{н}} = 400$ лк.

Решение. В качестве примера в табл. 5.3 приведены значения для некоторых объектов.

1. По табл. 5.2 находим величину удельной мощности при $E = 100$ лк.

$$P_{\text{уд}100} = 5,7 \text{ Вт/м}^2.$$

Таблица 5.3

Примеры значения нормированной освещенности

Помещения	Нормированная освещенность	
	Газоразрядные лампы	Лампы накаливания
Коридоры и проходы в зданиях	50	20
Сварочное отделение	200	150
Слесарно-механическое отделение	300	150
Учебные аудитории	400	200
Проектные залы и комнаты	500	300
Помещение, где требуется выполнение работ наивысшей точности (размер объекта от 0,15 мм)	5000	4000

2. Пересчитываем значение удельной мощности при $E_H = 400$ лк:

$$P_{уд} = P_{уд100} \cdot E_H / 100 = 5,7 \cdot 4 = 22,8 \text{ Вт.}$$

3. Определяем суммарную установленную мощность электроосветительной установки аудитории:

$$P_{уст} = P_{уд} \cdot S = 22,8 \cdot 96 = 2188,8 \text{ Вт.}$$

4. Находим количество светильников, имея в виду, что мощность ламп каждого $P_{св} = 2P_{л} = 80$ Вт:

$$N = P_{уст} / P_{св} = 2188,8 / 80 = 27,3 \text{ шт.}$$

К установке принимается 28 светильников. Размещение светильников можно принять согласно рис. 3.8, б.

5. Принимаем 4-рядное размещение светильников по ширине ($n_B = 4$), тогда в каждом ряду будет 7 светильников:

$$N_{л} = N / n_B = 28 / 4 = 7 \text{ светильников,}$$

т.е. по длине помещения число рядов будет равно $n_A = 7$.

6. Расстояние между линиями светильников по ширине будет равно

$$l_B = B / n_B = 8 / 4 = 2 \text{ м},$$

а от светильников крайних линий до стен $l_B / 2 = 1 \text{ м}$.

7. Расстояние между светильниками по длине $n_A = 7$, так как число рядов по длине равно 7, тогда:

$$l_A = A / n_A = 12 / 7 = 1,71 \text{ м},$$

а от торцов крайних светильников до стен $l_A / 2 = 1,71 / 2 = 0,85 \text{ м}$.

8. Проверим величину K

$$K = l_A / h = 2 / 2,2 = 0,91,$$

что вполне допустимо.

9. Проверим, установятся ли по габаритам выбранные светильники по длине потолка. Так как длина одного светильника $l = 1,27 \text{ м}$, то расстояние линии светильников $1,27 \cdot 7 = 8,89 \text{ м}$ при длине помещения $A = 12 \text{ м}$, т.е. светильники вполне устанавливаются.

Точечный метод расчета освещенности. Расчет освещенности в точке горизонтальной, вертикальной или наклонной плоскости точечным методом связан с определением светового потока, падающего от источника света любой формы на элементарную площадку, содержащую расчетную точку. Если излучатели точечные, то от каждого в расчетную точку может упасть только один луч. Если излучатели линейные, тогда в точку может сходить множество лучей, лежащих в одной плоскости. При точечных излучателях с известными кривыми силы света, вычисление суммарной освещенности в расчетной точке сводится к учету вклада в освещенность каждого излучателя.

Круглосимметричные точечные излучатели. Первоначально принимается, что поток лампы (при многоламповых светильниках – суммарный поток ламп) в каждом светильнике равен 1000 лм. Создаваемая в этом случае освещенность называется условной и обозначается e .

Величина e зависит от светораспределения светильника и геометрических размеров d и h .

Для определения e служат пространственные изолюксы условной горизонтальной освещенности (рис. П1–П8 Прил. 2), на которых находится точка с заданными d и h (d , как правило, определяется обмером

по масштабному плану), и e определяется путем интерполирования между значениями, указанными у ближайших изолукс. Аналогичные графики, но построенные по данным измерений, могут применяться для расчета местного освещения.

Пределы шкал на графиках отнюдь не определяют возможной области применения светильника. Если заданные d и h выходят за пределы шкал, в ряде случаев возможно обе эти координаты увеличить (уменьшить) в n раз так, чтобы точка оказалась в пределах графика, и определенное по графику значение e увеличить (уменьшить) в n^2 раз.

При отсутствии изолукс для данного светильника можно воспользоваться графиком для излучателя, имеющего по всем направлениям силу света 100 кд (рис. П11). Значение изолукс для светильника вычисляется пропорциональным пересчетом величин условной освещенности e_{100} рис. П11 на реальную величину e при силе света I_α , которая определяется по кривой силы света светильника I_α

$$e = e_{100} \frac{I_\alpha}{100}. \quad (5.4)$$

Пусть суммарное действие «ближайших» светильников создает в контрольной точке условную освещенность $\sum e$; действие более далеких светильников и отраженную составляющую приближенно учтем коэффициентом μ . Тогда для получения в этой точке освещенности E с коэффициентом запаса k лампы в каждом светильнике должны иметь поток:

$$\Phi = \frac{1000Ek}{\mu \sum e}. \quad (5.5)$$

По этому потоку подбирается ближайшая стандартная лампа, поток которой должен отличаться от рассчитанного в пределах от -10 до $+20$ %. При невозможности выбора лампы с таким допуском корректируется расположение светильников.

Формула (5.5) может использоваться также для определения E при известном Φ .

В качестве контрольных выбираются характерные точки освещаемой площади, в которых $\sum e$ имеет наименьшее значение.

Характерные контрольные точки для случая общего равномерного освещения показаны на рис. 5.3.

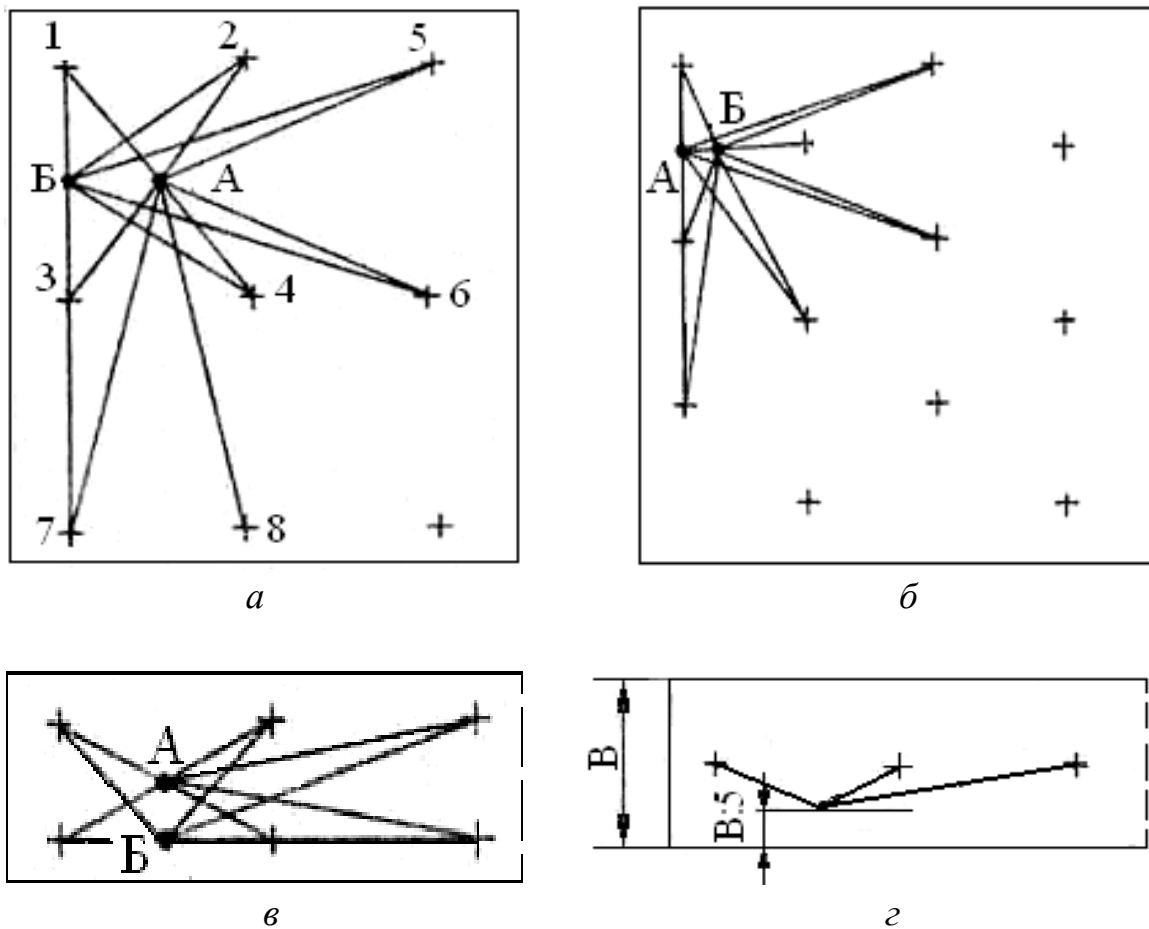


Рис. 5.3. Контрольные точки

При встречающемся учащенном расположении светильников рядами вдоль светотехнических мостиков контрольная точка выбирается между рядами на расстоянии от торцевой стены, примерно равном расчетной высоте.

В принципе не следует выискивать точки абсолютного минимума у стен или в углах: если в подобных точках есть рабочие места, задача доведения здесь освещенности до норм может быть решена увеличением мощности ближайших светильников или установкой дополнительных светильников.

Разнообразны схемы расчета локализованного освещения. Контрольные точки выбираются, как сказано выше, т.е. наихудшие в пределах поверхности, на которой должна быть обеспечена заданная E .

Мощности ламп, участвующих в освещении точки, могут быть и разными. Одна из употребительных схем расчета: предварительное определение мощности ламп, необходимой для равномерного освещения

помещения, и расчет мощности дополнительных ламп по разности между освещенностями, необходимой в точке и создаваемой равномерным освещением.

Трудно точно определить, какие светильники следует считать «ближайшими» и учитывать в $\sum e$.

Часто можно считать, что это светильники с трех наименьших расстояний d . На рис. 5.3 контрольные точки соединены линиями с теми светильниками, от которых обычно определяются значения e . Вообще же чем меньше $L:h$ и чем шире светораспределение светильников, тем большую роль играют «удаленные» светильники и тем тщательнее следует их учитывать.

Во всех случаях при определении $\sum e$ не должны учитываться светильники, реально не создающие освещенности в контрольной точке из-за затенения оборудованием или самим рабочим при его нормальном фиксированном положении у рабочего места.

Значение μ чаще всего можно принимать в пределах 1,1–1,2; оно зависит от коэффициентов отражения поверхностей помещения, характера светораспределения, тщательности учета «удаленных» светильников и т.д.

Пример 5.5. В помещении, часть которого показана на рис. 5.3, *а*, требуется обеспечить $E = 50$ лк при $k = 1,3$. Светильники УПД подвешены на высоте 3 м. Размеры полей 6×4 м.

Решение. Расстояние d определяем обмером по масштабному плану. Значение e определяем по графику рис. ПЗ Прил. 2. Расчеты сводим в табл. 5.4. Наихудшей оказывается точка 5, по освещенности которой определяем необходимый поток, принимая $\mu = 1,1$:

$$\Phi = \frac{1000 \cdot 50 \cdot 1,3}{1,1 \cdot 20} = 2950 \text{ лм.}$$

По табл. 2.1 выбираем лампу 200 Вт.

Излучатели, длина которых превышает половину расчетной высоты A , рассматриваются как светящие линии. Характеристиками светящих линий являются продольная и поперечная кривые силы света элементов, образующих линию, и линейная плотность светового потока ламп Φ' . Поперечная кривая задается каталожными данными.

Таблица 5.4

Расчет к примеру 5.5

Точка	Номера светильников	Расстояние d , м	Условная освещенность, лк	
			от одного светильника	от всех светильников
А	1, 2, 3, 4	3,6	5,6	22,4
	5, 6	6,7	0,4	0,8
	7, 8	9,2	0,1	0,2
				$\sum e = 23,4$
Б	1, 3	3	8,0	16
	2, 4	5	1,8	3,6
	5, 6	8,5	0,15	0,3
	7	9	0,1	0,1
				$\sum e = 20,0$

Плотность потока определяется делением суммарного потока ламп в линии Φ на ее длину L , причем линии с равномерно распределенными по их длине разрывами λ рассматриваются при расчете как непрерывные, если $\lambda < 0,5h$, и под L понимается габаритная длина линии. Для протяженных линий с такими же разрывами можно считать

$$\Phi' = \frac{\Phi}{l + \lambda}, \quad (5.6)$$

где Φ – поток ламп в сплошном элементе длиной l .

При $\lambda > 0,5h$ для каждого сплошного участка линии отдельно определяется Φ' и создаваемая этим участком освещенность. Расчетные графики и таблицы позволяют определить относительную освещенность ε (т.е. при $\Phi' = 1000$ лм/м и $h = 1$ м), причем непосредственно определяется освещенность точек, лежащих против конца линии. Освещенность других точек определяется путем разделения линий на части или дополнения их воображаемыми отрезками, освещенность от которых затем вычитается (рис. 5.4). При общем равномерном освещении контрольные точки, как правило, выбираются посередине между рядами светильников.

При большой длине рядов (начиная примерно от $2h$) сильно сказывается уменьшение освещенности у их концов (вдвое по сравнению с освещенностью центральных участков при рядах неограниченной длины).

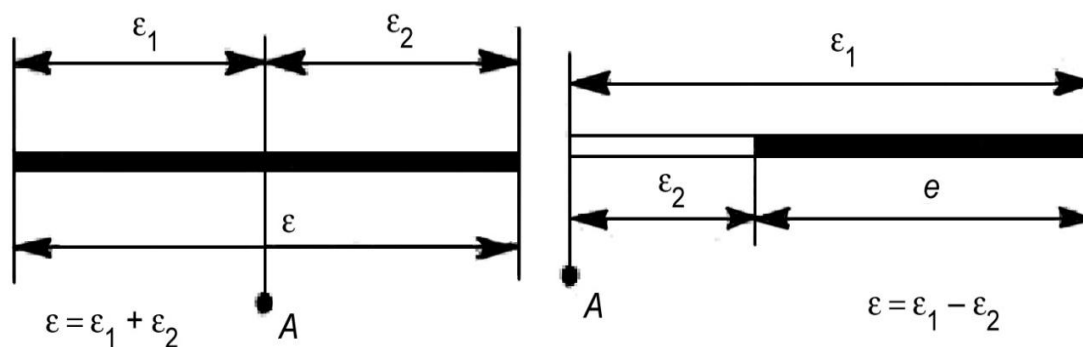


Рис. 5.4. Освещенность точек, не лежащих против конца линии

Для компенсации этого достаточно или продлить линию на $0,5A$ за пределы освещаемой поверхности, или на такой же длине у границ этой поверхности осуществить двойное значение Φ' , или дополнить продольные ряды светильников замыкающими их поперечными. При принятии одной из этих мер контрольная точка может выбираться против середины рядов.

При общем освещении больших помещений часто указанной компенсации не предусматривается в предположении, что непосредственно у торцовых стен работ не производится, ряды доводятся до торцовых стен и контрольная точка выбирается на расстоянии примерно h от последних.

Для определения ε наиболее удобны графики линейных изолюкс (рис. П9–П10 Прил. 2). При пользовании ими по плану обмеряются размеры p и L (рис. 5.5), находятся отношения $p' = p:h$ и $L' = L:h$ и для точки на графике с координатами p' и L' определяется ε . Линии, для которых $L' > 4$, при расчетах практически могут рассматриваться как неограниченно длинные.

Суммирование значений ε от ближайших рядов или их частей, освещающих точку, дает $\sum \varepsilon$, коэффициент μ принимается, как и выше, и находится необходимая линейная плотность потока:

$$\Phi' = \frac{1000Ekh}{\mu \sum \varepsilon}, \quad (5.7)$$

на основании чего осуществляется компоновка линий.

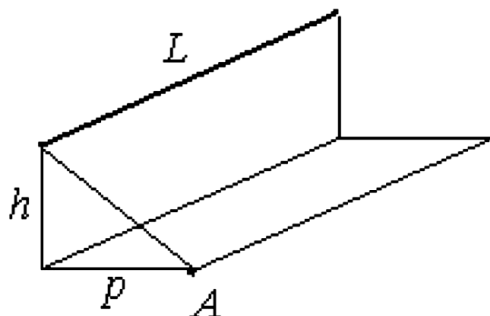


Рис. 5.5. Размеры, определяющие положение линии по отношению к контрольной точке

Для компоновки линий применяются два практических приема:

- 1) находится общий необходимый поток ламп в линии, как $\Phi' \cdot L$, после этого производится компоновка линии;
- 2) если линия достаточно длинная и правомерно пользование формулой (5.6), то, придавая Φ возможные значения, находим

$$l + \lambda = \frac{\Phi}{\Phi'} \quad (5.8)$$

и, понимая здесь под l длину светильника, выбираем подходящий вариант.

Формула (5.7) может быть использована также для определения E при заданном Φ' .

Контрольные вопросы

1. Каково назначение метода коэффициента использования светового потока?
2. Как определить индекс помещения?
3. В каких случаях можно пользоваться методом удельной мощности?
4. В чем заключается точечный метод расчета освещенности?
5. Как учитывается отраженный свет при расчетах?

ГЛАВА 6. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАСЧЕТА ЦЕПЕЙ

Расчет электрических осветительных цепей имеет целью определение сечения проводов, гарантирующих необходимые напряжения на источниках света, допустимые плотности тока (не вызывающие перегрева токоведущих жил проводов) и необходимую механическую прочность сети. Основным является расчет сети по величине расчетных потерь напряжения.

Полные располагаемые потери напряжения на стороне низкого напряжения трансформаторной подстанции, выражаемые в процентах от номинального напряжения лампы U_n , определяются как разность между напряжением холостого хода трансформатора U_{xx} и допустимым напряжением на наиболее удаленных лампах U_l :

$$\Delta U = \frac{(U_{xx} - U_l) \cdot 100}{U_n}. \quad (6.1)$$

Напряжение холостого хода трансформатора составляет 400/230 или 230/133 В; первое предназначено для питания ламп номинального напряжения 220 В, второе – для питания ламп 127 В.

Допустимое отклонение напряжения определяется в соответствии с ГОСТ 13109-87. В электрических осветительных сетях рабочего освещения, прокладываемых внутри производственных и общественных зданий, а также в сетях, питающих прожекторные установки наружного освещения, на наиболее удаленных лампах должно гарантироваться напряжение не ниже 97,5 % от номинального. В сетях наружного освещения, выполненного светильниками, в сетях жилых зданий, а также в сетях аварийного освещения допускается снижение напряжения на наиболее удаленных лампах до 95 %. Наибольшее напряжение на лампах не должно превышать 105 % их номинального значения.

В сетях пониженного напряжения (12 и 36 В) допускаются его потери до 10 %, считая от выводов обмотки низшего напряжения понижающего напряжения трансформатора.

Полные располагаемые потери напряжения распределяются между источниками питания (внутренние потери в трансформаторе) и электрической сетью. Следовательно, *расчетные потери напряжения в сети* от щита низкого напряжения трансформаторной подстанции до наиболее удаленной лампы определяются как разность между полными

располагаемыми потерями напряжения ΔU и его потерями напряжения внутри трансформатора ΔU_T :

$$\Delta U_C = \Delta U - \alpha \Delta U_T, \quad (6.2)$$

где α – коэффициент, равный отношению напряжения холостого хода трансформатора к номинальному напряжению сети.

6.1. Расчет двухпроводных сетей переменного тока

Рассмотрим однородную однофазную трехпроводную сеть переменного тока, изображенную на рис. 6.1. Нагрузки вдоль линии заданы значениями нагрузочных токов в амперах (i) и *коэффициентом мощности* ($\cos \varphi$); длины отдельных участков в метрах и их сопротивления в омах обозначены через l и r с индексами, соответствующими номеру участка. Токи, протекающие по участкам линии, обозначим через I , а длины отрезков линии и их сопротивления, считая от источников питания до точки приложения нагрузок, через D и R .

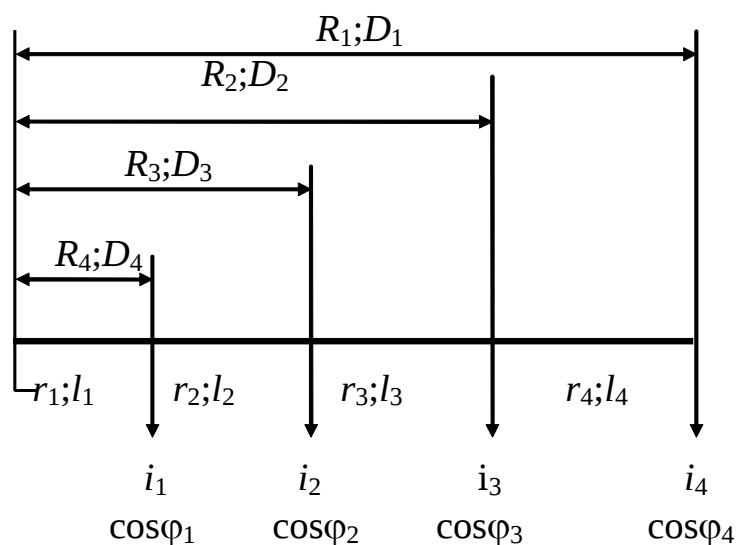


Рис. 6.1. Схема двухпроводной сети переменного тока

Обозначив через U_1 и U_2 напряжения в начале и конце линии в вольтах и считая коэффициенты мощности нагрузок одинаковыми, выразим *потерю напряжения* в фазном и нулевом проводе рассматриваемой линии:

$$\Delta U = U_1 - U_2 = 2 (I_1 r_1 + I_2 r_2 + I_3 r_3 + I_4 r_4) \cos \varphi. \quad (6.3)$$

Для линии с n нагрузками, очевидно, будем иметь:

$$\Delta U = 2 \cos \varphi \sum (I \cdot r). \quad (6.4)$$

Как следует из схемы рис. 6.1, токи на участках линии и нагрузочные токи, а также сопротивления связаны между собой соотношениями:

$$\begin{aligned} I_1 &= i_1 + i_2 + i_3 + i_4; \quad I_2 = i_2 + i_3 + i_4; \quad I_3 = i_3 + i_4; \quad I_4 = i_4; \\ R_1 &= r_1; \quad R_2 = r_1 + r_2; \quad R_3 = r_1 + r_2 + r_3; \quad R_4 = r_1 + r_2 + r_3 + r_4. \end{aligned}$$

Заменяя токи, протекающие через отдельные участки сети, через нагрузочные токи и сопротивления участков – через сопротивления отрезков линии от источников питания до места приложения соответствующей нагрузки, получаем потерю напряжения в одной фазе:

$$\Delta U_{\Phi} = 2 \cos \varphi \sum (iR). \quad (6.5)$$

Для линии, однородной по всей длине, уравнение (6.5) можно переписать в виде:

$$\Delta U_{\Phi} = \frac{2 \cos \varphi}{\gamma S} \cdot \sum (iD), \quad (6.5a)$$

где γ – удельная проводимость, м/(Ом · мм²); S – сечение провода, мм²; D – длина отрезков линии от источника питания до места приложения нагрузки, м.

В практических условиях нагрузка потребителей обычно задается не токами, а мощностями, выраженными в кВт. При этом в уравнении (6.5a) удобнее нагрузочные токи заменить мощностями подключенных к данной точке источников света.

Считая с некоторым приближением напряжения в точках приложения нагрузок равными номинальному напряжению сети (U), уравнение (6.5) можно переписать в виде:

$$\Delta U_{\Phi} = \frac{2}{\gamma S U_{\Phi}} \cdot \sum (PD), \quad (6.5b)$$

где P – мощность потребителей, Вт.

Выражая нагрузку в киловаттах и потерю напряжения в процентах номинального напряжения, получаем:

$$\Delta U\% = \frac{2 \cdot 10^5}{\gamma S U_{\phi}^2} \cdot \sum(PD). \quad (6.6)$$

Произведение PD принято называть *моментом нагрузки* и обозначать буквой M .

Учитывая, что для определенных условий расчета напряжение сети и материал провода являются заданными, уравнение (6.4) можно окончательно записать в виде:

$$\Delta U\% = \frac{\sum M}{cS}, \quad (6.6a)$$

где $c = \gamma \cdot U_{\phi}^2 / 2 \cdot 10^5$.

Из уравнения (6.6a) следует, что при нагрузках, выраженных в киловаттах, величина потери напряжения не зависит от коэффициентов мощности сети. Однако при низких значениях коэффициента мощности резко возрастает рабочий ток при той же мощности нагрузки, что необходимо иметь в виду при проверке сети на допустимую плотность тока.

Пример 6.1. Определите потерю напряжения в групповой однофазной линии переменного тока напряжением 220 В, питающей светильники с лампами ДРЛ мощностью 500 Вт. Сеть однородна и выполнена по всей длине медным проводом марки ПР сечением 2,5 мм², проложенным открыто на изоляторах.

Нагрузки и их распределение вдоль линии указаны на рис. 6.2. Длины отдельных участков линии обозначены подчеркнутыми цифрами. Коэффициент мощности нагрузки $\cos \varphi = 0,55$. Потери в балластах составляют 20 % мощности линии.

Решение. Пользуясь уравнением (6.6a) и выбирая из табл. 6.1 значение постоянной $c = 12,8$, получаем:

$$\Delta U = \frac{\sum M}{cS} = \frac{1,2}{12,8 \cdot 2,5} (0,5 \cdot 10 + 0,5 \cdot 16 + 0,5 \cdot 22 + 0,5 \cdot 28) = 1,43 \%.$$

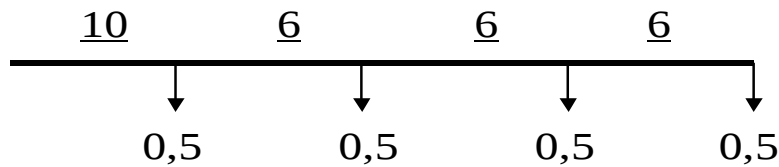


Рис. 6.2. К примеру расчета однофазной линии переменного тока

Таблица 6.1

Значение коэффициента c

Номинальное напряжение сети, В	Система сети и род тока	Значение коэффициента c	
		Медные провода	Алюминиевые провода
380/220	Трехфазная с нулевым проводом	77	46
380/220	Двухфазная с нулевым проводом	34	20
220	Двухпроводная переменного или постоянного тока	12,8	7,7
220/127	Трехфазная с нулевым проводом	25,6	15,5
220/127	Двухфазная с нулевым проводом	11,4	6,9
127	Двухпроводная переменного или постоянного тока	4,3	2,6
127	Трехфазная	8,6	5,2
110	Двухпроводная переменного или постоянного тока	3,2	1,9
36	То же	0,34	0,21
24	То же	0,153	0,092
12	То же	0,038	0,023

6.2. Расчет пятипроводных (трехфазных) сетей переменного тока

Равномерно нагруженные цепи. Групповые линии освещения могут быть одно-, двух- и трехфазными в зависимости от их протяженности и числа присоединенных светильников. При этом в двух- и трехфазных групповых линиях запрещается использование предохранителей и однополюсных автоматических выключателей. Однофазные групповые линии следует выполнять трехпроводными, двухфазные – четырехпроводными и трехфазные – пятипроводными с отдельными № (нулевым рабочим) и PE (нулевым защитным) проводниками [12].

Трехфазные сети переменного тока имеют широкое распространение, так как позволяют передавать необходимую мощность при более высоком линейном напряжении.

В трехфазных сетях переменного тока необходимо стремиться к равномерной нагрузке фаз, определяемой равенством нагрузок по ним, так как в противном случае в нулевом проводе появляются уравнивающие токи и в разных фазах сети возникают различные потери напряжения.

Рассмотрим трехфазную сеть переменного тока, представленную на рис. 6.3. Для того чтобы убедиться, что сеть нагружена равномерно, подсчитаем моменты нагрузки каждой фазы:

$$\Sigma M_1 = pl + p6l = 7pl;$$

$$\Sigma M_2 = p2l + p5l = 7pl;$$

$$\Sigma M_3 = p3l + p4l = 7pl.$$

Отсюда $\Sigma M_1 = \Sigma M_2 = \Sigma M_3$, что является неперменным и достаточным условием равномерной нагрузки фаз.

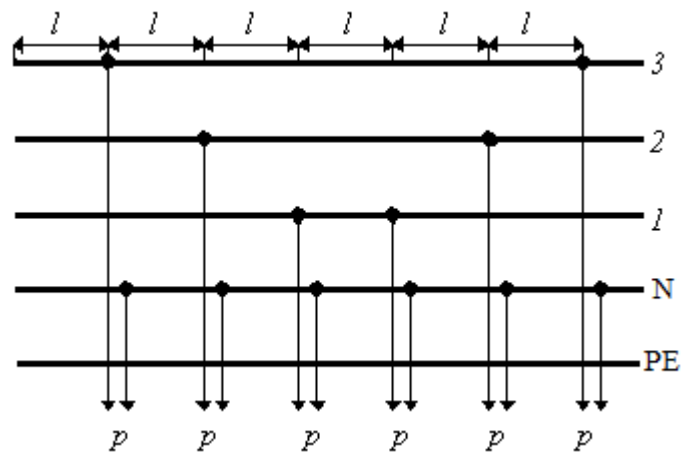


Рис. 6.3. Схема пятипроводной (трехфазной) сети переменного тока

В трехфазной сети при равномерной нагрузке фаз токи в фазных проводах равны между собой и имеют одинаковый сдвиг фаз по отношению к фазным напряжениям, что позволяет определить потерю напряжения, а затем перейти к определению полной его потери во всех трех фазах.

Учитывая, что в равномерно нагруженной трехфазной сети по нулевому проводу ток не протекает и обратным проводом в каждой из фаз является один из проводов двух других, потеря напряжения в фазе на основании уравнения (6.5) определится как

$$\Delta U_{\phi} = \frac{\cos \varphi}{\gamma S} \cdot \sum (iD). \quad (6.7)$$

Выражая ток через суммарную мощность нагрузки всех трех фаз

$$i = \frac{P}{3U_{\phi} \cos \varphi},$$

получаем полную потерю напряжения в трехфазной линии:

$$\Delta U_{\phi} = \frac{0,33}{U_{\phi} \gamma S} \cdot \sum (PD). \quad (6.8)$$

Выражая нагрузку в киловаттах и потерю напряжения в процентах номинального напряжения, окончательно получаем:

$$\Delta U\% = \frac{0,33 \cdot 10^5}{\gamma S U_{\phi}^2} \cdot \sum (PD) \quad (6.9)$$

или

$$\Delta U\% = \frac{\sum M}{cS}, \quad (6.9a)$$

где $c = \gamma \cdot U_{\phi}^2 / 2 \cdot 10^5$.

Пример 6.2. Определите наибольшую потерю напряжения в сети, изображенной на рис. 6.4. Питающая сеть выполнена трехфазной (пятипроводной), групповые линии однофазные (трехпроводные). Все линии выполнены проводом с медными жилами марки ПР, проложенным на изоляторах, сечение питающей сети – 4 мм^2 , групповых линий – $2,5 \text{ мм}^2$. Нагрузка чисто активная – светильники с лампами накаливания мощностью 750 Вт. Напряжение сети – 380/220 В.

Решение. Потерю напряжения в трехфазной пятипроводной питающей линии на участке АБ определим из уравнения (6.9a), принимая постоянную c из табл. 6.1, равную 77:

$$\Delta U_{AB} = \frac{\sum M}{cS} = \frac{15 \cdot 0,75 \cdot 20}{77 \cdot 4} = 0,73\%.$$

Для двухфазных линий БВ определяем сумму моментов нагрузки:

$$\sum M = 0,75 \cdot 10 + 0,75 \cdot 16 + 0,75 \cdot 22 + 0,75 \cdot 28 + 0,75 \cdot 34 = 82,5.$$

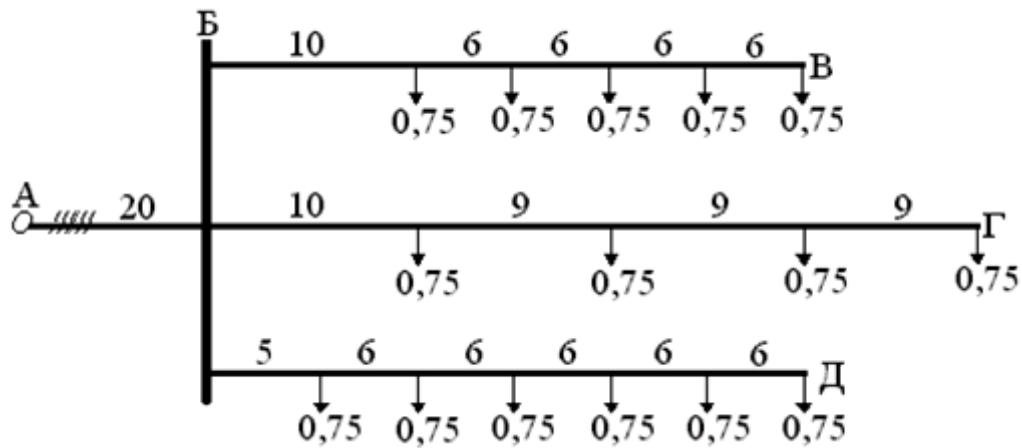


Рис. 6.4. К примеру расчета трехфазной сети переменного тока

Момент нагрузок для равномерно распределенной нагрузки может быть рассчитан упрощенно. Для этого в центре их расположения нагрузок приложим нагрузку, равную сумме всех нагрузок линии (см. рис. 6.4). Произведение этой нагрузки на плечо, равное расстоянию от щитка до точки приложения суммарной нагрузки, будет равно сумме моментов всех нагрузок. Принимая постоянную $c = 12,8$ из табл. 6.1 для однофазной линии 220 В, потери напряжения в групповых линиях будут равны:

$$\Delta U_{БВ} = \frac{1}{12,8 \cdot 2,5} \cdot 5 \cdot 0,75 \cdot (10 + 12) = 2,58 \, \%.$$

Аналогично для двух других групп:

$$\Delta U_{БГ} = \frac{1}{12,8 \cdot 2,5} \cdot 4 \cdot 0,75 \cdot (10 + 8) = 2,62 \, \%.$$

$$\Delta U_{БД} = \frac{1}{12,8 \cdot 2,5} \cdot 6 \cdot 0,75 \cdot (5 + 15) = 2,82 \, \%.$$

Как следует из результатов расчета, наибольшая потеря напряжения будет на участке АД:

$$\Delta U_{АД} = \Delta U_{АБ} + \Delta U_{БД} = 0,68 + 2,82 = 3,5 \, \%.$$

6.3. Расчет двухфазных сетей переменного тока

Необходимость в двухфазных сетях переменного тока возникает в тех случаях, когда сечения проводов трехфазных сетей, рассчитанные по потере напряжения, не отвечают требованиям механической прочности, а сечения однофазных двухпроводных сетей, обеспечивающие необходимое напряжение на источниках света, получаются чрезмерно большими.

Рассмотрим двухфазную сеть, представляющую собой ответвление от трехфазной сети, чисто активная нагрузка которого распределена равномерно между обеими фазами (рис. 6.5).

Для определения потери напряжения обратимся к векторной диаграмме, приведенной на рис. 6.6. Векторы $0I$, $0II$ и $0III$ выражают фазные напряжения в начале ответвления. Ток I_0 , протекающий по нулевому проводу, вызывает в нем падение напряжения $\Delta U_0 = I_0 \cdot r_0$, смещающее нулевую точку диаграммы в новое положение ($0'$).

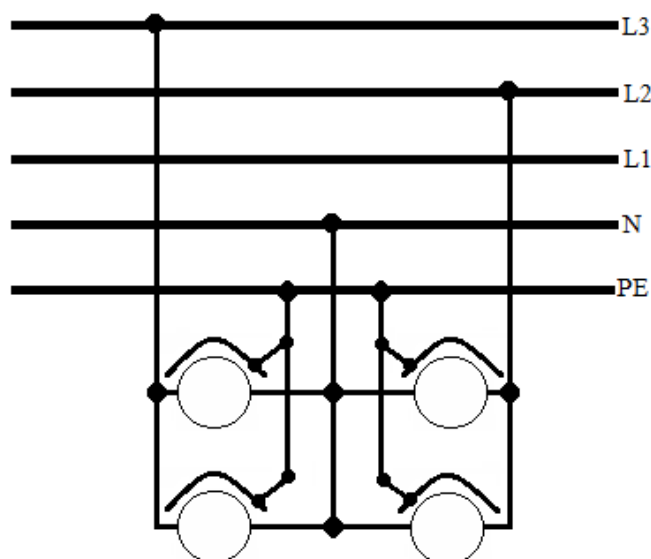


Рис. 6.5. Схема трехпроводной (двухфазной) цепи переменного тока

Так как падение напряжения в нулевом проводе значительно меньше фазного напряжения, то можно приближенно считать угол между направлениями токов I_0 и I_1 (I_2) равным 60° , откуда следует для двухфазной равномерно нагруженной сети соотношение:

$$I_0 = I_1 = I_2.$$

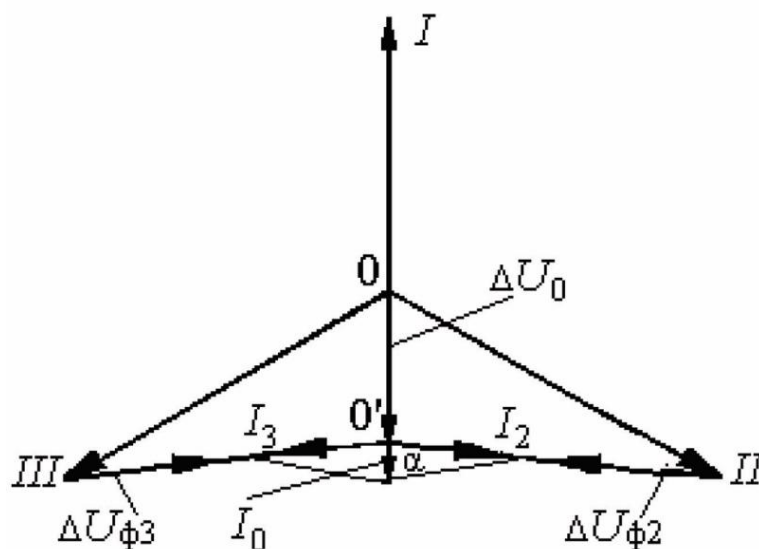


Рис. 6.6. Векторная диаграмма токов и напряжений двухфазной сети

Приведенное соотношение говорит о равенстве токов в нулевом и фазных проводах двухфазной сети, что предопределяет необходимость в одинаковых сечениях всех проводов такой сети.

Потеря напряжения в первой, согласно векторной диаграмме, определится из:

$$\Delta U_1 = \Delta U_{\Phi 1} + \Delta U_0 \cdot \cos \alpha = I_1 r_1 + 0,5 I_0 r_0, \quad (6.10)$$

где $\Delta U_{\Phi 1}$ – потеря напряжения в фазном проводе; $\Delta U_0 \cdot \cos \alpha$ – потеря напряжения в нулевом проводе, вызываемая током первой фазы.

Перейдя к n нагрузкам и учитывая, что сечение фазного и нулевого проводов равны между собой, а также равны токи в фазном и нулевом проводах, уравнение (6.10) можно переписать в виде:

$$\Delta U_1 = 1,5 \sum I r = 1,5 \sum i R. \quad (6.10a)$$

Считая линию однородной по всей длине и выражая ток через суммарную мощность нагрузок обеих фаз ($p = 2iU_{\Phi}$), получаем полную потерю напряжения в линии:

$$\Delta U_{\Phi} = \frac{0,75}{\gamma S U_{\Phi}} \cdot \sum p D. \quad (6.11)$$

Выражая нагрузку в киловаттах и потерю напряжения в процентах номинального напряжения, окончательно получаем:

$$\Delta U\% = \frac{0,75 \cdot 10^5}{\gamma S U_{\phi}^2} \cdot \sum pD \quad (6.12)$$

или

$$\Delta U\% = \frac{\sum M}{cS}, \quad (6.12a)$$

где $c = \gamma \cdot U_{\phi}^2 / 0,75 \cdot 10^5$.

Анализ уравнений (6.6a), (6.9a) и (6.12a) показывает, что потеря напряжения в сетях различных систем при активной, равномерно распределенной нагрузке определяется суммой моментов нагрузок ($\sum M$), сечением проводов сети (S) и постоянной для данной сети величиной c . Значения коэффициента c , зависящего от материала провода, напряжения сети и числа проводов, приведены ранее в табл. 6.1.

В практических условиях для упрощения расчетов широко используются таблицы моментов нагрузок, в которых для существующих сечений проводов и различных значений потерь напряжения (обычно от 0,2 до 5 %) рассчитаны предельные значения момента нагрузки. Такие таблицы составляются для определенного напряжения, системы сети и материала проводов.

6.4. Расчет электрических осветительных сетей на минимум проводникового материала

Анализ вопроса об экономичности осветительных сетей показывает, что *оптимальная по экономическим показателям сеть* – это сеть, расход проводникового материала в которой минимален.

Для практических расчетов разветвленных сетей на минимум проводникового материала обычно пользуются уравнением, аналогичным рассмотренному выше, но решенным относительно сечения проводов рассчитываемого участка электрической сети:

$$S = \frac{\sum M + \sum \alpha m}{c \Delta U}, \quad (6.13)$$

где S – сечение рассчитываемого участка, мм^2 ; $\sum M$ – сумма моментов рассчитываемого и всех последующих участков с тем же числом проводов, как у рассчитываемого, $\text{кВт} \cdot \text{м}$; $\sum \alpha m$ – сумма моментов всех ответвлений рассчитываемого участка, но с числом проводов, отличным от количества проводов в рассчитываемом участке, $\text{кВт} \cdot \text{м}$; α – коэффициент приведения моментов, определяемый из табл. 6.2; c – коэффициент, зависящий от системы сети, напряжения в сети и материала провода (табл. 6.1); ΔU – величина располагаемой потери напряжения в процентах номинального напряжения.

Пользуясь приведенным уравнением, вначале определяют сечение *головного участка*. Округляя рассчитанное сечение до ближайшего большего по стандарту, определяют фактическую потерю напряжения на головном участке по величине момента нагрузки для такого участка, т.е. произведение суммарной нагрузки на его длину.

Таблица 6.2

Коэффициенты приведения моментов

Линия	Ответвление	Значение коэффициента α
Трехфазная с нулем	Однофазное	1,83
То же	Двухфазное с нулем	1,37
Двухфазная с нулем	Однофазное	1,33
Трехфазная	Двухфазное	1,15

Сечения последующих участков и всех ответвлений определяют в той же последовательности, но в каждом случае расчет ведут по величине располагаемой потери напряжения за вычетом этой потери напряжения на всех участках сети, предшествующих рассчитываемому, что обеспечивает такое распределение потерь напряжения по отдельным участкам, при котором суммарный расход проводникового материала во всей сети становится минимальным.

Для иллюстрации изложенного метода рассмотрим схему расчета осветительной сети, приведенной на рис. 6.7. Число проводов на каждом участке обозначено черточками, защитный *РЕ* проводник указан. Величина располагаемой потери напряжения для всей сети равна ΔU .

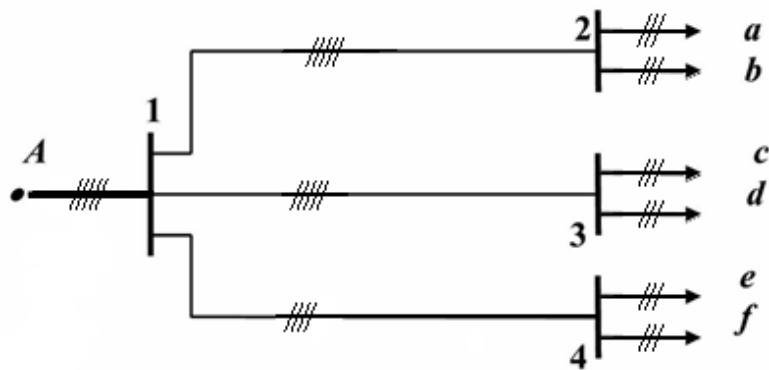


Рис. 6.7. К расчету электрической осветительной сети на минимум проводникового материала

Определим сечение на участке $A-1$:

$$S_{A-1} = \frac{M_{A-1} + M_{1-2} + M_{1-3} + \alpha_{4-3}m_{1-4} + \alpha_{4-2}(m_{2-a} + m_{2-b} + \dots + m_{4-e})}{c_4 \Delta U}.$$

По рассчитанному сечению, округляя его до ближайшего большего по стандарту, находим величину фактической потери напряжения на участке $A-1$:

$$\Delta U_{A-1} = \frac{M_{A-1}}{c_4 S_{A-1}}.$$

Сечение на участке $1-2$ определится как:

$$S_{1-2} = \frac{M_{1-2} + \alpha_{4-2}(m_{2-a} + m_{2-b})}{c_4(\Delta U - \Delta U_{A-1})}.$$

Соответственно сечение на участке $1-3$:

$$S_{1-3} = \frac{M_{1-3} + \alpha_{4-2}(m_{3-c} + m_{3-d})}{c_4(\Delta U - \Delta U_{A-1})}.$$

Сечение на участке $1-4$:

$$S_{1-4} = \frac{M_{1-4} + \alpha_{3-2}(m_{4-e} + m_{4-f})}{c_3(\Delta U - \Delta U_{A-1})}.$$

Сечение групповых линий определяется по величине располагаемой потери напряжения за их вычетом на предшествующих участках питающей сети:

$$S_{2-a} = \frac{m_{2-a}}{c_2(\Delta U - \Delta U_{A-1} - \Delta U_{1-2})}$$

или

$$S_{4-e} = \frac{m_{4-e}}{c_2(\Delta U - \Delta U_{A-1} - \Delta U_{1-4})}.$$

6.5. Расчет проводов по условиям нагревания и проверка на механическую прочность

Задачей расчета проводов по условиям нагревания является определение величины тока, не вызывающего при длительном протекании превышения температуры жил провода сверх предела, устанавливаемого ПУЭ, для определенной конструкции провода. Так, для проводов с резиновой изоляцией предельно допустимая температура токоведущих жил составляет 65 °С, для неизолированных проводов – 70 °С, для кабелей с бумажной изоляцией (до 3 кВт) – 80 °С.

Приведенные данные показывают, что значение *длительного допустимого тока* повышается с увеличением сечения проводника (токопроводящей жилы), однако допустимая плотность тока I_H/S при этом уменьшается, что объясняется более быстрым ростом сечения проводника по сравнению с ростом его охлаждаемой поверхности.

По допустимому нагреву должны быть проверены все участки электрической осветительной сети. При этом должно соблюдаться следующее соотношение:

$$I_H \geq I_p, \quad (6.14)$$

где I_p – рабочий ток на участке, А.

Значение *рабочего тока* для каждого из участков сети в зависимости от расчетной нагрузки и конфигурации рассматриваемого участка сети определяется по формулам:

$$I_P = \frac{P \cdot 10^3}{U_{\phi} \cdot \cos\varphi} - \text{однофазная сеть};$$

$$I_P = \frac{P \cdot 10^3}{2U_{\phi} \cdot \cos\varphi} - \text{двухфазная сеть};$$

$$I_P = \frac{P \cdot 10^3}{3U_{\phi} \cdot \cos\varphi} - \text{трехфазная сеть.} \quad (6.15)$$

Условие (6.14) гарантирует пожарную безопасность и нормальный срок амортизации проводов. Однако в аварийных режимах возможны значительные перегрузки и короткие замыкания, которые могут явиться причиной возникновения пожара.

В ПУЭ указывается, что нулевые рабочие N и нулевые защитные проводники PE , как правило, имеют одинаковое сечение с фазными проводниками.

Однофазные двух- и трехпроводные линии, а также трехфазные четырех- и пятипроводные линии при питании однофазных нагрузок должны иметь сечение нулевых рабочих N проводников, равное сечению фазных проводников.

Трехфазные четырех- и пятипроводные линии при питании трехфазных симметричных нагрузок должны иметь сечение нулевых рабочих N проводников, равное сечению фазных проводников, если фазные проводники имеют сечение до 16 мм^2 по меди и 25 мм^2 по алюминию, а при больших сечениях – не менее 50 % сечения фазных проводников, но не менее 16 мм^2 по меди и 25 мм^2 по алюминию.

Сечение PEN проводников должно быть не менее сечения N проводников и не менее 10 мм^2 по меди и 16 мм^2 по алюминию независимо от сечения фазных проводников.

Сечение PE проводников должно равняться сечению фазных при сечении последних до 16 мм^2 , 16 мм^2 при сечении фазных проводников от 16 до 35 мм^2 и 50 % сечения фазных проводников при больших сечениях. Сечение PE проводников, не входящих в состав кабеля, должно быть не менее $2,5 \text{ мм}^2$ – при наличии механической защиты и 4 мм^2 – при ее отсутствии [13].

Для защиты электрических осветительных сетей от перегрузок и коротких замыканий служат предохранители или автоматические выключатели (автоматы), мгновенно отключающие поврежденный участок сети.

В сетях, защищаемых предохранителями, при перегрузках и коротких замыканиях происходит перегорание металлической плавкой вставки, что является результатом протекания по проводам тока, значительно превышающего номинальный ток плавкой вставки.

В последнее время для защиты электрических осветительных цепей стали широко применять автоматы с тепловыми или комбинированными (тепловыми и электромагнитными) расцепителями.

Тепловые расцепители надежно защищают сеть от перегрузок, а электромагнитные быстро отключают сеть при коротких замыканиях.

Аппараты защиты (предохранители или автоматы) должны устанавливаться в головных участках сети, а также в местах, где сечение проводников сети уменьшается.

Номинальные токи плавких предохранителей (I_B) и расцепителей автоматов (I_A) следует выбирать равными или близкими к рабочему току сети:

$$\begin{aligned} I_B &\geq I_p; \\ I_A &\geq I_p. \end{aligned} \quad (6.16)$$

Наряду с этим, сечения проводов и кабелей должны отвечать условию:

$$\begin{aligned} I_B &\geq \beta I_p; \\ I_A &\geq \beta I_p, \end{aligned} \quad (6.17)$$

где β – коэффициент, обуславливающий запас в сечении проводов, прокладываемых в помещениях, в которых электропроводка создает условия повышенной пожароопасности.

С учетом изложенного, выбор сечений проводов и кабелей по условиям нагревания должен осуществляться в следующем порядке:

1. Определяется рабочий ток I_p по уравнению (6.15) и проверяется соблюдение условий (6.14).
2. По рабочему току выбирается предохранитель или автомат в соответствии с уравнениями (6.16).
3. Проверяется соблюдение условия (6.17); если оно не соблюдается, то сечение проводника увеличивается.

Для облегчения выбора проводов по условиям среды составлена табл. 6.3, в которой приводятся характерные марки проводов и кабеля, наиболее распространенные способы прокладки в различных помещениях [30].

Сечения проводов, найденные в результате расчета по потере напряжения и допустимому нагреву, должны быть проверены на механическую прочность. Достаточная механическая прочность проводников должна быть гарантирована, чтобы исключался их обрыв или чрезмерное провисание во время эксплуатации.

Сечение проводников должно гарантировать достаточную механическую прочность при монтаже электрических осветительных сетей: протяжке через трубы и каналы, натяжении при креплении на опорах и пр.

Для выполнения перечисленных требований ПУЭ установлены минимально допустимые сечения проводников из условия достаточной механической прочности для различных условий прокладки электрических сетей.

Для зарядки светильников должны применяться гибкие провода с медными жилами. Минимальное сечение проводников для зарядки светильников общего освещения – $0,5 \text{ мм}^2$, местного освещения – 1 мм^2 . Для зарядки переносных светильников и бытовых электроприемников должны использоваться шланговые провода сечением не менее $0,75 \text{ мм}^2$.

Сечение неизолированных заземляющих алюминиевых проводов должно быть не менее 6 мм^2 , изолированных – $2,5 \text{ мм}^2$, медных – соответственно 4 и $1,5 \text{ мм}^2$.

Таблица 6.3

Выбор осветительных проводок по условиям среды

Вид электропроводки или способ прокладки	Характерные марки проводов и кабелей	Характеристика помещения по условиям среды									
		Сухое	Влажное	¹ Сырое	² Особо сырое	С химической средой	Пыльное	³ Жаркое	Пожароопасные ⁴ зоны	Взрывоопасные ⁵ зоны	Наружное
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
На изоляторах ⁶	АПВ, ПВ АПРИ, ПРИ	+	+	+	+	+	+	+	+	—	—
Непосредственно по строительным основаниям ⁸ на скобах, полосах	АВВГ, ВВГ, АВРГ, ВРГ, АНРГ, НРГ АПРФ, ПРФ,ПРФЛ	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
На тросах ⁸	АВВГ, ВВГ, АВРГ, ВРГ, АНРГ, НРГ	+	+	+	+	+	+	+	+	—	+
Тросовыми проводами	АРТ, АВТ	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—
На лотках и в коробах, изолированными проводами	АПВ, ПВ АПРТО, ПРТО	+	+	—	—	—	—	+	—	—	—
Плоскими проводами	АППВ, ППВ	+	+	+	—	—	—	+	—	—	—
В несгораемых каналах, пустотах	АПВ, ПВ АППВ, ППВ	+	+	+	+	—	+	+	—	—	—

Окончание табл. 6.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>В пластмассовых плинтусах</i>	АПВ, ПВ	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–
В стальных трубах	АПВ, ПВ АПРТО, ПРТО	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
В полиэтиленовых и полипропиленовых трубах (скрытая)	АПВ, ПВ АПРТО, ПРТО	+	+	+	+	+	+	–	–	–	+
Шинопроводы	ШОС-67, ШОС-80, ШРМ-75	+	+	–	–	–	–	+	–	–	–

Примечание. ¹ В сырых, особо сырых помещениях (в том числе в помещениях с сырой химически активной средой), в наружных установках провода и кабели, трубы, короба, опорные и несущие конструкции и т.п. должны быть влагостойкими. Допускается прокладка в уплотненных коробах и трубах проводов и кабелей с невлагостойкой изоляцией (например, марки АПРТО). Не разрешается в указанных помещениях прокладка изоляционных труб с металлической оболочкой, стальных труб, глухих коробов с толщиной стенок 2 мм и менее.

² Трубы, опорные и несущие конструкции и т.п. должны быть защищены от коррозии. Выбор проводникового материала (медь или алюминий) определяется в зависимости от условий среды, указываемой технологами.

³ Следует, в первую очередь, применять провода и кабели с обычной (нетеплостойкой) изоляцией при условии, что температура жил не будет превышать допустимых значений (достигается снижением токовых нагрузок на проводник). Применение теплостойких кабелей и проводов рекомендуется при температуре окружающей среды более 50 °С.

⁴ Расстояние от кабелей и изолированных проводов, прокладываемых открыто, до мест размещения горючих веществ должно быть не менее 1 м.

⁵ В зонах классов В-I и В-Iа должны применяться провода и кабели с медными жилами.

⁶ Прокладка проводов на изоляторах разрешена по любым (в том числе и сгораемым) основаниям.

⁷ Разрешается только при применении изолированных проводов с медными жилами. Провода с алюминиевыми жилами разрешается прокладывать в коробах с неперфорированными стенками и крышками.

⁸ Могут применяться кабели с полиэтиленовой изоляцией и оболочкой, за исключением взрыво- и пожароопасных мест и прокладки непосредственно по сгораемым основаниям.

Контрольные вопросы

1. На каком участке сети определяют полные располагаемые потери?
2. Как определяется момент нагрузки?
3. В чем состоят отличия в расчете двух- и четырехпроводных сетей переменного тока?
4. От каких параметров зависит величина коэффициента c ?
5. Провод какой марки разрешается прокладывать во взрывоопасных зонах?
6. Какие способы прокладки осветительной проводки осуществляются в наружных установках?

ГЛАВА 7. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Расчетную мощность освещения P_{po} определяют с учетом потерь мощности в пускорегулирующей аппаратуре:

$$P_{po} = P_{ном o} K_{ПРА}, \quad (7.1)$$

где $P_{ном o} = P_{ном. i} \cdot N$ – номинальная (установленная) мощность осветительной сети (N – число ламп; $P_{ном i}$ – номинальная мощность одной лампы); $K_{ПРА}$ – коэффициент, учитывающий потери в ПРА.

Значения коэффициента, учитывающего потери в ПРА, принимаются: для ламп типов ДРЛ и ДРИ $K_{ПРА} = 1,1$; для ЛЛ со стартерными схемами включения $K_{ПРА} = 1,2$; для ЛЛ с бесстартерными схемами включения $K_{ПРА} = 1,3$ – $1,35$.

В большинстве справочников (учебников) расчетную мощность по (7.1) определяют с введением коэффициента спроса K_c .

Однако для расчета групповой сети освещения здания и всех звеньев сети аварийного освещения, а также для расчета сети наружного освещения следует принимать $K_c = 1$.

Электроснабжение рабочего освещения, как правило, выполняют самостоятельными линиями от щитов подстанции.

При этом электроэнергия от подстанции передается питающими линиями на осветительные магистральные щитки, а от них – групповым осветительным щиткам. Питание источников света осуществляется от групповых щитков групповыми линиями. Светильники аварийного освещения, в том числе для продолжения работ, а также другие, в частности для эвакуации, должны быть присоединены к независимому источнику питания.

Электрическая сеть осветительных установок состоит из питающих и групповых линий. Питающие линии выполняют по радиальным, магистральным, а также радиально-магистральным схемам. Радиальные питающие линии применяют при нагрузках на групповые щитки более 200 А.

Наиболее распространены смешанные радиально-магистральные сети. Выбор схемы питающих и групповых сетей должен определяться:

- требованиями к бесперебойности действия осветительной установки;
- технико-экономическими показателями (минимальными приведенными показателями, расходом цветных материалов и электроэнергии);

- удобством управления и простотой эксплуатации осветительной установки.

При выборе трассы осветительной сети и мест установки магистральных и групповых щитков учитывают:

- удобство эксплуатации (доступность);
- исключение возможности повреждения при производстве работ;
- эстетические требования;
- уменьшение длины трассы.

Технико-экономическими расчетами установлено, что максимальная длина трехфазных групповых линий при напряжении 380/200 В может быть принята не более 80 м, а двухпроводных – не более 35 м.

К групповым линиям не рекомендуется присоединять на фазу более 20 ламп накаливания, а при использовании многоламповых люминесцентных светильников – до 50 ламп.

Сети внутреннего освещения разделяются на питающие и групповые. К питающим сетям относятся линия от ТП или других точек питания до групповых щитков, к групповой сети – линии от групповых щитков до осветительных приборов и штепсельных розеток. Сети наружного освещения разделяются на питающие и распределительные. К питающим относятся линии от ТП или других точек питания до пунктов питания наружного освещения, к распределительным – сети, питающие светильники.

Схемы питания внутреннего и наружного освещения должны обеспечивать: необходимую степень надежности питания осветительных установок (ОУ), регламентированные уровни и постоянство напряжения, простоту и удобство эксплуатации, требования к управлению освещением, экономичность установки [15].

Питающие сети для осветительных установок и силового электрооборудования рекомендуется выполнять, как правило, отдельными. Совмещение питающих сетей целесообразно при использовании в качестве питающих линий в больших производственных и общественных зданиях магистральных и распределительных шинопроводов и для объектов, питаемых от отдельно стоящих ТП, электроприемники которых относятся к III категории по надежности электроснабжения [12].

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 освещением осуществляется аппаратами, установленными в линиях питающей сети.

При питании внутреннего освещения от встроенных и пристроенных ТП или КТП нецелесообразно использовать мощные линейные автоматы ТП, имеющие пропускную способность, значительно превышающую мощность линий питающей осветительной сети. Поэтому вблизи ТП и КТП устанавливаются магистральные щитки с автоматами или при устройстве дистанционного управления освещением – щиты станций управления (или ящики управления) с автоматами и магнитными пускателями, от которых питаются групповые щитки.

Наиболее характерные схемы питания ОУ производственных зданий приведены на рис. 7.1–7.7.

При рассмотрении схем питания освещения производственных и общественных зданий необходимо иметь в виду их следующие особенности:

1) на схемах в качестве аппаратов защиты и местного включения линий питающей сети показаны автоматические выключатели (автоматы) как наиболее распространенные для этих целей аппараты. Однако вместо автоматов могут использоваться плавкие предохранители и ручные отключающие аппараты (рубильники, выключатели);

2) в случаях, когда для линий питающей сети необходимо устройство дистанционного управления, в дополнение к аппарату защиты в каждой управляемой линии устанавливается аппарат управления, например магнитный пускатель, не показанный на приведенных схемах;

3) при питании одной линией четырех и более групповых щитков на вводе в каждый щиток рекомендуется устанавливать отключающий аппарат. Для щитков, обслуживающих помещения без естественного освещения, установка отключающих аппаратов на вводе обязательна при питании одной линией трех и более щитков.

Рабочее и аварийное освещение должно питаться от разных трансформаторов, присоединенных к независимым источникам. Эвакуационное освещение предпочтительно питать также от независимых источников, а при их отсутствии – от трансформатора, не используемого для питания рабочего освещения данного участка здания. При невозможности или нецелесообразности такого питания ЭО может питаться от общего с рабочим освещением трансформатора. На рис. 7.1 дана схема питания рабочего освещения и ЭО от общего трансформатора. На рис. 7.1, а приведена схема питания рабочего освещения и АО (ЭО) от двух однострансформаторных КТП, на рис. 7.1, б – от одной двухтрансформаторной КТП.

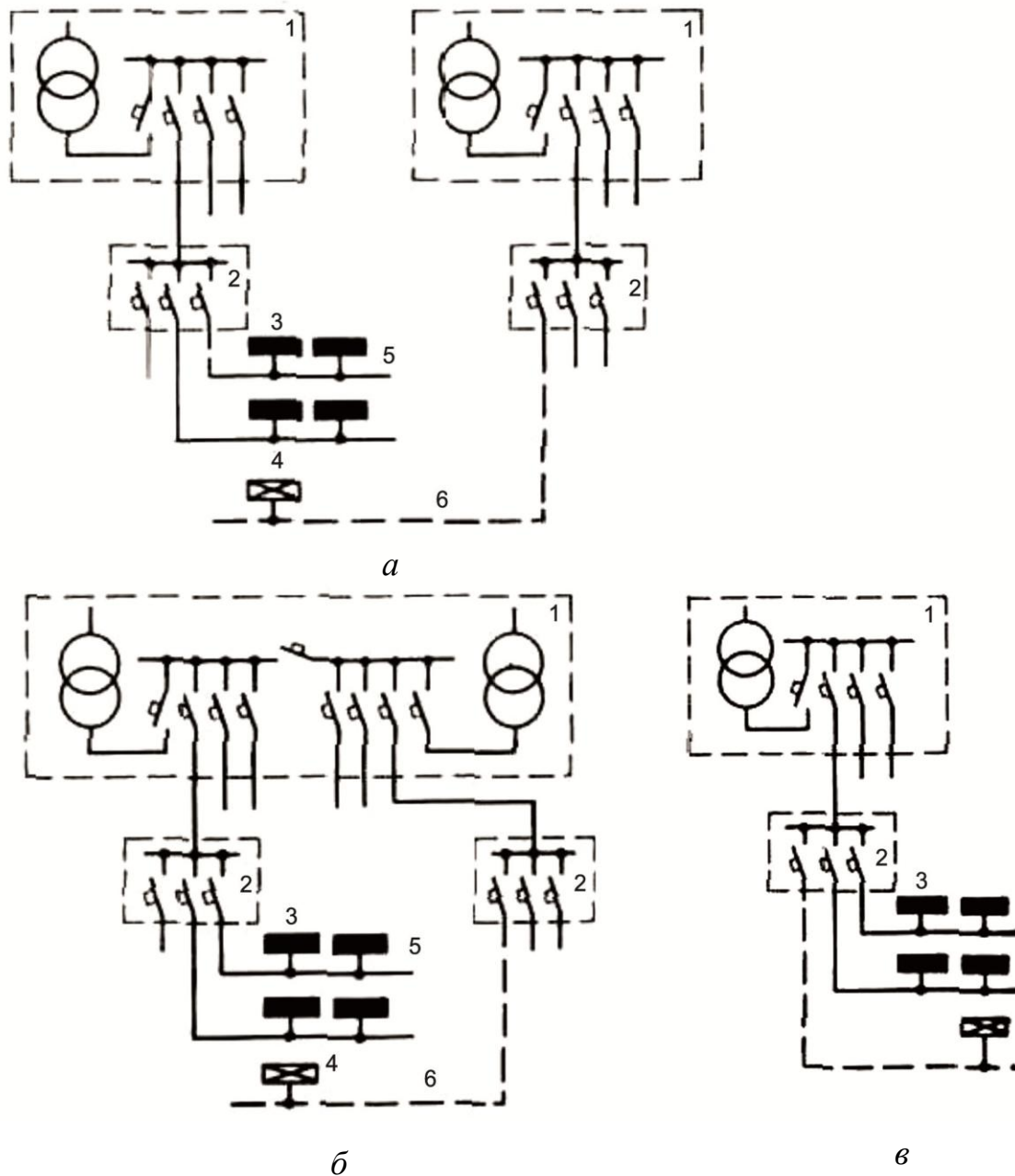


Рис. 7.1. Схемы питания рабочего и аварийного (эвакуационного) освещения производственных зданий от КТП:
а – от двух однитрансформаторных КТП; *б* – от одной двухтрансформаторной КТП;
в – от одной однитрансформаторной КТП; 1 – КТП; 2 – магистральный щиток (пункт);
 3 – групповой щиток рабочего освещения; 4 – групповой щиток АО (ЭО);
 5 – линия питающей сети рабочего освещения; 6 – линия питающей сети АО (ЭО)

В производственных зданиях с несколькими встроенными КТП применяются схемы перекрестного питания рабочего освещения и АО (ЭО) (см. рис. 7.2), при которых рабочее освещение одних участков здания питается от одной КТП, а АО (ЭО) – от другой, трансформатор которой не используется для данного питания. Такой же принцип питания используется и для других участков здания.

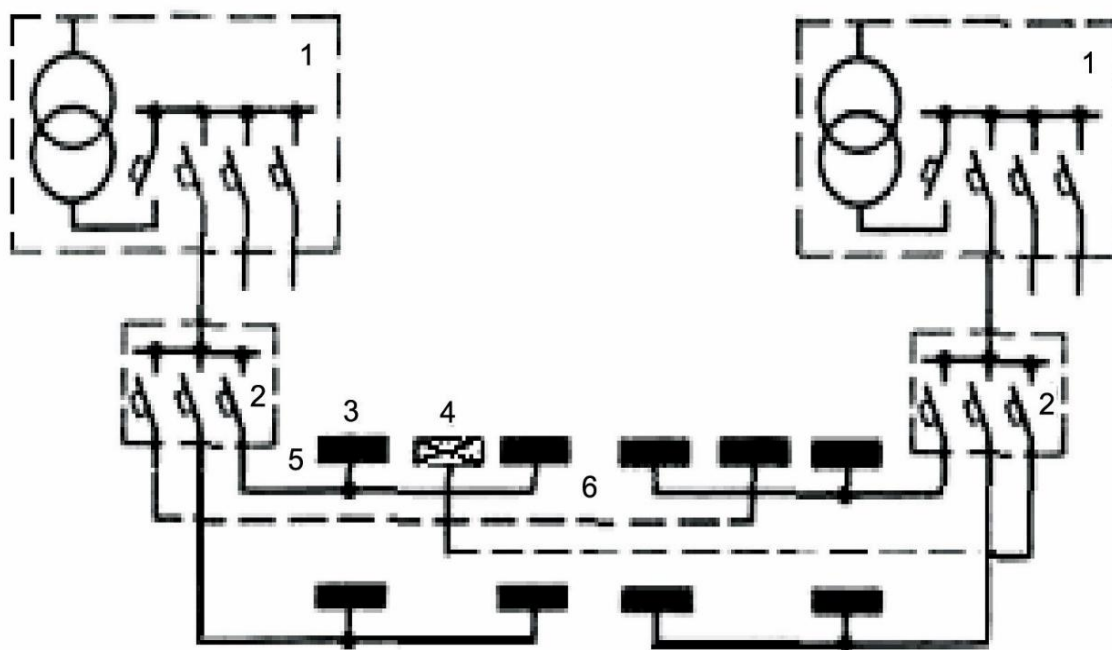


Рис. 7.2. Схема перекрестного питания рабочего и аварийного (эвакуационного) освещения производственных зданий:

- 1 – КТП; 2 – магистральный щиток (пункт); 3 – групповой щиток рабочего освещения;
4 – групповой щиток АО (ЭО); 5 – линия питающей сети рабочего освещения;
6 – линия питающей сети АО (ЭО)

Во многих больших производственных зданиях питание силовых электроприемников осуществляется по магистральной схеме, при которой на КТП отсутствует распределительный щит, а к трансформаторам через мощные автоматы присоединяются магистральные шинопроводы. В таких случаях питание ОУ производится ответвлениями от шинопроводов к магистральным щиткам (пунктам), от которых отходят линии питающей сети к групповым щиткам. Ответвления для питания освещения рекомендуется выполнять от начальных участков шинопровода, где потеря напряжения в нем еще не велика. Схема питания рабочего и аварийного освещения от двух магистральных шинопроводов приведена на рис. 7.3, схема питания рабочего освещения и ЭО от одного шинопровода – на рис. 7.4.

В цехах, где осветительные приборы (ОП) устанавливаются на специальных стальных мостиках, применяются схемы питания ОУ распределительными шинопроводами на 250, 400 и 630 А, прокладываемыми по мостикам (рис. 7.5). Групповые линии, питающие ОП, присоединяются к шинопроводам через автоматы, устанавливаемые на шинопроводе. При этом отпадает необходимость в установке групповых щитков.

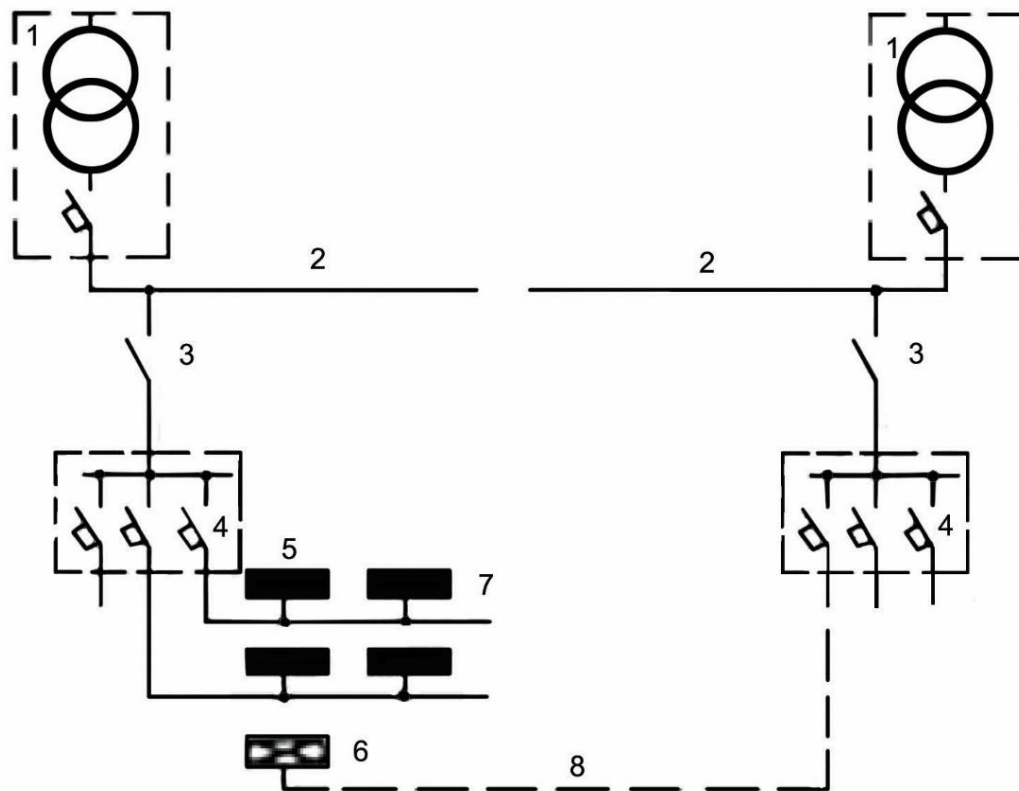


Рис. 7.3. Схема питания рабочего и аварийного (эвакуационного) освещения производственных зданий от двух магистральных шинопроводов:
 1 – КТП; 2 – магистральный шинопровод; 3 – автоматический выключатель, устойчивый к току короткого замыкания; 4 – магистральный щиток (пункт);
 5 – групповой щиток рабочего освещения; 6 – групповой щиток АО (ЭО);
 7 – линия питающей сети рабочего освещения; 8 – линия питающей сети АО (ЭО)

Включение освещения осуществляется выключателем или аппаратом дистанционного управления. Такую схему целесообразно применять для большинства производственных помещений при значительной суммарной мощности ОП общего освещения и допустимости одновременного включения освещения больших участков цеха.

При небольшой мощности АЭО в целях упрощения и удешевления электрической части ОУ бывает целесообразно не предусматривать для этих видов освещения самостоятельных линий от источников питания, а использовать линии силовой питающей сети. Характерные схемы питания освещения от силовой сети приведены на рис. 7.6.

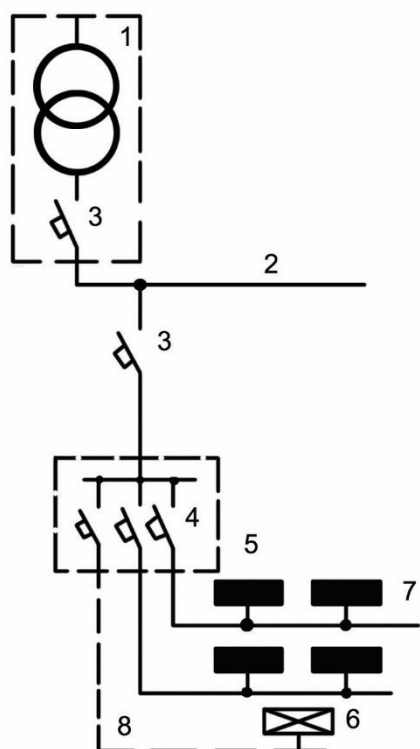


Рис. 7.4. Схема питания рабочего и ЭО производственных зданий от одного магистрального шинопровода:
 1 – КТП; 2 – магистральный шинопровод;
 3 – автоматический выключатель, устойчивый к току короткого замыкания;
 4 – магистральный щиток (пункт);
 5 – групповой щиток рабочего освещения;
 6 – групповой щиток ЭО; 7 – линия питающей сети рабочего освещения;
 8 – линия питающей сети ЭО

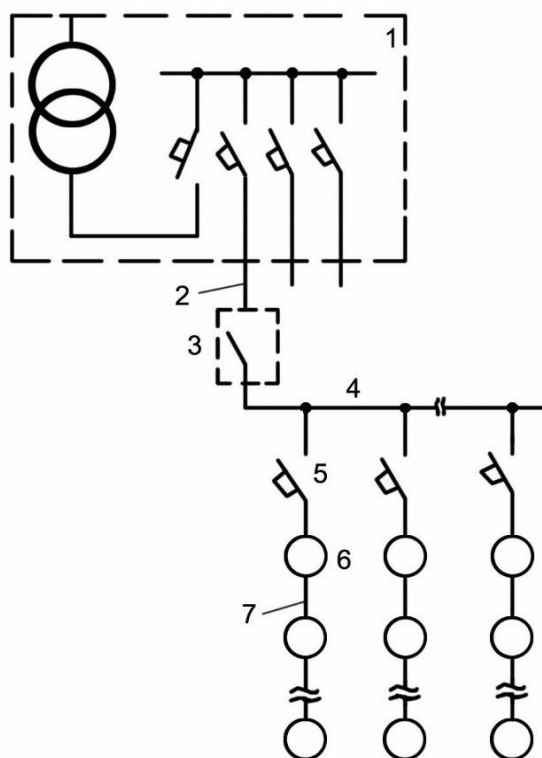


Рис. 7.5. Схема питания рабочего освещения производственных зданий от распределительного шинопровода:
 1 – КТП; 2 – линия питающей сети рабочего освещения, 3 – выключатель или аппарат дистанционного управления освещением; 4 – распределительный шинопровод; 5 – автоматический выключатель на шинопроводе;
 6 – ОП общего освещения;
 7 – групповая линия рабочего освещения

Освещение зданий, не имеющих встроенных ТП, питается вводами от кабельных и воздушных линий, прокладываемых от ближайших ТП. В зависимости от мощности ОУ здания и наличия или отсутствия в нем АО выполняют вводы одной или нескольких питающих линий.

На вводе каждой питающей линии в здании устанавливается вводное или водно-распределительное устройство с защитными и отключающими аппаратами (рис. 7.7). При значительной мощности освещения в здании устанавливают один (рис. 7.7, б) или несколько (рис. 7.7, в) групповых щитков, питающихся от вводного или водно-распределительного устройства (рис. 7.7, г).

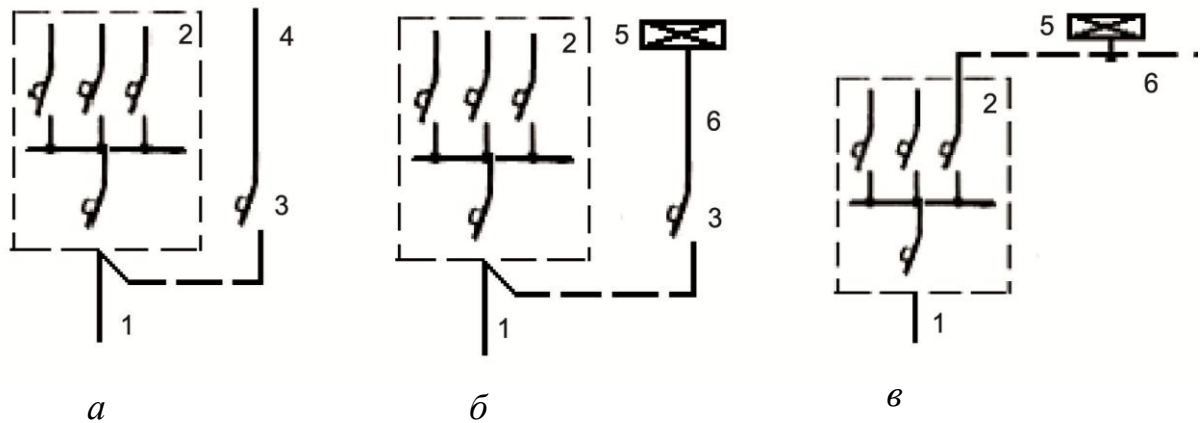


Рис. 7.6. Схемы питания аварийного и эвакуационного освещения от силовой сети:

а и *б* – от ответвлениями от силовой сети; *в* – от силового РП;

1 – линия силовой питающей сети; 2 – силовой РП; 3 – автоматический выключатель; 4 – линия к ОП АО (ЭО); 5 – групповой щиток АО (ЭО);

6 – линия питающей сети АО (ЭО)

Допускается питание освещения и силовых потребителей от общих вводов при условии, что работа силовых электроприемников не будет вызывать недопустимых размахов изменений напряжения у ОП и снижение напряжения на них не превысит наибольших допустимых значений.

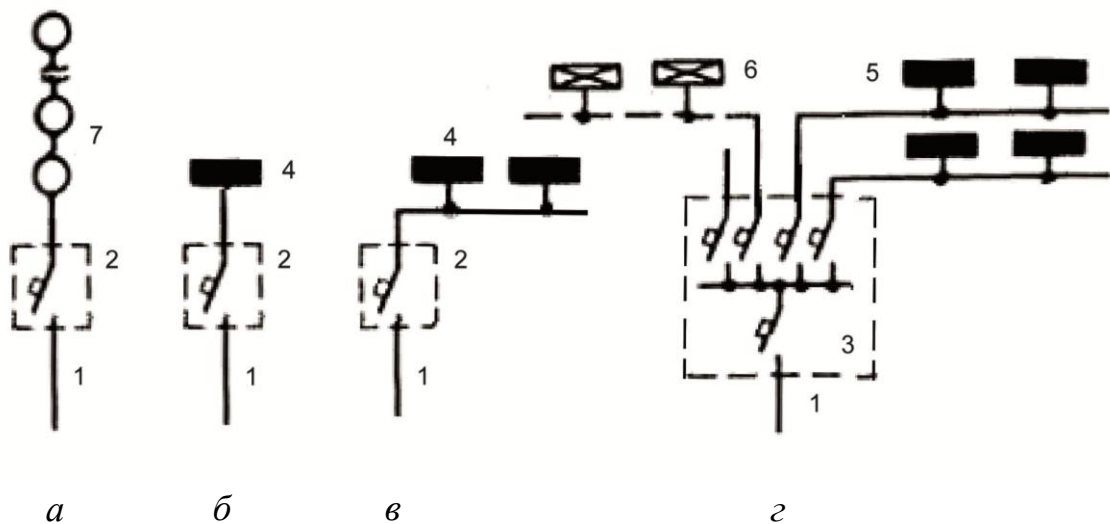


Рис. 7.7. Схемы питания освещения от вводов в здания:

а – питание ОП непосредственно от вводного устройства; *б* и *в* – питание от вводного устройства одного и нескольких щитков рабочего освещения или АО;

г – питание от ВРУ щитков рабочего освещения и ЭО;

1 – ввод в здание кабельной или воздушной линии; 2 – вводное устройство;

3 – ВРУ; 4 – групповой щиток рабочего освещения или АО;

5 – групповой щиток рабочего освещения; 6 – групповой щиток ЭО;

7 – ОП рабочего или аварийного освещения

7.1. Схемы групповых линий

При трехфазной системе с нулевым проводом и при питании ОП фазным напряжением групповые линии могут быть: трехпроводными (однофазными) (рис. 7.8, *а, б*), четырехпроводными (двухфазными) (рис. 7.8, *в*) и пятипроводными (трехфазными) (рис. 7.8, *г, д*).

При трехфазной системе напряжения 380/220 В и при питании ОП линейным напряжением 380 В групповые линии могут быть трехпроводными (две фазы и нуль) (рис. 7.9, *а*) и четырехпроводными (три фазы и нуль) (рис. 7.9, *б*).

В трехфазных сетях без нейтрали, а также в трехфазных сетях с нулевым проводом при питании ОП линейным напряжением и при отсутствии необходимости заземления или зануления ОП применяются двухпроводные (двухфазные) (рис. 7.10, *а*) и трехпроводные (трехфазные) (рис. 7.10, *б*) групповые линии, для защиты которых рекомендуются двух- и трехполюсные автоматы.

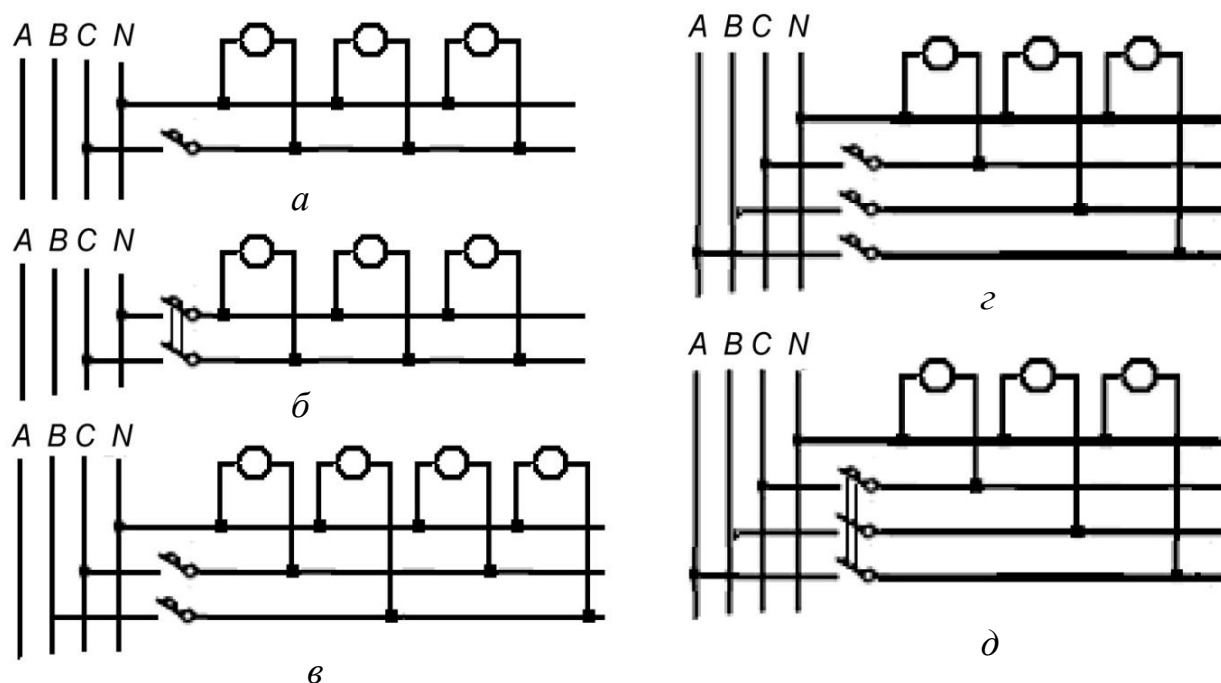


Рис. 7.8. Схемы групповых линий при трехфазной системе с нулевым проводом и питании ОП фазным напряжением:

а, б – двухпроводные (однофазные); *в* – трехпроводные (двухфазные);
г, д – четырехпроводные (трехфазные)

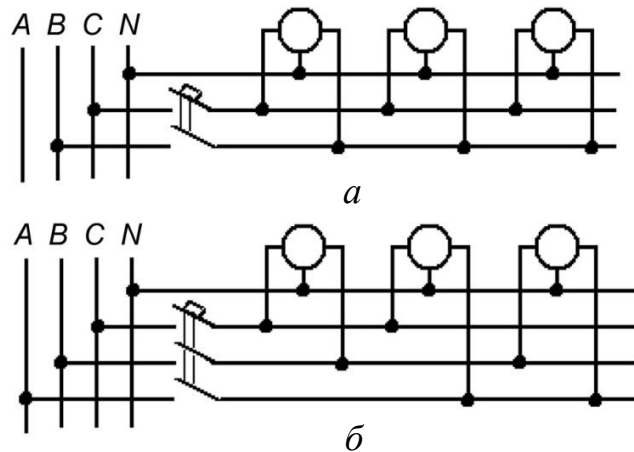


Рис. 7.9. Схемы групповых линий при трехфазной системе с нулевым проводом и питании ОП линейным напряжением:
 а – трехпроводные двухфазные (две фазы и нуль); б – четырехпроводные трехфазные (три фазы и нуль)

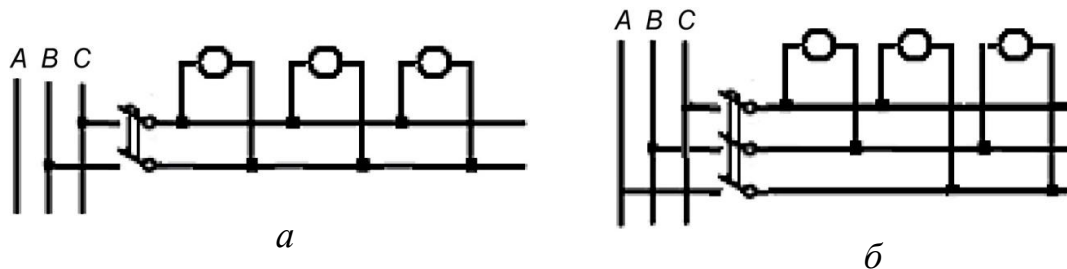


Рис. 7.10. Схемы групповых линий при трехфазных сетях без нейтрали и при отсутствии необходимости зануления:
 а – двухпроводные (двухфазные); б – трехпроводные (трехфазные)

При компоновке групповых линий необходимо руководствоваться следующими общими указаниями: на каждую фазу групповой линии должно включаться не более 20 ламп накаливания, ламп типа ДРЛ, МГЛ, НЛВД или 50 ЛЛ. К групповым линиям освещения лестниц, поэтажных коридоров, холлов, вестибюлей, технических подполий и чердаков жилых и общественных зданий допускается присоединять на фазу до 60 ЛН или ЛЛ мощностью до 65 Вт. Аппараты защиты в нулевых проводах устанавливать запрещается, за исключением взрывоопасных зон класса В-I.

Автоматы для трехфазных четырехпроводных линий могут быть однополюсные и трехполюсные. Трехполюсные автоматы применяются: при необходимости одновременного отключения всех ОП, питаемых группой; когда к трехфазной групповой линии присоединен трехфазный конденсатор для повышения коэффициента мощности; для линий, питающих трехфазные понижающие трансформаторы.

Трехфазные групповые линии используются в больших производственных помещениях, освещаемых светильниками с РЛВД, а также при большом количестве ОП с ЛЛ. В общественных зданиях распространение получили трехфазные четырехпроводные линии, которые используются для питания освещения не только помещений большой площади (вестибюли, фойе, залы), но и групп небольших однотипных помещений. В каждом таком помещении ОП подключаются к одной фазе сети с чередованием фаз $A - B - C$, $C - B - A$. В этом случае при числе помещений не менее 10 сеть может рассчитываться как трехфазная, несмотря на возможность отключения ОП в каждом помещении, поскольку вероятность одновременного выключения ОП во всех помещениях, присоединенных к одной фазе, невелика.

Одно- и двухфазные линии используются для питания небольших производственных и вспомогательных помещений, коридоров, лестниц, небольших зданий, а также в сетях АЭО.

Использование двух- и трехфазных групповых линий обязательно, если иными способами не удастся обеспечить необходимое снижение коэффициента пульсации в ОУ с РЛ (например, при применении РЛВД или при выполнении освещения одноламповыми ОП с ЛЛ с однотипными ПРА).

7.2. Щитки осветительные

На промышленных объектах в осветительных установках могут применяться осветительные щитки типа ЯОУ8500, ОП, ОЩ, ОЩВ, УОЩВ, ЩО8505, ЩРО8550, распределительные пункты типа ПР8501 и др. (табл. 7.1–7.6).

Таблица 7.1

Технические данные осветительных групповых щитков серии ЯОУ8500

Тип щитка	Тип вводного аппарата	Автоматические выключатели групповых линий		Способ установки
		Тип	Количество, шт.	
ЯОУ8501	ПВЗ-60	АЕ1031-1	6	На стене
ЯОУ8502	ПВЗ-100	АЕ1031-1	12	
ЯОУ8503	ПВЗ-100	АЕ2044-10	6	
ЯОУ8504	ПВЗ-100	АЕ2046-10	2	
ЯОУ8505	ПВЗ-60	АЕ1031-1	6	В нише
ЯОУ8506	ПВЗ-100		12	
ЯОУ8507	—		6	
ЯОУ8508	—		12	

Примечание. ПВЗ – пакетный выключатель.

Таблица 7.2

**Технические данные осветительных групповых щитков
серии ОП, ОЩ, ОЩВ, УОЩВ**

Тип щитков	Число однофазных групп	Устройство или аппарат на вводе	Аппараты на отходящих линиях	Способ установки
ОП-3УХЛ4	3	зажимы	АЕ1000	На стене
ОП-6УХЛ4	6			
ОП-9УХЛ4	9			
ОП-12УХЛ4	12			
ОЩ-6УХЛ4	6		А63	
ОЩ-12УХЛ4	12			
ОЩВ-6АУХЛ4	6	АЕ 2046-10	А3161	В нише
ОЩВ-12АУХЛ4	12			
УОЩВ-6АУХЛ4	6			
УОЩВ-12АУХЛ4	12			

Таблица 7.3

**Технические данные осветительных групповых щитков
серии ЩО8505**

Номер схемы	Тип щитка	Номинальный ток расцепителя выключателя ввода	Выключатели групповых линий	
			Наибольший номинальный ток расцепителя, А	Максимальное количество выключателей, шт.
1	2	3	4	5
02	ЩО8550-0206	—	31,5	6
02	ЩО8505-0209	—	20,0	9
03	ЩО8505-0306	—	31,5	6
03	ЩО8505-0309	—	20,0	9
04	ЩО8505-0406	63,0	31,5	6
06	ЩО8505-0504	63,0	31,5	2
12	ЩО8505-1212	—	16,0	12
12	ЩО8505-1215	—	12,5	15
12	ЩО8505-1218	—	10,0	18
13	ЩО8505-1312	—	16,0	12
13	ЩО8505-1315	—	12,5	15
13	ЩО8505-1318	—	10,0	18
14	ЩО8505-1409	63,0	20,0	9
14	ЩО8505-1412		16,0	12
14	ЩО8505-1415		12,5	15

Окончание табл. 7.3

1	2	3	4	5
16	ЩО8505-1603		63,0	3
16	ЩО8505-1604		31,5	4
16	ЩО8505-1605	63,0	31,5	5
16	ЩО8505-1606		20	6
16	ЩО8505-1607		20	7

Примечание. В щитках применяются АВ с комбинированным расцепителем ВА61F29-3С на вводе и ВА61F29-1В на групповых линиях.

Таблица 7.4

**Технические данные щитков распределения энергии
серии ЩРО8505**

Номер схемы	Наибольший номинальный ток щитка, А	Тип аппарата ввода	Выключатели групповых линий	
			Наибольший номинальный ток, А	Количество выключателей, шт.
21	200	—	40,0	18
22			63,0	9
24			63,0	9
26	320	ВА57 Ф35	40,0	18
27			63,0	9
41		—	40,0	36
42			63,0	18
43		ВА 57-39	63,0	18
45			40,0	36
46			63,0	9
47			12,5	18
48			25,0	9

Примечание. На групповых линиях применяются однополюсные автоматические выключатели с комбинированным расцепителем типа ВА61F29-1В.

Таблица 7.5

Технические данные распределительных пунктов серии ПР8501

Номер схемы		Номинальное напряжение, В	Количество автоматов, шт.	
с зажимами на вводе	с автоматом ВА51-33 на вводе		однополюсных ВА51-29	трехполюсных ВА51-31
001	045	380	3	—
002	046	380	6	—
003	047	380	3	1
004	048	660	—	2
005	049	380	12	—
006	050	380	6	2
007	051	660	—	4
008	052	660	18	—
009	053	380	12	2
010	054	380	6	4
011	055	660	—	6

Примечание. Номинальный ток ввода 160 А, рабочий ток ввода для степени защиты IP21 – 128 А, для IP54 – 120 А.

Таблица 7.6

Технические данные распределительных пунктов ПР41

Тип пункта	Число выключателей			Число конденсаторов КС1-С38-18У3
	вводных А3728Ф	групповых		
		АЕ2044	АЕ2046	
ПР41-4301-43У4	1	—	4	4
ПР41-4302-43У4	—	—	4	4
ПР41-4303-43У4	1	3	5	—
ПР41-4304-43У4	1	3	7	—
ПР41-4305-43У4	1	3	9	—

Осветительные щитки и распределительные пункты выпускаются с автоматическими выключателями, технические характеристики которых представлены в табл. 7.7–7.10.

Таблица 7.7

**Технические характеристики автоматических выключателей
типа ВА57**

Тип выключателя	Кол-во полюсов, шт.	Номинальный ток автомата, А	Номинальный ток теплового расцепителя, А	Уставка по току срабатывания электромагнитного расцепителя, А
ВА57-35	3	250	16; 20; 25 31; 5; 40; 50 63; 80; 100; 125 160 200; 250	320 630 1250 1600 2500
ВА57Ф35	3	250	16; 20; 25; 31; 5 40; 50; 63 80; 100; 125 160 200; 250	320 630 1250 1600 2500
ВА57-39	3	630	320 400 500 630	3200 2000; 4000 2500; 5000 3200; 5000

Таблица 7.8

**Технические характеристики автоматических выключателей
типа ВА61**

Тип выключателя	Кол-во полюсов, шт.	Номинальный ток автомата, А	Номинальный ток теплового расцепителя $I_{ном\ p}$, А	Кратность тока отсечки по отношению к номинальному току расцепителя
ВА61F29-3C	3	63	0,5; 0,8; 1; 1,6; 2; 2,5; 3,2; 4,5; 6,3; 8 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63	5-10
ВА61F29-1B	1	63	0,5; 0,8; 1; 1,6; 2; 2,5; 3,2; 4,5; 6,3; 8 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63	3-5

Таблица 7.9

**Технические характеристики автоматических выключателей
серии АЗ700**

Тип выключателя	Кол-во полюсов, шт.	Номинальный ток, А		Уставка по току срабатывания электромагнитного расцепителя, А
		выключателя	теплого расцепителя	
АЗ710Ф	2,3	160	16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160	630; 1000
АЗ720Ф	2,3	250	160; 200; 250	2500
АЗ730Ф	2	630	250	2500
	2	630	320	3200
	2	630	400	4000
	3	630	500	6300

Таблица 7.10

**Технические данные автоматических выключателей
серии ВА51 с комбинированным расцепителем**

Тип выключателя	Кол-во полюсов, шт.	Номинальный ток, А		Кратность тока отсечки по отношению к номинальному току расцепителя
		выключателя	расцепителя, $I_{ном\ p}$	
ВА51-29	1	63	6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 63	—
ВА51-31-1	1	100	6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 63; 80; 100	3; 7; 10
ВА51-25	3	25	6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25	7; 10
ВА51-31	3	100	6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 63; 80; 100	3; 7; 10
ВА51-33	3	160	80; 100; 125; 160	10
ВА51-35	3	250	80; 100; 125; 160; 200; 250	12
ВА51-37	3	400	250; 320; 400	10
ВА51-39	3	630	400; 500; 630	10

Осветительные групповые одностороннего обслуживания унифицированные щитки типа ЯОУ применяются в сетях, где нечасто производятся включения и отключения. Щитки серий ЯОУ 8501–8504 имеют степень защиты *IP54*, остальные – *IP20*.

Осветительные щитки типа ОЩ, ОЩВ (настенные) и УОЩВ (устанавливаемые в нише) имеют степень защиты *IP20*.

Для питания освещения с лампами ДРЛ при необходимости компенсации реактивной мощности используются осветительные щитки напольной установки типа ПР41 с конденсаторами. Эти же щитки выпускаются и без конденсаторов.

Щитки распределения энергии ЦРО8505 помимо использования в осветительных сетях применяются также для питания силовой нагрузки.

Групповые осветительные щитки должны располагаться в помещениях с благоприятными условиями среды и удобных для обслуживания, по возможности ближе к центру питаемых от них нагрузок. Нельзя размещать их в кабинетах, складах и других запираемых помещениях. Не следует также устанавливать осветительные щитки во взрыво- и пожароопасных помещениях. В многоэтажных зданиях осветительные щитки размещают на лестничных клетках или вблизи их; в цехах промышленных предприятий – у главных входов в цех, в основных проходах или в других удобных для обслуживания местах. При этом следует учитывать, что если управление освещением производится со щитков, то их рекомендуется размещать таким образом, чтобы с места их установки были видны отключаемые ряды светильников. В больших зданиях и помещениях часто требуется установка нескольких щитков освещения. В этом случае щитки должны размещаться на расстоянии 30–60 м друг от друга при однофазных групповых линиях и до 100 м – при трехфазных.

Для управления освещением отдельных помещений должны предусматриваться выключатели, устанавливаемые внутри или снаружи этого помещения возле входной двери.

В последнее десятилетие получили распространение низковольтные воздушные сети, выполненные как самонесущая система изолированных проводов (СИП). Используется СИП в городах как обязательная прокладка, как магистраль в сельских зонах со слабой плотностью населения, ответвления к потребителям. Способы прокладки СИП различны: натягивание на опорах; натягивание по фасадам зданий; прокладка вдоль фасадов.

Конструкция СИП (униполярных бронированных и небронированных, триполярных с изолированной или голой несущей нейтралью) в общем случае состоит из медной или алюминиевой проводниковой многопроволочной жилы, окруженной внутренним полупроводниковым, экструдированным экраном, затем изоляцией из сшитого полиэтилена, полиэтилена или ПВХ. Герметичность обеспечивается порошком и компаундированной лентой, поверх которых расположен металлический экран из меди или алюминия в виде спирально уложенных нитей или ленты с использованием экструдированного свинца. Поверх подушки кабельной брони, выполненной из бумаги, ПВХ, полиэтилена, делают броню из алюминия в виде сетки из полосок и нитей. Внешняя защита выполнена из ПВХ, полиэтилена или смесей без гелогена. Пролеты прокладки, рассчитанные с учетом ее температуры и сечений проводов (не менее 25 мм^2 для магистралей и 16 мм^2 на ответвленных к вводам для потребителей, 10 мм^2 для сталеалюминиевого провода) составляют от 40 до 90 м.

Контрольные вопросы

1. Перечислите достоинства и недостатки различных источников света в помещениях.
2. Назовите области применения различных типов светильников.
3. От чего зависит количество светильников в помещении?
4. Каким образом выполняется электроснабжение осветительной установки?

ГЛАВА 8. ЗАЩИТА ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Все осветительные сети должны иметь защиту от токов короткого замыкания (КЗ), а в некоторых случаях также от перегрузки. Защиту от перегрузки должны иметь: сети внутреннего освещения, выполненные открыто проложенными проводами с горючей наружной оболочкой или изоляцией; осветительные сети в жилых и общественных зданиях, в торговых помещениях, служебно-бытовых помещениях промышленных предприятий, включая сети для бытовых и переносных электроприемников (утюги, чайники, плитки, комнатные холодильники, пылесосы, стиральные и швейные машины и т.п.), при любых видах проводов, кабелей и способах проводки; сети во взрывоопасных и пожароопасных зонах при любых видах проводов, кабелей и способах проводки.

Защита осветительных сетей осуществляется аппаратами защиты – предохранителями и автоматическими выключателями (автоматами), отключающими защищаемую электрическую сеть при ненормальных режимах. Для защиты осветительных сетей наиболее распространены автоматы. Одним из преимуществ автоматов перед предохранителями является возможность их использования не только как защитных, но и как отключающих аппаратов (аппаратов управления).

Для защиты осветительных сетей следует применять автоматы с расцепителями, имеющими обратно зависимую от тока характеристику (с возрастанием тока время отключения уменьшается). Автоматы, применяемые для защиты осветительных сетей, имеют следующие обратно зависимые от тока расцепители: тепловые нерегулируемые, комбинированные (тепловые и электромагнитные), нерегулируемые и регулируемые.

В системе безопасности электроснабжения принят ряд специфических обозначений и понятий.

Занулением называется преднамеренное соединение части электроустановок, нормально не находящихся под напряжением, с заземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с заземленной средней точкой в сетях постоянного тока.

Нулевым защитным проводником (РЕ-проводником) называется проводник, соединяющий зануляемые части: с заземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока; с заземленным выводом источника одного фазного тока; с заземленной средней точкой источника постоянного тока.

Нулевым рабочим проводником (N-проводником) называется проводник, используемый для питания электроприемника, соединенный с заземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с заземленным выводом источника однофазного тока, с заземленной средней точкой источника постоянного тока.

Для обеспечения избирательности защиты номинальный ток каждого защитного аппарата рекомендуется принимать на две ступени большим тока следующего аппарата, считая от электроприемника, наиболее удаленного от источника питания. Допускается минимальная разница на одну ступень. Данное указание не относится к вводным автоматам, которые выбираются на наибольший для данного типа в целях повышения устойчивости к токам КЗ и которые не предназначены служить аппаратами защиты [24].

Номинальные токи уставок автоматических выключателей и плавких вставок предохранителей следует выбирать по возможности минимальными по расчетным токам защищаемых участков сети.

В осветительных сетях пиковые нагрузки возникают из-за наличия у источников света пусковых токов. У ламп накаливания они обусловлены тем, что сопротивление вольфрамовой нити в холодном состоянии примерно в 15 раз меньше, чем в нагретом. Поэтому пиковый ток при включении ламп накаливания достигает пятнадцатикратного значения рабочего тока. Длительность пикового тока составляет примерно 0,06 с. За это время не срабатывает тепловая защита и не перегорают плавкиеставки предохранителей. Учитывать пиковые токи необходимо при выборе некоторых типов автоматических выключателей с комбинированными расцепителями, чтобы исключить срабатывание отсечки.

Пусковые токи люминесцентных ламп низкого давления незначительны и кратковременны, что дает основание не учитывать их при расчете защиты осветительных сетей от сверхтока. В то же время пусковые токи мощных ламп накаливания, ламп типа ДРЛ, ДРИ и ДНаТ следует принимать в расчет при выборе аппаратов защиты. Лампы типа ДРЛ и ДРИ имеют кратность пускового тока по отношению к номинальному – 1,6. Однако стабилизация рабочего тока происходит примерно за 250 с. Токовая отсечка на пиковый ток указанных ламп не реагирует, но в ряде случаев приходится завышать на 20–40 % номинальные токи тепловых расцепителей автоматических выключателей и плавких вставок предохранителей, чтобы избежать их срабатывания при включении освещения. Для того чтобы убедиться в том, что защита отстроена от пусковых токов, необходимо воспользоваться защитными (времятоковыми) характеристиками автоматов и предохранителей.

Номинальный ток плавких вставок предохранителей или расцепителей автоматов, применяемых для защиты групповых линий, не должен превышать 25 А. В группах, питающих газоразрядные лампы единичной мощностью 125 Вт и более или лампы накаливания 500 Вт и более, а также в сетях напряжением до 42 В допускается применять защитные аппараты с номинальным током до 63 А. При этом ответвления от этих линий длиной до 3 м при любом способе прокладки и любой длины при прокладке в стальных трубах разрешается не защищать от сверхтоков [16]. Лампы мощностью 10 кВт и более должны питаться отдельными линиями и иметь аппараты защиты, соответствующие их рабочим токам.

Указанные требования к токам защитных аппаратов имеют целью ограничить объем возможных аварий, ускорить нахождение места повреждения и облегчить выяснение причины отказа осветительной линии.

При защите групповых линий автоматами с тепловыми или комбинированными расцепителями, установленными в закрытых шкафах или щитках, рабочий ток групповой линии не должен превышать 90 % номинального тока расцепителя автомата.

Для отстройки аппаратов защиты от пусковых токов источников света должны обеспечиваться отношения тока аппаратов защиты I_z и расчетного тока линии I_p , указанные в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Минимальные отношения тока аппаратов защиты к расчетному току линии [7]

Аппарат защиты	Тип лампы		
	Накаливания	ДРЛ	Люминесцентные
Плавкие предохранители	1,0	1,2	1,0
Автоматические выключатели с тепловыми расцепителями, с уставками менее 50 А 50 А и более	1,0	1,4	1,0
	1,0	1,0	1,0
Автоматические выключатели с комбинированными расцепителями, с уставками менее 50 А 50 А и более	1,4	1,4	1,0
	1,4	1,0	1,0

Защита от сверхтоков осуществляется в тех местах, где сеть меняет сечение проводников, материал проводников или способ их прокладки, при условии, что эти изменения приводят к уменьшению допустимых токов. В осветительных сетях защитные аппараты устанавливаются, как правило, в осветительных щитках, так как именно в местах их размещения могут выполняться вышеуказанные изменения.

Кроме того, аппараты защиты должны устанавливаться на линиях, отходящих от распределительных щитов, панелей, шкафов и других распределительных устройств, в местах присоединения осветительных сетей к силовым магистралям, на вводах в здание при питании от отдельно стоящих подстанций или подстанций, не обслуживаемых персоналом потребителя, а также со стороны первичного и вторичного напряжения осветительных трансформаторов. Защита со стороны высшего напряжения не обязательна, если трансформаторы (не более трех) питаются от осветительных щитков самостоятельными группами.

Аппараты защиты осветительных сетей следует располагать по возможности группами в доступных для обслуживания местах. Рассредоточенная установка устройств защиты допускается при питании от распределительных магистралей [16].

Для уверенного и достаточно быстрого автоматического отключения аварийного участка проводимость фазных и нулевых проводов (а следовательно, их сечение) выбирается такой, чтобы при замыкании на корпус возникал ток однофазного КЗ, превышающий не менее чем:

- в 3 раза (для взрывоопасных зон в 4 раза) номинальный ток плавкого элемента предохранителя;

- в 3 раза (для взрывоопасных зон в 6 раз) номинальный ток нерегулируемого расцепителя или уставку тока регулируемого автоматического выключателя, имеющего обратно зависимую от тока характеристику.

Полная проводимость нулевого защитного провода должна быть не менее 50 % проводимости фазного.

Расчет тока однофазного короткого замыкания в петле «фаза – нуль» осветительной сети рекомендуется производить по приближенной формуле

$$I_{КЗ} = U_{\Phi} / (z_{\Sigma} / 3 + z_{\Pi}), \quad (8.1)$$

где $I_{КЗ}$ – ток короткого замыкания, А; U_{Φ} – фазовое напряжение сети, В; z_{Σ} – полное сопротивление трансформатора току однофазного замыкания

на корпус, Ом; z_{Π} – полное сопротивление петли фазы нулевого провода электрической сети от трансформатора до точки замыкания на корпус, Ом.

Значения входящих в (8.1) величин для разных трансформаторов и сечений проводов приводятся в справочных изданиях [30].

Выше отмечалось, что длительное повышенное напряжение в сети приводит к преждевременному выходу ламп из строя. В таких случаях на линиях питающей осветительной сети 220 В рекомендуется устанавливать тиристорные ограничители напряжения типа ТОН-3 на токи 63–100 А и аналогичные преобразователи типа ПЛТТ, надежно работающие при отклонениях питающего напряжения в пределах от +30 до –20 % и имеющие регулировку уставки выходного напряжения в пределах 0,95–1,05 номинального. Повышение напряжения при его снижении на источниках питания ограничители типа ТОН не обеспечивают. Они могут использоваться также как бесконтактные коммутационные аппараты. В ОУ с лампами типа ДРЛ, МГЛ и НЛВД ограничители типа ТОН должны включаться только в некомпенсированные участки сети [3] (рис. 8.1).

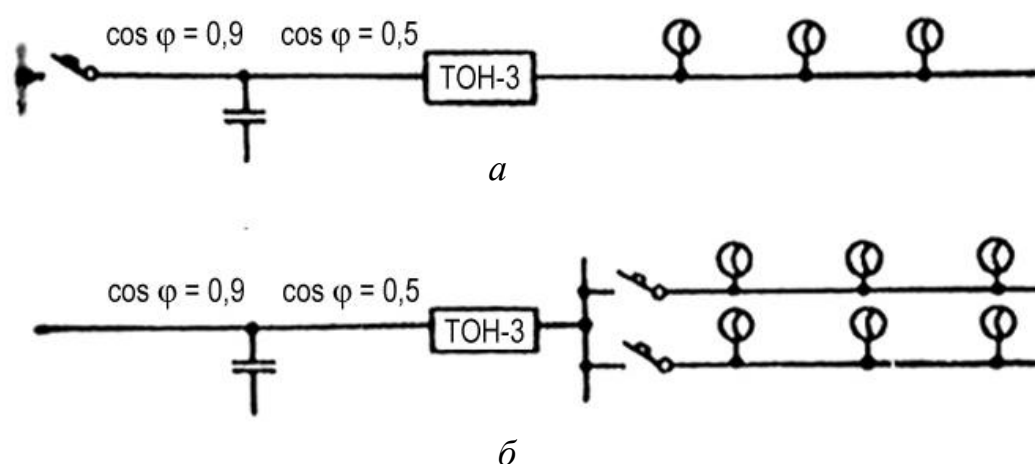


Рис. 8.1. Включение ограничителей напряжения типа ТОН-3 в сеть с лампами ДРЛ, МГЛ и НЛВД:

a – при конденсаторах на групповых линиях; *б* – при конденсаторах на линиях питающей сети

Для ОУ, в системах электроснабжения которых могут иметь место длительные повышения и понижения напряжения более чем $\pm 5\%$, применяют трехфазные стабилизаторы напряжения типа СТС мощностью от 10 до 100 кВ·А, обеспечивающие номинальное напряжение в сети при его изменениях на источниках питания от –0,5 до +10 %.

8.1. Электробезопасность обслуживаемых установок

Прикосновение обслуживающего персонала к токоведущим частям установок в ряде случаев приводит к поражению током.

Электробезопасность определяется комплексом средств, среди которых имеются технические способы и средства защиты, специальные конструкции электроустановок, организационные мероприятия. Эти средства направлены на улучшение электроизоляционных свойств сетей и оборудования, снижение вероятности опасных прикосновений, ограничение тока, протекающего через тело человека, и времени опасного контакта. Так, нормируются сопротивления изоляции сетей и оборудования, изоляционные расстояния между токоведущими частями, отдельные виды изделий снабжаются усиленной или двойной изоляцией. Регламентированы наименьшие высоты прокладки отдельных видов проводки и установки осветительных приборов (ОП), устройства ввода сети в ОП, конструкции ОП, затрудняющие в отдельных случаях доступ к их токоведущим частям.

Основным техническим способом эффективной защиты от поражения электрическим током является зануление, т.е. преднамеренное соединение металлических частей электроустановки, нормально не находящихся под напряжением, с глухозаземленной нейтралью трансформатора (или генератора). При этом в случае замыкания одной фазы на соединенный с нейтралью корпус происходит КЗ, в результате которого аппарат защиты быстро отключает поврежденный участок сети. Использование вместо заземления в качестве единственной меры присоединения электроустановки к отдельным заземлителям не допускается, так как в этом случае при замыкании на корпус устанавливается электрическая цепь, в которую оказываются последовательно включенными сопротивления заземлений установки и нейтрали. При этом в ряде практических случаев ток КЗ может оказаться недостаточным для быстрого отключения сети, и опасный потенциал сохранится на поврежденном оборудовании в течение длительного времени. В качестве меры дополнительной защиты кроме зануления можно осуществлять присоединение к отдельному заземлителю, хотя нормы этого не требуют.

Зануление должно выполняться: при напряжении выше 42 В, но ниже 380 В переменного тока и выше 110 В, но ниже 440 В постоянного тока – в помещениях с повышенной опасностью, особо опасных [16] и наружных установках; при напряжении 380 В и выше

переменного тока и во взрывоопасных зонах независимо от напряжения – во всех установках. Занулению подлежат корпуса ОП, трансформаторов, аппаратов, щитков, стальные трубы проводки, кожухи шинопроводов, лотки, короба и т.п. Не требуют зануления ОП, устанавливаемые на деревянных опорах, не имеющих заземляющих спусков или кабельных муфт, и металлические отражатели ОП, укрепленные на корпусах из изолирующих материалов.

В качестве нулевых защитных проводов в осветительных сетях должны использоваться нулевые рабочие провода. Исключения составляют следующие случаи:

1. В проводках во взрывоопасных зонах класса В-I для зануления используют отдельный провод от шины заземления группового щитка.

2. Отдельные зануляющие провода прокладывают также к заземляющим контактам штепсельных розеток для присоединения электромедицинских аппаратов и бытовых приборов в кухнях квартир, гостиниц и общежитий.

3. Если в сетях с глухозаземленной нейтралью для питания осветительной установки используется система без нуля, например $3 \times 220 \text{ В}$, то для зануления специально прокладывается нулевой провод.

4. Для зануления переносных ОП и трансформаторов, а также стационарно установленных прожекторов используется отдельная жила, расположенная в одной оболочке с фазной жилой кабеля, служащего для присоединения этих устройств к сети.

Зануление корпусов ОП выполняют: при вводе в ОП кабеля, защищенного провода, незащищенных проводов в трубе или металло-рукаве или скрыто без труб – ответвлением от нулевого рабочего провода внутри ОП; при вводе в ОП открытых незащищённых проводов – гибким изолированным проводом, присоединяемым к заземляющему винту на корпусе ОП и к нулевому рабочему проводу у ближайшей к ОП неподвижной опоры или коробки. Аналогично выполняется присоединение защитного провода к заземляющим контактам двухполюсных розеток. Требуемые зануления корпуса ОП, переключаемых на питание от сети постоянного тока, присоединяются к нулевому проводу сети переменного тока. Зануление ОП и опор ВЛ осуществляется нулевым рабочим проводом, проложенным на тех же опорах, что и фазные провода.

Повышенную опасность создает случай обрыва нулевого провода, используемого в качестве зануляющего. Если при этом происходит замыкание на корпус, то прикосновение к зануленной части осветительной установки равнозначно прикосновению к токоведущему проводу.

Целостности нулевого провода придается большое значение. В табл. 8.2 приведены наименьшие сечения нулевых защитных проводов. Снижение опасности обрыва нулевого провода достигается повторным заземлением нулевого провода, которое в осветительных сетях должно выполняться на концах ВЛ или ответвлений от них длиной более 200 м, а также на вводах от ВЛ к зданиям, в которых необходимо зануление электро-оборудования. Общее сопротивление растеканию заземлений всех повторных заземлителей нулевого провода одной ВЛ не должно превышать 5, 10 и 20 Ом при линейных напряжениях трехфазного тока соответственно 660, 380 и 220 В. В качестве повторных заземлителей, в первую очередь, следует использовать естественные заземлители (водопроводные трубы, заглубленные железобетонные и металлические конструкции, свинцовые оболочки кабелей и др.).

Таблица 8.2

Наименьшие сечения нулевых защитных проводов

Наименование	Сечение, мм ²	
	медь	алюминий
Неизолированные провода	4	6
Изолированные провода	1	2
Заземляющие нулевые жилы кабелей и многожильных проводов в общей защитной оболочке с фазными жилами	1	2

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные устройства, применяемые для защиты осветительных сетей.
2. Расшифруйте понятия: расчетные, пиковые, сверхтоки, а также номинальные токи уставок.
3. Что означает электробезопасность ОУ? Перечислите эффективные меры защиты от поражения током.

ГЛАВА 9. УПРАВЛЕНИЕ ОСВЕЩЕНИЕМ

В электрической части проекта разрабатываются способы управления освещением, которые должны обеспечивать удобство эксплуатации, минимальные затраты времени включения (отключения) осветительной установки (ОУ), максимальное использование естественного света с учетом режимов работы технологического оборудования. Для жилых и общественных зданий УО регламентируется СП 31-110-2003 [12].

В настоящее время в практике эксплуатации ОУ применяются два основных способа управления освещением: местное и централизованное.

Под местным понимается управление легкодоступными для персонала выключателями, переключателями и другими простыми аппаратами управления, устанавливаемыми внутри освещаемых помещений, в большинстве случаев у входа. Местное управление применяется, как правило, в небольших помещениях, размеры которых экономически не оправдывают установку отдельных осветительных щитков.

В помещениях, не имеющих аварийного освещения, желательно даже при установке двух светильников предусматривать отдельное управление освещением по группам световых приборов с помощью сдвоенных или нескольких выключателей. Это позволяет при недостатке естественного света обслуживать отключенные светильники при освещении остающимися включенными. Указанная рекомендация особенно важна для помещений без естественного освещения. Кроме того, отдельное управление рядами светильников дает возможность отключать те ряды (как правило, вдоль оконных проемов), где за счет естественного освещения создается требуемая освещенность. Такое техническое решение позволяет более рационально использовать электроэнергию на освещение.

В протяженных помещениях, не являющихся постоянными проходами и посещаемых эксплуатационным персоналом эпизодически (галереи шинопроводов, кабельные и водопроводные туннели и т.п.), освещение должно включаться при входе и отключаться при выходе из них людей. При наличии нескольких входов управление освещением должно осуществляться независимо от каждого входа по так называемым коридорным схемам [4]. Эти схемы позволяют осуществлять управление от каждого входа независимо от положения коммутационных аппаратов у других входов. Такие коридорные схемы представлены на рис. 9.1.

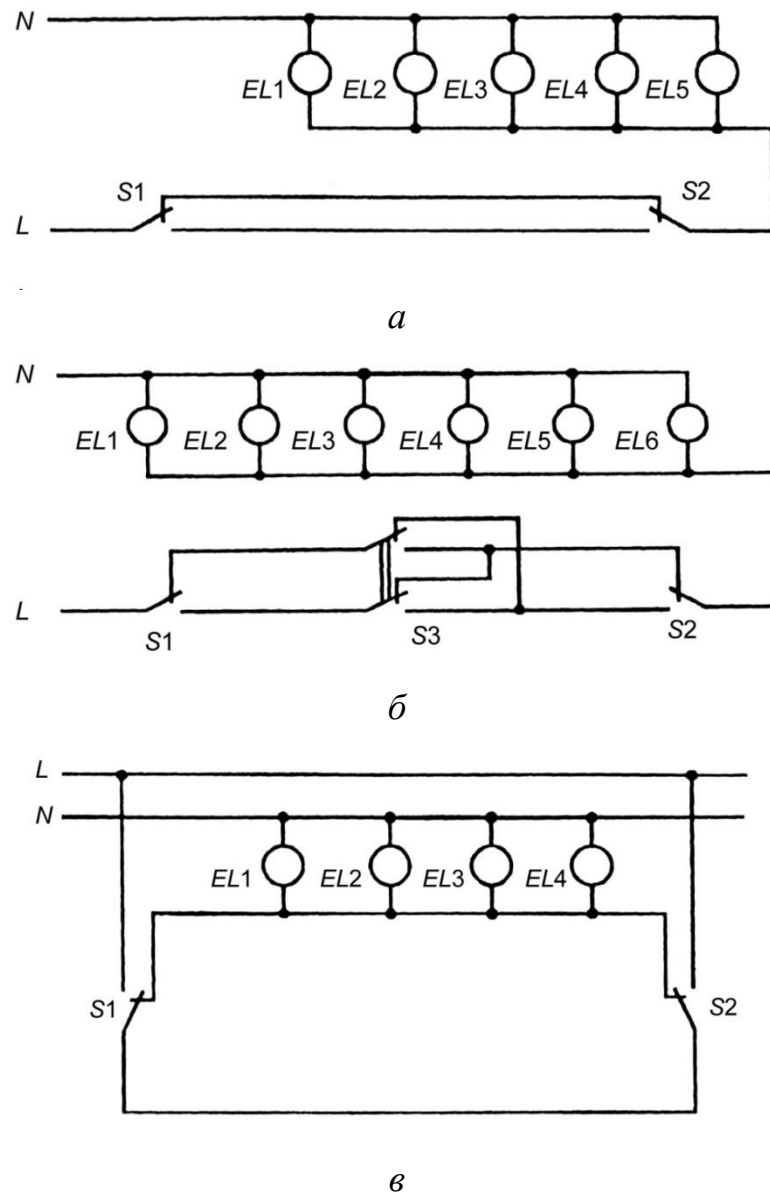


Рис. 9.1. Схемы управления освещением из нескольких мест:
a – из двух мест; *б* – из двух мест с транзитной фазой; *в* – из трех мест;
 S1, S2 – однополюсные двухпозиционные переключатели; S3 – двухполюсный
 двухпозиционный переключатель; EL1 – EL6 – электрические лампы

Схема с транзитной фазой (рис. 9.1, *б*) не разрывает фазного провода *L*, что позволяет питать какую-либо нагрузку в конце линии.

При наличии более двух входов (рис. 9.1, *в*) у крайних входов применяются однополюсные двухпозиционные переключатели (без нейтрального положения), а у каждого из промежуточных входов – двухполюсные переключатели на два положения.

Здесь будет уместным напомнить, что управление внутренним освещением на промышленных предприятиях РФ регламентировано требованиями ПУЭ, где прямо указывается:

- при питании освещения зданий от подстанций и сетей, расположенных вне этих зданий, на каждом вводном устройстве в здание должен устанавливаться аппарат управления;

- при питании от одной линии четырех и более групповых щитков с числом групп 6 и более на вводе в каждый щиток рекомендуется устанавливать аппарат управления;

- в помещениях, имеющих зоны с разными условиями естественного освещения и различными режимами работы, должно предусматриваться раздельное управление освещением зон;

- выключатели светильников, устанавливаемых в помещениях с неблагоприятными условиями среды, рекомендуется выносить в смежные помещения с лучшими условиями среды;

- выключатели светильников душевых и раздевалок при них, горячих цехов столовых должны устанавливаться вне этих помещений;

- в протяженных помещениях с несколькими входами, посещаемых обслуживающим персоналом (например, кабельные, теплофикационные, водопроводные тоннели), рекомендуется предусматривать управление освещением от каждого входа или части входов;

- в помещениях с четырьмя и более светильниками рабочего освещения, не имеющих освещения безопасности и эвакуационного освещения, светильники рекомендуется распределять не менее чем на две самостоятельно управляемые группы;

- управление освещением безопасности и эвакуационным освещением можно производить: непосредственно из помещения; с групповых щитков; с распределительных пунктов; с вводных распределительных устройств; с распределительных устройств подстанций; централизованно из пунктов управления освещением с использованием системы централизованного управления, при этом аппараты управления должны быть доступны только обслуживающему персоналу;

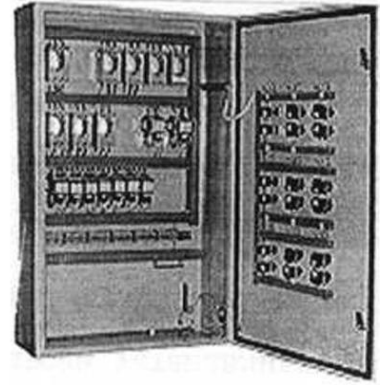
- управление установками искусственного ультрафиолетового облучения длительного действия должно предусматриваться независимым от управления общим освещением помещений;

- светильники местного освещения должны управляться индивидуальными выключателями, являющимися конструктивной частью светильника или располагаемыми в стационарной части электропроводки. При напряжении до 50 В для управления светильниками допускается использовать штепсельные розетки.

Выключатели и переключатели – простейшие аппараты управления, более сложными являются специальные ящики и шкафы управления освещением.

Ящики управления освещением серии ЯОУ-9600

Ящики управления освещением ЯОУ-9600 предназначены для автоматического, местного, ручного или дистанционного управления осветительными сетями и установками производственных зданий, территорий любых объектов с любыми источниками света.



Ящики управления освещением обеспечивают:

- включение и отключение осветительной установки от сигнала фотодатчика при достижении заданного уровня освещенности;
- включение и отключение осветительной установки в заданные периоды времени (например, в технологические перерывы в работе цеха) по программам, задаваемым таймером режимов (только схема ЯОУ 9601 – рис. 9.2);

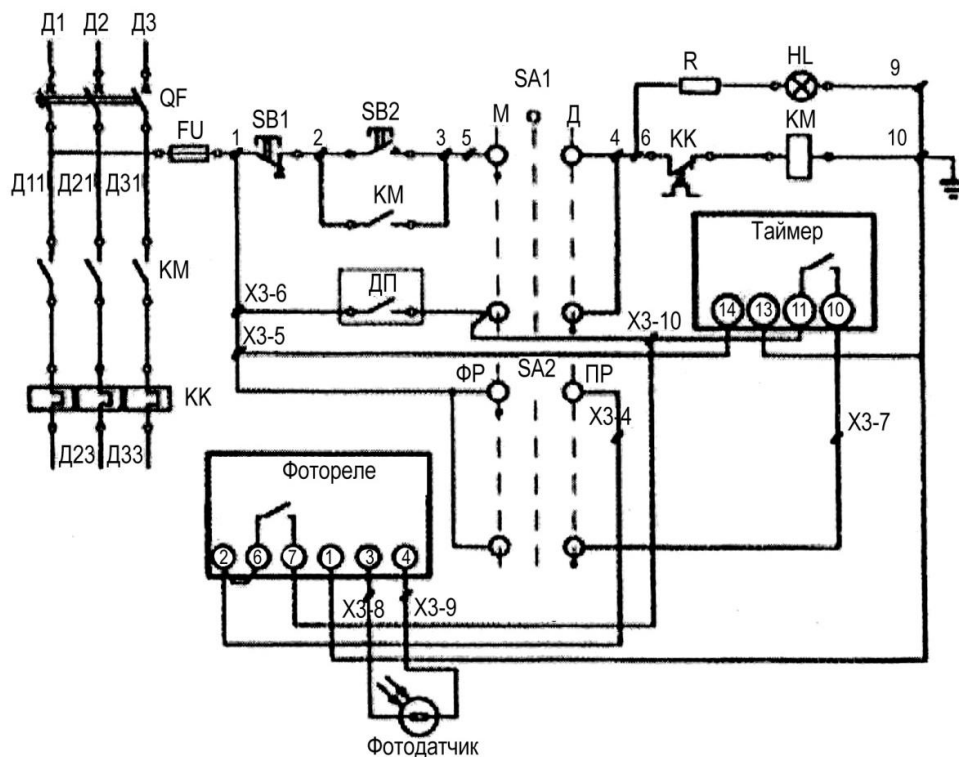


Рис. 9.2. Схема ящика управления ЯОУ-9600

- ручное включение и отключение осветительной установки кнопками, установленными на дверцах ящика.

Шкаф управления освещением (ШУО)

Шкафы управления освещением типа ШУО предназначены для автоматического, ручного, местного или дистанционного (с диспетчерского пункта) управления осветительными сетями и установками производственных зданий, сооружений, территорий объектов с любыми источниками света напряжением 380 В переменного тока частотой 50 Гц, а также для учета и распределения электрической энергии, защиты линий при перегрузках и коротких замыканиях, нечастых оперативных включений и отключений (не более 6 в час) электрических цепей. Схема шкафа управления освещением показана на рис. 9.3.

Шкафы предназначены для установки на открытом воздухе или в помещении с односторонним обслуживанием. Номинальный режим работы – продолжительный.

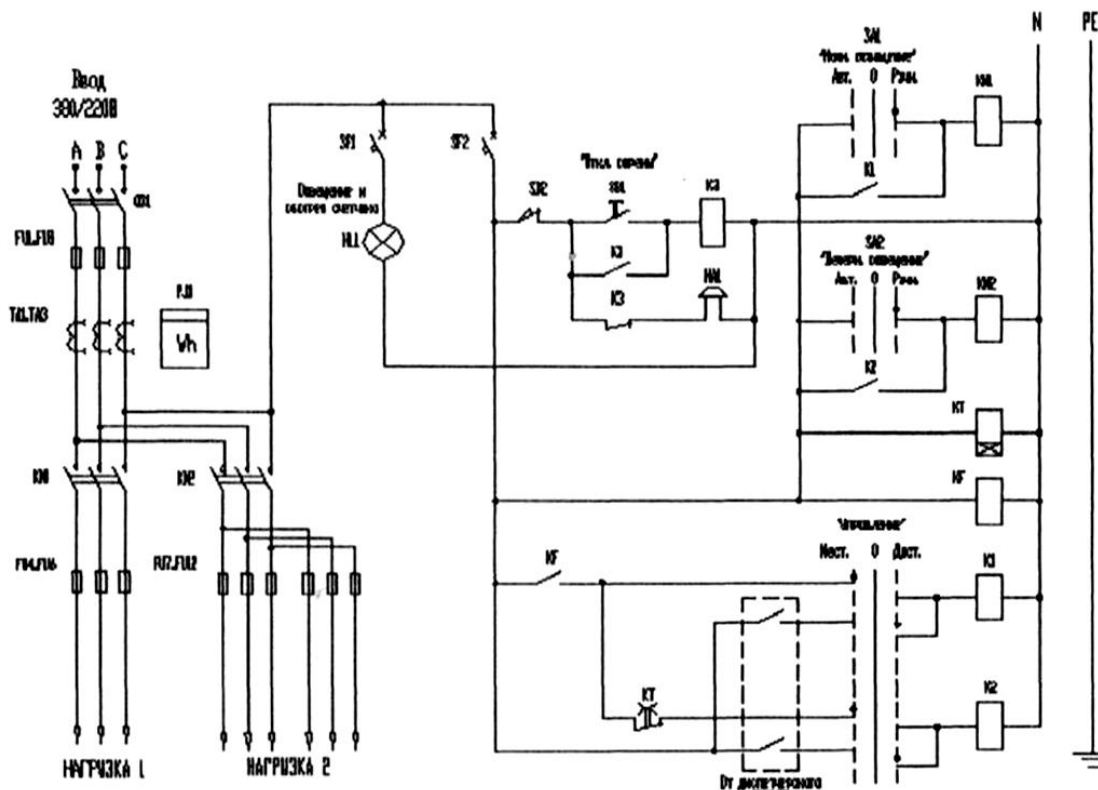
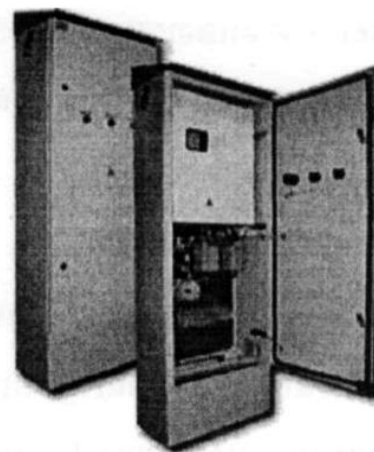


Рис. 9.3. Схема шкафа управления освещением ШУО

Шкафы ШУО могут работать в следующих режимах: местное, дистанционное, ручное и автоматическое управление. Выбор режимов осуществляется с помощью соответствующих органов управления.

Предусмотрено включение внутренней подсветки шкафа лампой накаливания 40 Вт, она же используется для обогрева счетчика в холодное время года.

В шкафах ШУО предусмотрено раздельное управление ночным освещением (3 однофазные линии) и дополнительным вечерним освещением (3 однофазные линии – в щитах до 100 А и 6 однофазных линий – в щитах до 250 А включительно).



Шкафы управления наружным освещением (УНО)

Шкафы управления наружным освещением типа УНО-7001 предназначены для автоматического, местного, ручного или дистанционного (с диспетчерского пункта) управления осветительными сетями и установками производственных зданий, сооружений, территорий объектов с любыми источниками света (лампами накаливания, ДРЛ, ДРН, люминесцентными и др.) напряжением 380 В переменного тока и частотой 50 Гц, а также для учета и распределения электрической энергии, защиты линий при перегрузках и коротких замыканиях, нечастых оперативных включений и отключений (не более 6 раз в час) электрических цепей.

Шкафы могут работать в следующих режимах управления:

- местное (автономное) автоматическое управление (от таймера, астрономических часов или от любого другого задающего устройства);
- каскадное автоматическое управление напряжением 220 В, 50 Гц, поступающим по специальному сигнальному проводу (телефонной паре) от предыдущего шкафа каскада либо пульта ТС-ТУ;
- местное управление.

Выбор режимов управления осуществляется с помощью соответствующих органов управления. В шкафах предусмотрено раздельное управление ночным освещением (3 однофазные линии) и дополнительным вечерним освещением (3 однофазные линии – в щитах до 100 А и 6 – в щитах до 250 А включительно). Предусмотрено включение внутренней подсветки шкафа лампой накаливания 40–60 Вт и питание розетки 220 В (см. рис. 9.4).

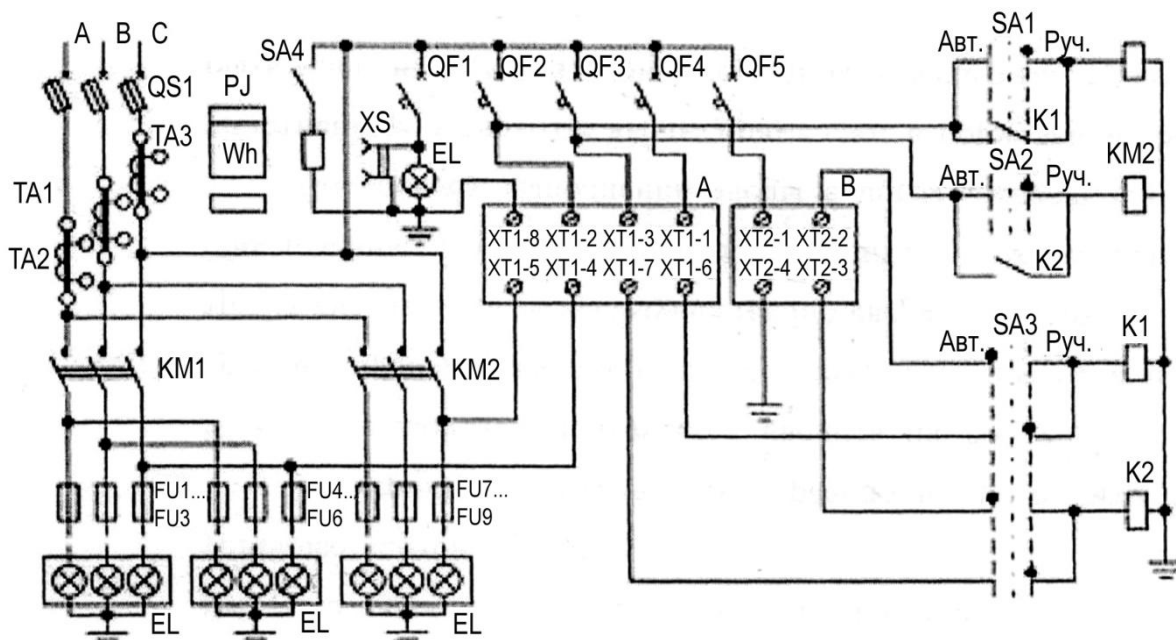


Рис. 9.4. Схема шкафа управления наружным освещением УНО

В целях удобства эксплуатации и экономии электроэнергии число пунктов управления освещением должно быть по возможности минимальным. Количество их можно существенно уменьшить, сосредоточив управление освещением на групповых или магистральных щитках. В этом случае местные выключатели сохраняются лишь для отдельных закрываемых помещений (вентиляционных камер, складов, конторских помещений и т. п.), а также для производственных площадок и участков, не являющихся проходными и посещаемых обслуживающим их персоналом эпизодически (например, для ремонтных площадок кранов).

При большом числе щитков, удаленных друг от друга, количество пунктов управления можно уменьшить путем централизации управления освещением непосредственно на щитах подстанций. Такое решение рекомендуется принимать в случае, если число подстанций не более двух.

В больших производственных зданиях с недостаточным естественным светом или совсем без него не следует отказываться от централизованного управления освещением, так как и здесь включение и отключение электрического освещения производятся сравнительно часто: в перерывы на обед и между сменами, при ремонтных работах и т.п. При работе в несколько смен управление освещением с большого числа щитков, особенно расположенных в малоудобных для прохода технических этажах зданий, превращается в сложную задачу, решение которой, как правило, успешно достигается применением дистанционного управления освещением.

Групповая осветительная сеть

Очень важным вопросом при разработке в проекте системы управления освещением является разбивка всего количества устанавливаемых в помещении светильников на отдельные группы. Правильное решение этого вопроса предопределяет возможность организовать рациональную систему управления освещением и тем самым обеспечить удобную эксплуатацию осветительной установки и экономичное расходование электроэнергии для освещения.

Прежде всего, в помещениях с боковыми окнами, как указывалось, надо управлять рядами светильников, параллельными окнам. Это создает возможность с наступлением темноты включать не все светильники одновременно, а по частям: сначала в части помещения, удаленной от окон, и затем, по мере снижения естественной освещенности, в остальной части. Так же и в утренние часы: сначала выключается ряд светильников у окон, а затем, по мере увеличения естественной освещенности, ряд за рядом в глубину помещения.

Классификация систем автоматического управления освещением

Системы автоматического управления освещением условно можно разделить, как указывалось, на два основных класса – так называемые *локальные* и *централизованные*.

Для локальных систем характерно управление только одной группой светильников, в то время как централизованные системы допускают подключение практически бесконечного числа раздельно управляемых групп светильников.

В свою очередь, по охватываемой сфере управления локальные системы могут быть подразделены на «системы управления светильниками» и «системы управления освещением помещений», а централизованные – на специализированные (только для управления освещением) и общего назначения (для управления всеми инженерными системами здания – отоплением, кондиционированием, пожарной и охранной сигнализацией и т.д.).

Локальные системы управления светильниками в большинстве случаев не требуют дополнительной проводки, а иногда даже сокращают необходимость в прокладке проводов. Конструктивно они выполняются в малогабаритных корпусах, закрепляемых непосредственно на светильнике или на колбе одной из ламп. Все датчики, как правило,

составляют один электронный прибор, в свою очередь, встроенный в корпус самой системы. Часто светильники, оборудованные датчиками, обмениваются между собой информацией по проходам электрической сети. За счет этого даже в случае, если в здании остался единственный человек, находящиеся на его пути светильники останутся включенными.

Централизованные системы управления освещением, наиболее полно отвечающие названию «интеллектуальных», строятся на основе микропроцессоров, обеспечивающих возможность практически одновременного многовариантного управления значительным (до нескольких сотен) числом светильников. Такие системы могут применяться либо только для управления освещением, либо также и для взаимодействия с другими системами зданий (например, с телефонной сетью, системами безопасности, вентиляции, отопления и солнцезащитных ограждений).

Централизованные системы выдают также управляющие сигналы на светильники по сигналам локальных датчиков. Однако преобразование сигналов происходит в едином (центральном) узле, что предоставляет дополнительные возможности вручную управлять освещением здания. Одновременно существенно упрощается ручное изменение алгоритма работы системы.

При системах централизованного дистанционного или автоматического управления освещением питание цепей управления разрешается от линии, питающей освещение.

Для помещений, имеющих зоны с разными условиями естественного освещения, управление рабочим освещением должно обеспечивать включение и отключение светильников группами или рядами по мере изменения естественной освещенности помещений.

Существующий ассортимент автоматизированных систем управления освещением (СУО) делится на три класса

1) СУО светильника – простейшая малогабаритная система, конструктивно являющаяся частью светильника и управляющая только одной группой нескольких близлежащих светильников.

2) СУО помещения – самостоятельная система, управляющая одной или несколькими группами светильников в одном или нескольких помещениях.

3) СУО здания – централизованная компьютеризованная система управления, охватывающая освещение и другие системы целого здания или группы зданий.

Большинство компаний-производителей систем управления освещением (СУО) светильников изготавливают их в виде отдельных блоков, которые могут быть встроены в светильники различных типов и видов.

Безусловным преимуществом СУО светильников является простота их монтажа и эксплуатации, а также надежность. Особенно надежны СУО, не требующие автономного электропитания, так как выходу из строя наиболее подвержены блоки питания СУО и энергопотребляющие микросхемы.

Однако если требуется управлять осветительными установками крупных помещений или, например, стоит задача индивидуального управления всеми светильниками в помещении, СУО светильников оказываются достаточно дорогим средством управления, так как требуют установки одной СУО на один светильник. В общем случае удобнее использовать СУО помещений, которые содержат меньше электронных компонентов, чем требуется в предыдущем случае, и поэтому более доступные.

СУО помещений представляют собой блоки, размещаемые за подвесными потолками или конструктивно встраиваемые в электрические распределительные щиты.

Подобные СУО относительно просты в изготовлении и обычно построены на дискретных логических микросхемах. Датчики СУО помещений всегда являются выносными, они должны быть размещены в помещении с управляемыми осветительными установками, и к ним необходима специальная проводка, что представляет собой определенное практическое неудобство.

При разбивке осветительной установки на группы и, следовательно, на самостоятельно управляемые части необходимо учитывать также особенности и условия организации производства в освещаемом помещении.

Если в большом освещаемом помещении расположено несколько различных и самостоятельных цехов или отделений, то желательно так сгруппировать светильники, чтобы работникам каждого из цехов можно было обслуживать, включать и выключать только свои группы, свою часть осветительной системы.

Если в помещении имеются несколько поточных линий и различные технологические участки с разным режимом работы, то следует так организовать управление группами светильников, чтобы можно было выключить часть из них на тех участках помещения, где по условиям производства в них нет необходимости.

При разбивке светильников на группы следует учитывать, что в производственных зданиях с особо пыльной средой (агломерационные фабрики, цементные заводы и т.д.), а также в зданиях, загроможденных оборудованием (технологическим, сантехническим и т.п.), естественное освещение через окна и фонари, как правило, не обеспечивает днем нормальных условий видения, а это требует постоянного включения освещения в течение всего времени работы.

Во всех производственных помещениях необходимо предусматривать выделение в отдельной или отдельных группах небольшой части светильников для создания в помещении небольшой освещенности в то время, когда цех не работает и надо обеспечить только возможность охраны и уборки его. Если в помещении имеется аварийное освещение, то выделять отдельные небольшие группы светильников не следует, так как функции «дежурного» освещения будут выполнять светильники аварийного освещения.

Управление освещением автоматизированных цехов

Специфические особенности имеет управление освещением автоматизированных цехов. Групповая осветительная сеть автоматизированных цехов должна быть так запроектирована, чтобы на периоды, когда в цеху не производятся наладочные работы, имелась возможность отключения части общего освещения. Установки общего освещения автоматизированных цехов должны состоять из двух независимо друг от друга управляемых частей. При работе обеих частей осветительной установки по площади цеха создается освещенность, выбранная по нормам для данного цеха. При отключении большей части установки остающаяся во включенном состоянии «дежурная» часть ее обеспечивает освещенность, достаточную для общего наблюдения за работой механизмов.

Управление освещением автоматизированных, как и других, цехов должно быть удобным в эксплуатации, включение и выключение светильников должны производиться без больших потерь времени. В некоторых случаях схемы управления должны обеспечивать возможность включения и выключения освещения не из одного, а из двух мест. В других случаях рационально управление сосредоточить в одном месте – на пульте у диспетчера цеха. Это даст возможность при пользовании средствами телевизионной техники включать полное освещение для получения на экране телевизора более отчетливого изображения контролируемого технологического процесса.

В производственных помещениях в зависимости от количества светильников и мощности ламп в них применяются, как уже указывалось, однофазные (фаза и нуль), трехфазные (три фазы и нуль) и реже двухфазные (две фазы и нуль) группы. Рекомендуются при трех- и двухфазных группах предусматривать пофазное управление светильниками, т.е. устанавливать не трех- и двухполюсные, а однополюсные выключатели, чем создается большая гибкость в управлении освещением. Необходимо, конечно, при этом равномерно и правильно распределить светильники по фазам. В трехфазных группах светильники присоединяются к фазам в следующем порядке:

- а) A, B, C, C, B, A – если нет необходимости в управлении по участкам или в равномерном уменьшении освещенности;
- б) A, B, C, A, B, C – если необходимо обеспечить при отключении одной или двух фаз достаточно равномерную уменьшенную освещенность по всей площади помещения;
- в) $A, A, A, \dots, B, B, B, \dots, C, C, C$ – если в тех же случаях необходимо сохранить полную освещенность только на части площади цеха.

Управление аварийным освещением

Управление аварийным освещением должно во всех случаях производиться со щитков, число которых должно быть минимально возможным. Устанавливать выключатели, помимо щитков, следует только в отдельных помещениях, которые не используются для проходов и где обслуживающий персонал не находится постоянно (залы заседаний, гардеробы, нормально закрытые производственные помещения).

Светильники аварийного освещения должны быть присоединены к сети, не зависящей от сети рабочего освещения; допускается питание от сети рабочего освещения с автоматическим переключением на независимые источники питания при аварийных ситуациях. Светильники аварийного освещения должны отличаться от светильников рабочего освещения типом, размером или иметь специальные знаки.

Для аварийного освещения разрешается применять светодиодные лампы, лампы накаливания, КЛЛ и ЛЛ (последние при температуре воздуха более 10 °С). Применение ламп ДРЛ, ДРИ и ксеноновых для этих целей запрещается.

При необходимости, когда позволяют условия, для управления освещением можно использовать вводные автоматы групповых или магистральных щитков [23].

В крупных производственных зданиях, где светильники системы общего освещения питаются от нескольких подстанций и по условиям производства допустимо централизованное управление, включать и отключать освещение отдельных участков зданий из многих мест нецелесообразно. В этом случае используют дистанционное управление общим освещением из одного места, в котором постоянно дежурит обслуживающий персонал. Управлять освещением можно, например, из пункта дежурного энергетического персонала предприятия, диспетчерского пункта, электромашинного помещения, кабинета начальника цеха и т.д. Дистанционное управление осуществляется магнитными пускателями или контакторами, установленными на щитах станций управления или в шкафах управления и включенными в цепи линий питающей осветительной сети. При большом количестве управляемых объектов используются телемеханические системы управления. Передача управляющих сигналов может осуществляться по контрольным, телефонным кабелям и т.п. Для дистанционного управления целесообразно использовать телефонные кабели телеуправления. Автоматическое дистанционное управление осуществляется при помощи специальных устройств, в которых используются реле времени, фотоэлементы или фоторезисторы. Более перспективными являются фотоэлектронные автоматы, управляющие искусственным освещением в зависимости от уровня естественной освещенности. Могут также применяться, как указывалось, системы автоматического управления осветительными установками, обеспечивающие отключение рядов светильников, расположенных параллельно окнам, в зависимости от уровня естественной освещенности.

Централизованное управление осветительными установками жилых, общественных и административно-бытовых зданий предприятий осуществляется с помощью коммутационных аппаратов вводно-распределительных устройств (ВРУ). Для этого могут использоваться ВРУ, оснащенные блоками автоматического или диспетчерского управления освещением общедомовых помещений (коридоров, вестибюлей, холлов и др.).

В производственных, жилых и общественных зданиях могут применяться системы освещения с регулировкой светового потока люминесцентных ламп низкого давления, оснащенных электронными ПРА. Эти системы могут быть с автоматическим или ручным управлением.

Управление установками наружного освещения территорий предприятий целесообразно во всех случаях осуществлять централизованно. При этом их необходимо объединять в группы в зависимости от назначения и времени работы.

К первой группе относят установки наружного освещения территорий, предназначенных для осуществления технологического процесса, например открытые склады, где ведутся работы во вторую и третью смены; разгрузочные рампы и площадки; технологические площадки предприятий химической промышленности; железнодорожные станции и т.п.

Вторую группу составляют: светильники наружного освещения, установленные в открытых распределительных устройствах трансформаторных подстанций, светильники, обеспечивающие безопасность движения на тротуарах, автомобильных дорогах, а также световые ограждения высотных объектов и др.

В третью группу включают охранное освещение, светильники которого располагаются по периметру территории предприятия, на проходных и т.д.

Сети наружного и внутреннего освещения должны быть раздельными. Сеть наружного освещения, как правило, выполняется отдельными линиями от подстанций. Разделение питания наружного и внутреннего освещения может осуществляться, начиная от вводного устройства в здании. Прилегающие к зданию открытые площадки, склады и наружные технологические установки допускается питать от сети здания, но от отдельных щитков или, по крайней мере, групповых линий, управляемых совместно с остальным наружным освещением. Освещение погрузочно-разгрузочных рамп при зданиях, участков, расположенных под навесами, и входов может питаться совместно с внутренним освещением, причем освещение входов предпочтительно присоединять к сети аварийного освещения, постоянно включенной во время действия рабочего освещения.

В местах присоединения осветительной сети к источнику питания, т.е. щиту подстанции, ВРУ, а также к силовым магистралям или распределительным пунктам должны устанавливаться аппараты защиты и управления [7]. Для группы линий одного вида освещения, отходящих от распределительных щитов или магистральных щитков, допускается применение общих аппаратов управления. На вводах в здания от воздушных линий или от подстанций, расположенных вне здания, следует предусматривать аппараты управления. На вводах также должны

быть установлены аппараты защиты, кроме случаев питания здания отдельной линией, защищенной в ее начале, или наличия защиты в местах ответвления линий питающей сети от магистрали. Установка аппаратов защиты нужна в начале стояков жилых, общественных и административно-бытовых зданий, обслуживающих не менее трех этажных щитков (кроме случая питания стояка отдельной линией с защитой в ее начале).

Наличие аппаратов управления на вводах в групповые щитки позволяет при ремонтных работах отключать весь щиток, но увеличивает количество электрических аппаратов. Поэтому рекомендуется [16] устанавливать эти аппараты в случае, когда к магистральной линии присоединено не менее четырех, а в зданиях без естественного освещения – не менее трех щитков.

Контрольные вопросы

1. Каким документом определен порядок организации управления освещением на предприятии?
2. Кратко охарактеризуйте назначение шкафов, ящиков управления освещением.
3. Перечислите особенности аварийного освещения.

ГЛАВА 10. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

Энергоэффективной следует считать такую осветительную установку, которая создает высококачественное освещение и сохраняет свои характеристики на протяжении длительного времени при низких расходах на потребление электроэнергии, эксплуатацию, капитальных затрат на приобретение и монтаж. Экономия электроэнергии на освещение не должна достигаться за счет снижения норм освещения, отключения части световых приборов или отказа от использования искусственного освещения при недостаточном уровне естественного света, поскольку потери от ухудшения условий освещения значительно превосходят стоимость сэкономленной электроэнергии.

Повышение энергоэффективности осветительных установок неразрывно связано с задачей комплексного снижения затрат в ОУ, так как для любого потребителя важно не только снижение энергоемкости, но и срок окупаемости затрат на новую или переоборудованную ОУ. В конечном итоге эффективность ОУ определяется стоимостью световой энергии, генерируемой за срок ее службы и в значительной степени зависящей от затрат на электроэнергию.

Сегодня можно назвать 10–12 общепризнанных мероприятий по экономии электроэнергии при освещении [31]:

1. Замена ламп накаливания (ЛН) на люминесцентные (ЛЛ) и другие газоразрядные с увеличением эффективности в разы.
2. Сокращение непроизводительной продолжительности горения ламп за счет максимального использования естественного освещения, правильного устройства управления освещением, применения автоматического и программного управления им.
3. Экономия за счет рациональной световой окраски стен и потолков производственных помещений.
4. Оптимальные схемы замены изношенных ламп в процессе эксплуатации с определением полезного срока службы ламп путем экономического расчета выбора варианта замены, при котором приведенные годовые затраты на освещение будут минимальными. Замена ламп после их перегорания не является наилучшим решением. Большинство типов ламп (ЛЛ, ДРЛ) перегорают, когда их световой поток снижается до 50 % и более. Это означает, что уровень освещенности бывает недостаточным для выполнения задач по организации комфортных и безопасных условий работы, но при этом расход электроэнергии на освещение составляет 100 %.

5. Поддержание светильников в надлежащей чистоте с обеспечением их высокого светового КПД и необходимой формы кривой силы света.

6. Правильный выбор светильников и ламп, удовлетворяющих строительным нормам и правилам.

7. Правильная эксплуатация электроосветительных установок и их планово-предупредительный ремонт.

8. Выбор более экономичных для конкретных осветительных установок источников света и светильников. Например, замена традиционных ламп накаливания на более экономичные криптоновые ЛН (типа НБК с биспиральным телом накала, заполненные криптоном). Эти лампы дороже ламп типа НБ, заполненных аргоном, но значительно экономичнее по расходу электроэнергии. Лампы НБК-220, рассчитанные на 220 В, имеют на 11–16 % больший световой поток, чем лампы НБ-220 (например, для 100 Вт ламп световой поток составляет: для НБ-200 – 1240 лм, а для НБК-220 – 1380 лм). Известно [1] также, что для ламп с напряжением 127 В (НБ-127 и НБК-127) световой поток выше, чем при напряжении 220 В, на 5,5–19 %.

9. Замена светильников с низким или ухудшенным за время эксплуатации КПД на более эффективные, например, с корпусами из алюминия с отражением, близким к зеркальному.

10. Разработка и применение рациональных схем осветительных сетей, уменьшение потерь электроэнергии, повышение коэффициента мощности ($\cos \varphi$) в электроосветительных установках.

11. Разработка и внедрение светодиодов – новых источников света.

В свое время сотрудниками ООО «ВНИСИ» был прогнозирован возможный эффект снижения энергозатрат от внедрения светодиодов (СД) – он составлял по их расчетам примерно 45–50 % от фактического объема (это около 65–70 млрд кВт · ч в год).

Энергосберегающие светильники на полупроводниковых источниках света открывают принципиально новый путь количественного и качественного изменения ситуации.

Бурный и неудержимый прогресс СД как источников света не только для световой сигнализации, местного и декоративного освещения, но и перспективных устройств для общего, внутреннего и наружного освещения, открывает новые горизонты благодаря комплексу их положительных свойств.

Кроме того, что светильники на светодиодах обладают спектром излучения, близким к солнечному, они могут иметь цветовую температуру от «холодного белого» до «тёплого белого» цвета.

Как указывалось, сегодня для освещения улиц и дорог наиболее широко используются лампы ДРЛ, ДНаТ, ДНаЗ. Лампы ДНаТ, ДНаЗ имеют узкий спектр излучения, который не обеспечивает приемлемой цветопередачи. Их свет имеет характерную желтую окраску, что является существенным недостатком ламп этого класса.

Многие исследования показали, что белый свет имеет преимущества перед другим освещением:

- он улучшает ночное видение на 40–100 % относительно освещения другого спектра;
- он улучшает цветное восприятие (цветопередачу), что, в свою очередь, увеличивает контраст изображения и восприятия глубины пространства.

Важной характеристикой светодиодного светильника является отсутствие стробоскопического эффекта – пульсаций, характерных для всех типов газоразрядных ламп.

Также известно, что почти все лампы, традиционно используемые в уличных светильниках, дают излучение в радиусе 360°. Эти лампы расходуют 80 % энергии на собственный нагрев. Светильники с такими лампами имеют рефлекторы для создания необходимой направленности излучения, где теряется порядка 35 % светового потока лампы, за счёт потерь света, излучаемого в рефлектор.

Одной из основных причин, влияющих на спад светового потока ламп ДНаТ, ДНаЗ и уменьшение их срока службы, является момент включения или кратковременного обесточивания, потому что при подаче напряжения возникает моментальный рост пускового тока, разрушающий элементы конструкции лампы. С каждым включением лампы наблюдается ее ускоренное старение, объясняемое усиленным распылением материала электродов большими пусковыми токами, возникающими при установлении дугового разряда, что связано с переходными процессами, происходящими в горелке лампы. В результате перечисленных факторов электрические параметры лампы выходят за пределы возможностей пускорегулирующей аппаратуры, и лампа перестает работать. Кроме того, нагрузка на кабели при этом повышается более чем в два раза.

Указанные неблагоприятные факторы особенно начинают сказываться при минусовых температурах. Лампы быстро выходят из строя или очень долго загораются.

Перегоревшие лампы необходимо менять на новые, что создает дополнительные затраты и неудобства, особенно при замене в зимний период. Перегоревшие лампы подлежат обязательной утилизации.

Утечка ртути или других газов из ламп при их повреждении, если возникает бой ламп при транспортировке и эксплуатации, может приводить к возникновению экологических проблем (загрязнение окружающей среды), негативному влиянию на здоровье людей.

Светодиодные светильники серии УСС на сегодняшний день имеют ряд преимуществ перед другими источниками света:

- экологическая безопасность и отсутствие необходимости специальной утилизации, так как не содержат ртути и другие ядовитые или вредные составляющие;
- высокая механическая прочность, виброустойчивость и надежность из-за отсутствия стеклянной колбы и нити накаливания;
- чистота света, отсутствие инфракрасного и УФ-излучения;
- контрастность света светодиодного светильника обеспечивает значительно лучшую четкость освещаемых объектов и цветопередачу;
- отсутствие вредного эффекта низкочастотных пульсаций (стробоскопического эффекта).

Срок окупаемости при замене уличного светильника с лампой ДНаТ 90 Вт на светильник со светодиодами при среднесуточной работе 12 часов составляет 4,5 года. Выгодно использовать СД в жилищно-коммунальном хозяйстве для освещения лестничных клеток, холлов, лифтов, для подсветки указателей и аварийного освещения.

Замена источника света на источник с большей световой отдачей приводит к снижению энергодефицита, экономии меди (за счет использования проводников меньшего сечения) и повышению надежности электросетей.

Имеются другие показатели у ИС, которые также влияют на энергоэффективность. Одним из таких показателей является поведение ламп при снижении величины питающего напряжения ниже номинального. Характер влияния пониженного напряжения на ИС интересен в двух случаях. С одной стороны, для экономии электроэнергии в соответствии со СНиП 23-05-95 допускается в ночное время снижение уровня освещенности на 30–50 % за счет уменьшения питающего напряжения. С другой стороны, важна устойчивость ИС к колебаниям сетевого напряжения и неизбежному его падению напряжения на удаленных от центра питания лампах.

Нагрузка потребителей в сети изменяется в течение суток. В часы вечернего максимума потребления электроэнергии возрастают потери напряжения в сети и его отклонение на источниках света увеличивается. Согласно ПУЭ, в силовых сетях допустимые потери

напряжения на линии от источника питания до наиболее удаленной точки сети при нормальном режиме не должны превышать 5 %, а у ламп промышленных предприятий и общественных зданий – более 2,5 % от их номинального напряжения. Колебание напряжения приводит к соответствующим изменениям светового потока и освещенности и, в конечном итоге, оказывает влияние на утомляемость человека.

Как следствие снижения напряжения происходит уменьшение светового потока ИС. При колебаниях напряжения в сети в пределах 10 % изменение светового потока ламп от напряжения носит для ЛН степенной характер:

$$\frac{\Phi}{\Phi_{\text{нор}}} = \left(\frac{U}{U_{\text{нор}}} \right)^{3,65}$$

и линейный $\frac{\Phi}{\Phi_{\text{нор}}} = k \left(\frac{U}{U_{\text{нор}}} \right) + c$ для ЛЛ, ДРЛ и СД (значения коэффициентов k и c приведены в табл. 10.1).

Таблица 10.1

Значения коэффициентов k и c для различных источников света

Коэффициенты	ДРЛ	ЛЛ	СД синий	СД желтый	СД красный
k	3,26	1,05	3,75	2,0	1,96
c	2,26	0,05	2,75	0	0

Из приведенных зависимостей следует, что меньше всех реагируют на отклонения напряжения ЛЛ. Уменьшение напряжения на 5 % приводит к снижению светового потока на 5,2 % для ЛЛ и на 15–20 % для остальных источников света.

Понижение напряжения в сети от номинального практически не влияет на цветовой сдвиг излучения газоразрядных ламп и светодиодов, тогда как у ЛН с уменьшением напряжения цветовая температура снижается и излучение становится желто-красным. При пониженном напряжении ухудшаются условия зажигания ЛЛ и ДРЛ и, как следствие, сокращается срок их службы.

Следует отметить, что регулирование яркости ИС производится не за счет снижения напряжения источника питания, а методом широтно-импульсной модуляции, специальными регуляторами – диммерами, которые могут работать с различными нагрузками.

Изменение температуры ЛЛ трубки по сравнению с оптимальной как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения вызывает снижение светового потока, ухудшение условий зажигания и сокращение срока службы. Надежность зажигания стандартных ламп при работе со стартерами начинает особенно заметно падать при температурах ниже -5°C и при понижении напряжения сети. Например, при -10°C и напряжении сети 180 вместо 220 В число незажигающихся ламп может достигать до 60–80 %. Такая сильная зависимость делает применение ЛЛ в помещениях с низкими температурами неэффективным.

Перегрев ЛЛ помимо уменьшения светового потока сопровождается некоторым изменением цветности.

Экономия электроэнергии за счет замены ламп с установленной мощностью $P_{\text{ном1}}$ на более эффективные лампы с установленной мощностью $P_{\text{ном2}}$, обеспечивающие требуемое качество освещения, определяется по формуле

$$\Delta W_0 = K_c \cdot (K_{\text{ПРА1}} \cdot P_{\text{ном1}} - K_{\text{ПРА2}} \cdot P_{\text{ном2}}) \cdot T_{\text{МО}}, \quad (10.1)$$

где $K_{\text{ПРА1}}$ и $K_{\text{ПРА2}}$ – коэффициенты, учитывающие потери в ПРА соответствующих ламп; $T_{\text{МО}}$ – годовое число часов использования максимума осветительной нагрузки.

Для достижения рационального расхода электроэнергии на освещение необходимо правильно выбрать схему освещения, тип, число и мощность ламп, типы применяемых светильников, а также оптимально разместить их в помещениях.

В процессе эксплуатации в светильниках следует применять лампы, предусмотренные в проектах и соответствующие нормам освещенности. Завышение установленной мощности осветительных приборов приводит к повышению тока нагрузки и, следовательно, температуры нагрева проводников, что может иметь негативные последствия, а также к неоправданному перерасходу электроэнергии, определяемому по выражению

$$\Delta W_0 = K_{\text{co}} \cdot K_{\text{ПРА1}} \cdot (P_{\text{фо}} - P_{\text{по}}) \cdot T_{\text{МО}}, \quad (10.2)$$

где $P_{\text{фо}}$ – фактическая мощность ламп; $P_{\text{по}}$ – установленная мощность ламп, предусмотренная проектом или необходимая для обеспечения нормированной освещенности.

Относительная экономия (или перерасход) электроэнергии, получаемая при использовании вместо одного источника света (10.1) другого (10.2), может быть определена по выражению

$$\Delta W\% = \left(1 - \frac{K_{\text{ПРА}2} \cdot E_2 \cdot C_2 \cdot K_{32} \cdot H_1}{K_{\text{ПРА}1} \cdot E_1 \cdot C_1 \cdot K_{31} \cdot H_2} \right) \cdot 100 \%, \quad (10.3)$$

где E_1 и E_2 – нормируемые уровни освещенности для осветительных установок с источниками света 1 и 2; C_1 и C_2 – отношение минимальной расчетной освещенности к нормированной для источников света 1 и 2 ($0,9 \leq C \leq 1,2$); K_{31} и K_{32} – коэффициенты запаса в осветительных установках с источниками света 1 и 2; H_1 и H_2 – световая отдача источников света 1 и 2.

Положительное значение $\Delta W\%$ соответствует экономии, отрицательное – перерасходу электроэнергии.

При одинаковых значениях расчетных коэффициентов и уровня освещенности выражение (10.3) приобретает вид

$$\Delta W\% = \left(1 - \frac{H_1}{H_2} \right) \cdot 100 \%. \quad (10.4)$$

Весьма важно для экономии энергоресурсов применять световые приборы с высоким значением коэффициента полезного действия. Отметим, что его значение лежит в диапазоне от 46 до 88 %.

Для сокращения продолжительности включения ламп, как отмечалось, могут применяться системы управления осветительными установками, обеспечивающие отключение рядов светильников, расположенных параллельно окнам, в зависимости от уровня естественной освещенности. Снизить время использования установок искусственного освещения в помещениях зданий, имеющих большую площадь остекления, можно путем регулярного (не менее двух раз в год) мытья стекол, что приводит к экономии электроэнергии до 3 %.

Также до 3 % экономии электроэнергии можно получить за счет выполнения регламентированных [3] периодических очисток светильников от пыли и грязи на месте установки или в мастерской (не менее 18 очисток в год в наиболее пыльных помещениях, 6 – в помещениях со средним выделением пыли, 4 – в помещениях с невысоким уровнем запыленности и на территории пыльных производств, 2 – на территории городов и непыльных производств), а также поддержанием в чистоте световых проемов окон, фонарей и т.п.

Благоприятно влияет на использование осветительных установок своевременная и надлежащая окраска колонн, ферм, стен, потолков и производственного оборудования в светлые тона.

Для энергосбережения важным является поддержание рационального режима эксплуатации осветительных установок, обеспечивающего включение искусственного освещения в тех местах, где это необходимо в требуемое время. Этому способствует оптимальное размещение световых приборов и рациональное построение осветительной сети с использованием аппаратов управления, обеспечивающих включение (отключение) требуемого количества светильников. Кроме обычных коммутационных аппаратов могут использоваться специальные приборы, обеспечивающие регулирование светового потока источника света в заданном диапазоне. При этом могут применяться системы с ручным или автоматическим управлением в зависимости от уровня естественного освещения. Отметим, что существуют ЭПРА, содержащие устройства для регулирования светового потока.

Зрительный аппарат человека сформировался за многие тысячи лет эволюции в условиях, когда единственным источником света было Солнце. Мы привыкли считать правильными те цвета предметов, которые они имеют при солнечном освещении. С конца XIX века в жизнь людей стали активно вторгаться электрические источники света. Пока были только тепловые источники света (лампы накаливания), имеющие сплошной спектр излучения, зрительный аппарат человека подсознательно вносил коррективы в восприятие цветов при искусственном освещении, и проблем с оценкой качества цветопередачи не возникало. Положение резко изменилось с массовым внедрением газоразрядных источников света, имеющих не сплошной, а линейчатый или полосчатый спектр излучения. Люди стали замечать, что при освещении таким светом цвет предметов изменяется, и иногда это бывает настолько сильным, что предметы становятся трудно узнаваемыми. Поэтому в 70-е годы минувшего века была выработана методика оценки качества цветопередачи при освещении искусственным светом. Международными организациями было выбрано и согласовано несколько типов предметов, цвет которых оценивался при освещении их различными источниками света: человеческая кожа, зеленые листья растений, специальные выкраски. Оценки качества цветопередачи каждого из таких предметов при освещении их оцениваемым источником света по сравнению с освещением «стандартным» источником были названы «частными индексами цветопередачи», а средняя из полученных

14-ти оценок – «общим индексом цветопередачи». За «стандартный» источник был принят свет тепловых излучателей, т.е. ламп накаливания, их общий индекс цветопередачи по соглашению равен $R_a = 100$.

Человек примерно 80 % информации получает через органы зрения, зрительный комфорт напрямую зависит от степени освещенности. Качественная световая среда – создает зону безопасности и визуального комфорта. Каждому знакома смена чувства тревоги и напряжения на уверенность и чувство защищенности при выходе из неосвещенного переулка на освещенную улицу. Статистика однозначно свидетельствует, что в районах с хорошим уровнем освещенности число преступлений в темное время суток значительно ниже, чем в районах с уровнем освещенности ниже норм и тем более, где оно вообще отсутствует.

Все существующие люминесцентные лампы представляют собой газоразрядные лампы низкого давления, в которых ультрафиолетовое излучение преобразуется с помощью люминофорного покрытия в видимый свет. Люминесцентная лампа наполнена парами ртути и инертным газом (аргоном), а ее внутренние стенки покрыты люминофором. Под действием высокого напряжения в лампе происходит движение электронов. Столкновение электронов с атомами ртути образует невидимое ультрафиолетовое излучение, которое, проходя через люминофор, преобразуется в видимый свет. Подбирая соответствующие виды люминофора, можно изменять цветовые характеристики ламп, т.е. создавать белый свет с различными световыми нюансами для различных световых решений.

Давление ртутных паров в лампе зависит от температуры ее стенок и составляет при нормальной рабочей температуре 40 °С примерно $0,13\text{--}1,3 \text{ н/м}^2$ ($10^{-2}\text{--}10^{-3}$ мм рт. ст.). Такое давление обеспечивает интенсивное излучение разряда в ультрафиолетовой области спектра (преимущественно с длиной волны $\lambda = 184,9$ и $253,7$ нм), которое и возбуждает свечение люминофорного слоя лампы. Наиболее распространенным люминофором является галофосфат кальция, активированный сурьмой Sb и марганцем Mn.

Изменяя соотношение активаторов, можно получить люминофоры разных марок и изготавливать лампы разной цветности. ЛЛ первого поколения (Т12) содержали до 30–50 мг ртути. Современные компактные люминесцентные лампы в зависимости от мощности содержат 2–6 мг ртути, но и это количество небезопасно. ПДК паров ртути очень низкая – $0,0003 \text{ мг/м}^3$, что подтверждает ее исключительную токсичность.

Есть опасность отравления ртутью из разбитой линейной ЛЛ с содержанием этого вещества до 50 мг и, что более важно, опасность загрязнения интерьера – ртуть легко адсорбируется самыми различными материалами. Например, если лампа падает на ковер и разбивается, то очистить его от ртути практически невозможно.

Широкое распространение получили ЛЛ с амальгамами индия In, кадмия Cd и других элементов, позволяющие снизить давление паров ртути над амальгамой.

Вместе с тем амальгамные лампы медленнее разгораются, чем лампы, содержащие жидкую ртуть.

Первые 10–20 секунд после зажигания они светят совсем слабо, а полную яркость набирают лишь через 2–3 минуты. Альтернатива – экологическая безопасность либо моментально яркий свет.

Более низкое давление паров ртути над амальгамой дает также возможность расширить температурный диапазон оптимальных световых отдач до 60 °С вместо 18–25 °С для чистой ртути.

В связи с этим представляют интерес безртутные ЛЛ с разрядом низкого давления в инертных газах. В этом случае люминофор возбуждается излучением с λ от 58,4 до 147 нм. Поскольку давление газа в безртутных ЛЛ практически не зависит от окружающей температуры, неизменными остаются и их световые характеристики.

Для ЛЛ характерна пульсация светового потока при работе ламп на переменном токе, т.е. так называемый стробоскопический эффект.

Снижение пульсаций (улучшение экологической обстановки) достигается равномерным включением ламп в три фазы питающей сети за счет спецустройств. Срок службы ламп ограничен дезактивацией и распылением катодов. Отрицательно сказываются на сроке службы ламп и колебания напряжения питающей сети, и частые включения и выключения источников света. Как правило, световая отдача, КПД, коэффициент пульсации, коэффициент цветопередачи и другие показатели снижаются в процессе горения и практически определяют продолжительность горения в экологически устойчивой зоне.

Паразитные излучения. Как известно, в люминесцентных лампах первичное ультрафиолетовое излучение преобразуется в видимый свет посредством люминофора. При этом около 1 % УФ пробивается наружу, что обычно не представляет проблемы. Однако компактные люминесцентные лампы, применяемые в настольных светильниках, находятся так близко от человека, что пренебрегать УФ-лучами уже нельзя.

При длительном воздействии они могут вызвать раздражение кожи, обострить имеющиеся кожные заболевания и спровоцировать новые. Первыми это заметили в Британской ассоциации дерматологов, куда стали обращаться ювелиры и прочие специалисты, нуждающиеся в ярком освещении рабочего места. Немало людей с фоточувствительной кожей пострадали от перехода на компактные люминесцентные лампы. Медицинские эксперты советуют находиться не ближе 30 см от лампы, а также использовать дополнительное защитное стекло. Кроме того, дешёвые лампы не имеют помехоподавляющих фильтров в ЭПРА и дают наводки в электросеть, что негативно влияет на чувствительную аппаратуру.

В интересах экологической устойчивости Правительство РФ Постановлением от 2 июля 2011 г. № 602 установило следующие допустимые значения световой отдачи, цветовой температуры, продолжительности горения ламп, содержания ртути и свинца, спада светового потока, индекса цветопередачи:

1) в отношении ламп люминесцентных со встроенным пускорегулирующим аппаратом продолжительность горения – не менее 8000 часов;

2) в отношении ламп люминесцентных одноцокольных (без встроенного пускорегулирующего аппарата) и двухцокольных продолжительность горения – не менее 10 000 часов;

3) в отношении ламп натриевых высокого давления световая отдача – не менее 80 лм/Вт и продолжительность горения – не менее 20 000 часов;

4) в отношении ламп металлогалогенных световая отдача – не менее 70 лм/Вт и продолжительность горения – не менее 6000 часов;

5) в отношении ламп металлогалогенных мощностью более 1000 Вт продолжительность горения – не менее 2000 часов;

6) в отношении ламп дуговых ртутных люминесцентных световая отдача – не менее 45 лм/Вт и продолжительность горения – не менее 10 000 часов;

7) в отношении светодиодных ламп ненаправленного света (ретрофиты), модулей светодиодных источников света в зависимости от значения цветовой температуры:

при значении цветовой температуры 2700, 3000 К – 50 лм/Вт;

при значении цветовой температуры 3500, 4000, 4500 К – 60 лм/Вт;

при значении цветовой температуры 5000, 5500, 6500 К – 70 лм/Вт;

продолжительность горения – не менее 25000 часов.

Кроме того, установлено максимальное содержание ртути:

- для компактных люминесцентных ламп общего освещения мощностью менее 30 Вт – 5 мг;
- для продукции, выпускаемой после 31 декабря 2012 г., – 2,5 мг;
- в отношении ламп общего освещения мощностью от 30 до 50 Вт – 5 мг;
- в отношении ламп общего освещения мощностью от 50 до 150 Вт – 5 мг;
- в отношении ламп общего освещения мощностью от 150 Вт – 15 мг.

Установлено, что максимальное количество свинца в стекле люминесцентных трубок не должно превышать 0,2 % веса.

Вышедшие из строя лампы, содержащие ртуть, свинец, нельзя выбрасывать вместе с бытовым мусором. В цивилизованных странах повсеместно имеются контейнеры для сбора таких ламп, в России их пока принимали немногочисленные магазины ИКЕА. В Москве еще в 1999 г. начат сбор отработанных ЛЛ через систему ЖКХ.

В 2011 г. было организовано Общество с ограниченной ответственностью «Венчурная Фирма ФИД – Дубна» – разработчик и производитель единственного в РФ рециклингового оборудования для утилизации люминесцентных ламп и демеркуризации, которое может использоваться для:

- утилизации ламп, а именно утилизации люминесцентных и ртутных ламп всех типов;
- утилизации ртутьсодержащих приборов;
- утилизации ртутных амальгам и др.

Фирма имеет свой цех по демеркуризации в г. Дубна Московской области, оснащенный установками УРД – 2 м.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные мероприятия по экономии электроэнергии при освещении.
2. Что означает паразитное излучение ЛЛ?
3. Почему светодиоды относят к доминирующим источникам для освещения на всех уровнях?

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица П1

Нормы освещенности, рекомендуемые ИС и ОП для заводов черной металлургии

Цех, отделение, участок	Разряд зрительной работы	Норма освещенности, лк, для ламп		Характеристика помещения по условиям среды	Тип ИС	Коэффициент запаса	Характерный тип
		РЛ	ЛН				
1	2	3	4	5	6	7	8
ДОМЕННЫЕ ЦЕХА							
Железнодорожные пути	XII	5	5		СД, ДРЛ	1,5	ПЗР,
Подбункерные помещения	VIIIб	50	20	Сырое, пыльное	ЛН	1,5	СДП
Литейный двор	VII	200	150	Пыльное	ДРЛ, ДРИ, ДНаг	2	РСП13, ГСП17, ЖСП01
Разливочная машина:							
воронка	VII	200	150	Жаркое, пыльное	ДРЛ, ДРИ	1,8	РСП13, ЖСП01
ковшовый пролет	VIIIа	75	30		ДРЛ	1,8	РСП13
СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫЕ ЦЕХА							
Пути подвоза чугуна	VIIIб	50	20	Жаркое, пыльное	ДРЛ	2,0	РСП13
Места заливки	VII	200	150		ДРЛ, ДНаТ	2,0	РСП13, ЖСП01
Мартеновский цех	VII	200	150	То же	ДРЛ	2,0	РСП13
Склады	VIIIб	50	20	Пыльное	ДРЛ	1,8	РСП13
Конвертерный цех	VII	200	150	Жаркое, пыльное	ДРЛ, ДРИ, ДНаТ	2,0	РСП13, ГСП17, ЖСП01

Окончание табл. П1

1	2	3	4	5	6	7	8
ЦЕХА ГОРЯЧЕГО ПРОКАТА							
Нагревательные колодцы	VII	200	150	Жаркое, пыльное	ДРЛ, ДРИ, ДНаТ	2,0	РСП13, ГСП17, ЖСП01
Адьюстаж заготовок	IIб	750	300	Пыльное	ДРЛ	1,8	РСП13
Пролет прокатного стана	IVб	200	150	Жаркое, пыльное	ДРЛ	2,0	РСП13
Отделение контроля	IIIб	300	200	Пыльное	ДРЛ	1,8	РСП13
ЦЕХА ХОЛОДНОГО ПРОКАТА ЛИСТА							
Агрегаты непрерывного травления	Va	200	150	Сырое, химически активное	ДРЛ, ДРИ, ДНаТ	1,8	РСП13, ГСП17, ЖСП01
Прокатные станы:							
пролет стана	IVб	200	150	Пыльное	ДРЛ	1,8	РСП13
клетки	IVв	150	100	То же	ДРЛ	1,8	РСП13
Маслоподвалы	VI-1	100	50	Сырое	ДРЛ	1,8	РСП08
Агрегаты резки	IVб	200	150	Пыльное	ДРЛ	1,8	РСП13
Башенные печи:							
нижние и верхние площадки	Vв-1	100	75	Пыльное, жаркое	СД	1,5	ARCTIC M LED
средние площадки	VIIIб	50	20	То же	СД	1,5	ARCTIC M LED
Отделение отделки:							
столы контроля	1б	1250	—	Пыльное	ЛЛ	1,6	ЛСП02
Склад пакетов листов	VI	150	75	То же	ДРЛ	1,6	РСП13

Таблица П2

**Условия среды, рекомендуемые ИС и ОП общего освещения в основных цехах
деревообрабатывающей промышленности**

Отделение, участок, помещение	Условия среды	Тип ИС	Коэффициент запаса	Осветительные приборы общего освещения	
				Степень защиты	Характерные рекомендуемые типы
1	2	3	4	5	6
Участки механической обработки древесины и формовки древесно- стружечных плит	П–II	ЛЛ (ЛБ, ЛБР)	1,6	5'X	ПВЛМ, ПВЛП-1, ЛСП16, ЛСП18, ЛСП22
		МГЛ	1,6	IP5X	ГСП15, ГПП01
		ДРЛ	1,6	IP5X	РСП11, РСП12, РСП16, РСП20, РСП21, РПП01
Участки сортировки фанеры и древесностружечных плит	П–II	ЛЛ (ЛХБ, ЛДЦ)	1,8	5'X	ПВЛМ, ПВЛП-1, ЛСП16, ЛСП18, ЛСП22
		МГЛ	1,8	IP5X	ГСП15, ГПП01
Участки сортировки и облагораживания шпона	П–IIa	ЛЛ (ЛХБ, ЛДД)	1,6	5'X	ПВЛМ, ПВЛП-1, ЛСП16, ЛСП18, ЛСП22
		МГЛ	1,6	5'X	ГСП17, ГСП15, ГПП01
Участки сборки столярных изделий мебели	П–IIa	ЛЛ (ЛБ)	1,5	5'X	ПВЛМ, ПВЛП-1, ЛСП16, ЛСП18, ЛСП22
Склады готовой продукции, атмосферной сушки пилопродукции, хранения плит, фанеры, шпона, помещения сортировочных устройств без торцовки пилопродукции	П–IIa	ЛЛ (ЛБ)	1,5	5'X	ПВЛМ, ПВЛП-1, ЛСП16, ЛСП18, ЛСП22, ГСП17, ГСП15,
		МГЛ ДРЛ	1,5	IP2X	ГПП01, РСП05, РСП08,
			1,5	IP2X	РСГШ, РСП17, РСП18, СД2РТС, РСПН, РСП12, РСП16, РСП20, РСП21, РПП01

Окончание табл. П2

1	2	3	4	5	6
Участки шлифования древесных заготовок деталей, плит, фанеры, калибрования щитовых заготовок, облагораживания лаковых покрытий	В–IIa	ЛЛ(ЛХБ) ЛДЦ, ЛБ) МГЛ	1,8 11,8	IP5X без взрыво- защиты	Н4Т4Л, Н4Т5Л, ПВЛП-1 ЛСП16, ЛСШ8 ГСП25, ГСП15, ГПП01
Участки отделки столярно-строительных изделий и клееных деревянных конструкций	В–Ia	ЛЛ (ЛХБ, ЛДЦ) МГЛ	1,8 1,8	взрыво- защищен- ные	Н4Т4Л, Н4Т5Л ГСП23
Помещения намазки (пропитки) шпона с последующей сушкой	В–Ia	ЛЛ (ЛБ) ДРЛ СД	1,6 1,6 1,4	То же	Н4Т4Л, Н4Т5Л ВЗТЗ-ДРЛ, РСР25 В4А, ВЗГ, ВЗГ/В4А, Н4Б, НСП23
Участки приготовления смол	В–Ia	ЛЛ (ЛБ) ДРЛ СД	1,5 1,5 1,3	То же	Н4Т4Л, Н4Т5Л ВЗТЗ-ДРЛ, РСР25 В4А, ВЗГ, ВЗГ/В4А, Н4Б, НСП23
Участки приготовления лакокрасочных покрытий	В–I	МГЛ ДРЛ СД	1,8 1,8 1,5	взрывобе- зопасные	ГСП25, ВЗТЗ-ДРЛ, РСР25 В4А, ВЗГ, ВЗГ/В4А

**Строительные параметры, условия среды и рекомендуемые типы ИС, а также коэффициенты запаса ОУ
в цехах электромашиностроительного производства**

Цех, отделение, участок	Строительные помещения, м		Среда	Коэффициент запаса	Тип ИС	Степень защиты	Тип ОП
	Модуль	Высота					
1	2	3	4	5	6	7	8
Цех изготовления сердечников	6×6 – 6×18	3,6–6,0	Пыльная	1,6	ЛЛ в сочетании с ДРЛ или СД	5'3, 5'4 5'0	ЛСП18, ЛСП22, ПВЛМ (с лампами типа ЛБР) в сочетании с «кососветами» (РСП21, СДП)
				1,8	ЛЛ	5'3, IP20	ЛСП06, ПВЛМ-Д, ЛДОР в сочетании с «кососветами» ЛСП13
				1,6	ДРЛ	IP54, 5'3	РПП01, РСП21
					ДНаТ		ЖППО1
	6×6 – 6×24	6,0–9,0		1,6	ДРЛ	IP52, 5'0	РСП11 РСП12, РСП16 в сочетании с «кососветами» РСП21
				1,6	ДРЛ	5'0, IP52, 5'3	РСП20, СД2РТС
				1,8; 1,6	ДРЛ	5'0, IP20	РСП05, РСП14
				1,6; 1,8	ДНаТ	5'0, 5'3	ЖСП20, ЖСП01

Окончание табл. ПЗ

1	2	3	4	5	6	7	8
		9,0–14,4		1,6 1,8 1,6; 1,8	ДРЛ ДРЛ ДРИ	<i>IP52, IP20</i> 5'0, 5'3	РСП12, РСП18 РСП05, РСП13 ГСП15, ГСП17, ГСП18
Участок пропитки	6×6 – 6×18	3,4–6,0 6,0–10,0	Классов В–Ia, В–Iб и химически агрессивная	1,6 1,6 1,6 1,6 1,3	ЛЛ ДРЛ ДНаТ ДРЛ СД	<i>IP65</i> <i>IP54</i> <i>IP54</i> <i>IP56, IP54</i> <i>IP54</i>	ЛСП18 (с лампами ЛБР) РПП01 ЖПП01 РСП30, РСП25 СДП
Механосборочный цех	6×6 – 6×18 6×6 – 6×36	4,8–6,0 6,0–9,0 9,0–15,0 15,0–20,0	Нормальная	1,5 1,5 1,5 1,5 1,5 1,5	ЛЛ ЛЛ ЛЛ ДРЛ ДРЛ ДРИЗ-2 ДРЛ ДРИЗ-3	<i>IP20</i> <i>IP20</i> <i>IP20</i> <i>IP20</i> <i>IP20</i> 5'0 <i>IP20</i> 5'0	ЛСП02, ЛСП06, ЛДОР ЛСП13 ЛСП13 РСП05, РСП18 РСП05, РСП18 РСП05, РСП18

Таблица П4

**Приблизительные значения коэффициентов отражения
стен и потолка**

Характер отражающей поверхности	Коэффициент отражения, %
Побеленный потолок; побеленные стены с окнами, закрытыми белыми шторами	70
Побеленные стены при незавешенных окнах; побеленный потолок в сырых помещениях; чистый бетонный и светлый деревянный потолок	50
Бетонный потолок в грязных помещениях; деревянный потолок; бетонные стены с окнами; стены, оклеенные светлыми обоями	30
Стены и потолки в помещениях с большим количеством темной пыли; сплошное остекление без штор; красный кирпич неоштукатуренный; стены с темными обоями	10

Таблица П5

Значения коэффициента запаса

Освещаемые объекты	Коэффициент запаса		
	газоразрядные лампы	лампы накаливания	светодиодные светильники [30]
Производственные помещения при содержании в воздухе пыли, дыма и др., мг/м ³ :			
> 10 – темной	2	1,7	1,5
> 10 – светлой	1,8	1,5	1,3
5–10 – темной	1,8	1,5	1,3
5–10 – светлой	1,6	1,4	
< 5	1,5	1,3	1,1
Помещения с особым режимом по чистоте при светильниках нижнего обслуживания	1,3	1,15	1
Вспомогательные помещения с нормальной средой и помещения общественных и жилых зданий	1,5	1,3	
Территории предприятий и городов	1,5	1,3	

**Коэффициенты использования светового потока.
Светильники с лампами ДРЛ (РСП/Г, РСП/Л)**

Тип светильника	РСП05/Г03; С34ДРЛ					РСП07; РСП03/Л00; РСП08/Л5'0				
$\rho_{\text{П}}, \%$	70	70	50	30	0	70	70	50	30	0
$\rho_{\text{С}}, \%$	50	50	30	10	0	50	50	30	10	0
$\rho_{\text{Р}}, \%$	30	10	10	10	0	30	10	10	10	0
i	Коэффициенты использования, %									
0,5	51	49	45	42	41	23	22	18	12	12
0,6	56	54	49	46	45	30	30	22	18	16
0,7	60	57	53	50	50	35	32	27	21	20
0,8	63	60	56	53	53	40	38	30	25	23
0,9	66	63	58	56	55	43	39	33	29	26
1	68	65	61	59	57	47	40	37	31	29
1,1	70	67	62	60	59	50	44	40	33	31
1,25	73	68	64	62	61	53	50	42	37	34
1,5	78	71	68	65	64	58	54	46	41	38
1,75	81	73	70	68	66	62	57	50	44	41
2	82	74	72	69	67	66	60	54	48	44
2,25	84	75	72	70	68	68	62	56	50	45
2,5	85	76	73	71	69	70	64	58	52	47
3	86	78	74	73	70	74	67	60	56	50
3,5	87	78	75	74	71	77	70	62	58	52
4	89	79	76	74	72	79	71	63	59	53
5	91	80	78	76	73	82	72	65	63	55
$\Phi_{\text{П}} / \Phi_{\text{СВ}}, \%$	80					64				
$\Phi_{\text{Л}} / \Phi_{\text{СВ}}, \%$	0					16				

**Коэффициенты использования светового потока.
Светильники с лампами ДРЛ (РСП/Д, СД, УПД)**

Тип светильника	РСП05/Д03; СД2РТС; РСП08/Д03; СД2ДРЛ; РСП08/Д5'3					УПДДРЛ				
$\rho_{\text{п}}, \%$	70	70	50	30	0	70	70	50	30	0
$\rho_{\text{с}}, \%$	50	50	30	10	0	50	50	30	10	0
$\rho_{\text{р}}, \%$	30	10	10	10	0	30	10	10	10	0
i	Коэффициенты использования, %									
0,5	33	29	27	22	20	30	30	23	20	18
0,6	38	37	31	27	26	37	36	30	27	26
0,7	43	41	35	32	31	42	40	33	31	29
0,8	46	44	38	35	34	45	43	37	34	33
0,9	49	47	41	38	37	47	45	40	37	35
1	52	49	44	40	39	49	47	41	40	38
1,1	54	51	46	43	41	51	50	43	42	40
1,25	57	54	48	45	44	55	53	47	44	42
1,5	62	57	53	49	48	59	56	50	48	45
1,75	66	60	56	52	51	62	58	53	50	48
2	63	62	58	54	53	67	60	56	53	51
2,25	70	63	59	56	55	69	62	57	54	52
2,5	72	65	61	58	56	71	63	59	57	53
3	74	67	62	60	58	73	66	60	58	56
3,5	76	68	64	62	59	75	67	61	59	57
4	77	69	65	63	60	77	69	63	61	58
5	80	71	68	65	63	79	70	66	63	60
$\Phi_{\cup} / \Phi_{\text{св}}, \%$	80					70				
$\Phi_{\cap} / \Phi_{\text{св}}, \%$	0					2				

**Коэффициенты использования светового потока.
Светильники с лампами ДРЛ (РСР/К, С, РСР/Г)**

Тип светильника	РСР05/К03; С35ДРЛ					РСР08/Г03; РСР08/Г5'3				
$\rho_{\text{П}}, \%$	70	70	50	30	0	70	70	50	30	0
$\rho_{\text{С}}, \%$	50	50	30	10	0	50	50	30	10	0
$\rho_{\text{Р}}, \%$	30	10	10	10	0	30	10	10	10	0
i	Коэффициенты использования, %									
0,5	49	46	42	40	37	41	39	35	32	31
0,6	53	50	46	44	42	49	47	42	39	38
0,7	58	54	50	43	47	54	51	47	44	43
0,8	61	57	53	51	50	57	54	50	47	46
0,9	64	59	56	53	52	60	57	53	50	49
1	67	61	58	55	54	63	60	55	53	51
1,1	69	63	60	57	56	65	62	57	55	53'
1,25	71	65	62	59	58	68	64	59	57	55
1,5	74	68	65	62	61	73	67	63	60	59
1,75	76	70	67	64	64	76	69	66	63	61
2	78	71	69	66	65	78	70	67	64	63
2,25	79	72	70	67	66	80	72	68	66	64
2,5	80	74	71	68	67	81	73	69	68	66
3	82	75	72	70	68	83	74	71	69	67
3,5	84	75	72	70	69	84	75	72	70	68
4	85	76	73	71	70	85	76	73	71	69
5	88	76	74	73	71	88	78	75	73	70
$\Phi_{\cup} / \Phi_{\text{СВ}}, \%$	80					80				
$\Phi_{\cap} / \Phi_{\text{СВ}}, \%$	0					0				

**Коэффициенты использования светового потока.
Светильники с люминесцентными лампами 1–3 групп**

Тип светильника	Светильники группы 1					Светильники группы 2					Светильники группы 3				
$\rho_{\text{п}}, \%$	70	70	50	30	0	70	70	50	30	0	70	70	50	30	0
$\rho_{\text{с}}, \%$	50	50	30	10	0	50	50	30	10	0	50	50	30	10	0
$\rho_{\text{р}}, \%$	30	10	10	10	0	30	10	10	10	0	30	10	10	10	0
i	Коэффициенты использования, %														
0,5	28	27	21	18	16	30	28	20	16	14	26	24	20	17	16
0,6	33	32	25	22	20	34	32	24	20	18	32	31	25	21	20
0,7	38	36	30	26	24	38	36	29	24	22	37	35	29	26	24
0,8	42	39	33	29	28	42	40	32	27	24	41	38	32	28	27
0,9	46	42	37	32	31	47	43	36	30	28	45	41	36	32	30
1,0	49	45	40	35	34	50	46	39	33	30	48	44	39	35	33
1,1	52	48	42	38	36	53	49	41	35	32	50	46	41	37	36
1,25	55	50	45	40	39	56	52	44	38	35	53	48	43	39	38
1,5	60	54	49	45	44	61	56	48	42	39	57	52	48	44	42
1,75	63	57	52	48	47	65	59	52	46	42	60	55	51	47	45
2	65	59	55	51	49	68	61	54	48	44	63	57	53	49	48
2,25	68	62	57	53	52	70	64	56	50	46	65	59	55	51	50
2,5	70	63	58	55	54	73	66	58	52	48	67	60	56	53	51
3	73	65	61	58	56	76	68	60	55	50	70	62	58	55	54
3,5	75	67	62	60	58	78	69	62	57	52	71	64	60	57	55
4	77	68	64	61	59	80	71	64	59	53	73	65	61	59	57
5	80	70	67	65	62	84	74	67	62	56	77	67	64	62	60
$\Phi_{\cup} / \Phi_{\text{св}}, \%$	74					66					66				
$\Phi_{\cap} / \Phi_{\text{св}}, \%$	0					16					0				

Таблица П10

**Коэффициенты использования светового потока.
Светильники с люминесцентными лампами 4–6 групп**

Тип светильника	Светильники группы 4					Светильники группы 5					Светильники группы 6				
$\rho_{\text{п}}, \%$	70	70	50	30	0	70	70	50	30	0	70	70	50	30	0
$\rho_{\text{с}}, \%$	50	50	30	10	0	50	50	30	10	0	50	50	30	10	0
$\rho_{\text{р}}, \%$	30	10	10	10	0	30	10	10	10	0	30	10	10	10	0
i	Коэффициенты использования, %														
0,5	25	25	19	14	12	22	18	13	11	9	20	20	16	13	12
0,6	31	29	22	18	16	25	23	17	14	12	26	25	20	17	16
0,7	36	33	26	22	20	28	27	20	16	15	30	29	24	21	20
0,8	39	36	30	25	22	31	29	23	19	17	34	31	27	24	22
0,9	43	40	33	28	25	34	32	26	21	19	37	34	30	26	25
1,0	46	43	36	30	28	37	34	28	23	21	40	36	32	29	28
1,1	49	45	38	32	30	39	36	30	25	23	42	38	34	31	30
1,25	52	47	40	35	32	42	38	32	27	25	44	40	36	33	32
1,5	56	51	44	38	35	46	42	36	30	28	48	44	40	37	36
1,75	59	54	47	42	38	49	44	38	33	30	50	46	42	39	38
2	62	56	49	44	40	51	46	40	35	32	52	48	44	41	40
2,25	64	58	51	46	42	53	48	42	37	34	54	49	46	43	42
2,5	66	60	53	48	43	55	50	43	39	35	56	50	47	45	44
3	69	62	55	50	45	58	52	45	41	37	58	52	49	47	45
3,5	71	63	56	51	46	60	53	47	43	39	60	53	50	48	46
4	73	64	58	53	48	61	54	48	44	40	61	54	51	49	48
5	77	67	60	56	50	65	57	51	48	43	64	56	53	52	50
$\Phi_{\text{с}} / \Phi_{\text{св}},$	59					55					58				
$\Phi_{\text{п}} / \Phi_{\text{св}},$	16					10					0				

Таблица П11

**Коэффициенты использования светового потока.
Светильники с люминесцентными лампами 7 группы и ПВЛМ**

Тип светильника	Светильники группы 7					ПВЛМ-2×40; 2×80 с лампами ЛБР					ПВЛМ-1×40; 1×80 с лампами ЛБР				
$\rho_{\text{п}}, \%$	70	70	50	30	0	70	70	50	30	0	70	70	50	30	0
$\rho_{\text{с}}, \%$	50	50	30	10	0	50	50	30	10	0	50	50	30	10	0
$\rho_{\text{р}}, \%$	30	10	10	10	0	30	10	10	10	0	30	10	10	10	0
i	Коэффициенты использования, %														
0,5	19	19	14	11	8	28	27	20	13	11	27	26	17	12	11
0,6	23	22	18	15	10	33	32	22	17	14	31	30	21	16	14
0,7	26	25	21	18	11	38	36	27	20	17	36	34	25	20	17
0,8	29	27	23	20	13	42	40	30	23	20	39	37	28	22	20
0,9	32	30	25	22	14	47	44	34	26	22	43	40	32	25	22
1,0	34	32	27	24	15	51	47	37	29	25	47	43	34	28	25
1,1	36	34	28	26	16	54	50	39	31	27	50	46	37	30	27
1,25	38	36	30	28	17	57	53	42	34	29	52	48	39	32	29
1,5	42	38	32	30	19	63	57	47	38	33	58	52	44	36	33
1,75	45	41	34	32	20	67	61	50	42	36	61	56	47	40	36
2	47	42	36	34	21	70	63	53	44	38	64	58	49	42	38
2,25	49	44	37	35	22	73	66	55	47	40	67	60	51	44	40
2,5	50	45	39	36	23	76	68	57	49	42	69	63	53	47	41
3	53	47	40	38	24	80	71	60	52	44	73	65	56	50	44
3,5	54	48	41	39	24	82	73	62	54	46	75	67	58	52	46
4	56	49	42	40	25	85	75	64	56	48	78	69	60	54	47
5	59	51	44	42	26	90	79	69	61	52	82	72	64	58	51
$\Phi_{\cup} / \Phi_{\text{св}}, \%$	31					66					66				
$\Phi_{\cap} / \Phi_{\text{св}}, \%$	34					19					19				

Удельная мощность общего равномерного освещения.**Светильники УПМ–15, У, «Астра-1, -11, -12»**

$h, \text{ м}$	$S, \text{ м}^2$	Удельная мощность, Вт/м^2 , при освещенности, лк, равной						
		5	10	20	30	50	75	100
2–3	10–15	2,5	4,5	8	11,3	18,4	26,4	33,6
	15–25	2,1	3,7	6,5	9,1	14,5	21	26,7
	25–50	1,8	3,2	5,6	7,7	12,5	17,8	22,5
	50–150	1,5	2,7	4,7	6,5	10,	15	19,4
	150–300	1,3	2,3	4,1	5,6	9,4	13,3	17
	> 300	1,2	2,1	3,8	5,2	8,7	12,4	15,5
3–4	10–15	3,6	6,1	12,3	16,4	25	35,8	45,8
	15–20	2,9	4,9	9,1	12,9	21,4	28,7	38,8
	20–30	2,4	4	7,3	10,6	17,4	23,2	31
	30–50	1,9	3,3	5,8	8,5	13,4	18,8	24
	50–120	1,6	2,8	4,8	7,3	11,3	15,6	19,9
	120–300	1,3	2,3	4,1	6,1	9,5	13	16,7
	> 300	1,1	1,9	3,6	5,3	8,2	11	14,6
4–6	10–17	5	9,3	20,4	25,5	32,8	50	66,6
	17–25	3,7	7,1	14,6	19,3.	26,9	41,6	55,5
	25–35	2,7	5,1	9,7	13,1	20,4	31,7	42,3
	35–50	2,2	3,8	7,5	10,4	16,2	24,2	32,2
	50–80	1,8	3,1	5,9	8,4	12,9	19	25,3
	80–150	1,5	2,6	5	7	10,6	15,6	20,8
	150–400	1,2	2,2	4,2	5,9	9	13,4	17,8
	> 400	1	1,8	3,4	4,9	7,4	10,9	14,5

Примечание. Учтены значения $\rho_{\text{п}} = 50 \%$, $\rho_{\text{с}} = 30 \%$, $\rho_{\text{р}} = 10 \%$, $k = 1,3$; $z = 1,15$.

**Удельная мощность общего равномерного освещения.
Светильники НСП02, НСП03**

$h, \text{ м}$	$S, \text{ м}^2$	Удельная мощность, Вт/м^2 , при освещенности, лк, равной						
		5	10	20	30	50	75	100
1,53	10–15	3,4	6,7	13,3	20	33,2	50	66,5
	15–25	2,9	5,8	11,6	17,4	29	43,5	58
	25–50	2,4	4,8	9,6	14,4	24	36	48
	50–150	2	4	7,9	11,8	19,8	29,6	39,5
	150–300	1,6	3,1	6,2	9,3	15,5	23,3	31
	> 300	1,4	2,7	5,4	8,1	13,5	20,2	27
2–3	10–15	5	10	20	30	50	75	100
	15–25	3,8	7,5	15	22,5	37,5	56,3	75
	25–50	2,8	5,7	11,4	17,1	28,5	42,7	57
	50–150	2,3	4,5	9	13,5	22,5	33,8	45
	150–300	1,9	3,8	7,5	11,3	18,8	28,1	37,5
	> 300	1,5	3	6	9	15	22,5	30
3–4	10–15	9,4	18,8	37,6	56,5	94	141	188
	15–20	7	13,9	27,8	41,7	69,5	104,2	139
	20–30	5	9,9	19,8	29,7	49,5	74,2	99
	30–50	3,7	7,3	14,6	21,9	36,5	54,7	73
	50–120	2,8	5,6	11,2	16,8	28	42	56
	120–300	2,2	4,4	8,8	13,2	22	33	44
	> 300	1,6	3,2	6,4	9,6	16	24	32

Примечание. Учены значения $\rho_{\text{п}} = 50 \%$, $\rho_{\text{с}} = 30 \%$, $\rho_{\text{р}} = 10 \%$, $k = 1,3$; $z = 1,15$.

Таблица П14

**Удельная мощность общего равномерного освещения.
Светильник НСП07**

$h, \text{ м}$	$S, \text{ м}^2$	Удельная мощность, Вт/м^2 , при освещенности, лк, равной						
		5	10	20	30	50	75	100
4–6	10–17	3,6	7,2	12,2	16,4	26	36,9	49,2
	17–25	3	5,8	10,2	13,8	21,8	32,5	43,3
	25–35	2,6	4,7	8,6	11,9	18,7	28,4	37,8
	35–50	2,3	4,1	7,5	10,4	15,9	25	33,3
	50–80	1,9	3,3	6,1	8,6	12,9	20,2	27
	80–150	1,4	2,5	4,8	6,8	10,4	15,2	20,3
	150–400	1,1	2	3,9	5,4	8,2	12,2	16,2
	> 400	0,9	1,7	3,1	4,4	6,8	10,1	13,4
6–8	25–35	2,9	5,5	10,4	15	23,2	34,8	46,4
	35–50	2,6	4,8	9	12,8	21	31,5	42
	50–65	2,3	4,4	7,8	11	19,1	28,6	38,2
	65–90	2,1	4	7	9,5	17,1	25,6	34,2
	90–135	1,7	3,3	5,8	8,2	14,2	21,3	28,4
	135–250	1,3	2,6	4,5	6,4	10,8	16,3	21,7
	250–500	1,1	2,1	3,7	5,3	8,6	12,8	17,1
	> 500	0,9	1,7	2,9	4,2	7	10,5	14
8–12	50–70	2,9	4,8	9,4	14,2	23,6	35,4	47,2
	70–100	2,5	4,3	8,5	12,7	21,2	31,8	42,4
	100–130	2,2	3,9	7,7	11,5	19,2	28,8	38,4
	130–200	1,9	3,4	6,7	10,1	16,8	25,3	33,7
	200–300	1,6	2,8	5,5	8,2	13,6	20,5	27,3
	300–600	1,2	2,2	4,1	6,1	10,2	15,2	20,3
	600–1500	1	1,7	3,2	4,9	8,1	12,2	16,2
	> 1500	0,8	1,4	2,7	4	6,7	10,1	13,4

Примечание. Учтены значения $\rho_{\text{п}} = 50 \%$, $\rho_{\text{с}} = 30 \%$, $\rho_{\text{р}} = 10 \%$, $k = 1,3$; $z = 1,15$.

**Удельная мощность общего равномерного освещения
при освещенности 100 лк. Светильники с лампами ДРЛ**

$h, \text{ м}$	$S, \text{ м}^2$	Удельная мощность, Вт/м^2 , для светильников типа					
		УПДДРЛ	РСП05/К03С 35ДРЛ	РСП08/Г03С П08/Г5'3	РСП05/Г03 С34ДРЛ	РСП07; РСП03/Л00; РСП08/Л5'0	РСП05/Д03; СД2РТС; РСП08/Д03; СД2ДРЛ; РСП08/Д5'3
6–8	50–65	13	7,3	8,3	6,7	16,3	11,2
	65–90	11,2	6,8	7,2	6,3	13,7	9,9
	90–135	9,4	6,2	6,5	5,9	11,3	8,8
	135–250	7,9	5,6	5,9	5,3	9,2	7,5
	250–500	6,7	5	5,2	4,9	7,2	6,4
	> 500	5,4	4,5	4,6	4,3	5,7	5,3
8–12	70–100	15,8	7,9	10,6	7,4	20,8	13,7
	100–130	13,1	7,4	8,4	6,8	16,5	11,2
	130–200	11,2	6,7	7,1	6,2	13,4	9,9
	200–300	9,3	6,1	6,4	5,7	10,9	8,7
	300–600	7,8	5,5	5,8	5,3	8,8	7,4
	600–1500	6,2	4,8	5,1	4,7	6,8	6,1
	> 1500	5,3	4,4	4,5	4,2	5,4	5,1
12–16	130–200	16	8	10,8	7,5	21,4	14
	200–350	12,4	7,1	8,1	6,5	15,3	10,7
	350–600	9,4	6,2	6,4	5,8	11,3	8,7
	600–1300	7,5	5,4	5,7	5,2	8,7	7,3
	1300–4000	6	4,8	4,9	4,6	6,5	5,7
	> 4000	5,2	4,3	4,4	4,1	5,2	4,9

Примечание. Учтены значения $\rho_{\text{п}} = 50 \%$, $\rho_{\text{с}} = 30 \%$, $\rho_{\text{р}} = 10 \%$, $k = 1,3$; $z = 1,15$.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

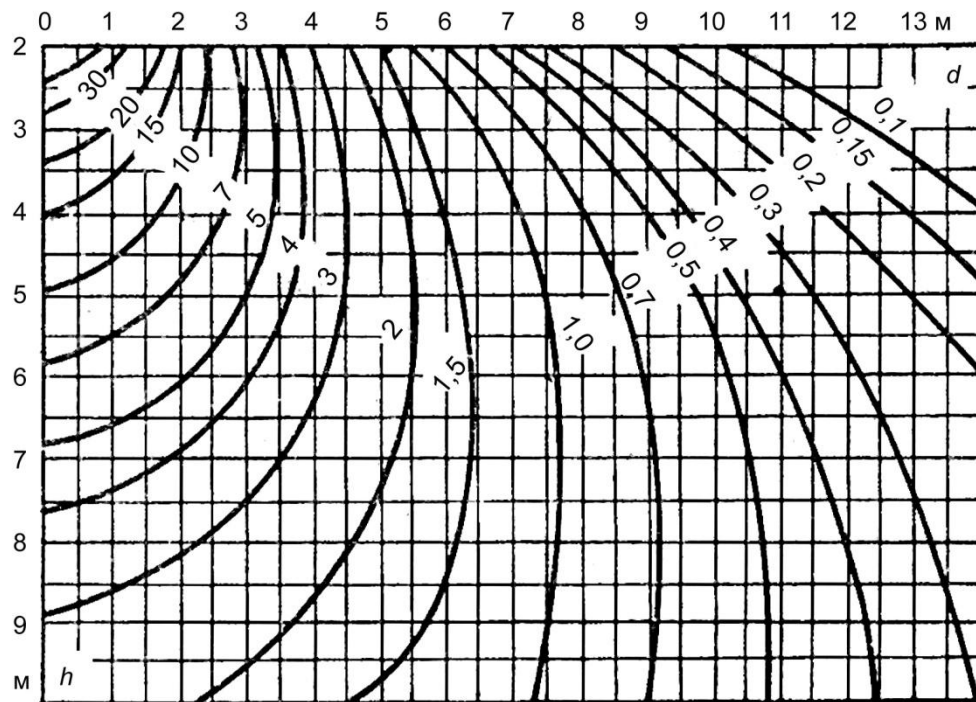


Рис. П1. Пространственные изолюксы условной горизонтальной освещенности.
Светильники У, УПМ15, УП-24, «Астра-1, -11, -12»

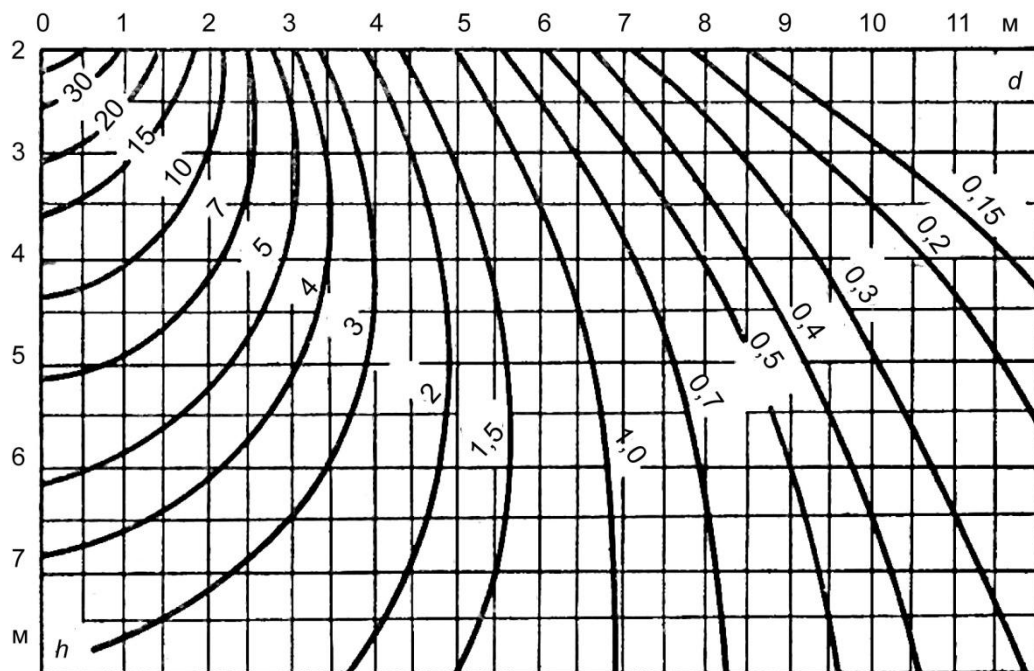


Рис. П2. Пространственные изолюксы условной горизонтальной освещенности.
Светильник У15

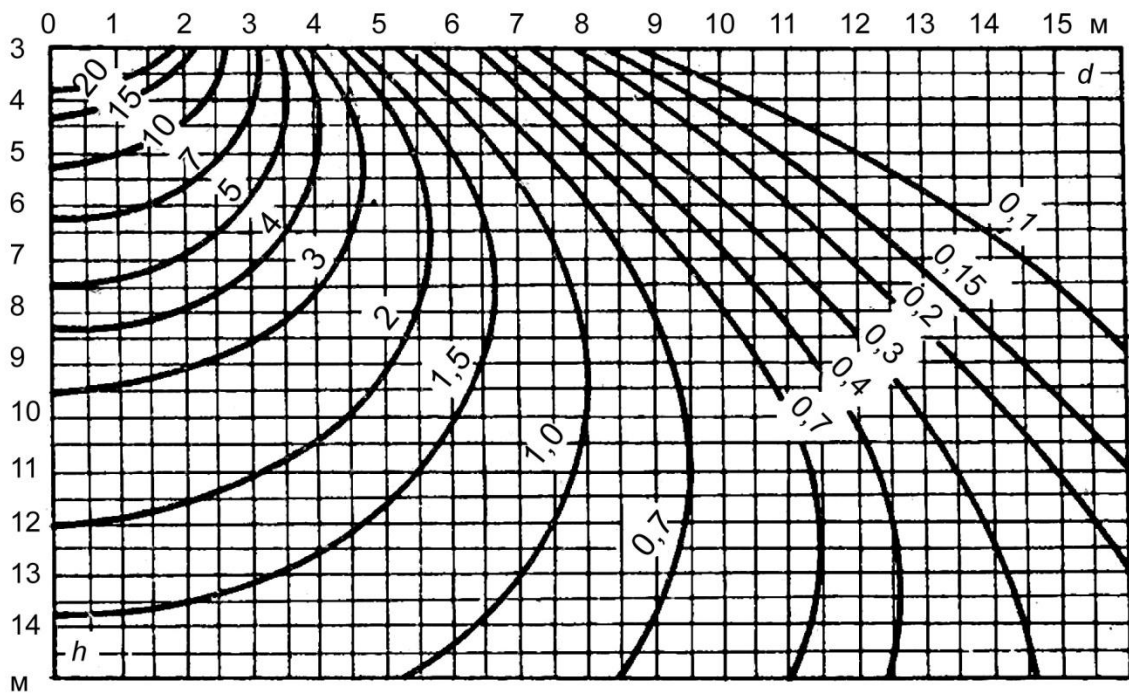


Рис. ПЗ. Пространственные изолюксы условной горизонтальной освещенности.
Светильник УПДРЛ

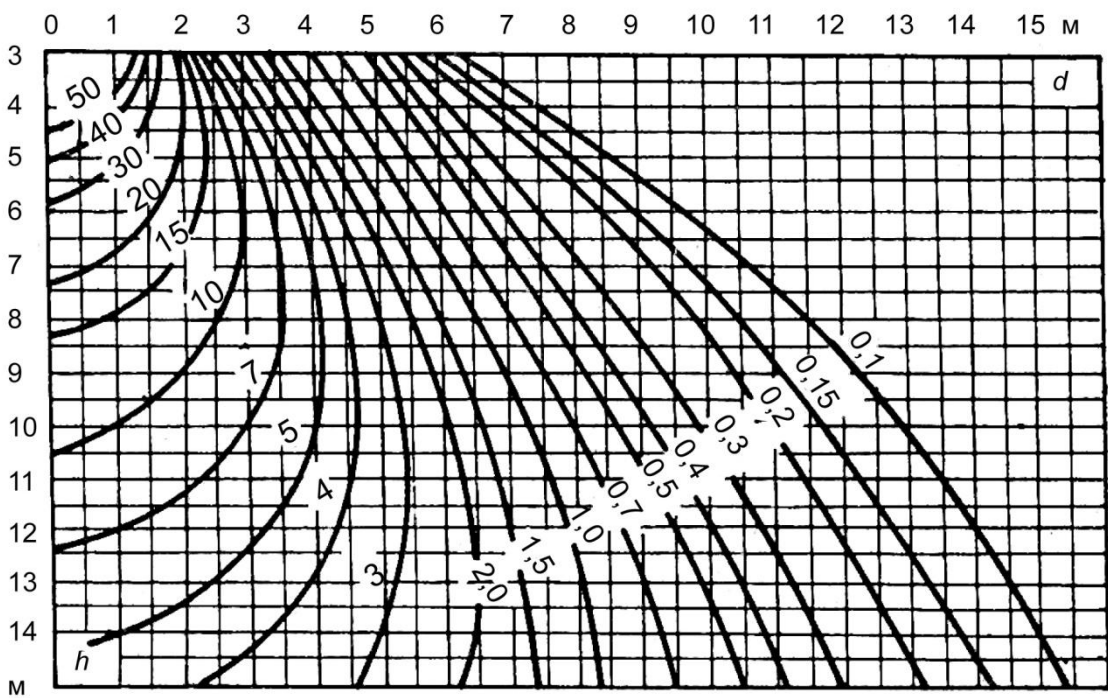


Рис. П4. Пространственные изолюксы условной горизонтальной освещенности.
Светильники РСП05/К03, С35ДРЛ

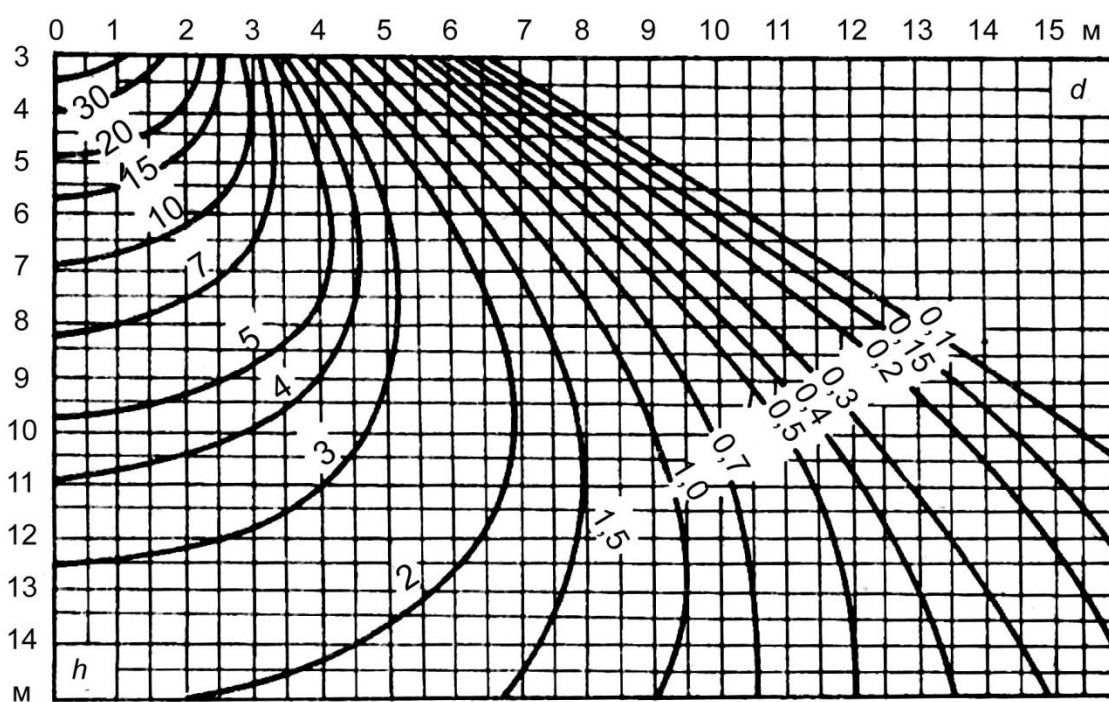


Рис. П5. Пространственные изолюксы условной горизонтальной освещенности.
Светильники РСП08/Г03, РСП08/Г5'3

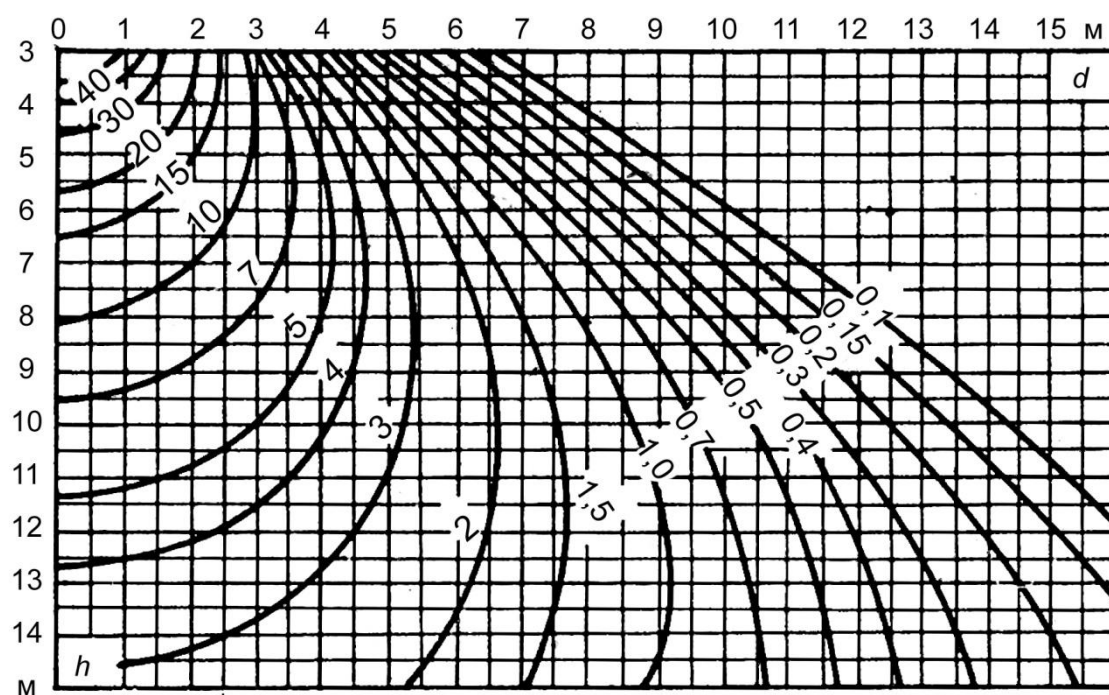


Рис. П6. Пространственные изолюксы условной горизонтальной освещенности.
Светильники РСП05/Г03, С34ДРЛ

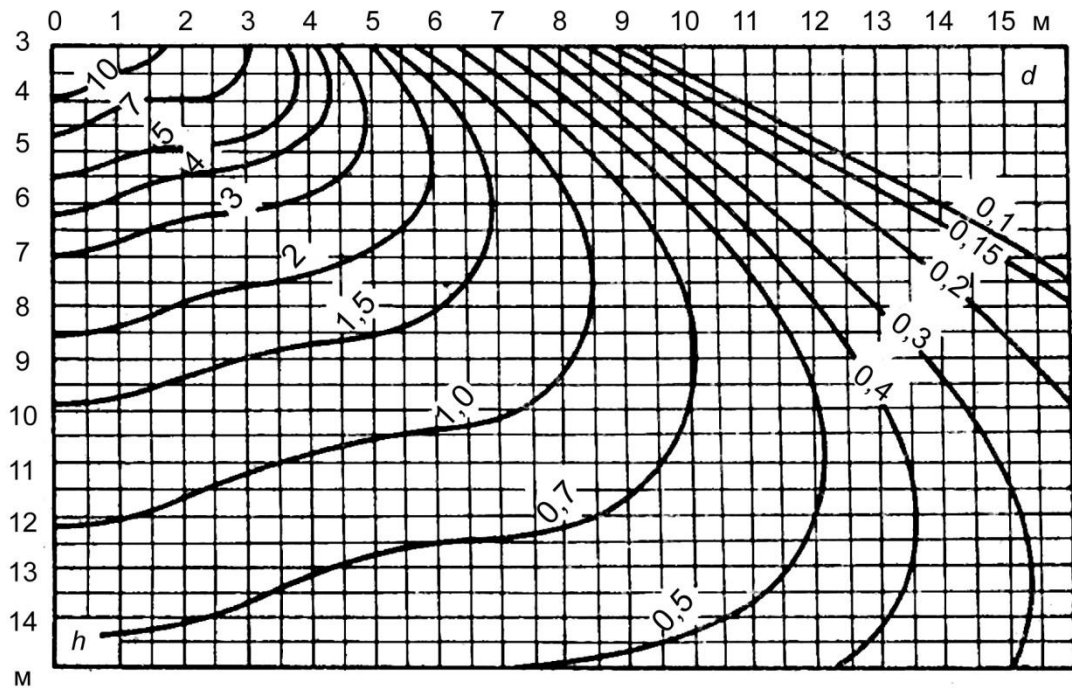


Рис. П7. Пространственные изолюксы условной горизонтальной освещенности.
Светильники РСП07, РСП08/Л00, РСП08/Л5'0

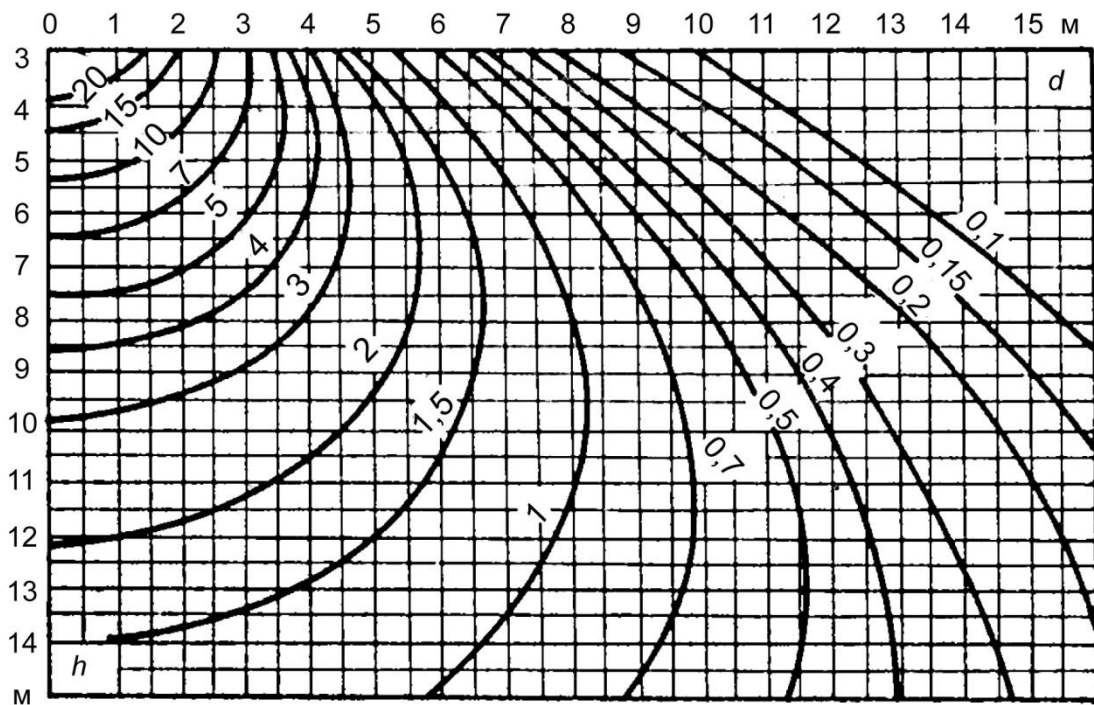


Рис. П8. Пространственные изолюксы условной горизонтальной освещенности.
Светильники РСП05/Д03, РСП08/Д03, РСП08/Д5'3, СД2ДРЛ, СД2РТС

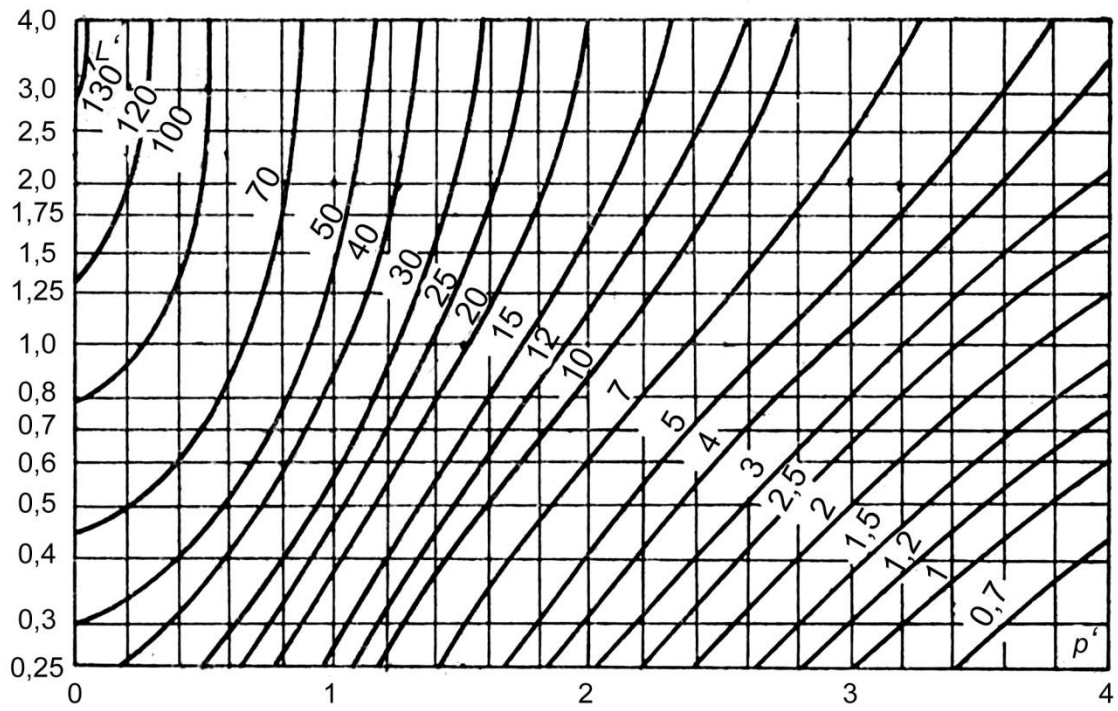


Рис. П9. Линейные изолюксы для светильников ПВЛМ с 2 лампами ЛБР

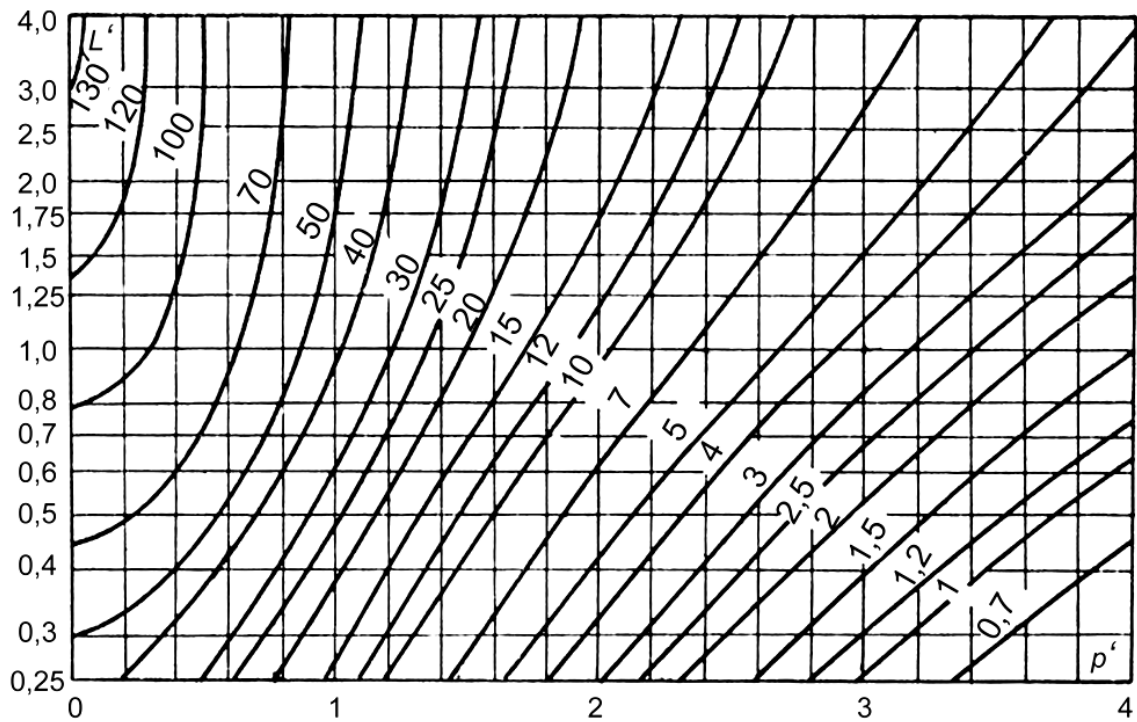


Рис. П10. Линейные изолюксы для светильников ПВЛМ с 1 лампой ЛБР

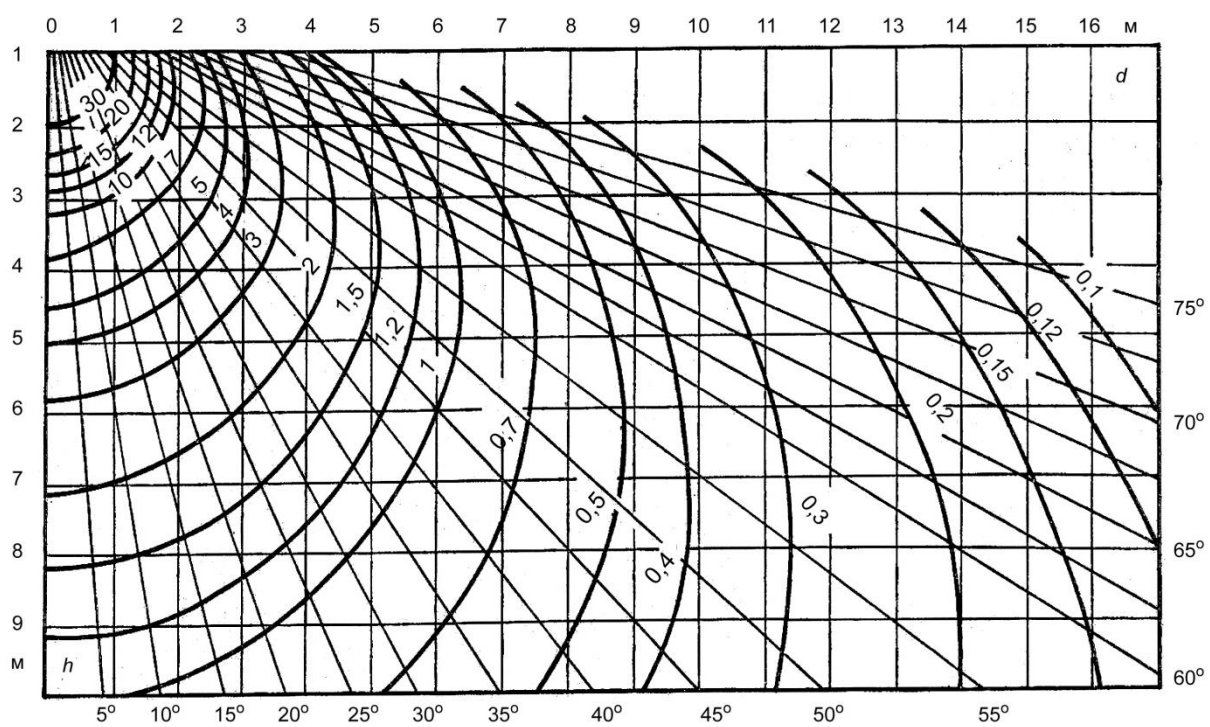


Рис. П11. Пространственные изолюксы условной горизонтальной освещенности.
Сила света светильника по всем направлениям 100 кд

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СОКРАЩЕНИЙ

АВР	– автоматический ввод резерва
АО	– аварийное освещение
АЭО	– аварийное и эвакуационное освещение
ВАХ	– вольт-амперная характеристика
ВРУ	– вводно-распределительное устройство
ГЛН	– галогенная лампа накаливания
ГРЩ	– главный распределительный щит
ДКсТ	– дуговая ксеноновая трубчатая лампа
ДРЛ	– дуговая ртутная люминесцентная лампа (с исправленной цветностью)
ЗР	– зрительная работоспособность
ИЗУ	– импульсное зажигающее устройство
ИК	– инфракрасное (излучение)
ИЛ	– импульсная лампа
ИС	– источник света
К ЕО	– коэффициент естественной освещенности
КОУ	– комплектное осветительное устройство со целевым световодом
КСС	– кривая силы света
КТП	– комплектная трансформаторная подстанция
ЛЛ	– люминесцентная лампа
ЛН	– лампа накаливания
МГЛ	– металлогалогенная лампа
МКО	– Международная комиссия по освещению
МЭК	– Международная электротехническая комиссия
НЛВД	– натриевая лампа высокого давления
НЛНД	– натриевая лампа низкого давления
НО	– наружное освещение
ОЗ	– общественное здание
ОИ	– оптическое излучение
ОП	– осветительный прибор
ОСУ	– облучательная светотехническая установка
ОУ	– осветительная установка
ПИБРЭ	– Правила изготовления взрывозащищенного и рудничного электрооборудования
ПРА	– пускорегулирующий аппарат (аппаратура)
ПТ	– производительность труда
ПУЭ	– Правила устройства электроустановок

РЛ	– разрядная лампа
РЛВД	– разрядная лампа высокого давления
РЛНД	– разрядная лампа низкого давления
РЛСВД	– разрядная лампа сверхвысокого давления
СНиП	– Строительные нормы и правила
СН	– Строительные нормы
СП	– световой прибор
СД	– светодиод
ТП	– трансформаторная подстанция
ТЭР	– технико-экономический расчет
УФ	– ультрафиолетовое (излучение)
ЭВМ	– электронная вычислительная машина
ЭО	– эвакуационное освещение
ЭЛП	– электролюминесцентная панель
ЭУ	– электроустановочное устройство

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Епанешников М.М. Электрическое освещение: учеб. пособие / М.М. Епанешников. – М.: Энергия, 1973. – 352 с.
2. Мешков В.В. Основы светотехники. Ч. 1. / В.В. Мешков. – М.: Энергия, 1979. – 368 с.
3. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. – 2-е изд. доп. и перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 528 с.
4. Кнорринг Г.М. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Г.М. Кнорринг, И.М. Федин, В.Н. Сидоров. – СПб.: Энергоатомиздат, 1992. – 448 с.
5. Тукшаитов Р.Х. Алгоритмы предварительной оценки качества светодиодных светильников на этапе их приобретения / Р.Х. Тукшаитов, Э.Ю. Абдуллазянов, Р.М. Нигматуллин, Айхайти Исыхакэфу // Энергетика Татарстана. – 2014. – № 1. – С. 48–50.
6. Тукшаитов Р.Х. Экспресс-оценка офисных светодиодных светильников по их технико-экономическому показателю / Р.Х. Тукшаитов, Р.М. Нигматуллин, Д.Д. Бурганетдинова, Айхайти Исыхакэфу // Энергетика Татарстана. – 2014. – № 2. – С. 72–75.
7. Козловская В.Б. Электрическое освещение: справочник / В.Б. Козловская, В.Н. Радкевич, В.Н. Сацукевич. – Минск: Техноперспектива, 2008. – 256 с.
8. Сидоренко С.Р. Проектирование осветительных установок: учеб. пособие / С.Р. Сидоренко, Н.В. Денисова. – Казань: КГЭУ, 2004. – 92 с.
9. Кнорринг Г.М. Осветительные установки / Г.М. Кнорринг. – Л.: Энергоиздат, 1981. – 288 с.
10. Электротехника и электроника: учеб. пособие / В.В. Кононенко и др. – 5-е изд. – Ростов н/Д: Феникс, 2008. – 779 с.
11. Кириленко А.И. Светоизлучающие диоды – перспективные твердотельные источники света / А.И. Кириленко, С.Н. Чернявский // Энергия и Менеджмент. – 2004. – № 3. – С. 20.
12. СП 31-110-2003. Свод правил по проектированию и строительству. – СПб.: Изд-во ДЕАН, 2009. – 142 с.
13. П2-2000 к СНиП 2.08.01–89. Электроустановки жилых и общественных зданий. – Минск: Министерство архитектуры и строительства, 2001. – 77 с.
14. Рохлин Г.Н. Разрядные источники света / Г.Н. Рохлин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 719 с.
15. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Под ред. Г.М. Кнорринга. – Л.: Энергия, 1976. – 385 с.
16. Правила устройства электроустановок. – 7-е изд. – СПб.: Издательство ДЕАН, 2013. – 704 с.

17. Айзенберг Ю.Б. Энергосбережение – одна из важнейших проблем современной светотехники / Ю.Б. Айзенберг // Светотехника. – 2007. – № 6. – С. 6–10.
18. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение. – переизд. в мае 2003 г. с изм. 1. – М.: ГУП ЦПП, 2003. – 87 с.
19. СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение. – М.: Технорматив, 2014. – 70 с.
20. Айзенберг Ю.Б. Оценка перспективных возможностей энергосбережения в осветительных установках России / Ю.Б. Айзенберг, Н.В. Рожкова, Г.В. Федюкина // Светотехника. – 2001. – № 3. – С. 9–13.
21. Айзенберг Ю.Б. Энергосбережение и техническая политика в области освещения / Ю.Б. Айзенберг // Светотехника. – 2005. – № 6. – С. 4–9.
22. Айзенберг Ю.Б. Генеральное направление развития осветительной техники для общественных зданий – люминесцентные лампы типа Т5 с электронными ПРА // Светотехника. – 2003. – № 5. – С. 41–43.
23. Федоров А.А. Основы электроснабжения промышленных предприятий / А.А. Федоров, В.В. Каменева. – М.: Электроатомиздат, 1984. – 472 с.
24. СН 357-77. Инструкция по проектированию силового и осветительного электрооборудования промышленных предприятий. – М.: Стройиздат, 1979. – 96 с.
25. Денисова Н.В. Исследование электрических параметров компактных люминесцентных ламп / Н.В. Денисова, А.А. Шляпченко // Проблемы энергетики. – 2011. – № 5–6. – С. 91–95.
26. Ключников С.В. Светодиоды в освещении: монография / С.В. Ключников. – М.: МИЭЭ, 2014. – 274 с.
27. Туркин А. Новые серии светодиодов компании Cree: на основе улучшенной технологической платформы / Туркин А., Червинский М. // Полупроводниковая светотехника. – 2015. – № 1. – С. 38–42.
28. Международная консалтинговая компания McKinsey & Company [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.mckinsey.com (дата обращения: 18.04.2016).
29. Светодиоды и их применение для освещения / Под общ. ред. Ю.Б. Айзенберга. – М.: Знак, 2012. – 280 с.
30. Сибикин Ю.Д. Справочник по эксплуатации электроустановок. промышленных предприятий / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. – М. – Берлин: DirectMEDIA, 2014. – 248 с.
31. Энергоэффективное электрическое освещение: учеб. пособие / С.М. Гвоздев, Д.И. Панфилов, В.Д. Поляков и др.; под ред. Л.П. Варфоломеева. – М.: Изд. дом МЭИ, 2013. – 288 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава 1. Основные светотехнические понятия и величины	7
Глава 2. Современные источники света.....	13
2.1. Лампы накаливания	14
2.2. Люминесцентные лампы низкого давления.....	17
2.3. Дуговые ртутно-кварцевые лампы высокого давления.....	25
2.4. Специальные газоразрядные лампы	29
2.5. Светодиоды	30
2.6. Выбор источников света	36
Глава 3. Осветительные приборы и установки	41
3.1. Светильники	41
3.2. Технические характеристики светильников с люминесцентными лампами	52
3.3. Технические характеристики светильников с лампами ДРЛ, ДРИ, ДНаТ	56
3.4. Светодиодные светильники.....	60
3.5. Прожекторы.....	62
3.6. Виды и системы освещения.....	66
Глава 4. Нормирование осветительных установок	70
4.1. Выбор расположения и установки светильников	81
Глава 5. Расчет осветительной установки	85
Глава 6. Общие положения расчета цепей.....	104
6.1. Расчет двухпроводных сетей переменного тока.....	105
6.2. Расчет пятипроводных (трехфазных) сетей переменного тока...	108
6.3. Расчет двухфазных сетей переменного тока.....	112
6.4. Расчет электрических осветительных сетей на минимум проводникового материала.....	114
6.5. Расчет проводов по условиям нагревания и проверка на механическую прочность	117
Глава 7. Электроснабжение осветительных установок.....	124
7.1. Схемы групповых линий.....	132
7.2. Щитки осветительные	134
Глава 8. Защита осветительных сетей.....	142
8.1. Электробезопасность обслуживаемых установок.....	147
Глава 9. Управление освещением.....	150

Глава 10. Энергоэффективность и экологичность источников света.....	165
Приложение 1	178
Приложение 2	194
Список используемых сокращений.....	200
Библиографический список	202

Учебное издание

**Денисова Наталья Вячеславовна,
Ившин Игорь Владимирович,
Максимов Виктор Владимирович,
Сидоренко Светлана Романовна**

**ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Учебное пособие

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий КГЭУ

Редактор издательского отдела *М.С. Беркутова*
Компьютерная верстка *Т.И. Лунченкова*

Подписано в печать 08.09.16.

Формат 60х84/16. Бумага ВХИ. Гарнитура «Times». Вид печати РОМ.
Усл. печ. л. 12,03. Уч.-изд. л. 13,35. Тираж 500 экз. Заказ № 5006

Редакционно-издательский отдел КГЭУ,
420066, Казань, Красносельская, 51