



А. В. Дробов

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

Учебное пособие



А. В. Дробов

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

**Допущено Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебного пособия для учащихся учреждений образования,
реализующих образовательные программы среднего специального
образования по специальностям
«Монтаж и эксплуатация электрооборудования»,
«Электроснабжение»**



МИНСК
РИПО
2017

УДК 628.9(075.32)

ББК 31.294я723

Д75

А в т о р:

преподаватель УО «Гомельский государственный
профессионально-технический колледж электротехники»

А. В. Дробов.

Рецензенты:

цикловая комиссия специальных дисциплин специальности
«Монтаж и эксплуатация электрооборудования» филиала Белорусского
национального технического университета «Минский государственный
политехнический колледж» (*Т. В. Писарук*);
заведующий кафедрой «Электроснабжение» Белорусского национального
технического университета, кандидат технических наук, доцент *В. Б. Козловская.*

*Все права на данное издание защищены. Воспроизведение всей книги или любой ее
части не может быть осуществлено без разрешения издательства.*

*Выпуск издания осуществлен при финансовой поддержке Министерства образо-
вания Республики Беларусь.*

Дробов, А. В.

Д75 Электрическое освещение : учеб. пособие / А. В. Дробов. — Минск :

РИПО, 2017. — 219 с. : ил.

ISBN 978-985-503-726-3.

В учебном пособии рассмотрены основные теоретические вопросы и положения светотехники и освещения. Приведены особенности конструкции, функционирования и применения электрических источников света, пускорегулирующей аппаратуры, световых приборов.

Изложены основы нормирования и проектирования осветительных установок, выбора источников света, светильников и способов их размещения, рассмотрены методы расчета электрического освещения. Иллюстрации, примеры и контрольные вопросы помогут обучающимся в изучении материала пособия.

Предназначено для учащихся учреждений среднего специального образования по специальностям «Монтаж и эксплуатация электрооборудования», «Электроснабжение», а также для преподавателей и практических работников.

УДК 628.9(075.32)

ББК 31.294я723

ISBN 978-985-503-726-3

© Дробов А. В., 2017

© Оформление. Республиканский институт
профессионального образования, 2017

ВВЕДЕНИЕ

Энергосбережение в осветительных установках является актуальной задачей государственного уровня, поскольку на освещение в Республике Беларусь затрачивается около 10–13 % всей вырабатываемой электроэнергии. Наибольший потенциал экономии электроэнергии сосредоточен в расширении производства и области применения энергоэффективных источников света (до 14 % экономии современного потребления). Роста энергоэффективности освещения добиваются также увеличением световой отдачи источников света, повышением коэффициента полезного действия (КПД) световых приборов, применением систем общего локализованного освещения и регулирования в зависимости от уровня естественной освещенности (примерно по 6 % экономии современного потребления).

Весьма важно также правильно организовать эксплуатацию осветительных установок, что необходимо учитывать при их проектировании.

От устройств искусственного освещения зависят безопасность работы, состояние и сохранность зрения человека, производительность труда, эстетическое восприятие интерьера помещений и архитектурный облик зданий.

Задачей оптимального проектирования и рациональной эксплуатации осветительных установок является обеспечение с наименьшими затратами требуемой освещенности и необходимого качества освещения помещений в целях создания нормальных условий для жизнедеятельности людей.

Недопустимо экономить электроэнергию за счет ухудшения освещенности и качества освещения, так как это может повлечь за собой нежелательные последствия: снижение производительности труда, увеличение зрительной нагрузки работников, повышение травматизма и т. д.

Приступая к проектированию электрического освещения, необходимо иметь перечень объектов, для которых ведется проектирование, с указанием их основного назначения, площади и высоты помещений, этажности зданий. Для проектирования внутреннего освещения необходимы архитектурно-строительные планы и разрезы зданий с указанием назначения отдельных помещений, чертежи металлических конструкций, технологические планы и разрезы, чертежи санитарно-технических коммуникаций, сведения о характере среды в помещениях, об особенностях технологического процесса и другие данные, влияющие на устройство освещения.

ГЛАВА 1. СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ, ИСТОЧНИКИ СВЕТА И СВЕТИЛЬНИКИ

1.1. Светотехнические величины и понятия

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

Светотехника — это область науки и техники, предметом которой является исследование принципов и разработка способов генерирования, пространственного распределения, измерения оптического излучения, преобразования его в другие виды энергии.

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

Электромагнитное излучение разделяется на основные диапазоны, представленные на рисунке 1.1.

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

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

В зависимости от свойств поверхности освещаемых объектов распределение в пространстве поглощенного, отраженного и прошедшего потоков может быть различным (рис. 1.2).

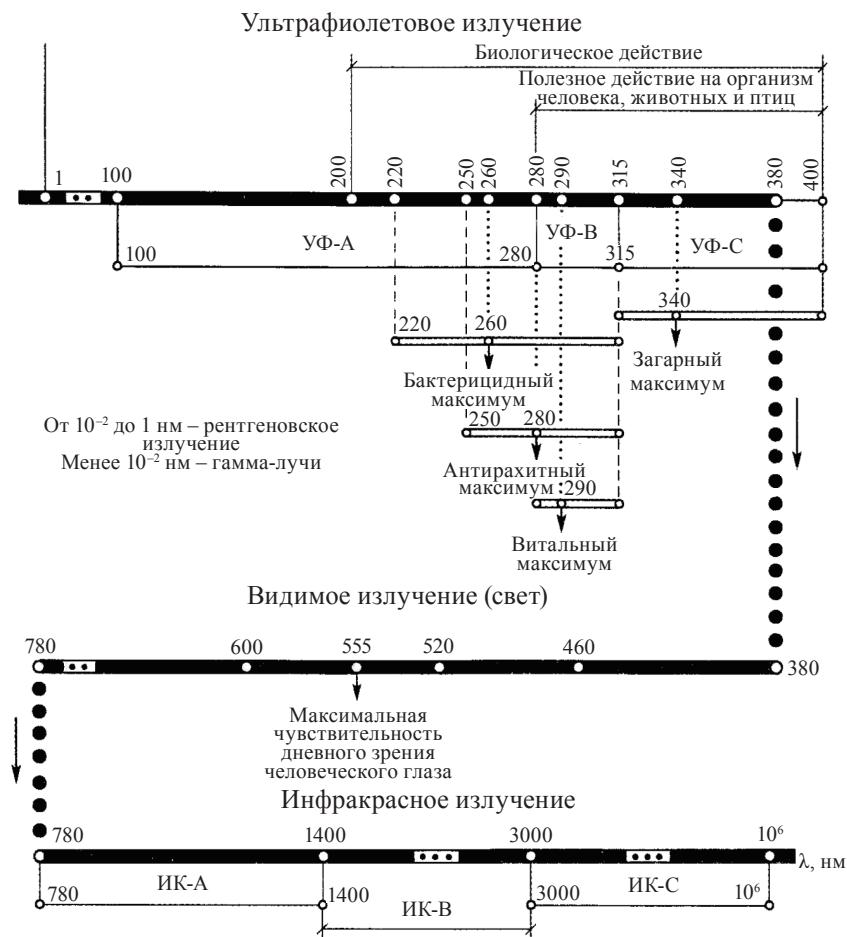


Рис. 1.1. Распределение спектра оптического излучения по длине волны, предложенное Международной комиссией по освещению (МКО) (λ более 10^6 нм – радиоволны СВЧ, УКВ, КВ, СВ, ДВ; 1 нм = 10^{-9} м)

Если отражающая поверхность гладкая и размеры неровностей значительно меньше длины волны падающего излучения, то наблюдается *направленное (зеркальное) отражение*, для которого имеет место равенство углов падения и отражения лучей (падающий и отраженный лучи лежат в одной плоскости с нормалью к поверхности).

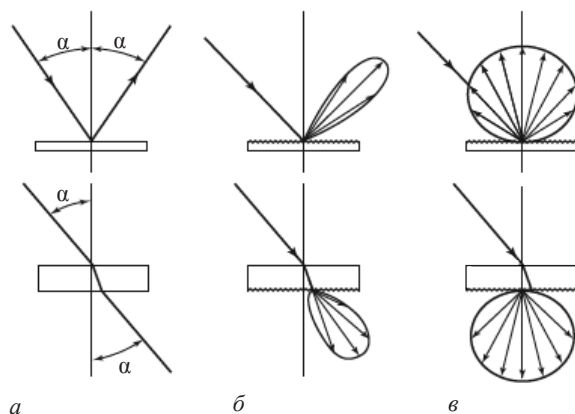


Рис. 1.2. Распределение в пространстве отраженного и прошедшего потоков излучения: *а* – зеркальное; *б* – направленно-рассеянное; *в* – диффузное

У материалов, имеющих неоднородности, соизмеримые с длиной волны падающего излучения, яркость отраженного пучка лучей является постоянной по всем направлениям пространства. Такое отражение называется *равномерным*, или *диффузным*.

При *направленно-рассеянном* отражении ось отраженного излучения направлена в соответствии с законом зеркального отражения, но телесный угол, в пределах которого отражается поток, больше телесного угла, в пределах которого излучение падает на поверхность.

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

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

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

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

Мощность электромагнитного излучения количественно характеризуется *лучистым потоком*, т. е. количеством энергии,

излучаемой в единицу времени. В светотехнике используют понятие светового потока (Φ), под которым понимают ту часть лучистого потока, которая воспринимается зрением человека как видимый свет. За единицу измерения светового потока принят люмен (лм).

Физическое представление о величине люмена могут дать следующие примеры: на 1 см² поверхности земли в летний день при сплошной облачности падает около 1 лм, а без облаков – около 10 лм, световой поток обычной лампы накаливания мощностью 60 Вт при напряжении 230 В составляет около 710 лм, а электрической лампы карманного фонаря – 6 лм.

Однако источник света может излучать световой поток в разных направлениях и с различной интенсивностью. Например, открытая лампа без светотехнической арматуры излучает свет по всем направлениям, а та же лампа, помещенная в прожектор, концентрирует его в определенном пучке. В обоих случаях световой поток одинаковый, но плотность его разная. Поэтому световой поток не является исчерпывающей характеристикой источника света. В связи с этим введено понятие силы света (I).

Пространственная плотность светового потока называется **силой света**.

При равномерном распределении светового потока в пределах телесного угла, имеющего конечные размеры, сила света в направлении оси угла

$$I = \frac{\Phi}{\omega}. \quad (1.1)$$

Единица силы света – кандела (кд).

Телесным углом (ω) называется часть пространства, заключенная внутри конической поверхности (рис. 1.3).

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

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

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

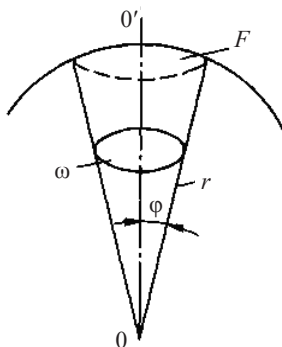


Рис. 1.3. Телесный угол: F — площадь части поверхности сферы; r — радиус сферы

Следовательно, кандела может быть выражена как сила света точечного источника, испускающего световой поток в 1 лм, равномерно распределенный внутри телесного угла в 1 ср.

Таким образом, можно представить $\Phi = I\omega$.

Соответственно, люмен — это световой поток, испускаемый точечным источником света силой в 1 кд внутри телесного угла, равного 1 ср.

Во многих случаях расчета освещенность точки той или иной поверхности определяется по силе света источника, значение которой можно рассчитать по формуле

$$E = \frac{\Phi}{F} = \frac{I_a \cos \beta}{l^2}, \quad (1.3)$$

где Φ — световой поток, падающий на освещаемую поверхность, лм; F — площадь освещаемой поверхности, м^2 ; I — сила света под углом α к нормали N к освещаемой поверхности, кд; α — угол между направлением силы света и нормалью к освещаемой поверхности, проведенной через ось симметрии источника света (рис. 1.4); β — угол между направлением силы света и нормалью к освещаемой поверхности в точке A ; l — расстояние от источника света до освещаемой точки на поверхности, м.

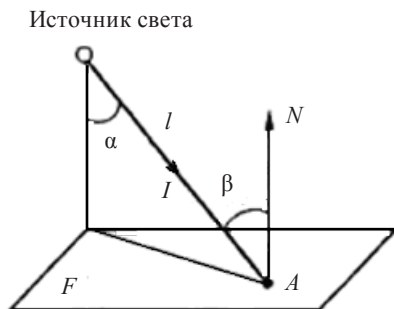


Рис. 1.4. Освещенность элемента поверхности

Освещенность представляет собой поверхностную плотность падающего светового потока. Как следует из формулы (1.3), для точечного источника света она прямо пропорциональна силе света и обратно пропорциональна квадрату расстояния от источника света.

Освещенность поверхности не зависит от ее оптических свойств (поглощение, отражение, рассеяние света) и от направления, в котором она рассматривается.

Единицей освещенности является люкс (лк). Один люкс — это освещенность, создаваемая равномерно распределенным световым потоком в 1 лм на освещаемой поверхности площадью 1 м², т. е. 1 лк = 1 лм/м².

Зрительное восприятие света глазом определяется яркостью (L). Для равномерно освещаемой поверхности яркость в любом направлении рассчитывается по формуле

$$L = \frac{I_{\alpha}}{F \cos \alpha}. \quad (1.4)$$

Яркость — отношение силы света в данном направлении к площади проекции излучающей поверхности на плоскость, перпендикулярную данному направлению. Яркость является одним из важнейших понятий светотехники. Единицей яркости служит кандела на квадратный метр (кд/м²).

Цветопередача — это характеристика оптического излучения, при котором освещаемый объект воспринимается зрительно. Цветность излучения источника света определяется цветовой

температурой (T_c), измеряемой в кельвинах (К). **Цветовая температура** — это характеристика степени зрительного комфорта, создаваемого источником света, количественная оценка цветности. Отметим, 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 люминесцентных ламп значение $T_c = 4850$ К, а синему небосводу $T_c = 11\,000$ К, необходимо знать, что эти излучатели подобной температуры не имеют. Чем большее значение имеет цветовая температура, тем более близок к естественному цвет излучаемого источником 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 источники света с одинаковой цветностью света могут по-разному передавать цвета освещаемых предметов, что объясняется отличием спектрального состава излучаемого ими света. Качество цветопередачи выражается общим индексом (коэффициентом) цветопередачи (R_a), который показывает степень передачи цвета освещаемого объекта (максимальное значение 100). Источники света, имеющие значение $R_a = 91\text{--}100$, обладают очень хорошей цветопередачей, $R_a = 81\text{--}90$ — хорошей цветопередачей, $R_a = 51\text{--}80$ — средней цветопередачей, а уровень $R_a = 50$ и менее соответствует плохой цветопередаче. Различные спектры излучения ламп, несмотря на одинаковую цветность, вызывают различное восприятие цвета. Чем больше (выше) индекс, тем точнее к оригиналу будет передача цвета при освещении данной лампой.

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

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

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

Глаз реагирует на изменение освещенности во времени. Глубина пульсации освещенности, регламентируемая ТКП 45-2.04-153-2009, оценивается коэффициентом пульсации освещенности

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

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

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

Для оценки энергоэффективности того или иного источника света пользуются понятием световой отдачи (H):

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

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

Единицей измерения световой отдачи является светоотдача источника света мощностью 1 Вт, создающего световой поток в 1 лм (лм/Вт).

Контрольные вопросы и задания

1. Объясните, что такое светотехника.
2. Поясните, что называют оптическим излучением.
3. Что называют световым потоком, силой света, освещенностью?
4. Расскажите о цветности излучения.
5. Что такое световая отдача?

1.2. Электрические источники света: общие сведения

Из всего разнообразия рассмотрим источники света (ИС), которые применяют для освещения производственных, административно-бытовых, общественных, жилых и других помещений, а также для освещения территорий предприятий и уличного освещения (рис. 1.5).

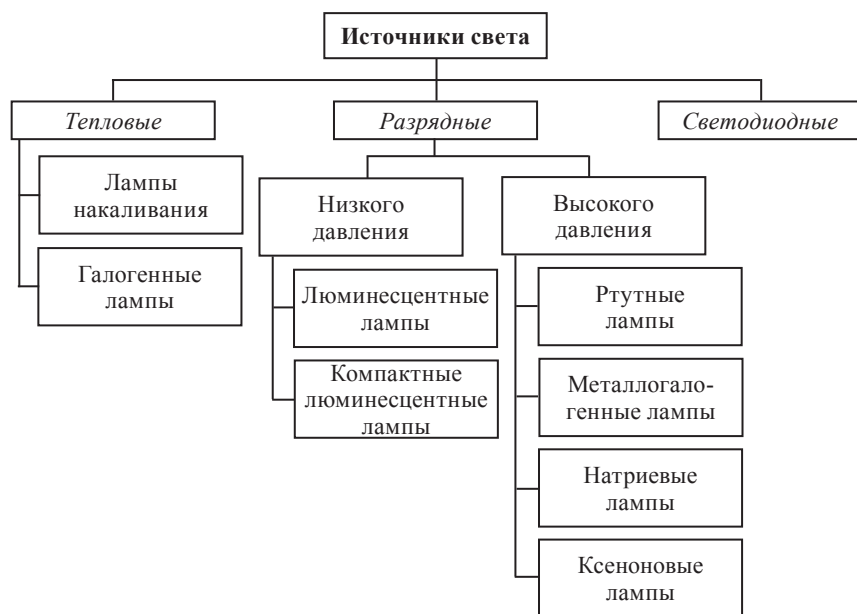


Рис. 1.5. Классификация источников света

По принципу преобразования электрической энергии в энергию видимых излучений современные источники света разделяют на две основные группы: тепловые и разрядные.

Тепловым называют оптическое излучение, возникающее при нагревании тел. К тепловым источникам света относят лампы накаливания и галогенные.

Разрядной называют лампу, в которой оптическое излучение возникает в результате электрического разряда в газах, парах или их смесях.

Разрядные лампы подразделяют на разрядные лампы высокого давления (РЛВД): ртутные (ДРЛ), металлогалогенные (МГЛ) – ДРИ, разрядные лампы низкого давления (РЛНД) – ЛЛ, натриевые лампы низкого давления (НЛНД) – ДНаО, натриевые лампы высокого давления (НЛВД) – ДНаТ.

Лампы накаливания

Лампы накаливания являются типичными теплоизлучателями. Важнейшие свойства лампы накаливания – световая отдача и срок службы – определяются температурой спирали. При повышении температуры спирали возрастает яркость, но вместе с тем сокращается срок службы.

Сокращение срока службы является следствием того, что испарение материала (вольфрама), из которого сделана нить, при высоких температурах происходит быстрее, вследствие чего колба темнеет, нить накала становится все тоньше и тоньше и в определенный момент расплавляется, после чего лампа выходит из строя. Светоотдача ламп накаливания составляет примерно от 9 до 19 лм/Вт.

Спектр излучения сплошной, что обеспечивает идеальную цветопередачу. Зажигание происходит моментально.

Тело накала изготавливают из вольфрамовой проволоки. Вольфрам имеет большую температуру плавления (около 3400 °С (~3600 К)), формоустойчив при высокой рабочей температуре, устойчив к механическим нагрузкам, обладает высокой пластичностью в горячем состоянии, что позволяет получить из него нити весьма малых диаметров путем протяжки проволоки через калиброванное отверстие. Нить накала накаляется до температуры 2500–2800 °С.

В зависимости от типа ламп вводы могут быть одно-, двух- и трехзвенными. Вводы и держатели являются частью так называемой ножки: стеклянного конструктивного узла лампы, который кроме вводов и держателей включает в себя стеклянный штабик с линзой (рис. 1.6). Ножка служит опорой для тела накала лампы и вместе с колбой обеспечивает ее герметизацию.

Для обеспечения нормальной работы раскаленной вольфрамовой нити накала необходимо изолировать ее от кислорода воздуха. Для этого в колбе создают вакуум (такие лампы называются вакуумными) или заполняют ее инертным газом (аргон, криптон, ксенон с разным содержанием азота или с добавкой к наполняющему газу определенной доли галогенов, например йода) галогенные газонаполненные лампы.

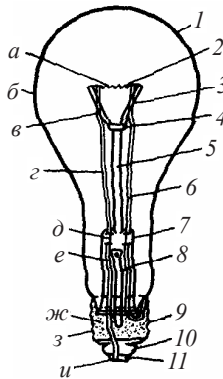


Рис. 1.6. Конструкция и материалы лампы накаливания общего назначения: 1 — колба; 2 — спираль; 3 — крючки (держатели); 4 — линза; 5 — штабик; 6 — электроды; 7 — лопатки; 8 — штангель; 9 — цоколь; 10 — изолятор; 11 — нижний контакт; а — вольфрам; б — стекло; в — молибден; з — никель; д — медь; ж — цокольная мастика; з — латунь, сталь; и — свинец, олово

Характеристики ламп накаливания

Основными характеристиками осветительных ламп накаливания являются:

- электрические: номинальная мощность, напряжение;
- светотехнические: световой поток, спектральный состав излучения;
- эксплуатационные: световая отдача, срок службы, геометрические размеры.

Мощность ламп зависит от напряжения U и геометрических размеров вольфрамовой спирали

$$P = \frac{U^2}{R_c} = U^2 \frac{S_c}{\rho_c l}, \quad (1.7)$$

где R_c — сопротивление спирали при рабочей температуре, Ом; S_c — площадь сечения вольфрамовой проволоки, мм²; ρ_c — удельное сопротивление вольфрама при рабочей температуре; l — длина вольфрамовой проволоки, м.

При одной и той же электрической мощности вакуумные лампы создают меньший световой поток, чем газонаполненные; спиральные — меньше, чем биспиральные, так как температура накала у них различная.

Спектр излучения ламп накаливания сплошной и располагается в красно-желтой области (360–780 нм). Максимум излучения приходится на инфракрасные длины волн.

Лампам накаливания присваивают условное обозначение следующей структуры ([1] [2] [3]-[4]-[5]):

- [1] (от одной до четырех букв) – характеристика лампы по физическим и конструктивным особенностям (В – вакуумная; Г – газонаполненная аргоновая моноспиральная; Б – аргоновая биспиральная; БК – биспиральная криптоновая; МТ – в матированной колбе; МЛ – в колбе молочного цвета; О – в опаловой колбе);

- [2] – сочетание одной-двух букв – определяет назначение ламп (А – автомобильная; Ж – железнодорожная; КМ – коммутаторная; ПЖ – прожекторная; СМ – самолетная);

- [3] – номинальное напряжение, В;

- [4] – номинальная мощность лампы, Вт;

- [5] – порядковый номер доработки (для ламп, разработанных впервые, пятый элемент отсутствует).

Тип цоколя: Е – резьбовой; В – штифтовой; ВА – штифтовой для автомобилей; Р – фокусирующий; S – цилиндрический.

Пример маркировки ламп: БКМТ215-225-100-2 – лампа накаливания биспиральная криптоновая, в матированной колбе, напряжение 215–225 В, мощность 100 Вт, вторая доработка.

Достоинства ламп накаливания:

- непосредственное включение в сеть, т. е. для их работы не требуются дополнительные аппараты;

- невысокая стоимость;

- удобство в эксплуатации;

- относительно небольшие первоначальные затраты на осветительную установку;

- большой выбор по конструктивным особенностям;

- широкая номенклатура по номинальному напряжению и мощности ламп;

- работа на постоянном и переменном токе;

- невосприимчивость к внешним магнитным полям;

- мгновенное зажигание;

- отсутствие мерцания и т. д.

Недостатки ламп накаливания:

- малый срок службы (для ламп общего назначения средний срок службы составляет 1000 ч);

- низкая световая отдача (20 лм/Вт);
- неэкономичность (более 90 % электроэнергии затрачивается на нагрев тела накала и выделяется в виде тепла).

Галогенные лампы накаливания

По структуре и принципу действия галогенные лампы сравнимы с лампами накаливания, но они содержат в газе-наполнителе незначительные добавки галогенов (бром, хлор, фтор, йод) или их соединения. С помощью этих добавок возможно в определенном температурном интервале практически полностью устранить потемнение колбы, вызванное испарением атомов вольфрама нити накала. Поэтому размер колбы в галогенных лампах накаливания может быть сильно уменьшен.

Конструктивно они не отличаются от ламп накаливания, но обладают более высоким сроком службы — до 4000 ч.

Принцип действия галогенных ламп заключается в образовании на стенке колбы летучих соединений — галогенидов вольфрама, которые испаряются со стенки, разлагаются на теле накала и возвращают ему испарившиеся атомы вольфрама. В результате этого увеличивается срок службы ламп.

Достоинства галогенных ламп (по сравнению лампами накаливания):

- преобразуют энергию более эффективно (световая отдача в среднем составляет 26 лм/Вт);
- имеют больший срок службы;
- характеризуются более высокими термостойкостью и механической прочностью за счет использования кварцевой колбы;
- производят более яркий белый цвет ($T_c = 3000\text{--}3100\text{ K}$);
- имеют отличную цветопередачу ($R_a = 100$, как у солнца);
- более компактны, что обеспечивает новые возможности дизайна.

Недостатки галогенных ламп накаливания:

- требуют бережного обращения. Температура колбы может достигать 300 °С и попадание на нее, например, частиц жира с пальцев приводит к разрушению стекла. Поэтому помещать лампу в светильник нужно держа за пластиковый пакет, в котором она продается;

- отрицательно сказываются перепады напряжения: при их увеличении до 5–6 % срок службы лампы уменьшается почти в 2 раза. Особенно чувствительны к перепадам низковольтные

галогенные лампы, требующие установки понижающих трансформаторов.

Галогенные лампы накаливания применяют для светильников общего освещения и прожекторов, инфракрасного облучения, кинофотосъемочного и телевизионного освещения, автомобильных фар, аэродромных огней, оптических приборов и др.

По конструктивным признакам галогенные лампы накаливания разделяют на две группы: с длинным спиральным телом накала при соотношении длины галогенных ламп накаливания к диаметру более 10 — линейные или трубчатые лампы; с компактным телом накала при отношении длины галогенной лампы накаливания к диаметру менее 8 — эти галогенные лампы накаливания подразделяют в свою очередь на мощные и малогабаритные, в которых электроды размещены с одной стороны.

Галогенным лампам присваивают условное обозначение следующей структуры ([1] [2] [3] [4]-[5]):

- [1] — материал колбы (К — кварцевая);
- [2] — вид галогенной добавки (Г — галоген);
- [3] — область применения (О — облучательная) или конструктивная особенность (М — малогабаритная);
- [4] — номинальное напряжение, В;
- [5] — номинальная мощность, Вт.

Пример маркировки галогенных ламп: КГМ12-40 — в кварцевой колбе, галогенная, малогабаритная, номинальное напряжение 12 В, номинальная мощность 40 Вт. Лампы мощностью до 200 Вт имеют резьбовой цоколь Е27; мощностью 500 Вт и более — цоколь Е40; лампы мощностью 300 Вт могут иметь любой цоколь.

Газоразрядные лампы низкого давления

Разрядной называют лампу, в которой оптическое излучение возникает в результате электрического разряда в газах, парах или их смесях.

Принцип действия разрядных ламп основан на электрическом разряде между двумя электродами, запаянными в прозрачную колбу. Форма колбы может быть различной: трубчатая, капиллярная, шаровая.

Классифицируются разрядные лампы по ряду признаков (физическим, конструктивным, эксплуатационным), а также по области применения.

Классификация по физическим признакам обуславливает свойства разрядных ламп, такие как спектр и цветность излучения, яркость, энергетический КПД.

Определяющими для разрядных ламп являются состав газовой среды, давление ее компонентов и ток. По составу газов или паров, в которых происходит разряд, лампы разделяют на лампы с разрядом в газах, парах металлов, парах металлов и их соединений; по рабочему давлению – на лампы низкого давления (примерно от 0,1 до 10^4 Па); высокого давления (от $3 \cdot 10^4$ до 10^6 Па) и сверхвысокого давления (более 10^6 Па); по виду разряда – на лампы дугового, тлеющего и импульсного разряда.

Люминесцентные лампы (флуоресцентные) – это газоразрядные лампы низкого давления.

Люминесцентные лампы (ЛЛ) представляют собой разрядные источники света низкого давления, в которых ультрафиолетовое излучение ртутного разряда преобразуется люминофором в длинноволновое видимое излучение. Люминофорами называют твердые или жидкие вещества, способные излучать свет под действием различного рода возбуждения.

По характеру разряда люминесцентные лампы классифицируют на лампы дугового разряда с горячими катодами и лампы тлеющего разряда с холодными катодами.

Люминесцентные лампы дугового разряда можно подразделить на осветительные люминесцентные лампы общего и специального назначения. Люминесцентные лампы общего назначения предназначены для освещения различных помещений и объектов.

Люминесцентная лампа низкого давления представляет собой цилиндрическую стеклянную колбу (рис. 1.7), на концах которой в цоколях смонтированы вольфрамовые спиральные электроды. По всей длине ее внутренней поверхности нанесен тонкий слой твердого кристаллического порошкообразного вещества – люминофора (галофосфат кальция, дозированный марганцем и сурьмой). Изменяя пропорцию состава люминофора, можно получить люминесцентные лампы с различной цветностью излучения светового потока.

Внутри лампы находятся разреженные пары ртути и инертный газ (аргон). Давление ртутных паров в лампе зависит от температуры ее стенок и составляет при нормальной рабочей температуре 40 °С примерно 0,13–1,3 Н/м² (10^{-2} – 10^{-3} мм рт. ст.).

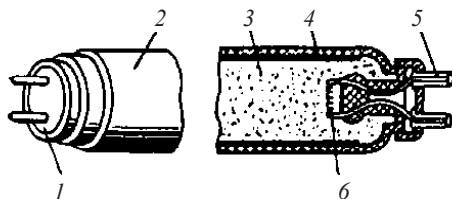


Рис. 1.7. Люминесцентная лампа: 1 – цоколь; 2 – колба;
3 – ртутные пары; 4 – слой люминофора;
5 – контактные штырьки цоколя; 6 – спиральный электрод

Такое низкое давление обеспечивает интенсивное излучение разряда в ультрафиолетовой области спектра (преимущественно с длиной волны 184,9 и 253,7 нм). Под действием электрического напряжения (поля), приложенного к электродам, в лампе возникает газовый разряд. При этом проходящий через пары ртути ток вызывает ультрафиолетовое излучение. Последнее, воздействуя на люминофор, заставляет его светиться, т. е. люминофор преобразует ультрафиолетовое излучение газового разряда в видимый свет. Стекло, из которого выполнена лампа, препятствует выходу ультрафиолетового излучения, тем самым предохраняя наши глаза от вредного излучения.

Люминесцентным лампам присваивают условное обозначение следующей структуры ([1] [2] [3] [4] [5]-[6]):

- [1] – тип лампы (Л – люминесцентная, ТЛ – сигнальная, ЛЛ – тлеющего разряда, ГР – трубки для световой рекламы);

- [2] – цвет излучения (Б – белый, ТБ – тепло-белый, ХБ – холодно-белый, Д – дневной, Е – естественно-белый, УФ – ультрафиолетовый, К – красный, С – синий, З – зеленый, Г – голубой);

- [3] – Ц – высокое или очень высокое качество цветопередачи (одна или две буквы);

- [4] – особенности конструкции лампы (Р – рефлекторная, У – U-образная, К – кольцевая, Б – быстрого пуска, А – амальгамная);

- [5] – мощность лампы, Вт (группа цифр);

- [6] – номер разработки.

Например, ЛДЦ18 – люминесцентная лампа дневного цвета излучения, высокой цветопередачи мощностью 18 Вт.

Люминесцентные лампы включают в электрическую сеть с помощью пускорегулирующей аппаратуры (ПРА) для зажигания и обеспечения нормального режима работы. Это усложняет конструкцию, а следовательно, повышает стоимость осветительных приборов и несколько усложняет эксплуатацию, что является недостатком люминесцентных ламп. К **недостаткам** люминесцентных ламп можно отнести также сложность утилизации из-за наличия в колбе ртути, ненадежную работу в температурных диапазонах до 15 °С и свыше 25 °С, относительно низкую стабильность светового потока в течение срока службы.

Вместе с тем люминесцентные лампы обладают рядом **достоинств**, к которым следует отнести:

- линейный источник света, что позволяет создать более равномерное освещение и эстетическое оформление осветительной установки;

- высокую световую отдачу (до 100 лм/Вт);
- большой срок службы до (10–12 тыс. ч);
- низкую яркость и температуру поверхности колбы;
- качественную цветопередачу (у отдельных серий ламп);
- относительно невысокую себестоимость изготовления.

Для зажигания и горения ламп необходимо последовательное включение пускорегулирующих аппаратов. Различаются стартерные ПРА (начальный подогрев электродов обеспечивается кратковременным замыканием контактов стартера, включенного параллельно лампе) и бесстартерные ПРА (подача на электроды напряжения от специальных устройств, накальных трансформаторов и т. д.). Стартерные схемы подключения люминесцентных ламп (рис. 1.8) нашли большее распространение ввиду достаточной простоты, малых потерь мощности и меньшей стоимости по сравнению с бесстартерными схемами. Однако присутствие стартера может приводить к миганию и выходу из строя ламп. Кроме того, при пониженной температуре, если электроды лампы не успели как следует прогреться, лампа может не зажечься.

Среди стартеров наиболее распространенным является стартер тлеющего разряда, представляющий собой маленькую газоразрядную лампу в стеклянной колбе, наполненной смесью инертных газов и помещенной в пластиковый либо железный корпус. Один из электродов стартера твердый, неподвижный, сделанный из никеля, а второй – подвижный, представляющий

собой биметаллический элемент, состоящий из двух пластинок с разными коэффициентами линейного расширения (есть системы стартера с двумя подвижными контактами).

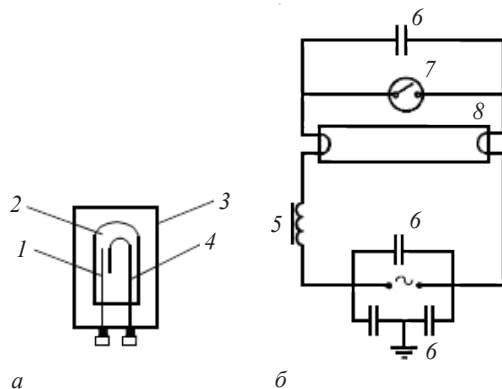


Рис. 1.8. Электрическая схема включения люминесцентной лампы в сеть: *а* — стартер (неоновая лампа тлеющего разряда); *б* — принципиальная схема; 1 — металлический электрод; 2 — стеклянный баллон; 3 — защитная оболочка; 4 — биметаллический электрод; 5 — балластный дроссель; 6 — конденсаторы; 7 — стартер; 8 — лампа

В момент подключения схемы в сеть к электродам лампы и стартера прилагается напряжение сети, так как ток в цепи и потеря напряжения на дросселе отсутствуют. Пока электроды лампы не нагрелись, сетевое напряжение мало для зажигания лампы, но достаточно для зажигания стартера. В стартере появляется разряд, и в схеме проходит ток по контуру: сеть — 1-й электрод лампы — стартер — 2-й электрод лампы — дроссель — сеть.

Величина тока в данный момент времени составляет сотые части ампера, потому электроды лампы сильно не разогреваются. Однако для нагрева биметаллического электрода в стартере достаточно теплоты, выделяющейся при разряде. В итоге нагрева биметаллическая пластинка изгибается и замыкает стартер коротко. При этом ток в цепи возрастает до 0,5–0,6 А и электроды лампы скоро нагреваются. Так как тлеющий разряд, сопровождаемый выделением теплоты, в стартере при замыкании электродов прекращается, электроды стартера начинают остывать и размыкаются. Моментальный разрыв цепи вызывает возникновение ЭДС на дросселе в виде моментального пика напряжения. При

этом лампочка, электроды которой уже раскалены, загорается. После зажигания лампы в цепи устанавливается рабочий ток. Напряжение на зажимах лампы составляет около 50 % от подведенного, остальная часть напряжения пропадает на дросселе. Следовательно, в обычном режиме работы лампы на зажимах стартера присутствует около половины напряжения, что мало для его повторного срабатывания.

Люминесцентные лампы являются источниками радиопомех в диапазоне 0,15–1,5 МГц, т. е. в диапазоне длинных и средних волн. При этом в момент зажигания интенсивность радиопомех более высокая, чем при горении. Для их снижения до регламентируемых норм используют различные фильтры, которые являются элементами электрических схем подключения светильников к питающей сети. Для устранения ряда недостатков, сопровождающих работу газоразрядных ламп, в схему вводят конденсаторы.

Схема простейшего бесстартерного люминесцентного светильника приведена рисунке 1.9.

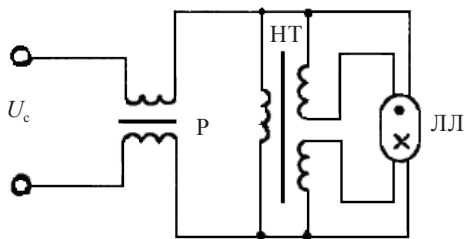


Рис. 1.9. Схема бесстартерного включения люминесцентной лампы в сеть: Р — балластный реактор; НТ — накальный трансформатор; ЛЛ — люминесцентная лампа

Электроды лампы подогреваются от вторичных обмоток накального трансформатора. После зажигания лампы за счет падения напряжения в балластном реакторе снижается напряжение на первичной обмотке накального трансформатора и уменьшается ток подогрева электродов лампы. К недостаткам такой схемы относится сравнительно низкое напряжение холостого хода — лампа может не загореться. Дело в том, что при включении светильника в электрическую сеть последний оказывается под суммарным напряжением (напряжение сети суммируется с напряже-

нием вторичных обмоток накального трансформатора). Однако падение напряжения на реакторе, вызванное током первичной обмотки накального трансформатора, может оказаться больше, чем напряжение вторичных обмоток накального трансформатора. Поэтому общее напряжение на лампе будет недостаточным для ее зажигания.

Характеристики люминесцентных ламп

Световой поток люминесцентных источников света зависит в основном от мощности лампы, спектр излучения — от состава люминофора. Например, лампы типа ЛД испускают 92 % потока в области 460–610 нм, лампы ЛБЦ — 94 % в области 510–660 нм.

Пульсация светового потока обусловлена погасанием и перезажигом лампы в каждый полупериод переменного тока. Освещение объектов пульсирующим световым потоком утомляет зрение, вызывает стробоскопический эффект (кажушаяся неподвижность объекта при совпадении частот пульсации светового потока и движущегося объекта).

Коэффициент пульсации определяется составом люминофора и схемой включения в сеть (составляет 25–40 %).

Световая отдача снижается на 30–40 % к концу срока службы лампы. Это обусловлено необратимыми химическими реакциями люминофора с примесями в газах, износом электродов и другими факторами.

Срок службы люминесцентных ламп зависит от стойкости электродов. Электротехническая промышленность выпускает люминесцентные лампы со сроком службы до 10–12 тыс. ч.

Люминесцентные лампы общего назначения имеют международную маркировку T12 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 частотой не менее 50 Гц. Люминесцентные лампы марки T12 выпускают ограниченно только для замены в существующих светильниках.

Серия энергоэкономичных ламп в колбе диаметром 26 мм мощностью 18, 36 и 58 Вт имеет международную маркировку T8 и предназначена для общего и местного освещения промышленных, общественных, административных (ЛБ18-1, ЛДЦ18, ЛБ36, ЛБ58) и жилых (ЛЕЦ18, ЛЕЦ36, ЛЕЦ58) помещений. Их особен-

ностью является пониженная на 10 % мощность по сравнению со стандартными лампами при сохранении тех же светотехнических характеристик. Энергоэкономичные лампы эксплуатируются как в светильниках, предназначенных для стандартных ламп, так и в специально разработанных (светильники типа ЛПОЗ3, ЛПОЗ4, ЛСП18). Следует иметь в виду, что у энергоэкономичных ламп повышено напряжение зажигания, поэтому их нельзя применять в бесстартерных схемах, а для надежного зажигания в стартерных схемах рекомендуется использовать унифицированный стартер, дающий более длительный и высокий импульс напряжения (900 В вместо 400 В).

Люминесцентные лампы типа Т5. В настоящее время ведущими мировыми производителями светотехнической продукции освоен выпуск новых люминесцентных ламп (международная маркировка Т5) мощностью 14, 21, 28, 35 Вт (серий FН и НЕ) и 24, 39, 49, 54 Вт (серий АQ и НО), имеющих диаметр разрядной трубки 16 мм и обладающих рядом преимуществ по сравнению с ранее выпускаемыми аналогичными лампами, в частности более высокой световой отдачей (до 104 лм/Вт), сроком службы до 16 тыс. ч, пониженным содержанием ртути (3 мг) и т. д.

Лампы Т5 с диаметром трубки 16 мм с электронными пуско-регулирующими аппаратами вытесняют лампы типа Т8 в колбе диаметром 26 мм, а также лампы типа Т12 в колбе с диаметром 38 мм, которые уже сняты с производства ведущими электроламповыми фирмами мира.

Достоинства осветительной техники с лампами Т5:

- повышенная световая отдача (до 105 лм/Вт);
- пониженный спад светового потока благодаря использованию между люминофором и стеклом колбы защитной пленки, исключающей отрицательное влияние ртути (через 10 тыс. ч наработки световой поток снижается не более чем на 5 % и остается далее на этом уровне по сравнению с 20–30 % снижения светового потока для обычных ЛЛ);
- оптимальная световая отдача ламп Т5 при температуре окружающего воздуха 35 °С, а не 22–25 °С, как для обычных ЛЛ), т. е. практически не снижается во многих светильниках;
- при работе только со специальными электронными ПРА снижение потери мощности комплекта «лампа — ПРА» на 30–

35 %; при этом электронные ПРА имеют схему «*cut off*», исключающую постоянный подогрев электродов после включения ламп;

- резко сниженное содержание ртути (с 30 до 3 мг);
- уменьшение диаметра трубки на 40 % (по сравнению с ЛЛ типа Т8), уменьшение длины ламп Т5 приблизительно на 50 мм по сравнению с близкими по мощности лампами Т8;
- увеличение среднего срока службы ламп до 16 тыс. ч;
- высокий индекс цветопередачи (80–90).

Сравнение характеристик ламп типов Т8 и Т5

	Т8	Т5
Мощность, Вт	18	14
Световой поток, лм	1150	1350
Световая отдача, лм/Вт	64	96
Индекс цветопередачи	60–69	80–90
Рабочая температура, °С	25	35
Средний срок службы, тыс. ч	9–13	16–20
Снижение светового потока через 40 % среднего срока службы, %	20	5

Компактные люминесцентные лампы. Первоначальной целью выпуска компактных люминесцентных ламп являлась необходимость создания энергоэффективных ламп с относительно небольшим световым потоком для применения в бытовых осветительных приборах. Выпускаемые в настоящее время компактные люминесцентные лампы отличаются меньшей мощностью — 5–80 Вт, диапазоном светового потока от 200 лм и выше, световой отдачей 30–75 лм/Вт и сроком службы 6–12 тыс. ч.

Конструктивно компактные (фигурные) лампы выпускают для работы с выносным электромагнитным и с встроенным электронным ПРА с резьбовым цоколем типов Е27, Е14, что позволяет заменять лампы накаливания, не заменяя существующий осветительный прибор.

Разрядные лампы высокого и сверхвысокого давления

Ртутные лампы высокого давления (ДРЛ)

Дуговая ртутная люминесцентная лампа (рис. 1.10) представляет собой горелку из прозрачного кварцевого стекла, по-

мешенную в колбу из тугоплавкого стекла. Электроды выведены из горелки для подключения к сети, выполнены из тугоплавкого металла, активированы. Внутренняя поверхность колбы покрыта тонким слоем порошкообразного люминофора. Количество электродов в горелке до четырех: 2 основных, 1 или 2 зажигающих, облегчающих зажигание.

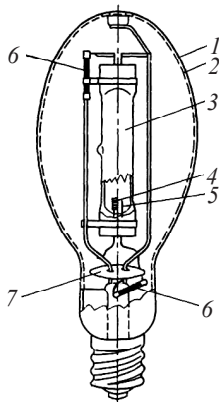


Рис. 1.10. Лампа типа ДРЛ: 1 — внешняя стеклянная колба; 2 — слой люминофора; 3 — разрядная трубка из прозрачного кварцевого стекла; 4 — рабочий электрод; 5 — зажигающий электрод; 6 — ограничительные резисторы в цепи зажигающих электродов; 7 — экран

Внутри горелки содержатся немного ртути и спектрально чистый аргон, который защищает электроды от распыления при пониженном давлении и облегчает зажигание. Процесс зажигания длится до полного испарения ртути внутри горелки (5–7 мин), после чего все характеристики стабилизируются.

Любой поджигающий электрод подключается к противоположному рабочему электроду через резистор R , расположенный внутри внешнего баллона. Резистор ограничивает ток дополнительного разряда и уменьшает ток утечки через поджигающие электроды лампы.

При подаче определенного значения напряжения к электродам лампы в трубке возникает электрический разряд, сопровождающийся ультрафиолетовым излучением ртутных паров с синеватым оттенком, который, воздействуя на люминофор, вы-

зывает его свечение, имеющее красный цвет. Суммарный цвет светового излучения лампы состоит из излучений ртутного ряда и люминофора, приближаясь к белому.

Лампы ДРЛ характеризуются высокой светоотдачей 40–60 лм/Вт и сроком службы в среднем 10 тыс. ч. Световая отдача ламп ДРЛ составляет для ДРЛ250 – 54, ДРЛ400 – 60, ДРЛ700 – 58, ДРЛ1000 – 59 лм/Вт.

Спектр видимого излучения смещен в сторону ультрафиолетового излучения, поэтому данные лампы непригодны для освещения тех помещений, где работа связана с высокими требованиями к цветопередаче.

Достоинства ламп ДРЛ:

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

Недостатки ламп ДРЛ:

- низкое качество цветопередачи, большие пульсации светового потока (65–75 %);
- в помещении возможно возникновение стробоскопического эффекта, поэтому соседние светильники необходимо включать в разные фазы;
- длительное время разгорания (до 10 мин);
- повторное включение лампы возможно только после остывания горелки;
- высокая температура на внешней колбе (250–300 °С).

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

1) для наружного освещения территорий промышленных предприятий и внутридворовых территорий. Для освещения улиц применяют ДНаТ;

2) для освещения производственных помещений и складов с высотой установки светильников более 6 м;

3) для архитектурного освещения фасадов зданий.

Маркировка ламп ДРЛ: Д – дуговая, Р – ртутная, Л – люминесцентная. После букв следуют цифры, которые соответствуют мощности ламп в ваттах, далее в скобках – «красное отношение»

в процентах и цифра через дефис — номер разработки (например, ДРЛ400-6).

Металлогалогенные лампы

Устройство и принцип действия металлогалогенных ламп основан на том, что галогениды многих металлов испаряются легче, чем сами металлы, и не разрушают кварцевое стекло (рис. 1.11). Поэтому внутрь колб металлогалогенных ламп кроме ртути и аргона дополнительно вводят различные химические элементы в виде их галоидных соединений, например йод, бром, хлор.

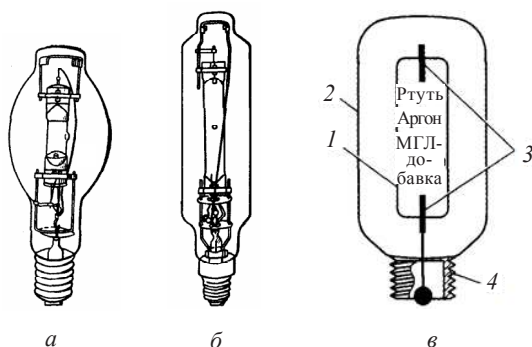


Рис. 1.11. Металлогалогенные лампы общего освещения: *а* — лампа 400 Вт в эллипсоидальной прозрачной колбе; *б* — лампа в цилиндрической прозрачной колбе; *в* — принципиальная схема устройства МГЛ;

1 — разрядная трубка (горелка); *2* — прозрачная колба из вольфрамового стекла; *3* — электроды из тугоплавкого металла; *4* — цоколь

После зажигания разряда, когда достигается рабочая температура колбы, галогениды металлов частично переходят в парообразное состояние. Попадая в центральную зону разряда с температурой несколько тысяч градусов Кельвина, молекулы галогенидов диссоциируют на галоген и металл. Атомы металла возбуждаются и излучают характерные для них спектры. Диффундируя за пределы разрядного канала и попадая в зону с более низкой температурой вблизи стенок колбы, они воссоединяются в галогениды, которые вновь испаряются. Такой замкнутый цикл обеспечивает некоторые преимущества перед лампами ДРЛ:

1) при разряде создается концентрация атомов металлов, дающих требуемый спектр излучения, так как при рабочей темпе-

ратуре кварцевой колбы 800–900 °С давление паров галогенидов многих металлов значительно выше, чем самих металлов, таких как таллий, индий, скандий, диспрозий и др.;

2) появляется возможность вводить в разряд щелочные металлы (натрий, литий, цезий) и другие агрессивные металлы (например, кадмий, цинк), которые в чистом виде вызывают быстрое разрушение кварцевого стекла, а в виде галогенидов не вызывают такого разрушения.

Для общего освещения в настоящее время наиболее широкое распространение получили металлогалогенные лампы со следующими составами металлогалогенных добавок (кроме ртути и зажигающего газа):

- 1) иодида натрия, таллия и индия;
- 2) иодида натрия, скандия и тория.

Лампы имеют спектр, состоящий из отдельных линий ртути и линий добавок, расположенных в различных областях спектра, благодаря чему удается сочетать высокую световую отдачу с приемлемым качеством цветопередачи.

Металлогалогенные лампы для общего освещения типа ДРИ (Д – дуговая, Р – ртутная, И – с излучающими добавками) по конструкции подобны лампам типа ДРЛ. В качестве внешней колбы обычно применяют стандартную внешнюю колбу ламп типа ДРЛ, но без люминофорного покрытия, или специальную колбу цилиндрической формы.

Световая отдача ламп ДРИ составляет: ДРИ250 – 76, ДРИ400 – 87, ДРИ700 – 85, ДРИ1000 – 90 лм/Вт, что выше (так же, как и индекс цветопередачи), чем у ламп ДРЛ, но срок службы ниже.

Достоинства ламп МГЛ:

- высокая световая отдача (до 90 лм/Вт);
- большой диапазон цветовых температур (3000–4200 К);
- большой срок службы (до 10 тыс. ч);
- отличная цветопередача (65–90);
- слабая зависимость параметров лампы от окружающей температуры.

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

Недостатки ламп МГЛ:

- цветность излучения некоторых типов ламп зависит от их рабочего положения, поэтому они должны работать в том положении, которое указано в сопровождающей документации;
- высокая стоимость;
- большие пульсации светового потока, достигающие у некоторых ламп 100 %;
- большое время разгорания (до 10 мин);
- невозможность повторного включения ламп при их погасании;
- для быстрого включения после погасания необходимы блоки мгновенного перезажигания.

Лампы МГЛ используют для освещения спортивных сооружений, торговых залов магазинов, витрин, выставочных павильонов, офисов, архитектурного освещения фасадов зданий.

Натриевые лампы

Принцип действия натриевых ламп основан на использовании резонансного излучения D-линий натрия (589 и 589,6 нм). Эти лампы обладают самыми высокими световой отдачей и сроком службы среди разрядных ламп. Недостатком натриевых ламп является низкое качество цветопередачи, поэтому применяют их в основном для освещения площадей, парков, уличного освещения.

В зависимости от рабочего давления паров натрия выделяют два типа ламп: натриевые лампы низкого давления (НЛНД) и натриевые лампы высокого давления (НЛВД).

Натриевые лампы низкого давления представляют собой разрядные трубки диаметром 15–25 мм. Изготавливают их из специальных сортов стекла, устойчивых к воздействию разряда в парах натрия.

Применяют НЛНД для освещения автострад, туннелей, складов погрузочно-разгрузочных площадок портов, железнодорожных станций, а также для архитектурного и декоративного освещения и освещения других мест, где не требуется хорошая цветопередача.

Натриевые лампы высокого давления (ДНАТ – дуговая натриевая трубчатая) – наиболее эффективные современные источники света. Световая отдача их достигает 100–130 лм/Вт (рекорд среди источников света); продолжительность работы – до 20 тыс. ч. НЛВД типа ДНАТ имеют цилиндрическую разрядную трубку,

смонтированную в вакуумированной внешней колбе (рис. 1.12), и содержат смесь паров натрия и ртути при высоком давлении — зажигающий газ ксенон.

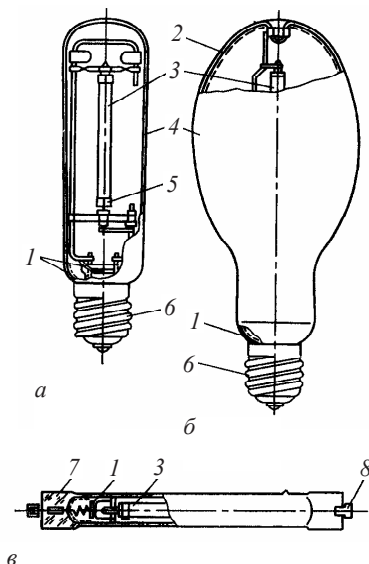


Рис. 1.12. Натриевые лампы высокого давления: *а* — в прозрачной колбе (типа ДНаТ); *б* — в светорассеивающей колбе типа ДНаТМт); *в* — в софитном исполнении (типа ДНаТСф); 1 — бариевый газопоглотитель; 2 — светорассеивающее покрытие; 3 — разрядная рубка; 4 — стеклянная внешняя колба; 5 — теплоотражающий экран; 6 — резьбовой цоколь; 7 — кварцевая внешняя колба; 8 — специальный цоколь

Спектр видимого излучения лежит в зоне желто-красного цвета, что делает эти лампы непригодными для освещения помещений, где выполняют зрительную работу. Высокий световой поток и искривленный спектр излучения натриевых ламп создают слепящее действие, дискомфорт, что приводит к быстрой утомляемости и снижению работоспособности.

Натриевые лампы типа ДНаТ для внутреннего освещения применяют редко ввиду больших пульсаций излучаемого светового потока и значительного ультрафиолетового излучения, а также из-за плохих цветовых характеристик. Их допускается использовать только с разрешения органов санитарного надзора

при условии, что освещенность в зоне пребывания людей не превышает 150 лк. Эти лампы широко применяют для освещения улиц, площадей, парков.

Зажигание ламп осуществляется специальным устройством, подающим на лампу высокочастотный импульс с амплитудой 2–4 кВ. Время разгорания лампы (5–7 мин) определяется скоростью нагрева лампы и испарения натрия и ртути. По мере разгорания спектр излучения изменяется от монохроматического желтого до нормального уширенного, соответствующего установившимся рабочим параметрам. Время повторного зажигания выключенной лампы определяется временем охлаждения разрядной трубки до температуры, при которой подаваемые импульсы напряжения достаточны для повторного зажигания разряда, и составляет 2–3 мин.

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

Достоинства НЛВД:

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

Недостатки НЛВД:

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

Маркировка натриевых ламп: НЛНД — ДNaO, НЛВД — ДNaT, пример: ДNaO85, ДNaT150.

Ксеноновые лампы

В ксеноновых лампах (рис. 1.13) используется разряд в газе ксеноне при высоком и сверхвысоком давлении и плотности тока, составляющей десятки и сотни ампер на 1 м². Разряд в ксеноне непрерывностью спектра излучения составляет от 200 нм до 2 мкм. В видимой части спектр близок к солнечному и обеспечивает высокую цветопередачу.

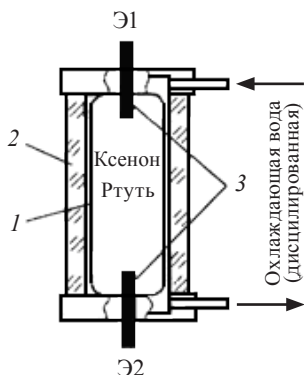


Рис. 1.13. Общий схематический вид ксеноновых трубчатых ламп типов ДКсТ10000–50000: 1 – разрядная трубка (горелка); 2 – прозрачная колба из вольфрамового стекла; 3 – электроды из тугоплавкого металла

Для зажигания как безбалластных, так и балластных ксеноновых ламп применяют специальные зажигающие устройства, дающие высоковольтный (до 50 кВ) электрический дуговой разряд.

В видимой области спектр близок к солнечному ($T_c = 6100–6300$ К) и обеспечивает высококачественную цветопередачу ($R_a = 95–98$). Классифицируют ксеноновые лампы: 1) на трубчатые лампы высокого давления с естественным и водяным охлаждением; 2) лампы сверхвысокого давления с короткой дугой с естественным и принудительным (воздушным или водяным) охлаждением.

Ксеноновая лампа состоит из трубки из кварцевого стекла, в концы которой впаяны вольфрамовые активированные электроды. В лампах с водяным охлаждением горелку помещают соосно в стеклянный цилиндр со специальными фланцами и патрубками. В зазоре между горелкой и внешним цилиндром циркулирует дистиллированная вода. За счет водяного охлаждения лампы при одинаковой мощности имеют существенно меньшие габариты и большую световую отдачу, чем лампы с естественным охлаждением.

Световая отдача возрастает с ростом удельной мощности, стремясь к предельному (около 45–48 лм/Вт) значению. У ламп с естественным охлаждением световая отдача 20–29 лм/Вт, у ламп с водяным охлаждением – около 35–45 лм/Вт.

Электрический разряд в ксенеоне имеет ряд особенностей, основными из которых являются высокое напряжение для зажигания (до 50 кВ) при малом периоде разгорания, составляющем менее 1 с (последнее обусловлено тем, что в отличие от РЛ с парами металлов в ксеононовой лампе плотность ксенона практически не меняется при изменении теплового режима); возрастающая вольт-амперная характеристика при высоких плотностях тока, что позволяет стабилизировать разряд с помощью относительно небольших балластных сопротивлений, а трубчатые лампы значительной длины включать в сеть даже без балласта.

В отличие от других газоразрядных ламп ксеононовые лампы работают без балласта в виде ПРА, а зажигаются с помощью специального пускового устройства.

Ксеононовые лампы изготавливают мощностью 2–50 кВт; срок службы различных типов ламп составляет 300–800 ч.

Область применения ламп ограничивается избытком в их спектре вредного ультрафиолетового излучения. Выпускают также лампы в колбе из легированного кварца (лампы ДКсТЛ), в которых этот недостаток устранен. Пульсации светового потока у ламп ДКсТ особенно велики (коэффициент пульсации 130 %). Кроме большой единичной мощности достоинством ламп является их излучение по цветности, наиболее близкое к естественному дневному свету, хотя в сфере применения ламп это достоинство обычно не реализуется. Температура внешней среды не оказывает существенного влияния на зажигание и горение лампы.

Достоинства ламп ДКсТ:

- хороший спектр излучения;
- близкий к солнечному спектру;
- хорошая цветопередача;
- большая единичная мощность;
- параметры ламп, практически не зависящие от температуры окружающей среды.

Недостатки ламп ДКсТ:

- небольшой срок службы;
- сильная зависимость параметров от напряжения;
- высокая температура на колбе лампы (700–750 °С), из-за чего приходится применять специальные системы охлаждения.

Лампы ДКсТ применяют для освещения больших открытых пространств — площадей, карьеров, железнодорожных станций, портов, а также архитектурных сооружений.

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

Ксеноновым лампам присваивают условное обозначение следующей структуры ([1] [2] [3] [4]-[5]):

- [1] – тип лампы: Д – дуговая, Кс – ксеноновая;
- [2] – конструкция: Т – трубчатая, Ш – шаровая, РБ – разборная;
- [3] – охлаждение: М – металлическая, Э – эритемная, В – с водяным охлаждением;
- [4] – мощность, Вт;
- [5] – порядковый номер разработки.

Пример маркировки ламп: ДКсТ5000, ДКсТВ50000, ДКсШ1000-2, ДКсШРБ3000-1.

Светодиодные источники света

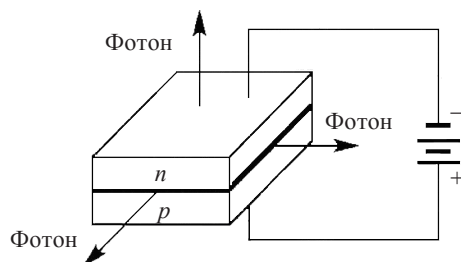
Светоизлучающий диод (СИД, СД) – это микроминиатюрный полупроводниковый источник света, в котором излучение возникает на полупроводниковом переходе в результате рекомбинации электронов и дырок.

Рекомбинация (в полупроводниках) – это исчезновение пары «электрон проводимости – дырка» в результате перехода из зоны проводимости в валентную зону.

СИД изготавливают из полупроводниковых материалов высокой чистоты, добавляя незначительное количество примесей. Последние создают либо избыток электронов (тип *n*), либо избыток дырок (тип *p*). Заряд электрона – отрицательный, а дырки – положительный. В месте контакта материалов *p*- и *n*-типов образуется полупроводниковый *p*–*n*-переход.

Схематично СИД с *p*–*n*-переходом представлен на рисунке 1.14.

В случае приложения небольшого напряжения (несколько вольт) прямой полярности (к *n*-материалу – минус, а к *p*-материалу – плюс) электроны и дырки будут перемещаться навстречу друг другу.

Рис. 1.14. Схема СИД с p - n -переходом

Свечение возникает на границе полупроводников в виде фотонов сквозь один из материалов и через зазор между ними.

Спектр излучения (длина волны) зависит от материала и вводимой примеси. Например, арсенид галлия (GaAs) дает излучение в ИК-области ($\lambda = 920 \text{ н}\cdot\text{м}$), а в сочетании с люминофорами удастся получить красное ($\lambda = 635 \text{ н}\cdot\text{м}$), зеленое ($\lambda = 535 \text{ н}\cdot\text{м}$) и голубое ($\lambda = 475 \text{ н}\cdot\text{м}$) свечение.

Размеры контакта в p - n -переходе очень малы (10^{-3} см^2), следовательно, область свечения тоже мала, что позволяет изготовить СИД малых размеров.

Типичная конструкция светодиода представлена на рисунке 1.15.

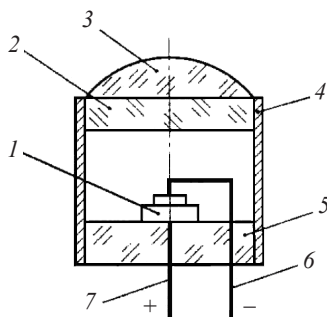


Рис. 1.15. Схема светодиода: 1 — излучающий элемент; 2 — стекло; 3 — линза; 4 — металлический корпус; 5 — изолирующее основание; 6 — катод; 7 — анод

Светодиодный источник состоит из излучающего элемента — полупроводникового кристалла p - n -перехода, заключенного в металлический корпус с изолирующим основанием; линзы, фокусирующей свет от кристалла и защищающей его от влаги

и коррозии, и контактов для подключения к источнику постоянного тока.

К катоду контакт присоединяется сваркой с применением золотой проволоки, а к аноду — пайкой или токопроводящим клеем.

Энергия, потребляемая светодиодом, частично преобразуется в свет, а частично в тепло, нагревая СИД.

Увеличение на переходе температуры более $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ приводит к резкому снижению светового потока, что требует теплоотвода. Однако изменение температуры на переходе практически не влияет на длину волны излучения.

Отвод тепла можно улучшить тремя способами:

- увеличением контактной площади, особенно вблизи «анода»;
- увеличением расстояния между СИД, расположенными на плате;
- хорошим тепловым контактом СИД с платой.

Питание СИД зависит от его типа и находится в пределах 2–4 В напряжения постоянного тока.

Блоки питания (БП) для СИД выпускают на напряжение постоянного тока 10, 12, 24 и 48 В.

Для замены традиционных источников света светодиодными требуются дополнительные устройства, обеспечивающие работу СИД на постоянном токе. Классический вариант схемы включения СИД представлен на рисунке 1.16.

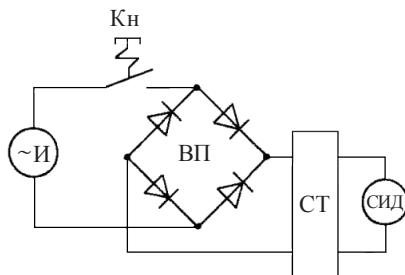


Рис. 1.16. Схема подключения СИД к источнику постоянного тока: И — источник переменного тока (сеть освещения); Кн — выключатель (кнопка с самовозвратом); ВП — выпрямитель; СТ — стабилизатор режима работы светодиода; СИД — светодиод на постоянном токе

Такие светодиоды работают непосредственно от сети переменного тока 100, 110, 220 или 230 В (модификации для стан-

дартного сетевого напряжения конкретной страны) без выпрямителя.

Работа светодиодного модуля не зависит от полярности напряжения, так как в его кристалл встроена интегральная схема, состоящая из множества светоизлучающих мелких элементов. Каждый модуль содержит две группы светоизлучающих элементов, соединенных последовательно в группе (рис. 1.17).

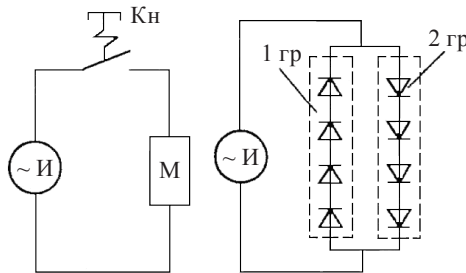


Рис. 1.17. Схема подключения светодиода к источнику переменного тока: М — модуль

Допускается также питание светодиодов в импульсном режиме. В этом случае импульсный ток, протекающий через прибор, может быть выше, чем значение постоянного тока (до 150 мА при длительности импульсов 100 мкс и частоте импульсов 1 кГц). Для управления яркостью светодиодов (и цветом в случае смешения цветов) используют широтно-импульсную модуляцию (ШИМ) — метод, очень распространенный в современной электронике.

Достоинства светодиодных ламп:

- безопасность в работе, так как не требуется высокое напряжение. При этом наибольшая температура светодиода и ограждающей арматуры не превышает 60 °С;
- наименьшее, по сравнению с любыми другими типами бытовых ламп, потребление электроэнергии;
- высокая световая отдача — около 120 лм/Вт (светоотдача ламп накаливания 10–24 лм/Вт, люминесцентных ламп 60–100 лм/Вт);
- наибольший, по сравнению с любыми другими лампами, срок службы (40–50 тыс. ч и более) при условии качественного исполнения самой светодиодной лампы, применении при ее изготовлении высококачественных материалов и соблюдении заданного теплового режима;

- получение различных характеристик спектра без использования светофильтров, т. е. по аналогии с лампами накаливания;
- прочность и безопасность для пользователей. Светодиодная лампа при случайном падении не разобьется и не будет повреждена; ее элементы не содержат опасных компонентов химического происхождения, присутствующих, например, в люминесцентных лампах;
- отсутствие значительного инфракрасного и ультрафиолетового излучения в спектре излучения;
- отсутствие зависимости срока службы от количества включений и отключений по сравнению с другими лампами;
- возможность работы при изменении напряжения от 80 до 230 В.

Недостатки светодиодных ламп:

- самая высокая стоимость по сравнению с аналогичными осветительными лампами;
- потребность в отводящем тепло радиаторе;
- заметная пульсация света при отсутствии конденсатора, выравнивающего световой поток светодиодов;
- монохромность светового спектра, генерируемого светодиодами, существенно отличающегося от естественного солнечного освещения. Для смягчения монохромного светового излучения требуются люминофоры специального состава;
- узкая направленность генерируемого светового потока, что требует установки нескольких разнонаправленных ламп или рассеивателя света, применение которого существенно снижает интенсивность освещения.

Некоторые характеристики светодиодных источников света представлены в таблице 2 приложения 1.

Пускорегулирующая аппаратура

Для зажигания газоразрядных ламп (ГЛ) необходима специальная схема, которая конструктивно выполняется в виде пускорегулирующей аппаратуры (ПРА).

Пускорегулирующий аппарат — это светотехническое изделие, с помощью которого осуществляется питание ГЛ от электрической сети и которое обеспечивает необходимые режимы зажигания, разгорания и работы лампы, конструктивно оформленное в виде единого аппарата либо нескольких отдельных блоков.

Электрические, световые и эксплуатационные параметры ГЛ существенно зависят от ПРА. Поэтому параметры ГЛ и аппарата следует оптимизировать по показателям единого комплекта ГЛ — ПРА при его работе в светотехнической установке.

Основные функции ПРА заключаются в обеспечении: 1) зажигания ГЛ, которое предусматривает пробой межэлектродного промежутка и формирование в нем требуемого вида разряда. Для надежного зажигания ГЛ аппарат должен иметь определенные выходные характеристики в режиме холостого хода, т. е. в режиме работы схемы включения при негорящей лампе. Повторное зажигание после кратковременного перерыва питания высоко-температурной ГЛ, как правило, требует на порядок большего напряжения, чем для зажигания холодной ГЛ; 2) разгорания ГЛ, т. е. процесса установления рабочих характеристик лампы после зажигания. Продолжительность разгорания определяется наполнением лампы, соотношением температур ее колбы в холодном и рабочем состояниях, характеристиками ПРА; 3) устойчивости режима работы ГЛ в контуре, т. е. способности контура автоматически восстанавливать исходное значение тока при эксплуатационных изменениях последнего.

Основным элементом всех ПРА является зажигающее устройство (ЗУ). Классификация ЗУ представлена на рисунке 1.18.

Схемное решение любого ПРА во многом определяет достоинства ЗУ. Правильный выбор позволит увеличить срок службы источника света, повысить КПД (до 90 %), улучшить эксплуатационные характеристики. Процесс зажигания определяется именно стартером, создающим условия зажигания лампы: электронную эмиссию при повышенном напряжении на электродах в момент зажигания ($U_{\text{зж}}$).

Возможны два способа зажигания ГЛ:

- «холодное» — без предварительного подогрева электродов перед зажиганием;
- «горячее» — с предварительным подогревом электродов перед зажиганием.

При «холодном» зажигании основной задачей ЗУ является создание мощного импульса напряжения на электродах ГЛ и сохранение его до момента перехода к дуговому разряду. Это обеспечивается слабой эмиссией холодных электродов.

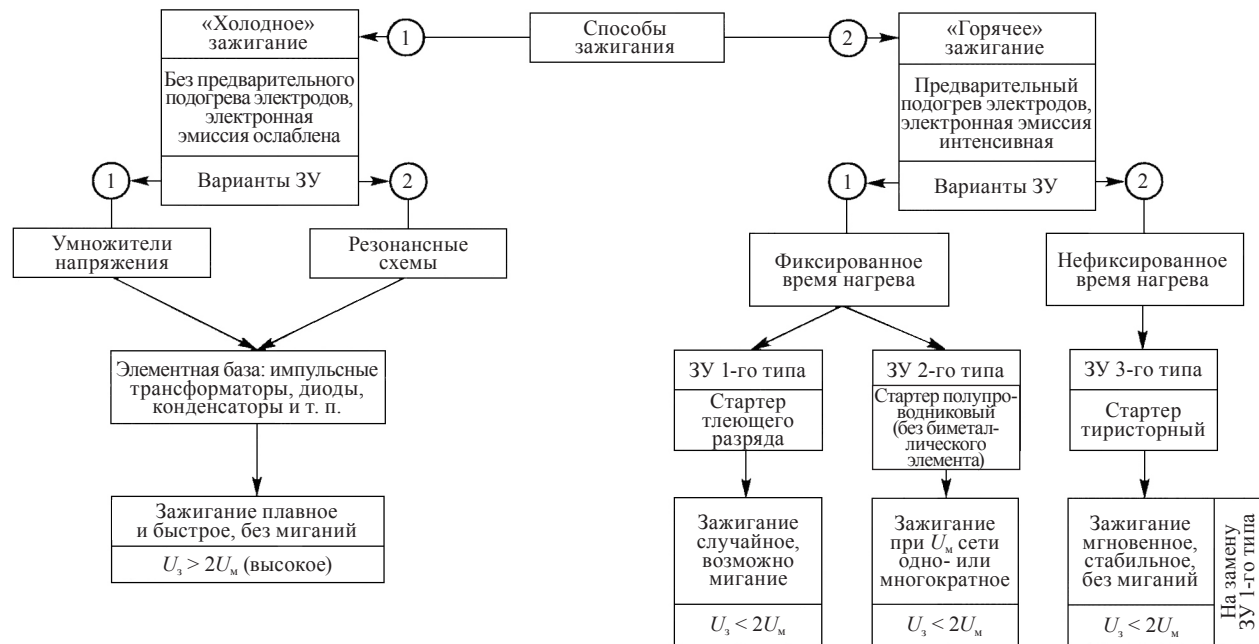


Рис. 1.18. Классификация ЗУ для световых приборов с газоразрядными лампами:

U_3 — напряжение зажигания; U_m — амплитуда напряжения сети

Такие условия можно создать, применив умножители напряжения или резонансные схемы, выполненные на импульсных трансформаторах, емкостях, диодах и т. п. Существенным достоинством таких схем является возможность использования ламп с перегоревшей спиралью. Однако этот способ имеет повышенную опасность и высокую стоимость, поэтому применяется реже, чем «горячее» зажигание.

При «горячем» зажигании электронная эмиссия более интенсивная, а схемы ЗУ многообразней. По принципу построения возможны два варианта ЗУ:

- с фиксированным временем нагрева (1-й и 2-й тип);
- нефиксированным временем нагрева (3-й тип).

1-й тип. Недорогая дроссельная схема на базе теплового реле с биметаллической пластиной — стартер тлеющего разряда. Процесс зажигания носит случайный характер.

2-й тип. Полупроводниковый стартер. Биметаллическая пластина отсутствует. Импульс зажигания — амплитудное значение напряжения сети. Случайное зажигание исключено. Используется в большинстве схем электронного зажигания. Стоимость элементной базы высокая. Однако данный тип зажигания обусловлен необходимостью создания стабильных характеристик прогрева электродов и зажигания ЛЛ.

3-й тип. Тиристорный стартер. Наиболее простой, удобный и перспективный. При этом хорошо сочетается нагрев электродов с подачей в нужный момент импульса зажигания.

Рассмотрим типы ПРА и их характеристики.

Электромагнитные ПРА (ЭмПРА)

Простые аппараты содержат только два основных элемента: дроссель и стартер и должны выполнять три основные задачи: пробой, зажигание и стабилизацию рабочего режима лампы.

Однако эта простая схема имеет недостатки:

1) значительные потери мощности, большой и тяжелый дроссель;

2) ненадежное зажигание, иногда требуется несколько попыток, что снижает срок службы (особенно при частых выключениях);

3) незаметная для глаза пульсация светового потока при изменении напряжения сети с частотой 50 Гц. Такое освещение вызывает утомление и не рекомендуется в офисных помещениях.

В странах Европейского экономического союза (ЕЭС) директивой 2000 г. приостановлено производство ЭмПРА.

Электронные ПРА (ЭПРА)

С 2006 г. в странах ЕЭС должны применяться только ЭПРА, которые в Беларуси производит ОАО «ЭНЭФ». Ассортиментная линейка компании состоит из 117 видов ЭПРА (включая ЭПРА для ламп Т5 и регулируемые балласты).

Достоинства ЭПРА по сравнению с ЭмПРА:

- более высокий КПД;
- возможность регулирования светового потока при работе в системе «лампа – ПРА»;
- отсутствие мигания (при включении) и пульсации светового потока (при работе).

Применение ЭПРА с автоматическим поддержанием уровня освещенности на рабочем месте (с учетом естественного освещения) позволит экономить до 70 % энергии, расходуемой на освещение.

Структурная схема современного ЭПРА представлена на рисунке 1.19.

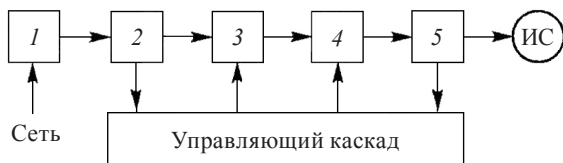


Рис. 1.19. Структурная схема ЭПРА: 1 – фильтр; 2 – выпрямитель; 3 – корректор; 4 – усилитель; 5 – выходной каскад

Фильтр, состоящий из индуктивностей и емкостей, предназначен для подавления высокочастотных помех.

Выпрямитель, собранный по мостовой схеме, используется для выпрямления переменного тока.

Корректор на мощных транзисторах применяется для коррекции формы импульса потребляемого тока.

Усилитель на полевых транзисторах предназначен для усиления мощности сигнала, поступающего на входной каскад.

Выходной каскад предназначен для формирования зажигающего импульса, подводимого к источнику света. По существу он является традиционным ПРА.

Управляющий каскад на микросхемах предназначен для управления силовыми транзисторами.

Приведенная схема ЭПРА обеспечивает:

- нагрев электродов лампы;
- зажигание, стабилизацию параметров при работе;
- защиту от перегрузки не только в рабочем режиме, но и на холостом ходу (без лампы).

Основные технические характеристики ЭПРА

Коэффициент полезного

действия (КПД), % 80–90

Коэффициент активной

мощности ($\cos \varphi$) не ниже 0,95

Диапазон рабочих напряжений, В:

переменного тока 190–354

постоянного тока 170–340

Содержание высших гармоник

в потребляемом токе, % не более 15

Габаритные размеры универсальные

($L \times B \times H$), мм:

одноламповых 360×30×30

двухламповых 360×40×30

В настоящее время в основном выпускают ЭПРА «холодного» включения (без предварительного подогрева электродов). Они пригодны для осветительных установок с числом включений в сутки не более пяти, в противном случае номинальный срок службы не гарантируется.

Недостатком ЭПРА «холодного» включения является отсутствие возможности регулирования светового потока ламп.

Структура формирования обозначения ПРА для газоразрядных ламп приведена на рисунке 1.20.

Примеры обозначения ПРА газоразрядных ламп:

• **1И30А14-001.УХЛ4,**

где 1 — ПРА для одной лампы; И — индуктивный характер потребляемого тока; 30 — мощность, Вт; А — особо низкий уровень шума; 14 — номер серии; 001 — номер исполнения; УХЛ — для умеренно-холодного климата; 4 — для помещения с отоплением;

• **ИЗУ-У-2000/380-В-001.УХЛ2,**

где ИЗУ — импульсное зажигающее устройство; У — универсальное для ДНаТ и ДРИ; 2000/380 — соответственно мощность лампы, Вт и напряжение, В; В — встроенное; 001 — номер исполнения; УХЛ — для умеренно-холодного климата; 2 — для помещения без отопления.

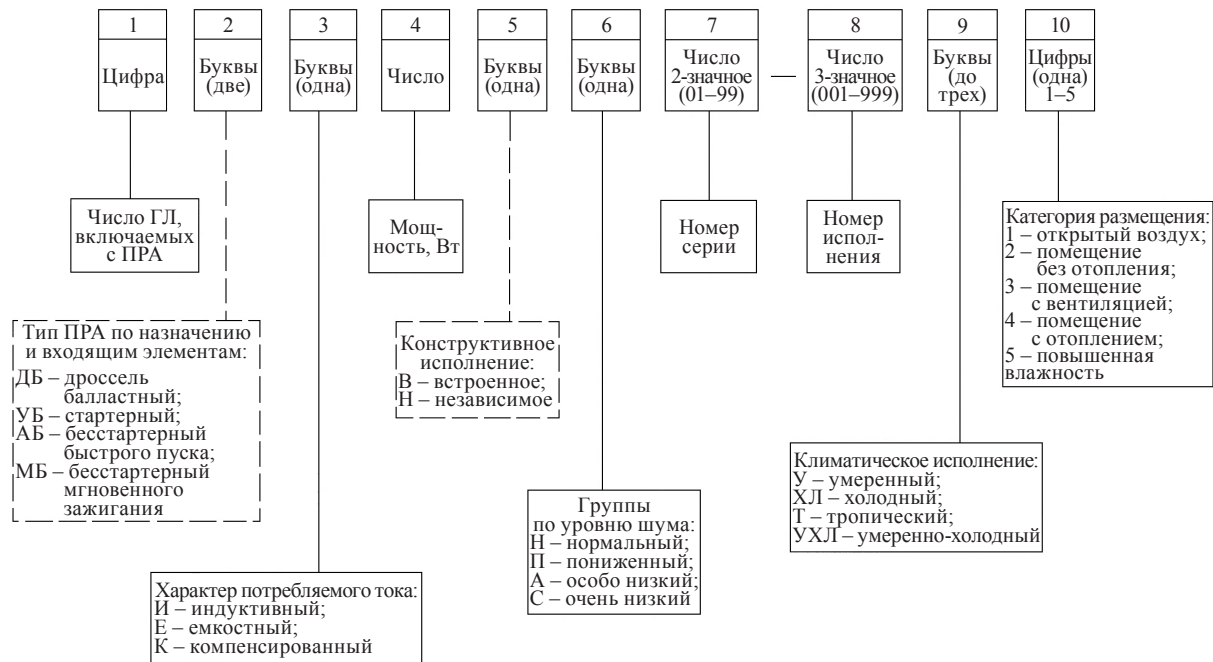


Рис. 1.20. Структура формирования обозначения ПРА для газоразрядных ламп

Интеллектуальные ЭПРА

Обычно стандартные ЭПРА регулируют один параметр: мощность или ток лампы, что обеспечивает их эксплуатацию либо при постоянной мощности, либо при постоянном токе. Наиболее часто применяется регулирование тока, что упрощает деятельность производителей. Для сокращения типов световых приборов нужны ЭПРА, управляющие комбинацией ламп с одной геометрией, но разной мощностью. Для их согласования спроектирован ЭПРА с микроконтроллерным управлением, блок-схема которого представлена на рисунке 1.21.

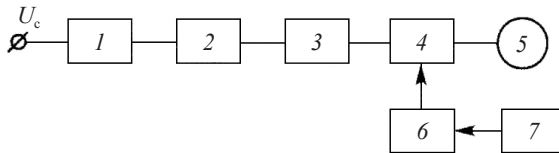


Рис. 1.21. Блок-схема ЭПРА с микроконтроллерным управлением:
 1 – фильтр; 2 – выпрямитель; 3 – корректор; 4 – инвертор;
 5 – источник света; 6 – микроконтроллер; 7 – датчик параметров

От стандартного (аналогового) ЭПРА интеллектуальный отличается тем, что сердечник заменен микроконтроллером.

Достоинством интеллектуального ЭПРА является способность хранить в памяти различные комбинации для световых приборов в цифровой форме и выбирать любой нужный набор по необходимости.

Применение микроконтроллерного управления освещением позволяет производителям сократить число типов ЭПРА, световых приборов, снизить их стоимость и затраты.

Возможно осуществление разных уровней освещенности при стандартном оборудовании.

ЭПРА с цифровым управлением обеспечивают дополнительное качество будущих конструкций ЭПРА.

Схемы зажигания (включения) ГЛ. Принципы построения схем зажигания светильников определяются способом зажигания их источника света и обеспечением нормальной работоспособности.

Главным элементом схем является ПРА.

Рассматриваемые схемы охватывают достаточно длительный период развития светотехники и приводятся в качестве примера.

При всем многообразии они реализуют общие цели: облегчить процесс зажигания, увеличить срок службы, улучшить условия эксплуатации лампы.

Применение современных конструкционных материалов и технологий позволяет вмонтировать схему зажигания в источник света и получить принципиально новое компактное устройство.

Схема включения газоразрядной лампы высокого давления предназначена для ламп высокого давления с исправленной цветностью типа ДРЛ (рис. 1.22).

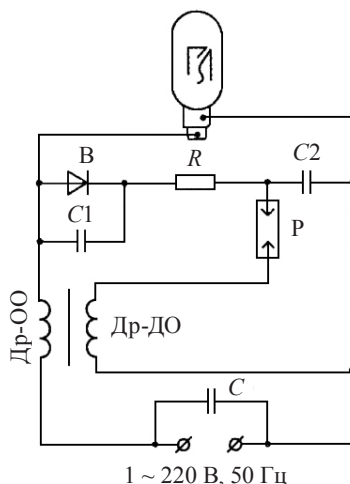


Рис. 1.22. Принципиальная электрическая схема зажигания ДРЛ (2-электродной): Др (Др-ОО, Др-ДО) – дроссель с двумя обмотками (основной, дополнительной); В – выпрямитель; R – ограничительный резистор; $C1$ – защитный конденсатор выпрямителя; $C2$ – накопительный конденсатор; P – разрядник; C – емкость подавления помех радиоприему

При подключении питания конденсатор $C2$ заряжается по цепи сеть – Др-ОО – В – R – $C2$ – сеть, которая обеспечивает его заряд до требуемого значения напряжения (200 В). Ограничительный резистор R предназначен для ограничения тока заряда конденсатора $C2$.

При полном заряде $C2$ пробивается воздушное пространство, а емкость разряжается через Др-ДО, создавая импульс высокого напряжения, который зажигает лампу.

При разряде возникающее ультрафиолетовое излучение преобразуется люминофором в свет.

Для исправления цветности в обычных лампах типа ДРЛ применяют специальный люминофор, который добавляет к ртутному разряду недостающее излучение в красной области спектра. В качестве основного люминофора применяют обычно фторогерманат магния, активированный марганцем.

Выпускают лампы типа ДРЛ 2- и 4-электродные. **Достоинством** 4-электродной лампы является более простая схема зажигания и отсутствие необходимости применения специального зажигающего устройства (см. рис. 1.22).

Лампы типа ДРЛ устойчивы к атмосферным воздействиям, их световой поток и процесс зажигания не зависят от температуры окружающей среды.

Номинальный поток устанавливается через 5–7 мин после включения, а повторно — через 10–15 мин, т. е. после полного охлаждения.

Схема включения ГЛ с устройством импульсным зажигающим универсальным (УИЗУ) предназначена для металлогалогенных (типа ДРИ) и натриевых (типа ДНаТ) ламп. УИЗУ представляет собой генератор с емкостным накопителем электроэнергии и полупроводниковым ключом параллельного поджига (рис. 1.23).

При подключении лампы к сети конденсатор $C1$ заряжается по цепи: сеть — $Dp1$ — R — $C2$ — $C1$ — P — $D2$ — сеть до величины напряжения стабилизации стабилитроном, что приводит к появлению сигнала на управляющем электроде тиристора.

Когда открывается тиристор T , конденсатор $C1$ разряжается по цепи: обмотка импульсного трансформатора 1 — тиристор T — диод D и формируется импульс повышенного напряжения на электродах лампы. Затем процесс повторяется.

При создании условий поступающие импульсы обеспечивают зажигание лампы и световое излучение.

Основной **недостаток** схем параллельного поджига — шунтирование цепи дроссель — сеть (при зажигании), что уменьшает амплитуду импульса (индуктивность дросселя).

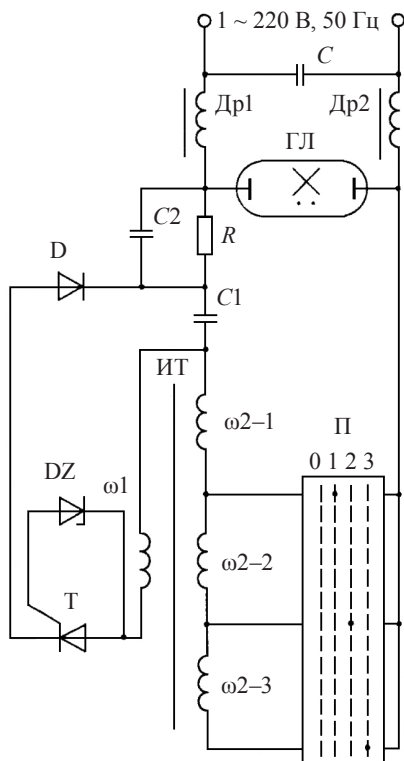


Рис. 1.23. Принципиальная электрическая схема включения ГЛ с ЭПРА: ИТ – импульсный трансформатор с обмотками; ω1 – первичная обмотка; ω2 – вторичные регулировочные обмотки (3 шт.); П – переключатель для выбора амплитуды импульса напряжения зажигания; R–C2 – формирователь импульсов; C1 – накопительный конденсатор; Т – тиристор; D – диод для защиты Т по обратному напряжению; DZ – стабилитрон

Схемы зажигания люминесцентных ламп с ЭПРА для ограничения тока также предусматривают использование дросселя, но в данном случае он монтируется с внутренним генератором высокой частоты – около 50 кГц.

Индуктивность дросселя уменьшается пропорционально увеличению частоты (10^3 раз), что эффективно снижает потери мощности.

Однако дроссель слишком мал, а накопленной в нем энергии недостаточно для зажигания лампы, поэтому в ЭПРА параллельно ЛЛ подключают конденсатор C , который вместе с дросселем образует последовательный резонансный контур (ПРК). Принципиальная электрическая схема включения светильников с ЭПРА приведена на рисунке 1.24.

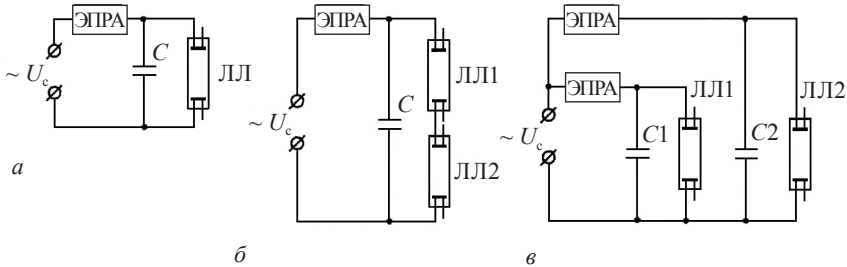


Рис. 1.24. Принципиальная электрическая схема включения светильников с ЭПРА: однолампового (*a*); 2-лампового последовательно (*б*) и параллельно (*в*); C – конденсатор последовательного резонансного контура

ЭПРА лишены недостатков ЭмПРА и обладают следующими **достоинствами**:

- световая отдача ЛЛ при работе на высоких частотах значительно выше;
- повышенная эффективность ЭПРА дает до 30 % экономии электроэнергии по сравнению со светильниками с ЭмПРА;
- допускается работа при входном напряжении постоянного тока, что важно для аварийного освещения;
- позволяют регулировать световой поток ЛЛ (дополнительные устройства);
- один ЭПРА может управлять несколькими ЛЛ в многоламповых светильниках с учетом выхода их из работы;
- есть возможность ввода запретов и ограничений (например, нагрев электродов и т. п.).

Контрольные вопросы и задания

1. Поясните, какое оптическое излучение называют тепловым.
2. Поясните, какое оптическое излучение называют люминесцентным.

3. Перечислите конструктивные элементы ламп накаливания.
4. Перечислите достоинства и недостатки галогенных ламп накаливания по сравнению с обычными.
5. Расскажите, как устроены люминесцентные лампы низкого давления.
6. Поясните принцип действия газоразрядных ламп.
7. Назовите характеристики люминесцентных ламп.
8. Перечислите основные преимущества люминесцентных ламп типа Т5.
9. Перечислите достоинства и недостатки разрядных ламп высокого давления.
10. Поясните конструкцию ламп типа ДНаТ.
11. Перечислите достоинства и недостатки разрядных светодиодных ламп.
12. Расскажите о пускорегулирующей аппаратуре.
13. Перечислите основные элементы ЭПРА.
14. Поясните, какими достоинствами обладают ЭПРА.
15. Какие ЭПРА называют интеллектуальными?
16. Поясните схему включения газоразрядной лампы высокого давления.
17. Объясните, для чего предназначено импульсное зажигающее устройство.

1.3. Световые приборы: классификация и характеристика

Классификация световых приборов.

Назначение и конструкция светильника.

Показатели, характеризующие светильник

Классификация световых приборов осуществляется по главным и дополнительным признакам. К главным признакам относятся основная светотехническая функция, характер светораспределения, условия эксплуатации и основное назначение.

По основной светотехнической функции световые приборы разделяют на приборы для освещения (осветительные приборы) и приборы для световой сигнализации — светосигнальные приборы (световые приборы могут совмещать обе эти функции); по характеру светораспределения — на светильники, прожекторы и проекторы; по условиям эксплуатации — на световые приборы для помещений, открытых пространств и экстремальных сред.

Под экстремальными понимают такие условия среды, когда одна или несколько ее характеристик имеют значения, резко пре-

вышающие значения для других условий (например, температура существенно выше $+40^{\circ}\text{C}$ или ниже -60°C , имеет место абсолютный вакуум или световой прибор погружен в воду).

Светильник — это световой прибор, перераспределяющий свет лампы (ламп) внутри больших телесных углов (до 4 ср) и обеспечивающий угловую концентрацию светового потока с коэффициентом усиления (величина, характеризующая усиление световым прибором силы света лампы в данном направлении) не более 30 для круглосимметричных и не более 15 для симметричных приборов. Светильники предназначены, как правило, для освещения относительно близко расположенных объектов (находящихся на расстояниях, обычно меньших, чем 20-кратные максимальные размеры светильников) или сигнализации на небольших расстояниях.

В светильниках могут устанавливаться две лампы или более (в больших люстрах, например, число ламп может исчисляться сотнями и даже тысячами). Светотехническая арматура для рядных ламп обычно включает аппаратуру для зажигания и стабилизации их работы.

В общую конструкцию любого светильника входят:

- 1) корпус;
- 2) ламподержатель (патрон);
- 3) оптическая система (отражатель);
- 4) ПРА (при необходимости);
- 5) источник света (лампа).

Светильниками общего освещения называют светильники, предназначенные для освещения помещений и открытых пространств; местного освещения — светильники, рассчитанные в основном на освещение рабочих поверхностей; комбинированного освещения — приборы, создающие (поочередно или одновременно) как общее, так и местное освещение.

Прожектор — световой прибор, перераспределяющий свет лампы внутри малых телесных углов и обеспечивающий угловую концентрацию светового потока с коэффициентом усиления более 30 для круглосимметричных и более 15 для симметричных приборов. Прожекторы служат для освещения удаленных объектов, находящихся на расстояниях, в десятки, сотни и даже тысячи раз превышающих размер прожектора, или для передачи световых сигналов на большие дистанции. В группе прожекторов выделяют прожекторы общего назначения и поисковые.

Проектор — световой прибор, перераспределяющий свет лампы с концентрацией светового потока на поверхности малого размера или в малом объеме. Проекторы в основном являются частью светопроекционных приборов, концентрирующей световой поток на кадровом окне, в котором расположен рисунок или диапозитив, отображаемый объективом на экране (экранные проекторы). В настоящее время все более широкое распространение получают технологические проекторы (концентраторы), предназначенные для лучистого нагрева объектов, например для испарения жидкостей, плавки металла, накачки лазеров. Экранные проекторы подразделяют на эпископы, диаскопы и эпидиаскопы. Эпископы предназначены для проецирования на экран поверхностей, посылающих в объектив отраженный световой поток (рисунков, чертежей и др.). В диаскопах проецируемая поверхность (диапозитив, кинокадр) посылает в объектив прошедший через нее световой поток. Эпидиаскопы могут работать и как эпископы, и как диаскопы.

Дополнительными признаками классификации световых приборов являются вид лампы, конкретная светотехническая функция, форма фотометрического тела, класс светораспределения, тип кривой силы света, возможность перемещения при эксплуатации, способ установки, класс защиты от поражения электрическим током, исполнение для работы в определенных условиях эксплуатации, степень защиты от пыли и воды, способ питания лампы, возможность изменения положения оптической системы и светотехнических характеристик, способ охлаждения.

По конкретной светотехнической функции светильники разделяют на светильники общего, местного, комбинированного, декоративного, экспозиционного освещения и освещения для ориентирования, а прожекторы — на прожекторы заливающего света, акцентирующего освещения, для поиска и обнаружения объектов, освещения направления движения транспортных средств.

По форме фотометрического тела световые приборы разделяют на симметричные, круглосимметричные и несимметричные.

Важнейшей светотехнической характеристикой светильника является светораспределение, т. е. распределение его светового потока в пространстве. В зависимости от отношения светового потока, направляемого в нижнюю полусферу, к полному светово-

му потоку светильники подразделяют на пять классов (табл. 1.1). Кроме того, светораспределение светильников характеризуется пространственной плотностью светового потока и описывается кривыми силы света (КСС).

Таблица 1.1

Классификация светильников по светораспределению

Класс светораспределения		Доля светового потока в нижнюю полусферу, %
Наименование	Обозначение	
Прямого света	П	Свыше 80
Преимущественно прямо-го света	Н	От 60 до 80
Рассеянного света	Р	От 40 до 60
Преимущественно отра-женного света	В	От 20 до 40
Отраженного света	О	До 20 включительно

Под КСС понимают график зависимости силы света светильника от меридиональных и экваториальных углов, получаемых сечением его фотометрического тела плоскостью или поверхностью. Симметричные светильники в зависимости от формы КСС подразделяют на семь типов (табл. 1.2). В основу классификации положены два независимых друг от друга параметра: зона направлений максимальной силы света и коэффициент формы КСС, под которым понимают отношение максимальной силы света в данной меридиональной плоскости к среднеарифметической силе света светильника для этой плоскости.

Таблица 1.2

Классификация светильников по типу кривой силы света

Тип кривой силы света		Зона направлений максимальной силы света	Коэффициент формы кривой силы света (K_{ϕ})
Наименование	Обозначение		
Концентрированная	К	0–15°	$K_{\phi} \geq 3$
Глубокая	Г	0–30°	$2 \leq K_{\phi} \leq 3$
Косинусная	Д	0–35°	$1,3 \leq K_{\phi} \leq 2$
Полуширокая	Л	35–55°	$1,3 \leq K_{\phi} \leq 2$

Окончание табл. 1.2

Тип кривой силы света		Зона направлений максимальной силы света	Коэффициент формы кривой силы света (K_{ϕ})
Наименование	Обозначение		
Широкая	Ш	55–85°	$1,5 \leq K_{\phi} \leq 3,5$
Равномерная	М	0–90°	$K_{\phi} \leq 1,3$ при $I_{\min} > 0,7I_{\max}$
Синусная	С	70–90°	$K_{\phi} \geq 1,3$ при $I_0 < 0,7I_{\max}$

Примечание. I_0 — значение силы света в направлении оптической оси светильника (0°); $I_{\min}$, $I_{\max}$ — минимальное и максимальные значения силы света соответственно.

На рисунке 1.25 приведены типы КСС, построенные для условной лампы со световым потоком в 1000 лм. Это позволяет определить силу света данного светильника при оснащении его лампами различной мощности путем умножения значения силы света, найденного из КСС, на фактический световой поток лампы, которая установлена в светильнике.

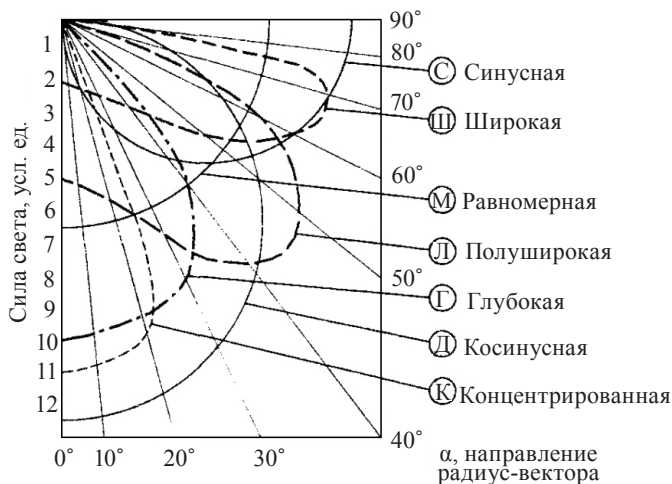


Рис. 1.25. Типовые кривые силы света

По способу установки световые приборы разделяют на две большие группы: стационарные и переносные. Переносные све-

товые приборы разделяют на ручные, головные, на крепящем основании; стационарные — на подвесные, потолочные, настенные, встраиваемые, пристраиваемые и опорные. Среди опорных световых приборов выделяют настольные, напольные, венчающие и консольные. Высота подвеса подвесных и потолочных световых приборов составляет соответственно более и менее 0,1 м.

Выделяют следующие классы электробезопасности световых приборов (защищенность от поражения электрически током):

0 — светильник с рабочей изоляцией, не имеющий зажима для присоединения заземляющего провода (допускается только для светильников нормального исполнения);

01 — светильник с рабочей изоляцией и зажимом для присоединения заземляющего провода; вилка с заземляющим контактом (для производственных помещений в порядке исключения);

I — светильник с рабочей изоляцией и зажимом для присоединения заземляющего провода; вилка с заземляющим контактом;

II — светильник с двойной или усиленной изоляцией, не имеющий зажима для присоединения заземляющего провода (ручные светильники и светильники подвижной конструкции, имеющие защиту от воды, начиная с IPX3);

III — светильник низкого напряжения, не имеющий цепей другого напряжения (ручные светильники и светильники подвижной конструкции, имеющие защиту от воды, начиная с IPX3).

Конструктивно в световых приборах в рабочем положении должно быть исключено прикосновение к частям, находящимся под напряжением.

При наличии в световых приборах с газоразрядными лампами конденсаторов емкостью более 0,5 мкФ необходимо предусмотреть устройство для их разряда.

У световых приборов классов 01 и I для заземления должен быть предусмотрен контактный винт диаметром не менее 4 мм с пружиной и шайбой. У световых приборов классов 0, II и III заземление не предусмотрено.

Заземление ручных светильников выполняют с помощью защитной жилы гибкого кабеля, которая присоединяется к самостоятельному контакту розетки.

Степень защиты светильников от воздействий внешней среды (пыли и влаги) обозначают двумя латинскими буквами IP (между-

народная защита) и двумя цифрами, первая из которых обозначает степень защиты от пыли, вторая — от воды) (рис. 1.26).

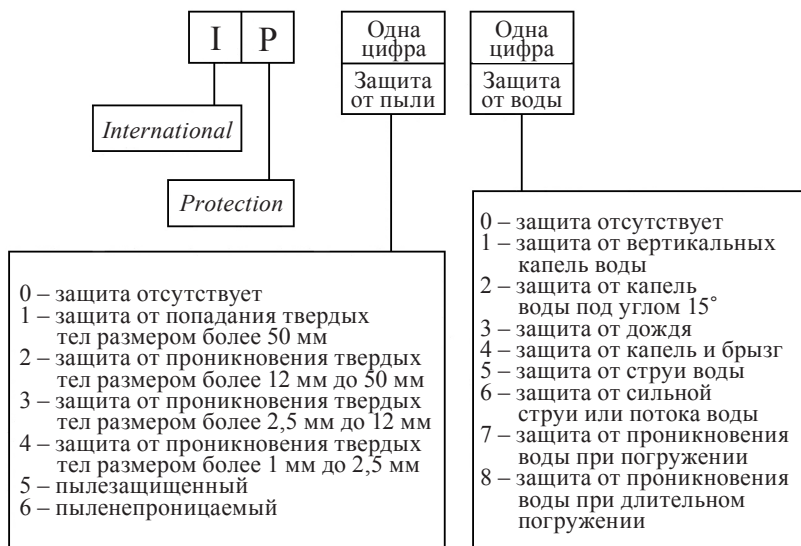


Рис. 1.26. Степень защиты светильников от внешней среды

Светильники также различаются способом крепления. При этом выделяют следующие виды крепления: к скобе для подвески на потолочный крюк; стержню для подвески на потолочный крюк; резьбовой муфте; гладкой муфте со стопором для осевого или торцевого крепления; монтажному профилю; к несущему тросу; горизонтальной или вертикальной поверхности при помощи монтажных отверстий. Кроме того, на практике широко используют крепление к коробам, шинпроводам, а также установку на трубах и индивидуально на штангах.

Важными светотехническими характеристиками светильников являются КПД и защитный угол светильника.

КПД светильника — отношение светового потока светильника, работающего в данных условиях, к световому потоку установленной в нем лампы.

Защитный угол светильника — это угол между горизонталью и линией, касательной к светящемуся телу лампы и к краю отражателя или непрозрачного экрана, характеризующий зону, в пределах которой глаз наблюдателя защищен от прямого действия

лампы. Для светильников с рассеивателями или светопропускающими экранами введено понятие условного защитного угла (γ_y и γ_{ly} , рис. 1.27, в, г), под которым понимают угол, в пределах которого яркость светящегося тела лампы уменьшена с помощью рассеивателя или экрана, выполненных из светопропускающих материалов. Он определяется углом, заключенным между горизонталью и линией, касательной к светящемуся телу лампы и к краю рассеивателя или его светопропускающего экрана.

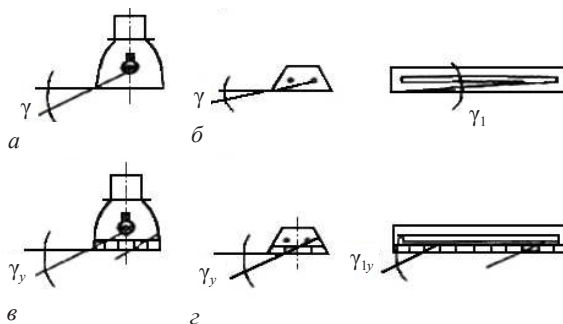


Рис. 1.27. Защитный угол светильников

Конструкция светильника должна соответствовать условиям среды. Степень защиты оболочек светильников должна быть не ниже IP20 для внутреннего и IP53 — для наружного освещения.

Электрооборудование, в том числе и световые приборы, предназначенное для внутренней и наружной установки в местах, где могут возникать смеси горючих газов, паров или пыли с воздухом, способные взрываться при наличии источника зажигания (в качестве которого выступает световой прибор), а также предназначенное для подземных выработок шахт, в том числе опасных по газу или пыли, должно изготавливаться взрывозащищенным.

По взрывозащищенности электрооборудование для внутренней и наружной установки группы II в зависимости от уровня взрывозащиты подразделяют на электрооборудование повышенной надежности против взрыва (знак уровня защиты 2); взрывобезопасное (знак уровня защиты 1); особо взрывобезопасное электрооборудование (знак уровня защиты 0). При этом электрооборудование может иметь следующие виды взрывозащиты:

- взрывонепроницаемую оболочку, т. е. оболочку, выдерживающую давление продуктов взрыва внутри нее и предотвраща-

щающую распространение их из оболочки в окружающую среду (обозначается буквой *d*);

- искробезопасную электрическую цепь, т. е. электрическую цепь, выполненную таким образом, что электрический разряд или нагрев не может воспламенить взрывоопасную среду при предписанных условиях испытания (обозначается буквой *i*);

- защиту, заключающуюся в том, что в электрооборудовании или его части отсутствуют нормально искрящие контакты и дополнительно принят ряд мер, затрудняющих опасные нагревы, электрические искры и дуги (обозначается буквой *e*);

- масляное заполнение оболочки, т. е. электрооборудование имеет оболочку, которая заполнена маслом или жидким негорючим диэлектриком (обозначается буквой *o*);

- заполнение или продувку оболочки под избыточным давлением, т. е. электрооборудование имеет оболочку, которую продувают чистым воздухом или инертным газом (обозначается буквой *p*);

- кварцевое заполнение оболочки, т. е. электрооборудование имеет оболочку, которая заполнена кварцевым песком (обозначается буквой *q*);

- специальный вид взрывозащиты, который основан на принципах, отличных от приведенных выше, но признанных достаточными для взрывозащиты (обозначается буквой *s*).

Электрооборудование группы II, имеющее взрывонепроницаемую оболочку и (или) искробезопасную электрическую цепь, подразделяют на подгруппы IIА, IIВ, IIС. Дополнительно в зависимости от предельной температуры установлены следующие температурные классы:

Температурный класс	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Предельная температура, °С	450	300	200	135	100	80

Маркировка взрывозащиты электрооборудования группы II содержит пять элементов в такой последовательности: 1 — уровень взрывозащиты (2, 1, 0); 2 — символ Ex, указывающий, что электрооборудование соответствует стандарту по взрывозащищенности; 3 — вид взрывозащиты; 4 — цифра II для электрооборудования, которое не подразделяется на подгруппы; символы IIА, IIВ, IIС — для электрооборудования, которое подразделяется на подгруппы; 5 — температурный класс (T1–T6).

Вместо температурного класса допускается указывать предельную температуру для конкретной смеси, например 600 °С. Если предельная температура конкретной смеси менее 450 °С, то дополнительно в скобках допускается указывать и температурный класс электрооборудования, например 400 °С (T1).

Для каждого типа производства предлагается несколько светильников, которые могут применяться для освещения помещений, исходя из необходимого светораспределения и защиты от вредного воздействия окружающей среды.

В соответствии с условиями окружающей среды помещения разделяют на следующие группы:

- *пыльные*: помещения, в которых по условиям производства выделяется технологическая пыль (проводящая или непроводящая) в таком количестве, что она может оседать на проводах, проникать внутрь машин, аппаратов и т. п.;

- *сухие*: помещения, в которых относительная влажность не превышает 60 % при 20 °С. Нормальные сухие помещения, в которых отсутствуют условия, характерные для помещений жарких, пыльных и с химически активной средой;

- *влажные*: помещения, в которых пары или конденсирующаяся влага выделяется лишь временно и в небольших количествах и относительная влажность которых более 60 %, но не выше 75 % при 20 °С;

- *сырые*: в которых относительная влажность длительно превышает 75 % при 20 °С;

- *особо сырые*: помещения, в которых относительная влажность воздуха близка к 100 % при 20 °С (потолок, стены, пол и предметы, находящиеся в помещении, покрыты влагой);

- *жаркие*: помещения, в которых температура длительно превышает 30 °С;

- *химически активные*: помещения, в которых по условиям производства постоянно или длительно содержатся пары или образуются отложения, разрушающе действующие на изоляцию и токоведущие части электрооборудования;

- *с повышенной опасностью*: помещения, характеризующиеся наличием в них одного из следующих условий, создающих повышенную опасность:

- 1) сырости или проводящей пыли;
- 2) токопроводящих полов;

3) высокой температуры;

4) возможности одновременного прикосновения человека к заземленным конструкциям зданий и корпусам технологических механизмов, с одной стороны, и корпусам электрооборудования – с другой;

• *особо опасные*: помещения, характеризующиеся наличием одного из следующих условий, создающих особую опасность:

1) особой сырости;

2) химически агрессивной среды;

3) одновременного наличия двух или более условий повышенной опасности.

Пожароопасные помещения и зоны разделяют на следующие классы:

• П-I – помещения, в которых обращаются горючие жидкости с температурой вспышки паров свыше 61 °С (например, склады минеральных масел и т. д.);

• П-II – помещения, в которых выделяются горючие пыли или волокна с нижним концентрационным пределом воспламенения более 65 г/м³;

• П-IIа – помещения, в которых обращаются твердые или волокнистые горючие вещества;

• П-III – зоны, расположенные вне помещения, в которых обращаются горючие жидкости с температурой вспышки свыше 61 °С (например, открытые склады минеральных масел) или твердые горючие вещества (например, открытые склады угля, торфа, дерева и т. д.).

В соответствии с СТБ 1944-2009 светильникам присваивают условное обозначение следующей структуры ([1] [2] [3] [4]-[5]×[6]-[7]-[8]):

• [1] – буква, обозначающая источники света: Н – лампы накаливания общего назначения; С – лампы-светильники (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;

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

- [4] – цифры, обозначающие номер серии (от 01 до 99);

- [5] – обозначение числа ламп в светильнике; при этом для одноламповых светильников это число не указывается и знак «х» не ставится, а мощность лампы указывается непосредственно после черточки;

- [6] – число, обозначающее мощность ламп, Вт;

- [7] – цифры, обозначающие номер модификации светильника (от 001 до 999);

- [8] – буквы и цифры, 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).

Примеры обозначений светильников:

1) светильник с лампой накаливания мощностью 500 Вт, общего назначения, подвесной, для промышленных предприятий, серии 05, модификации 016, климатического исполнения УЗ: НСП05-500-016 УЗ;

2) светильник с газоразрядными лампами типа ДРЛ мощностью 400 Вт, консольный, уличный, серии 08, модификации 014, климатического исполнения ХЛ, категории размещения 1: РКУ08-4×400-014 ХЛ1;

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

4) светильник с двумя люминесцентными лампами мощностью по 40 Вт и одной эритемной люминесцентной лампой мощностью 30 Вт, подвесной, для общественных зданий, серии 02, модификации 005, климатического исполнения У, категории размещения 4: ЛС02-2×40(1×30)-005 У4.

Для ряда светильников используется специальная маркировка (например, ПВЛМ-Х-2×40 Х: ПВ – пылевлагозащищенный;

Л — с прямыми трубчатыми люминесцентными лампами; М — модернизированный; Х — способ исполнения (Д — с диффузным отражателем; Р — с экранирующей решеткой; ДО — с отражателем с отверстиями); 2 — количество ламп; 40 — мощность ламп, Вт; Х — номер модификации по способу установки (01 — на подвесе; 02 — на горизонтальной поверхности)). Светильники НБП60 и НБО60 «Евро» имеют в пылевлагозащищенном исполнении маркировку соответственно ПСХ60 и ПСХ60 «Евро».

Для взрывозащищенных световых приборов в маркировке дополнительно указывают уровень и вид взрывозащиты. В зависимости от уровня и вида последней световые приборы имеют специальную маркировку (например, Н4Т4Л: Н — повышенная надежность от взрыва; 4 — категория взрывоопасной смеси; Т4 (Т5) — температурный класс; Л — люминесцентный).

Основные типы светильников для наружного и внутреннего освещения

Световые приборы с лампами накаливания рассчитаны на работу в сети переменного тока с номинальным напряжением 220–230 В и промышленной частотой сети 50 Гц.

Светильники типа НПП03 предназначены для общего освещения низких сырых производственных помещений, а светильники типа НПП05 — для общего освещения низких вспомогательных производственных помещений с тяжелыми условиями среды, для эксплуатации под навесом, а также для освещения сельскохозяйственных помещений без химически активной среды.

Световые приборы типа НСП02 предназначены для общего освещения производственных помещений с повышенным содержанием пыли.

Светильники типа НСП03 с групповой компенсацией реактивной мощности предназначены для общего освещения производственных помещений с повышенным содержанием пыли и повышенной относительной влажностью.

Светильники типа НСП11 предназначены для общего освещения пыльных и влажных производственных помещений (запыленность до 10 мг/м³), а также взрывоопасных помещений классов В-1б и В-IIа и пожароопасных помещений классов П-I и П-II.

Светильники типа НСП17 и НСП21 предназначены для общего освещения различных по высоте производственных помещений с нормальными и тяжелыми условиями среды. Световые приборы типа НСП22 предназначены для общего освещения производственных помещений, запыленность в которых достигает 10 мг/м^3 .

Световые приборы с люминесцентными лампами рассчитаны на работу в сети переменного тока с номинальным напряжением 230 В, частотой сети 50 Гц с применением соответствующей ПРА.

Светильники типа ЛВП04 предназначены для общего освещения производственных помещений, имеющих технический этаж, как с нормальной, так и с повышенной пыльностью и влажностью. Светильники устанавливают в проемы подвесных потолков различной конструкции на специальные обрамления, ширина полок которых не менее 30 мм. Пространство между осветительным прибором и проемом заливают строительной мастикой или другим аналогичным составом. Обслуживают осветительные приборы с технического этажа.

Светильники типа ЛВП05 и ЛВП06 предназначены для общего освещения производственных помещений с нормальными условиями среды, а также помещений с технологическим микроклиматом. Светильники выпускают трех модификаций: 001 — с рассеивателем из оргстекла, 002 — с экранирующей решеткой из полистирола и 003 — с рассеивателем из оргстекла, в осветительных приборах, предназначенных для работы в системах, в которых вентиляция (кондиционирование) и освещение совмещены. Светильники модификаций 001 и 003 крепят непосредственно к полкам обрамления проема панели с помощью восьми винтов М6, а модификации 002 — с помощью восьми поворотных скоб. Конструкция светильника предусматривает использование энергоэкономичных ЛЛ мощностью 58 Вт.

Светильники типа ЛСП02 предназначены для общего освещения производственных помещений с нормальными условиями среды, при этом модификации 01–03 выполняют с отверстиями в отражателе и без экранирующей решетки, 07–09 — с отверстиями в отражателе и с экранирующей (пластмассовой или металлической) решеткой, 10–12 — без отверстий в отражателе и с экранирующей металлической решеткой, 13–15 — с отверстиями в отра-

жателя и с экранирующей пластмассовой решеткой, 16–18 – без отверстий в отражателе и с экранирующей пластмассовой решеткой, 19–21 – с КСС типа «кососвет». Светильники устанавливают либо по отдельности, либо в непрерывную линию.

Светильники типа ЛСП13 унифицированы и предназначены для общего равномерного или локализованного освещения производственных помещений с нормальными условиями среды. Светильники с КСС типа Л применяют для освещения относительно низких помещений (высотой до 4–5 м), в которых требуется создать высокое отношение вертикальной освещенности к горизонтальной, а также для локализованного освещения конвейеров с двусторонним расположением рабочих мест. Светильники с КСС типа Г служат для освещения помещений высотой до 12 м и создания высоких уровней освещенности при хорошем качестве освещения (механообработка, сборка и т. п.). Светильники с КСС типа «кососвет» предназначены для освещения вертикальных поверхностей, например изделий на сборочных конвейерах в машиностроении. При этом светильники располагают непосредственно над рабочими местами.

Светильники типа ЛСП22 предназначены для общего освещения сырых и пыльных, в том числе пожароопасных (всех категорий), производственных помещений.

Светильники с газоразрядными лампами высокого давления для производственных помещений разрабатывают унифицированными сериями на основе единого корпуса и отражателей различного профиля, как правило, их выполняют подвесными. Во всех светильниках используются керамические патроны с резьбовой гильзой Е40 или Е27 и нагревостойкие провода марки ПРКА, имеющие предельную температуру нагрева изоляции до 180–200 °С. Светильники с газоразрядными лампами высокого давления рассчитаны на работу в сети переменного тока с номинальным напряжением 380/220 В и частотой 50 Гц.

Светильники типа РПП01 предназначены для освещения низких производственных помещений с тяжелыми условиями среды: пыльных, влажных, сырых, с химически агрессивными парами, а также для взрывоопасных помещений классов В-Іб и В-Іа.

Для общего освещения производственных помещений с нормальными условиями среды используют светильники РСП05, РСП13 и РСП08.

Светильники типа РСР12 и РСР14 предназначены для освещения пыльных и влажных производственных помещений, а также помещений взрывоопасных классов В-Іб и В-Іа и пожароопасных классов П-І и П-ІІ.

Светильники типа РСР21 могут применяться в помещениях с нормальными и тяжелыми условиями среды, в пожароопасных помещениях класса П-Іа, а в случае исполнения светильников со степенью защиты IP53 — в помещениях всех классов пожароопасности.

Светильники типа ГПП01 предназначены для освещения низких производственных помещений с тяжелыми условиями среды: пыльных, влажных, сырых, с химически агрессивными парами, а также взрывоопасных помещений классов В-Іб и В-Іа.

Светильники типа ГСП 15-400 предназначены в исполнении 5'0 для освещения пыльных и влажных помещений, в исполнении IP60 — помещений с тяжелыми условиями, а также взрывоопасных (классов В-Іб и В-Іа) и пожароопасных (классов П-І и П-Іа). Светильники типа ГСП17 с лампами типа ДРИ700-5 и степенью защиты IP20 предназначены для общего освещения высоких производственных помещений (выше 12 м) с нормальными условиями среды, а в исполнении 5'0 — для освещения пыльных, влажных и пожароопасных помещений класса П-Іа. Светильники с лампами типа ДРИ2000-6 предназначены для общего освещения высоких помещений (выше 20 м) с нормальными условиями среды, т. е. механических, механосборочных и сборочных цехов.

В производственных помещениях с высокими потолками и нормальными условиями окружающей среды могут использоваться светильники типа ГСП18.

Для освещения невысоких и средней высоты помещений с тяжелыми условиями среды: пыльных, влажных, сырых, с парами агрессивных химических веществ, а также взрывоопасных помещений классов В-Іб и В-Іа предназначены светильники типа ЖПП01, а пожароопасных помещений классов П-ІІ и П-Іа — светильники типа ЖСП20-250. Конструкция светильников предусматривает доступ в оболочку только с помощью специального инструмента.

Светильники типа ЖСП01 используют для общего освещения производственных помещений. При этом светильники со

степенью защиты IP23 следует применять для освещения складов с нормальными условиями среды, шихтовых дворов, плавильно-заготовительных отделений литейного производства и подобных объектов. Светильники со степенью защиты IP53 используют для смесеприготовительных цехов абразивных заводов, а также кузнечно-прессовых, штамповочных и сварочных цехов машиностроительных заводов. Рекомендуемая высота установки светильников 10 м и более.

В помещениях сырых, особо сырых, с химически активной средой, а также при установке вне зданий степень защиты светильников должна быть, как правило, не ниже IP53 или 5'3 (причем предпочтительны степени защиты IP54 или 5'4). Из числа конструкционных и светотехнических материалов наиболее устойчивы к воздействиям среды фарфор, силикатное стекло и пластические массы; далее следуют поверхности, покрытые силикатной эмалью, и органическое стекло, затем — алюминий, который малоустойчив к воздействию щелочей, и, наконец, черные металлы. Особенно уязвимым у светильников в тяжелых условиях среды является место ввода сетевых проводников. Чаще всего в этих условиях ввод производится через уплотняющий сальник, но более надежным является отдельный ввод проводников через изолирующие полости, трубки или втулки.

В помещениях, где осуществляется гидроудаление пыли, степень защиты должна быть не ниже IP55 или 5'5, при отсутствии же таких светильников могут применяться светильники с люминесцентными лампами со степенью защиты 5'X или 6'X. В жарких помещениях могут применяться любые светильники, но, по возможности, следует избегать применения светильников с закрытыми стеклянными колпаками, а из люминесцентных ламп использовать амальгамные.

В пыльных помещениях вопрос выбора светильников решается индивидуально, лучше всего на основе опыта эксплуатации того или иного светильника в аналогичных условиях. Предпочтительны степени защиты IP5X и IP6X, но, поскольку обслуживание светильников без стеклянного колпака проще, могут быть допущены также степени защиты 5'X и 6'X, а при наличии пыли, не проводящей электрический ток, — IP2X. Не рекомендуется применение светильников с неуплотненными стеклянными колпаками (2'X) или экранирующими решетками.

 Контрольные вопросы и задания

1. Расскажите, что представляет собой светильник и какова его общая конструкция.
2. Какова область применения светильников?
3. Расскажите, какие классы светораспределения вы знаете.
4. Расскажите, какие типовые кривые силы света вы знаете.
5. Как классифицируют световые приборы?
6. Поясните показатели, характеризующие светильники.
7. Расшифруйте аббревиатуру светильника РСП05-4×400-014 ХЛ1.

ГЛАВА 2. СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОСВЕЩЕНИЯ

2.1. Виды освещения. Выбор системы освещения и нормированной освещенности

По способам размещения светильников в производственных помещениях различают системы общего, местного и комбинированного освещения.

Система **общего освещения** применяется для освещения всего помещения, в том числе и рабочих поверхностей. Общее освещение может быть равномерным и локализованным. Светильники общего освещения располагают только в верхней зоне помещения и крепят их на строительных основаниях здания непосредственно к потолку, на фермах, стенах, колоннах или на технологическом производственном оборудовании.

При равномерном освещении создается более или менее равномерная освещенность по всей площади помещения. Освещение с равномерным размещением светильников применяют, когда в производственных помещениях технологическое оборудование расположено равномерно по всей площади с одинаковыми условиями зрительной работы или когда в помещениях общественного или административного назначения необходимо обеспечить равномерное освещение.

Общее локализованное освещение предусматривается в помещениях, в которых на различных участках производят работы, требующие различной освещенности, когда рабочие места в помещении сосредоточены группами, а также при необходимости создания определенного направления света для групп рабочих мест.

Преимущества локализованного освещения перед общим равномерным заключается в сокращении мощности осветительных установок, возможности создать требуемое направление светового потока и избежать на рабочих местах теней от производственного оборудования и самих работающих.

Местное освещение предусматривается на отдельных рабочих местах (станках, верстаках, столах, разметочных плитах и т. д.) и обеспечивается светильниками, установленными непосредственно у рабочих мест.

Устройство в помещениях только местного освещения запрещено. Местное ремонтное освещение обеспечивается ручными светильниками, которые подключают через понижающий трансформатор на безопасном напряжении 12, 36, 48 В в зависимости от категории помещения в отношении безопасности обслуживающего персонала.

Системы местного и общего освещения, применяемые совместно, образуют систему **комбинированного освещения**. Ее применяют в помещениях с точными зрительными работами, требующими высокой освещенности. При такой системе светильники местного освещения создают освещенность только рабочих мест, а светильники общего освещения — всего помещения, главным образом проходов и коридоров.

Система комбинированного освещения уменьшает установленную мощность и расход электроэнергии, так как лампы местного освещения включают только на время выполнения работ непосредственно на рабочем месте.

Для освещения помещений предусмотрены следующие виды применяемого электрического освещения: рабочее, аварийное, охранное и дежурное.

Рабочее освещение следует предусматривать для всех помещений зданий, а также участков открытых пространств, предназначенных для работы, прохода людей и движения транспорта.

Аварийное освещение разделяют на освещение безопасности и эвакуационное. *Аварийное освещение безопасности* устраивают там, где при внезапном отключении рабочего освещения возможны взрыв и возникновение пожара, массового травматизма, длительного нарушения технологического процесса и т. д., а также нарушение работы ответственных объектов (электростанции, узлы радиопередачи, водоснабжения, теплоснабжения и т. д.).

В общественных зданиях освещение безопасности должно устраиваться в помещениях диспетчерских, операторских, пожарных постах, на постах пожарной охраны; узлах связи, электрощитовых; гардеробах с числом мест хранения 300 и более; детских комнатах; торговых залах магазинов самообслуживания; групповых и игрово-столовых помещениях дошкольных учреждений; вестибюлях гостиниц, залах ресторанов; операционных блоках, реанимационных, родовых, перевязочных, процедурных, приемных отделениях, лабораториях срочного анализа, на постах дежурных медицинских сестер учреждений здравоохранения, в здравпунктах; помещениях оперативной части, аптечных комнатах станций скорой медицинской помощи; ассистентских аптеках; машинных отделениях лифтов; тепловых пунктах и насосных станциях жилых зданий.

В общественных зданиях аварийное освещение должно устраиваться в помещениях диспетчерских, операторских, электрощитовых, насосных, здравпунктов, аккумуляторных, бойлерных; в дежурных помещениях узлов связи, постоянных постов охраны, пожарных постов и т. д.

Аварийное освещение должно создавать на поверхностях, требующих обслуживания, освещенность 5 % от нормированной для рабочего освещения при системе общего освещения, но не менее 2 лк.

Эвакуационное освещение служит для безопасной эвакуации людей из помещений при аварийном погасании рабочего освещения. Эвакуационное освещение должно обеспечивать освещенность основных проходов и ступеней лестниц не менее 0,5 лк.

Эвакуационное освещение в общественных зданиях должно устраиваться:

- в проходных помещениях, коридорах, холлах, фойе и вестибюлях, на лестницах, служащих для эвакуации людей из зданий, где работает или постоянно пребывает одновременно более 50 человек, а также из здравпунктов, лечебно-профилактических учреждений, книго- и архивохранилищ, дошкольных учреждений, независимо от числа лиц, пребывающих там;

- помещениях, где одновременно могут находиться более 100 человек (аудитории, обеденные залы, актовые залы, конференц-залы);

- помещениях с постоянно работающими в них людьми, если вследствие отключения рабочего освещения и продолжения при этом работы производственного оборудования может возникнуть опасность травматизма.

Эвакуационное освещение в жилых зданиях должно предусматриваться при высоте здания 6 этажей и более, а также в общежитиях при числе проживающих 50 человек и более. Светильники эвакуационного освещения должны устанавливаться на путях эвакуации: в вестибюлях, лифтовых холлах и на площадках перед лифтами, в коридорах и на лестницах.

Световые указатели «ВЫХОД» следует устанавливать:

- у выходов из помещений обеденных и актовых залов, аудиторий, конференц-залов и других помещений, в которых могут одновременно находиться более 100 человек;

- выходов из коридоров, к которым примыкают помещения с общей численностью постоянно пребывающих в них более 50 человек;

- вдоль коридоров длиной более 25 м и в общежитиях коридорного типа вместимостью более 50 человек на этаже. При этом световые указатели должны устанавливаться на расстоянии не более 25 м друг от друга, а также в местах поворотов коридоров.

Световые указатели «ВЫХОД» должны быть присоединены к сети аварийного освещения и устанавливаться на высоте не менее 2 м.

Для аварийного освещения (освещения безопасности и эвакуационного) следует применять: а) лампы накаливания; б) люминесцентные лампы — в помещениях с минимальной температурой воздуха не менее 10 °С и при условии питания ламп во всех режимах напряжением не ниже 90 % от номинального; в) разрядные лампы высокого давления при условии их мгновенного или быстрого повторного зажигания как в горячем состоянии после кратковременного отключения питающего напряжения, так и в холодном состоянии.

Светильники аварийного и эвакуационного освещения присоединяют отдельными линиями к независимому источнику питания или переключают на него автоматически при внезапном отключении рабочего освещения. Кроме того, эти светильники должны отличаться от светильников рабочего освещения специально нанесенными знаками. Время автономной работы аварийного светильника на базе светодиодов, в зависимости от емкости

аккумулятора, — 5–12 ч. Фонари и прожекторы, обладающие более мощными диодами, могут работать без подзарядки 3–5 ч.

Охранное освещение предназначено для освещения периметра производственного объекта в темное время суток.

Под **дежурным** понимается освещение в нерабочее время. Область применения, величина освещенности, требования к качеству для дежурного освещения не нормируются.

В общем случае при выборе системы освещения нужно исходить из характера зрительной работы, выполняемой в помещении, учитывая вероятность отраженной блескости и затенения рабочих поверхностей технологическим оборудованием и самим работающим.

В большинстве случаев блескость снижает остроту восприятия из-за усталости, следствием чего являются плохая концентрация и дефекты зрения.

Принято различать прямую и отраженную блескость. *Прямая блескость* связана с источником света, а *отраженная* — с отражением светового потока от рабочей поверхности в направлении глаз работающего. При этом прямую блескость ограничивают уменьшением яркости источника света, правильным выбором защитного угла светильника, увеличением высоты его подвеса. Отраженную блескость ослабляют соответствующим выбором направления светового потока на рабочую поверхность, а также изменением угла наклона рабочей поверхности. Там, где это возможно, следует заменять блестящие поверхности матовыми.

При использовании естественного и искусственного освещения нормы освещенности промышленных помещений, работ на открытом воздухе, общественных и жилых зданий, улиц, дворов и площадей населенных пунктов регламентированы (см.: ТКП 45-2.04-153-2009, ТКП 45-4.04-149-2009). Нормы промышленного освещения рассчитывают на основе классификации работ по определенным количественным признакам. Ведущим признаком, определяющим разряд работ, является наименьший размер различаемых деталей, что при расчетном расстоянии до глаз 0,5 м определяет их угловой размер. При размере деталей менее 0,15 мм работы относят к разряду I, при больших размерах — соответственно к разрядам II–VI, причем последний разряд относится к работам, при которых различаются детали более 5 мм. Разряды зрительной работы приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1

Разряды зрительной работы

Разряд зрительной работы	Характеристика зрительной работы	Наименьший размер объекта различения, мм
I	Наивысшей точности	$< 0,15$
II	Очень высокой точности	От 0,15 до 0,30
III	Высокой точности	— 0,3 — 0,5
IV	Средней точности	— 0,5 — 1,0
V	Малой точности	> 1 до 5
VI	Очень малой точности	> 5
VII	Работа со светящимися материалами и изделиями в «горячих» цехах	$> 0,5$
VIII	Общее наблюдение за ходом производственного процесса	—

Основные нормы относятся к установкам с газоразрядными источниками света, для варианта применения ламп накаливания устанавливаются пониженные значения освещенности. Это объясняется тем, что при малоэкономичных лампах накаливания компромисс между желаемым и возможным достигается при наименьших освещенностях. Кроме того, для работ низших разрядов наблюдается неверное сумеречное ощущение, которое производит люминесцентное освещение при невысоких освещенностях.

Установленные нормированные значения освещенности должны быть обеспечены в течение всего периода нормальной эксплуатации осветительной установки. Однако ряд причин вызывает постепенное уменьшение освещенности. Это необходимо учитывать при проектировании осветительной установки. Поэтому начальная освещенность должна быть несколько больше нормированной, что достигается введением коэффициента запаса K_z , учитывающего снижение освещенности в процессе эксплуатации осветительного прибора, значения которого также регламентированы (ТКП 45-2.04-153-2009).

Коэффициент запаса зависит от количества и характера пыли в воздухе, степени старения данного типа источников света (в связи с чем для газоразрядных ламп коэффициент запаса повы-

шается), типа светильников и периодичности очистки последних. Значение коэффициента обычно принимается в пределах 1,3–1,7 (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Значение коэффициента запаса K_z

Тип помещения	K_z
Цементные заводы, обрубные отделения литейных цехов, агломерационные фабрики	1,7 (2,0)
Цехи кузнечные, литейные, мартеновские, сборного железобетона, химических заводов по выработке кислот, щелочей, удобрений, гальванических покрытий и электролита	1,5 (1,8)
Цехи инструментальные, сборочные, механические, механосборочные, пошивочные	1,3 (1,5)
Территории металлургических, химических, горнодобывающих и других промышленных предприятий, шахт, рудников, железобетонных станций, общественных зданий	1,4 (1,5)
«Горячие» цехи предприятий общественного питания, помещения прачечных, душевые	1,3 (1,4)
Кабинеты и рабочие помещения, жилые комнаты, учебные классы, читальные и торговые залы	1,3 (1,5)
Улицы, площади, парки, пешеходные и транспортные тоннели	1,3 (1,5)

Примечание. Значения коэффициентов запаса приведены для ламп накаливания, в скобках — для газоразрядных ламп.

Нормы освещенности для различных помещений и производственных участков приведены в ТКП 45-2.04-153-2009. Значения освещенности для большинства помещений даны для осветительных установок с газоразрядными лампами как наиболее экономичными источниками света, широко применяемыми в производственных зданиях. Только для некоторых помещений, где могут применяться и осветительные установки с лампами накаливания, в скобках указаны освещенность и типы осветительных приборов при использовании этих ламп.

Для общего освещения помещений производственных и складских зданий, а также помещений общественных, жилых, административных и бытовых зданий предприятий следует ис-

пользовать, как правило, более экономичные разрядные лампы. Лампы накаливания (в том числе галогенные) применяют для местного освещения, а также в случае невозможности или технико-экономической нецелесообразности использования разрядных ламп.

Контрольные вопросы и задания

1. Расскажите о видах и системах освещения.
2. Объясните, что является основным признаком, определяющим разряд работ.
3. Перечислите разряды зрительной работы.
4. Расскажите, для чего используют коэффициент запаса.
5. Поясните, в каких случаях должно предусматриваться освещение безопасности.
6. Где должно быть предусмотрено эвакуационное освещение?
7. Какие источники света используют в установках аварийного освещения?

2.2. Выбор источников света

При выборе источника света необходимо руководствоваться следующими показателями:

- 1) электрическими (напряжение, мощность, род тока, сила тока);
- 2) оптическими (световой поток, сила света, цветовая температура, спектральный состав излучения);
- 3) конструктивными (диаметр колбы, полная длина ламп);
- 4) долговечностью (средняя продолжительность горения);
- 5) эргономическими;
- 6) экономией электроэнергии в процессе эксплуатации (стоимость и световая отдача источника света);
- 7) безопасности при эксплуатации.

Исходя из перечисленного, в осветительных установках преимущественно следует использовать разрядные лампы низкого и высокого давления.

В случае технико-экономической нецелесообразности применения разрядных ламп допускается использовать лампы накаливания. В ряде случаев перспективными являются газоразрядные

люминесцентные лампы (ГЛН), имеющие повышенную световую отдачу и продолжительность горения. При использовании ГЛН с напряжением более низким, чем напряжение электрической сети, светильники должны быть оснащены встроенными понижающими трансформаторами.

Включение ламп, рассчитанных на работу без балласта, производят непосредственно в сеть напряжением 230 и 400 В, частотой 50 Гц. Для зажигания ламп как с балластом, так и без него применяют зажигающие устройства, генерирующие импульс высокой частоты напряжением до 50 кВ. Колебания напряжения электрической сети оказывают сильное влияние на параметры ламп. Например, при отклонении напряжения сети на $\pm 5\%$ номинальная мощность лампы изменяется на 20 %. При повышении напряжения наблюдается перегрев лампы и сокращается продолжительность ее горения. Поэтому рекомендуется во всех случаях подключать лампы к сети с небольшим балластом, что за счет незначительной потери световой отдачи обеспечивает значительный выигрыш в продолжительности горения.

Для помещений различной высоты необходимо учитывать следующее: в низких помещениях (не выше 6–8 м) наиболее экономичны осветительные установки с ЛЛ; в помещениях средней высоты (от 6 до 8–15 м) и очень высоких (свыше 20 м) наиболее выгодны осветительные установки с ДРИ; в высоких помещениях (от 8–10 до 20 м) наименьшие затраты имеют место при использовании осветительных установок с ДРЛ, хотя энергетически они менее выгодны, так как установленная мощность их больше.

Осветительные установки с лампами типа ДНаТ ввиду высокой пульсации освещенности следует применять при двух-, трех- и четырехрядных схемах размещения светильников только в помещениях высотой не менее 6–8 м и при условии выполнения зрительных работ в них не выше IV разряда.

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.

В цехах швейных и меховых фабрик, магазинах тканей и верхней одежды, музеях и на выставках и т. п., где к цветопередаче предъявляются повышенные требования и необходимо, чтобы цвета воспринимались, как при дневном свете, применение ламп

накаливания не обеспечивает желаемого результата. В таких случаях можно использовать люминесцентные лампы (кроме ЛТБ), которые значительно лучше осуществляют цветопередачу, чем лампы накаливания. Люминесцентные лампы по цветопередаче от лучших к худшим можно расположить в следующей очередности: TLmini, TL5, TLD, TL-E.

Галогенные лампы накаливания типа КГ обеспечивают неплохую цветопередачу и могут по этому показателю конкурировать с люминесцентными лампами типа ЛХБ. Экономические показатели газоразрядного освещения в последние годы улучшаются, чему способствует сближение норм освещенности для газоразрядных ламп и ламп накаливания.

Применение ламп накаливая возможно также там, где производятся грубые работы или осуществляется общий надзор за работой оборудования, особенно если эти помещения не предназначены для постоянного пребывания людей: подвалы, туннели, проходы между фундаментами машин, склады, вентиляционные установки и т. д. Эти лампы применяют и в тех случаях, когда использование газоразрядных ламп технически невозможно, например, когда для данных условий среды выпускают только светильники с лампами накаливания. В основном применяют лампы типа ЛБ как наиболее экономичные, и только при специальных требованиях к цветопередаче — другие типы ламп, кроме ЛТБ.

Выбор типа источника света по цветовым характеристикам (табл. 2.3) производят с учетом требований технологического процесса к цветоразличению, а также к комфортности световой среды.

Таблица 2.3

Цветовые характеристики излучения электрических ламп

Тип лампы	Цветовая температура, К	Индекс цветопередачи	Красное отношение, %
ЛН	2700	100	29,4
ГЛН	3200		—
Газоразрядные источники света низкого давления:			
ЛД	6400	70	—
ЛДЦ, ЛДЦУФ	6200	90	—
ЛБ	3450	57	—

Окончание табл. 2.3

Тип лампы	Цветовая температура, К	Индекс цветопередачи	Красное отношение, %
ЛТБ	2950	65	—
ЛТБЦ	2800	83	—
ЛХБ	4200	62	—
ЛЕЦ	3900	85	—
ЛХЕ, ЛХЕЦ	5200	93	—
Газоразрядные источники света высокого давления:			
ДРЛ	3800	42	6–15
ДРИ	4200	60	—
ДНаТ	2100	25	—
ДКсТ	6200	97	—

Рекомендуемые типы источников света в зависимости от характера зрительной работы для системы общего освещения производственных помещений приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4

**Источники света для производственных помещений
при системе общего освещения**

Требования к цветоразличию при зрительной работе	Освещенность, лк	Минимальный индекс цветопередачи источников света, R_a	Диапазон цветовой температуры источников света, T_c	Примерные типы источников света
1	2	3	4	5
Очень высокие (контроль готовой продукции на швейных фабриках, тканей на текстильных фабриках, сортировка кожи, подбор красок для цветной печати и т. п.)	300 и более	90	5000–6000	ЛДЦ, ЛДЦ УФ (ЛХЕ)

Окончание табл. 2.4

1	2	3	4	5
Высокие (ткачество, швейное производство, цветная печать, окраска машин и т. п.)	300 и более	85	3500–6000	ЛБЦТ, ЛДЦ, ЛДЦ УФ
Невысокие (сборка радиоаппаратуры, прядение, намотка проводов, переплетные цехи и т. п.)	500 и более	50	3500–6000	ЛБ (ЛХБ), МГЛ
	300, 400	50	3500–5500	ЛБ (ЛХБ), МГЛ, НЛВД + МГЛ
	150, 200	45	3000–4500	ЛБ (ЛХБ), НЛВД + МГЛ (ЛН)
	Менее 150	40	2700–3500	ЛБ, ДРЛ, НЛВД + МГЛ (ЛН)
Отсутствуют (механическая обработка металлов, пластмасс, сборка машин и инструментов и т. п.)	500 и более	50	3500–6000	ЛБ (ЛХБ), МГЛ
	300, 400	40	3500–5000	ЛБ (ЛХБ), МГЛ (ДРЛ), НЛВД + МГЛ
	150, 200	29	2600–4500	ЛБ (ЛХБ), МГЛ (ДРЛ), НЛВД + МГЛ, НЛВД + ДРЛ
	Менее 150	25	2400–3500	ЛБ (ДРЛ), НЛВД (ЛБ)

Примечание. В скобках указаны менее эффективные источники света.

Освещение общественных зданий, помещений для занятий в учреждениях образования, детских учреждениях, палатах больниц следует выполнять преимущественно люминесцентными (в том числе компактными) лампами с электронными ПРА.

При отсутствии специальных требований к цветопередаче для освещения помещений общественных зданий следует применять преимущественно лампы типа ЛБ. При повышенных требованиях к цветоразличению применяют лампы типов ЛБЦТ, ЛДЦ, ЛХБ, ЛЕЦ, TLD, TL-E. Освещение помещений лечебно-профилактических учреждений, предназначенных для осмотра

больных, необходимо, как правило, выполнять лампами типов ЛХЕ, ЛДЦ или ЛЕЦ, остальных помещений – типа ЛБ.

Освещение актов залов и залов заседаний производят лампами типов ЛБЦТ, ЛТБЦЦ, ЛБ, ТЛД. В жилых зданиях освещение коридоров, лестничных клеток, лифтовых холлов, вестибюлей, общих гардеробов, помещений для проведения культурно-массовых мероприятий, комнат отдыха, помещений коменданта и воспитателя, служебных помещений обслуживающего персонала, помещений для глажения и стирки следует, как правило, выполнять люминесцентными лампами. В местах общего пользования (лестничные клетки, вестибюли, колясочные и т. п.) рекомендуется применять светильники с энергоэкономичными компактными люминесцентными лампами и усиленными защитными стеклами.

Контрольные вопросы и задания

1. Поясните, что нужно учитывать при выборе источников света.
2. Какое значение имеет цветопередача при выборе источников света?
3. Объясните, почему для производственных помещений промышленных объектов используют газоразрядные лампы высокого давления.
4. Какова область применения натриевых ламп?

2.3. Выбор типа светильников

Осветительные приборы могут быть ближнего действия (до 20–30 м) – светильники и дальнего – прожекторы. Каждый прибор состоит из источника света, устройства, перераспределяющего световой поток источника света в пространстве, устройств, коммутирующих и стабилизирующих электрический ток, и других конструктивных узлов.

Факторы, определяющие выбор светильников

Выбранные светильники должны быть расположены и установлены таким образом, чтобы обеспечивались и учитывались:

- а) безопасность и удобный доступ к светильникам для обслуживания;
- б) создание нормированной освещенности наиболее экономичным путем;
- в) соблюдение требований к качеству освещения (равномерность освещения, направление света, ограничение вредных фак-

торов: теней, пульсаций освещенности, прямой и отраженной блескости);

г) наименьшая протяженность и удобство монтажа групповой сети;

д) надежность крепления светильников;

е) условия окружающей среды (наличие пыли, влаги, химической агрессивности, пожаро- и взрывоопасных зон);

ж) строительная характеристика помещения (перепланировка жилых помещений, в том числе высота, наличие ферм, технологических мостиков, размеры строительного модуля, отражающие свойства стен, потолка, пола и рабочих поверхностей);

з) требования к качеству освещения.

Выбор конкретного типа светильника осуществляется по конструктивному исполнению, светораспределению, ограничению слепящего действия, экономическим соображениям.

Выбор светильников по их конструктивному исполнению

Конструктивное исполнение светильника в значительной степени определяется уровнем защиты его от воздействия окружающей среды. От конструктивного исполнения светильников зависят их надежность и долговечность в данных условиях среды помещения, безопасность в отношении пожара, взрыва и поражения электрическим током, а также удобство обслуживания.

В нормальных сухих и влажных помещениях допускается применение всех типов незащищенных (IP20) светильников.

В сырых помещениях также допускается применение незащищенных (IP20) светильников, но при условии выполнения корпуса патрона из изоляционных и влагостойких материалов.

В особо сырых помещениях и в помещениях с химически активной средой рекомендуется применение светильников со степенью защиты не ниже IP22; в пыльных помещениях — не ниже IP44; в жарких помещениях — не ниже IP20, причем в светильниках с ЛЛ рекомендуется применение амальгамных ламп.

В тех случаях, когда существующая номенклатура светильников представляет возможность применения в помещении не единственного, а нескольких возможных по конструктивному исполнению светильников, целесообразно выбрать тот, который обладает наиболее высокой эксплуатационной группой, характеризующей способность светильника сохранять в процессе рабо-

ты высокие светотехнические качества. Такой подход позволяет в определенных условиях принять меньшие значения коэффициентов запаса, что в свою очередь приводит к снижению установленной мощности источников света, уменьшению расхода электроэнергии.

Выбор светильников по светотехническим параметрам

Правильный выбор светильника по светораспределению обуславливает экономичное использование светового потока источника света, приводит к снижению установленной мощности осветительной установки. При равных условиях предпочтительнее выбирать светильники с более высоким КПД, несмотря на их более высокую стоимость, так как дополнительные затраты окупаются за счет экономии электроэнергии.

В производственных помещениях с низкими коэффициентами отражения стен, потолков целесообразно применение светильников прямого света класса П со светораспределением типа К (концентрированная степень) при высоких потолках (более 6–8 м), со светораспределением типа Д (косинусная степень), реже Г (глубокая степень) — при меньшей высоте потолков. С увеличением высоты помещения применяемый светильник должен иметь большую степень концентрации светового потока (К, Г) и, наоборот, в низких помещениях рекомендуется использовать светильники с более широким светораспределением (Д, Г).

При высоких отражающих свойствах стен и потолков производственных помещений (светлые потолки и стены) целесообразно применение светильников преимущественно прямого света класса Н.

При высоких отражающих свойствах пола или рабочих поверхностей преимущество получают светильники класса П, поскольку в этом случае за счет отражения в верхнюю полусферу попадает достаточно светового потока для создания приемлемого зрительного комфорта.

Светильники преимущественно прямого света класс П и рассеянного света класса Р с кривыми светораспределения Д (косинусная) и Л (полуширокая) целесообразно применять для освещения административных, учебных помещений, лабораторий и т. п.

Светильники классов В (преимущественно отраженного света) и О (отраженного света) применяют для создания архитектур-

турного освещения производственных помещений, гражданских зданий; светильники с кривой силы света III (широкая) — для наружного освещения.

Учет при выборе светильников их слепящего действия осуществляют по показателю ослепленности, который нормируется и сравнивается с фактическим показателем. На практике при проектировании осветительных установок в связи с трудностью расчета этого показателя данная характеристика учитывается косвенно — минимально допустимой высотой подвеса светильников.

Выбор светильников по экономическим соображениям

Выбор светильников по критерию экономичности выполняется по минимуму приведенных затрат. Однако, учитывая, что основной составляющей годовых эксплуатационных расходов являются затраты на электроэнергию, можно с некоторым приближением оценивать экономичность светильника по критерию энергетической экономичности.

Под энергетической экономичностью понимается отношение нормируемой (минимальной) освещенности ($E_{\min}$) к удельной мощности:

$$\Theta_y = \frac{E_{\min}}{P_{\text{уд}}},$$

где $P_{\text{уд}}$ — удельная мощность, равная отношению установленной мощности ламп к площади освещаемого помещения.

Рост энергетической экономичности является следствием уменьшения удельной установленной мощности источников света, необходимой для создания заданной освещенности.

При малой высоте помещений (до 6 м) добиться качественных показателей, таких как минимальная неравномерность освещения, допустимая пульсация и ослепленность, можно только с помощью большого числа светильников с относительно малой единичной мощностью источника света (ЛН и ЛЛ).

В высоких помещениях экономически выгодней применять мощные источники света (ДРЛ, ДРИ, ДНАТ) и малое число светильников, каждый из которых должен иметь оптимальное светораспределение для конкретного варианта. Поэтому выбор типа светильников осуществляется одновременно с выбором схем их

размещения на плане освещаемого помещения. Высота освещаемого помещения определяет и экономичный тип светораспределения светильников.

Для каждой типовой кривой силы света (типа светильника) существует оптимальное относительное расстояние между светильниками, при котором обеспечиваются максимальные равномерность распределения освещенности и энергетическая экономичность.

Контрольные вопросы и задания

1. Поясните, что нужно учитывать при выборе светильников.
2. Расскажите о назначении светильников.
3. По каким светотехническим параметрам выбирают светильники?
4. Поясните, как выбирают светильники по конструктивному исполнению.

2.4. Размещение светильников

При системе общего освещения светильники можно размещать над освещаемой поверхностью либо равномерно, либо локализованно. При равномерном освещении светильники располагают правильными симметричными рядами, создавая при этом относительно равномерную освещенность по всей площади, а при локализованном — индивидуально для каждого рабочего места или участка производственного помещения, создавая при этом требуемые освещенности только на рабочих местах.

На рисунке 2.1 показано расположение светильников общего освещения по высоте помещения. Минимальная высота подвеса светильников над освещаемой поверхностью определяется условиями ограничения ослепленности. Большинство помещений общественных зданий имеют высоту 2,5–3 м, поэтому высота подвеса ограничивается высотой помещения.

При общем равномерном освещении светильники размещают в верхней зоне помещения равномерно, обеспечивая тем самым одинаковую освещенность всего помещения. При общем локализованном освещении светильники размещают исходя из наиболее выгодного направления светового потока на рабочие поверхности, т. е. с учетом расположения технологического оборудования (рис. 2.2).

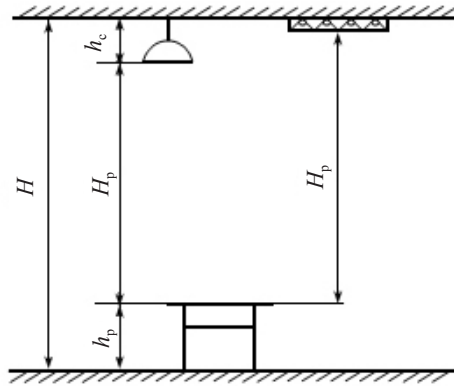


Рис. 2.1. Размещение светильников по высоте помещения, м:
 H — высота помещения; H_p — высота подвеса светильника над расчетной поверхностью; h_p — высота расчетной поверхности; h_c — высота светильника

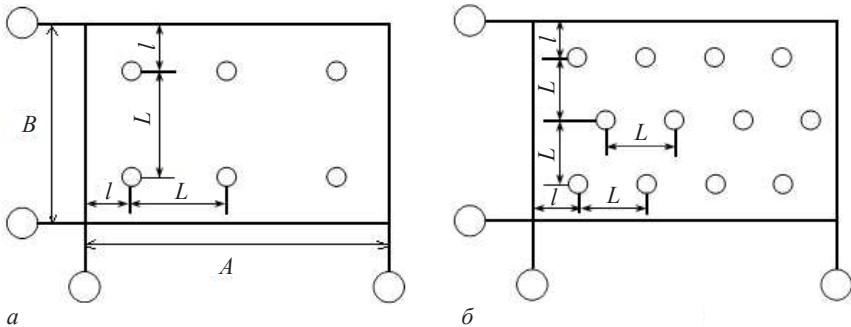


Рис. 2.2. Размещение светильников на плане помещения, м:
 а — по углам прямоугольника; б — в шахматном порядке;
 A — длина помещения; B — ширина помещения;
 L — расстояние между светильниками или рядами;
 l — расстояние от крайних светильников до стен

Выбор расстояния между светильниками зависит от типа светильника, высоты его подвеса над рабочей поверхностью; иногда способ расположения светильников зависит от архитектурных или строительных условий.

При расположении светильников на плане помещения следует учитывать, что увеличение расстояния между светильниками

в ряду или между рядами светильников приводит к росту мощности ламп и повышению неравномерного распределения освещенности на освещаемой поверхности, так как при этом освещенность под светильниками намного больше освещенности точек между ними.

При частом расположении светильников неравномерность распределения освещенности снижается, однако в этом случае применяют лампы малой мощности с невысокой светоотдачей, а это приводит к повышенному расходу электроэнергии и росту первоначальных затрат.

Отсюда следует, что необходимо выбирать такое расстояние между светильниками, которое обеспечило бы наименьшую установленную мощность осветительной установки, но достаточную для практических условий равномерность освещения.

Установлено, что расстояние между светильниками зависит от оптимальной величины отношения расстояния между ними (L) к расчетной высоте подвеса светильников над рабочей поверхностью (H_p) (табл. 2.5):

$$L / H_p.$$

Таблица 2.5

Относительное расстояние между светильниками

Тип кривой силы света	L / H_p		Тип кривой силы света	L / H_p	
	Рекомендуемые значения	Максимально допустимые значения		Рекомендуемые значения	Максимально допустимые значения
К	0,4–0,7	0,9	М	1,8–2,6	3,4
К1	0,49	—	Л	1,4–2,0	2,3
К2	0,42	—	Г	0,8–1,2	1,4
К3	0,36	—	Г1	0,91	—
Д	1,2–1,6	2,1	Г2	0,77	—
Д1	1,3	—	Г3	0,66	—
Д2	1,1	—	Г4	0,57	—

Ряды светильников с люминесцентными лампами следует располагать параллельно длинной стороне помещения со световыми проемами. Если проемы расположены на короткой стороне, то ряды светильников можно располагать и вдоль, и поперек помещения. Расстояние от крайнего ряда светильников до стен (l)

рекомендуется принимать около $0,5L$ при наличии у стен проходов и $0,3L$ — в остальных случаях.

При общем освещении рабочих помещений светильники с люминесцентными лампами для создания равномерного освещения следует располагать непрерывными рядами, если в каждом светильнике число ламп менее четырех.

Светильники можно располагать и рядами с разрывами, при этом расстояние между их торцами не должно превышать $0,5$ высоты подвеса светильников над освещаемой поверхностью.

Расстояние от потолка до светильника h_c обычно принимается равным $0-1,5$ м (в жилых и общественных помещениях пониженной высоты — $0,3-0,4$ м).

Размещение светильников

Размещение светильников на плане помещения намечают по углам прямоугольника.

Определяют высоту подвеса светильников в помещении, м:

$$H_p = H - (h_c + h_p). \quad (2.1)$$

Определяют число рядов светильников

$$R = \frac{B - 2l}{L} + 1. \quad (2.2)$$

Определяют число светильников в ряду

$$N_R = \frac{A - 2l}{L} + 1. \quad (2.3)$$

Полученные результаты округляют до ближайшего целого числа и пересчитывают реальные расстояния, м:

• между рядами светильников:

$$L_B = \frac{B - 2l}{R - 1}; \quad (2.4)$$

• между светильниками в ряду:

$$L_A = \frac{A - 2l}{N_R}. \quad (2.5)$$

Для прямоугольных помещений проверяют условие

$$1 \leq L_A / L_B \leq 1,5.$$

Если $L_A / L_B < 1$, то необходимо уменьшить число светильников в ряду на один или увеличить число рядов на один.

Если $L_A / L_B > 1,5$, то необходимо увеличить число светильников в ряду на один или уменьшить число рядов на один.

Общее число светильников определяют по формуле

$$N_{\text{св}} = RN_R, \quad (2.6)$$

где R — намечаемое число рядов.

Светильники с трубчатыми люминесцентными лампами могут располагаться вплотную друг к другу или с разрывом.

При применении светильников с люминесцентными лампами исходя из светотехнического расчета определяют световой поток Φ_R ряда светильников, а затем рассчитывают число светильников в ряду:

$$N_R = \frac{\Phi_R}{n_{\text{св}} \Phi_{\text{л}}}, \quad (2.7)$$

где $n_{\text{св}}$ — число ламп в одном светильнике; $\Phi_{\text{л}}$ — световой поток одной лампы, лм.

При этом расстояние между соседними светильниками в ряду

$$L_A = \frac{A - 2l - N_R l_{\text{с}}}{N_R - 1}, \quad (2.8)$$

где $l_{\text{с}}$ — длина одного светильника.

В процессе расчетов необходимо, чтобы суммарная длина светильников с люминесцентными лампами в одном ряду не превышала длины помещения.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие способы размещения светильников применяют для производственных помещений?
2. Изложите последовательность расчетов при размещении светильников.

3. Поясните, к чему приводит частое расположение светильников в помещении.
4. Какое расстояние принимают от крайних светильников до стен?
5. Поясните, в чем особенность размещения светильников с трубчатыми люминесцентными лампами.

2.5. Расчет освещения методом коэффициента использования светового потока

Метод коэффициента использования светового потока предназначен для расчета общего равномерного освещения при отсутствии крупных затеняющих предметов.

При расчете по методу коэффициента использования световой поток ламп, необходимый для создания заданной минимальной освещенности, определяют по формуле

$$\Phi_{\text{лр}} = \frac{E_n K_z S z}{n \eta_{\text{oy}}}, \quad (2.9)$$

где E_n — заданная минимальная нормируемая освещенность, лк; K_z — коэффициент запаса (принимается по табл. 2.2); S — площадь помещения, м²; z — отношение $E_{\text{ср}} / E_{\text{мин}}$ (неравномерность освещения принимается 1,15 — для ламп накаливания и ДРЛ; 1,1 — для люминесцентных ламп); n — число светильников (как правило, намечается до расчета); η_{oy} — коэффициент использования светового потока (для некоторых типов светильников можно определить по табл. 2.6).

Таблица 2.6

**Коэффициент использования светового потока (η_{oy})
светильников с типовыми КСС, %**

Тип КСС	i_n											
	0,6	0,8	1,25	2	3	5	0,6	0,8	1,25	2	3	5
М	$\rho_n = 0,7; \rho_c = 0,5; \rho_p = 0,3$						$\rho_n = 0,7; \rho_c = 0,5; \rho_p = 0,1$					
	35	50	61	73	83	95	34	47	56	66	75	86
Д-1	36	50	58	72	81	90	36	47	56	63	73	79
Д-2	44	52	68	84	93	103	42	51	64	75	84	92

Тип КСС	i_n											
	0,6	0,8	1,25	2	3	5	0,6	0,8	1,25	2	3	5
Г-1	49	60	75	90	101	106	48	57	71	82	89	94
Г-2	58	68	82	96	102	109	55	64	78	86	92	96
Г-3	64	74	85	95	100	105	62	70	79	80	90	93
Г-4	70	77	84	90	94	99	65	71	78	83	86	87
К-1	74	83	90	96	100	106	69	76	83	88	91	92
К-2	75	84	95	104	108	115	71	78	87	95	97	100
К-3	76	85	96	106	110	116	73	80	90	94	99	102
Л	32	49	59	71	83	91	31	46	55	65	74	83
М	$\rho_n = 0,7; \rho_c = 0,3; \rho_p = 0,1$						$\rho_n = 0,5; \rho_c = 0,5; \rho_p = 0,3$					
	26	36	46	56	67	80	32	45	55	67	74	84
Д-1	28	40	49	59	68	74	36	48	57	66	76	85
Д-2	33	43	56	74	80	76	42	51	65	71	90	85
Г-1	42	52	69	78	73	76	45	56	65	78	76	84
Г-2	48	60	73	84	90	94	55	66	80	92	96	403
Г-3	57	66	76	84	84	91	63	72	83	91	96	100
Г-4	62	69	76	81	84	85	68	73	81	87	91	94
К-1	65	73	81	86	89	90	70	78	86	92	96	100
К-2	67	75	84	93	97	100	72	80	91	99	103	108
К-3	68	77	86	95	98	101	74	83	93	101	106	170
Л	24	40	50	62	71	77	32	47	57	69	79	90
М	$\rho_n = 0,5; \rho_c = 0,5; \rho_p = 0,1$						$\rho_n = 0,5; \rho_c = 0,3; \rho_p = 0,1$					
	31	43	53	63	72	80	23	36	45	56	65	75
Д-1	34	47	54	63	70	77	27	40	48	55	65	73
Д-2	40	48	61	74	82	84	33	42	52	69	75	86
Г-1	44	53	69	77	83	80	41	48	64	76	70	88
Г-2	53	63	76	85	90	94	48	58	72	83	86	93
Г-3	61	68	78	84	88	91	57	65	75	83	86	90
Г-4	65	71	78	81	84	85	62	68	74	81	83	85
К-1	68	77	83	86	89	90	64	73	80	86	88	90
К-2	71	78	87	93	98	99	68	74	84	92	93	99
К-3	72	79	88	94	97	99	68	76	85	93	95	99
Л	30	45	55	65	70	78	24	40	49	60	70	76

Окончание табл. 2.6

Тип КСС	i_n											
	0,6	0,8	1,25	2	3	5	0,6	0,8	1,25	2	3	5
М	$\rho_n = 0,3; \rho_c = \rho_p = 0,1$						$\rho_n = \rho_c = \rho_p = 0,1$					
	17	29	38	46	58	67	16	28	38	45	55	65
Д-1	27	35	42	52	61	68	21	33	40	49	58	66
Д-2	28	36	48	63	75	81	25	33	47	61	70	78
Г-1	35	45	60	73	68	77	34	44	56	71	68	74
Г-2	43	54	68	79	85	90	43	53	66	77	82	86
Г-3	53	62	73	80	84	86	53	61	71	78	82	85
Г-4	61	66	72	78	81	83	59	65	71	78	80	81
К-1	62	71	77	83	86	88	60	69	77	84	85	86
К-2	68	72	80	89	93	97	65	71	79	88	92	95
К-3	64	73	83	90	94	97	64	72	81	88	91	94
Л	20	35	44	48	65	69	17	33	42	53	63	70

Коэффициент использования определяется в зависимости от значений индекса помещения i_n и коэффициентов отражения потолка, стен, рабочей поверхности (соответственно ρ_n , ρ_c , ρ_p). В том случае, когда индекс помещения не совпадает с табличным, при определении коэффициента использования светового потока следует прибегать к интерполяции значения.

Индекс помещения можно вычислить по формуле

$$i_n = \frac{AB}{H_p(A+B)}. \quad (2.10)$$

Приблизительные значения коэффициентов отражения составляют:

- побеленный потолок и стены — 70–80 %;
- побеленный потолок, стены окрашены в светлые тона — 50 %;
- бетонный потолок, стены оклеены светлыми обоями, бетонные стены — 30 %;
- стены и потолки в помещениях оштукатуренные, темные обои — 10 %.

По найденному значению $\Phi_{\text{лр}}$ выбирают лампу ближайшей стандартной мощности, значение светового потока которой отличается от $\Phi_{\text{лр}}$ не более чем на $-10...+20$ %. При невозможности

выбора ламп с таким приближением корректируют число светильников n или высоту подвеса светильников (H_p).

При расчете люминесцентного освещения первоначально намечают число рядов R , которое подставляют в формулу (2.9) вместо n . Тогда под $\Phi_{\text{лр}}$ следует подразумевать световой поток ламп одного ряда Φ_{R_p} :

$$\Phi_{R_p} = \frac{E_n K_3 Sz}{R \eta_{\text{oy}}}. \quad (2.11)$$

Далее определяют количество светильников в одном ряду по формуле (2.7):

$$N_R = \frac{\Phi_{R_p}}{n_{\text{св}} \Phi_{\text{л}}}.$$

При этом расстояние между соседними светильниками в ряду не должно превышать $0,5H_p$.

Рассмотрим расчет электрического освещения на примере.

Пример 2.1. Выполнить расчет электрического освещения производственного помещения методом коэффициента использования светового потока. Разместить светильники на плане помещения.

Исходные данные. Размеры помещения, м: длина $A = 108$; ширина $B = 30$; высота $h = 9$. Нормируемая освещенность $E = 300$ лк, коэффициент запаса $K_3 = 1,5$. Коэффициенты отражения потолка, стен, расчетной поверхности, % соответственно: $\rho_{\text{п}} = 70$; $\rho_{\text{с}} = 50$; $\rho_{\text{р}} = 30$. Светильники с лампами ДРЛ типа РСП10.

Решение

Считаем, что по условию доступности обслуживания светильников в помещении имеется самоходное устройство с площадкой для мастера (высоту свеса светильников принимаем равной нулю). Подвес светильников будем осуществлять на тросе, тогда расчетная высота подвеса светильников по формуле (2.1) составит

$$H_p = 9,0 - 0,8 = 8,2 \text{ (м)}.$$

Вычисляем расстояние между соседними светильниками

$$L = \frac{L}{H_p} H_p = 1,1 \cdot 8,2 = 9,02 \text{ (м)},$$

где L / H_p – для светильников РСП10 с КСС типа Г принимаем равным 1,1 по таблице 2.5.

Определяем расстояние от крайних светильников или рядов светильников до стены ($l = (0,4-0,5)L$), принимая, что на участке рабочих мест возле стен нет:

$$l = 0,4 \cdot 9,02 = 3,608 \text{ (м)}.$$

Определяем число рядов светильников по формуле (2.2):

$$R = \frac{30 - 2 \cdot 3,608}{9,02} + 1 = 3,52 (\approx 4 \text{ ряда}).$$

Определяем число светильников по формуле (2.3):

$$N_R = \frac{108 - 2 \cdot 3,608}{9,02} + 1 = 12,17 (\approx 12 \text{ шт.}).$$

Затем определяем реальное расстояние между рядами светильников по формуле (2.4):

$$L_B = \frac{30 - 2 \cdot 3,608}{4 - 1} = 7,59 \text{ (м)}.$$

Определяем реальное расстояние между центрами светильников в ряду по формуле (2.5):

$$L_A = \frac{108 - 2 \cdot 3,608}{12 - 1} = 9,16 \text{ (м)}.$$

Общее число светильников в помещении:

$$N = RN_R = 4 \cdot 12 = 48 \text{ (шт.)},$$

тогда индекс помещения по формуле (2.10) составляет

$$i_n = \frac{108 \cdot 30}{8,2 \cdot (108 + 30)} = 2,86.$$

КПД светильника типа РСП10 составляет $\eta_c = 0,7$. Считаем, что данное помещение имеет побеленные потолки и стены, окрашенные в светлые тона, т. е. $\rho_n = 70 \%$, $\rho_c = 50 \%$, $\rho_p = 30 \%$. Определяем коэффициент использования светового потока с помощью интерполяции по параметрам $i_n = 2,86$ и КСС типа Г-3:

$$\eta_n = 0,95 + \left(\frac{1 - 0,95}{10} \right) \cdot 8,6 = 0,99.$$

Тогда коэффициент использования светового потока составит

$$\eta_{oy} = 0,7 \cdot 0,99 = 0,69.$$

Световой поток одной лампы по выражению (2.9) составит

$$\Phi_{лр} = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 3240 \cdot 1,15}{48 \cdot 0,69} = 50\,625 \text{ (лм)}.$$

По данному значению определяем мощность газоразрядных ламп, принимая лампу типа ДРЛ1000(12)-3 мощностью 1000 Вт со световым потоком $\Phi_{л} = 58\,000$ лм.

Допустимое отклонение от расчетного не должно превышать $-10...+20$ %:

$$\Delta = \frac{\Phi_{л} - \Phi_{лр}}{\Phi_{лр}} \cdot 100 = \frac{58\,000 - 50\,625}{58\,000} \cdot 100 = 12,7 \text{ \%}.$$

Условие выполняется. Допустимое отклонение входит в интервал.

Размещение светильников приведено на рисунке 2.3.

Контрольные вопросы и задания

1. Поясните методику расчета освещения методом коэффициента использования светового потока.
2. Расскажите, что такое коэффициент использования светового потока и для чего он используется.
3. Поясните, как выбирают значение светового потока лампы.

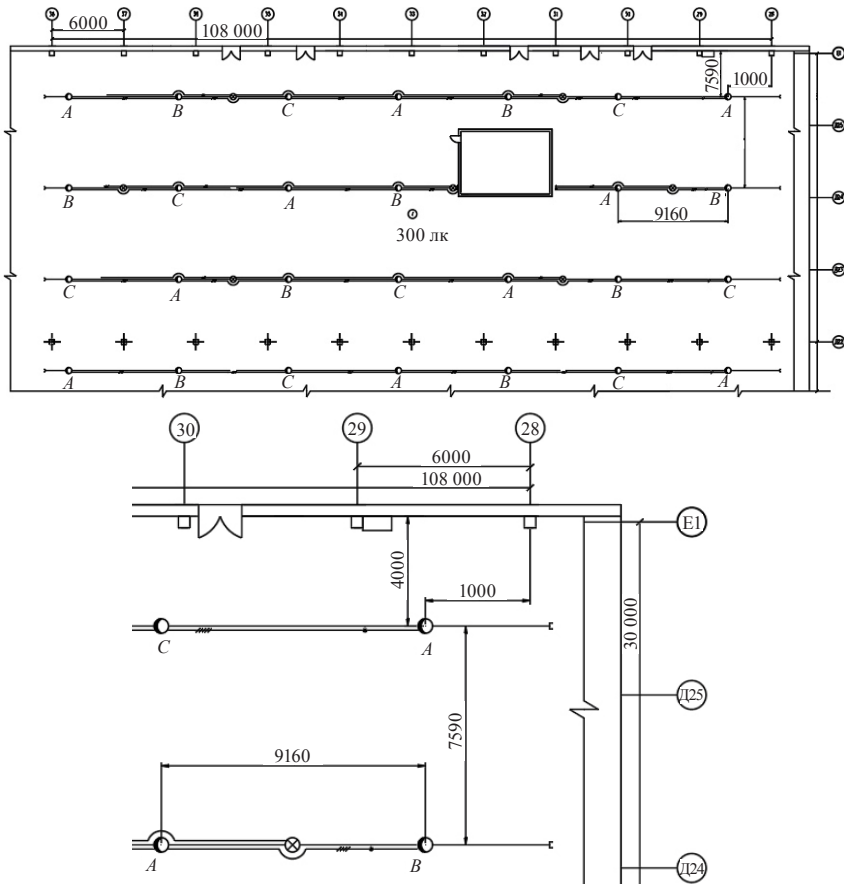


Рис. 2.3. Размещение светильников на плане помещения

2.6. Расчет освещенности по удельной мощности

Одним из упрощенных вариантов расчета освещенности с применением коэффициента использования является метод расчета освещенности по удельной мощности.

Удельная мощность осветительной установки определяется по формуле

$$p_y = \frac{P_n N}{S}, \quad (2.12)$$

где $P_{\text{л}}$ — мощность одной лампы, Вт; N — число ламп; S — площадь освещаемого помещения, м^2 .

Зная значение удельной мощности в соответствии с заданными условиями, можно определить расчетное значение требуемой мощности одной лампы, по которому выбирают лампу ближайшей стандартной мощности,

$$P_{\text{рл}} = \frac{p_y S}{N}. \quad (2.13)$$

Данные по удельной мощности для светильников прямого света с типовыми КСС приводятся в справочной литературе.

Удельная мощность является важнейшим энергетическим показателем осветительной установки, широко используемым для оценки экономичности решений и предварительного определения осветительной нагрузки на начальных стадиях проектирования.

На всех стадиях проектирования допускается вместо полного светотехнического расчета определять мощность и число ламп по таблицам удельной мощности. Это допускается только при условии общего равномерного освещения при отсутствии требующих учета затемнений. Не следует рассчитывать по таблицам удельной мощности освещение таких помещений, как гардеробы и санузлы, которые по сути являются локализованными. Таблицами удельной мощности необходимо пользоваться в пределах данных, для которых они составлены.

Перерасчет удельных мощностей с учетом фактических исходных данных производят по следующей формуле:

$$p_y = \frac{p_{\text{ут}} K_3 E_{\text{н}}}{K_{\text{эт}} \eta \cdot 100}, \quad (2.14)$$

где $p_{\text{ут}}$ — табличное значение удельной мощности освещения; K_3 и $K_{\text{эт}}$ — фактический и табличный коэффициенты запаса; $E_{\text{н}}$ — величина нормированной освещенности; η — КПД выбранного светильника в относительных единицах (0,5–0,8).

Расчет освещенности по методу удельной мощности осуществляется в следующем порядке: 1) для освещаемого помещения определяют значения расчетной высоты $H_{\text{р}}$, нормируемой освещенности, тип и число светильников; 2) по таблицам находят значение удельной мощности, далее по формуле (2.13) находят расчетное значение мощности одной лампы и подбирают лампу ближайшей стандартной мощности. Если расчетная мощность лампы оказы-

вается большей, чем допускается в принятых светильниках, следует уточнить число светильников для данной мощности лампы.

Пример 2.2. Для освещения помещения площадью $F = 36 \text{ м}^2$ с $\rho_{\text{п}} = 0,5$, $\rho_{\text{с}} = 0,3$, $\rho_{\text{р}} = 0,1$ предполагается использовать светильники с люминесцентными лампами типа MASTER TL5 HO 39Вт/830, установленные на расчетной высоте $H_{\text{р}} = 2 \text{ м}$. Определить число светильников, необходимое для создания освещенности $E_{\text{н}} = 75 \text{ лк}$ при коэффициенте запаса $K_3 = 1,4$ и коэффициенте неравномерности $z = 1,1$.

Решение

По таблицам определяем значение удельной мощности освещения $p_{\text{ут}} = 4,2 \text{ Вт/м}^2$. Так как в таблице это значение соответствует $E_{\text{н}} = 100 \text{ лк}$, $K_3 = 1,5$ и КПД = 100 %, пропорционально пересчитываем значение по формуле (2.14):

$$P_{\text{уд}} = \frac{4,2 \cdot 1,4 \cdot 75}{1,5 \cdot 0,6 \cdot 100} = 4,9 \text{ (Вт/м}^2\text{)}.$$

Число светильников

$$N = \frac{4,9 \cdot 36}{2 \cdot 39} = 2,26 \approx 2 \text{ (шт.)}.$$

Для освещения помещения можно принять 2 ряда по 1 светильнику в каждом ряду.

Контрольные вопросы и задания

1. Поясните методику расчета освещения методом удельной мощности.
2. Какие особенности следует учитывать при расчете по методу удельной мощности?

2.7. Расчет освещения точечным методом

При расчетах, проводимых точечным методом, светильник представляется точечным, т. е. его размеры считаются малыми по сравнению с расстоянием до освещаемой им точки пространства (не превышают 0,2 расстояния до освещаемой точки). К точечным источникам относятся, например, прожекторы, светильники с лампами накаливания и газоразрядными лампами высокого давления типов ДРЛ, ДРИ, ДНаТ и др.

Расчету освещенности должны предшествовать выбор типа осветительных приборов, расположение и высота подвеса их в помещении (h_p), определение нормируемого значения освещенности (E_n). Расчетная точка освещается практически всеми светильниками, находящимися в помещении, которые создают в этой точке суммарную освещенность Σe , однако обычно учитывается действие ближайших светильников.

В качестве контрольных выбирают те точки освещаемой поверхности, в которых Σe имеет наименьшее значение. Не следует искать самую малую освещенность (у стен или в углах): если в подобных точках есть рабочие места, нормируемые значения обеспечения освещенности можно обеспечить увеличением мощности ближайших или установкой дополнительных светильников. При расположении светильников рядами вдоль светотехнических мостиков контрольную точку выбирают между рядами на расстоянии от торцевой стены, примерно равном расчетной высоте.

Точечный метод в отличие от метода коэффициента использования позволяет определить освещенность любой точки на рабочей поверхности, произвольно расположенной в пространстве, например горизонтально, вертикально или наклонно.

Расчет освещения точечным методом производят тогда, когда невозможно применить метод коэффициента использования, например расчеты локализованного освещения, освещения наклонных или вертикальных поверхностей.

Точечный метод также часто применяют в качестве проверочного расчета, когда необходимо оценить фактическое распределение освещенности на освещаемой поверхности. Однако точечный метод имеет существенный недостаток: не учитывает освещенность, создаваемую световым потоком, отраженным от стен и потолков, вследствие чего освещенность получается несколько заниженной. Поэтому точечный метод можно применять для расчета освещения помещений, в которых отраженный световой поток составляет незначительную долю по сравнению со световым потоком, падающим непосредственно на освещаемую поверхность, например производственных помещений с низкими коэффициентами стен и потолков, местного или наружного освещения.

Определение горизонтальной освещенности. Горизонтальная поверхность Q освещается светильником общего освещения с точечным источником света (лампа накаливания или ДРЛ) (рис. 2.4).

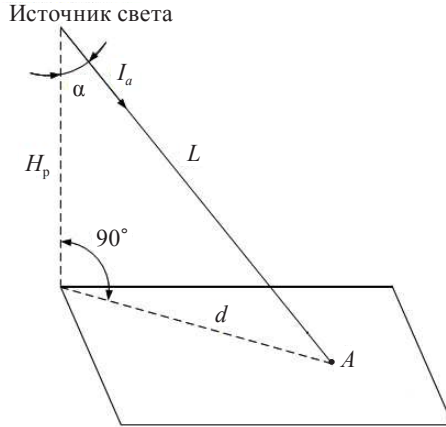


Рис. 2.4. Схема для расчета горизонтальной освещенности точечным методом: d – расстояние от расчетной точки A до проекции оси симметрии светильника на плоскость, перпендикулярную ей и проходящую через расчетную точку, м

Точка A , в которой необходимо определить освещенность, находится на расстоянии L от источника света. Для определения освещенности в точке A применяют соотношение между освещенностью и силой света:

$$E_{rA} = \frac{I_a \cos \alpha}{L^2 K_3}, \quad (2.15)$$

где I_a – сила света светильника по направлению к точке A , кд; $\cos \alpha$ – угол между направлением силы света с осью симметрии светильника, град; L – расстояние от светильника до расчетной точки A .

Расстояние L рассчитывают через высоту подвеса светильника над расчетной поверхностью H_p :

$$L = \frac{H_p}{\cos \alpha}. \quad (2.16)$$

Отсюда горизонтальная освещенность в точке A

$$E'_{rA} = \frac{I_a \cos^3 \alpha}{H_p^2 K_3}. \quad (2.17)$$

Расчет по определению освещенности в заданной точке горизонтальной поверхности производят в следующем порядке.

1. Определяют тангенс угла, образованного вертикалью и лучом света, падающим в заданную точку:

$$\operatorname{tg} \alpha = d / H_p. \quad (2.18)$$

2. Затем определяют угол α и $\cos^3 \alpha$.

3. По кривым силы света выбранного типа светильника с условной лампой $\Phi'_л = 1000$ лм определяют по углу α силу света $I_{\alpha(1000)}$:

Кривые силы света стандартных светильников с условной лампой в 1000 лм приведены в таблице 4 приложения 1.

4. По формуле (2.17) вычисляют условную горизонтальную освещенность E'_{rA} (для лампы в 1000 лм).

5. Условную освещенность пересчитывают с учетом светового потока лампы, установленной в светильнике:

$$E_{rA} = \frac{E'_{rA} \Phi_{л}}{1000}. \quad (2.19)$$

Если рассматриваемая точка A на поверхности Q освещается несколькими светильниками общего освещения, то учитывают и освещенность, создаваемую в точке A отдельными светильниками:

$$E_{rA} = e_{1A} + e_{2A} + \dots + e_{nA} = \sum e_{nA}, \quad (2.20)$$

где $e_{1A}, \dots, e_{nA}$ — освещенности, создаваемые в точке A отдельными светильниками.

Расчетная формула для определения фактической освещенности в точке A от нескольких однотипных светильников общего освещения с лампами одинаковой мощности принимает вид

$$E_r = \sum e_{nA} \frac{\Phi_{л}}{1000}. \quad (2.21)$$

Однако расчет освещения таким методом неудобен, так как требуется определить значения освещенности от каждого светильника и суммировать их. Для упрощения в проектной практике применяют наиболее распространенный способ расчета по пространственным кривым равной освещенности — изолюксам. Эти кривые построены для различных типов стандартных светильников с условной лампой в 1000 лм в прямоугольной системе

координат в зависимости от расчетной высоты подвеса светильника h и расстояния d проекции светильника на горизонтальную поверхность до заданной (контрольной) точки (прил. 2).

Расчет производится в следующем порядке.

1. Для выбранного типа светильника в зависимости от расчетной высоты его подвеса H_p и расстояния d , определенного по плану, для каждого значения находят ближайшую кривую, на которой указана условная освещенность. Если точка, заданная координатами H_p и d , не попадает на кривую, то значение освещенности определяют посредством интерполирования между двумя ближайшими кривыми.

2. Найденные по кривым условные освещенности от ближайших светильников для расчетной точки суммируются:

$$\sum e_r = e_{r1} + e_{r2} + \dots + e_{rm}. \quad (2.22)$$

3. Если задана освещенность E_r и требуется определить мощность лампы, необходимую для обеспечения этой освещенности на горизонтальной поверхности, расчетное значение светового потока лампы рассчитывают по формуле

$$\Phi_{\lambda} = 1000 E_r \frac{K_s}{\mu \sum e_r}, \quad (2.23)$$

где μ — коэффициент, учитывающий дополнительную освещенность в заданной точке от удаленных светильников, не учтенных при определении условной освещенности, и от отражения стен, потолка и расчетной (рабочей) поверхности помещения. Значение μ в зависимости от коэффициентов отражения поверхностей помещения принимают в пределах 1–1,2.

Пример 2.3. Рассчитать эвакуационное освещение помещения механического цеха точечным методом. Эвакуационное освещение в помещении должно обеспечивать на полу основных проходов освещенность $E_{\min}$ не менее 0,5 лк. Мощность применяемых ламп накаливания не должна превышать 200 Вт.

При точечном методе расчета будем применять пространственные изолуксы (см. прил. 2). Для эвакуационного освещения будем применять светильники типа НСП17 (КСС типа Г-1). Нормируемая освещенность помещения 200 лк, расчетная высота подвеса светильника $H_p = 8,2$ м. План помещения цеха с контрольными точками A и B представлен на рисунке 2.5.

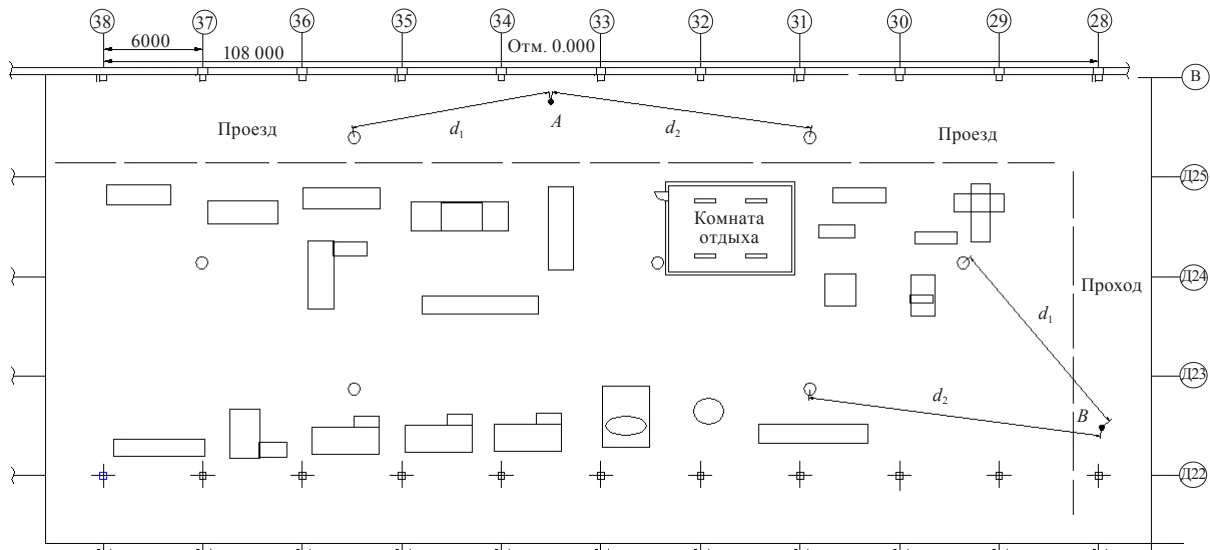


Рис. 2.5. План помещения цеха

Решение

На плане помещения с известным расположением светильников (см. рис. 2.5) намечаем контрольные точки *A* и *B*, в которых будем производить расчет освещенности.

Определяем расстояния от контрольной точки до ближайших светильников:

- точка *A*: $d_1 = 12,1$ м; $d_2 = 15,7$ м;
- точка *B*: $d_1 = 12,9$ м; $d_2 = 17,7$ м.

По графику для излучателя, имеющего по всем направлениям силу света 100 кд, и значениям H_p и d определяем значение условной освещенности e_{100} :

- точка *A*: $e_{100(1)} = 0,27$ лк; $e_{100(2)} = 0,14$ лк;
- точка *B*: $e_{100(1)} = 0,24$ лк; $e_{100(2)} = 0,1$ лк.

Определяем тангенс угла падения светового луча в расчетную точку по формуле (2.18):

- точка *A*:

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{12,1}{8,2} = 1,47, \text{ отсюда } \alpha' = 55,77^\circ;$$

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{15,7}{8,2} = 1,92, \text{ отсюда } \alpha' = 62,42^\circ;$$

- точка *B*:

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{12,9}{8,2} = 1,57, \text{ отсюда } \alpha' = 57,5^\circ;$$

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{17,7}{8,2} = 2,16, \text{ отсюда } \alpha' = 65,15^\circ.$$

Для светильников НСП17 (КСС типа Г-1) по справочнику или таблице 4 приложения 1 с условной лампой со световым потоком 1000 лм для найденного угла путем интерполяции определяем силу света $I_{(1000)}$ и рассчитываем значение освещенности,

создаваемой этим светильником $\left(e = e_{100} \frac{I_{\alpha}}{100} \right)$:

• точка *A*:

$$I_{a1} = 162,9 + \frac{108,3 - 162,9}{5} \cdot 0,77 = 154,49 \text{ (кД)};$$

$$e_1 = 0,27 \cdot \frac{154,49}{100} = 0,42 \text{ (лк)};$$

$$I_{a2} = 108,3 + \frac{52,6 - 108,3}{5} \cdot 2,42 = 81,34 \text{ (кД)};$$

$$e_2 = 0,14 \cdot \frac{81,34}{100} = 0,11 \text{ (лк)};$$

• точка *B*:

$$I_{a1} = 162,9 + \frac{108,3 - 162,9}{5} \cdot 2,5 = 135,6 \text{ (кД)};$$

$$e_1 = 0,24 \cdot \frac{135,6}{100} = 0,33 \text{ (лк)};$$

$$I_{a2} = 52,6 + \frac{0 - 52,6}{5} \cdot 0,15 = 51,02 \text{ (кД)};$$

$$e_2 = 0,1 \cdot \frac{52,02}{100} = 0,05 \text{ (лк)}.$$

Определяем расчетный световой поток для точек *A* и *B* по формуле (2.23):

$$\Phi_{\text{лр}} = \frac{1000 E_{\text{min}} K_3}{\mu \sum e},$$

где K_3 для ЛН принимаем 1,3 (табл. 2.2); μ принимаем равным 1,1:

$$\Phi_{\text{лр1}} = \frac{1000 \cdot 0,5 \cdot 1,3}{1,1 \cdot (0,42 + 0,11)} = 1115 \text{ (лм)};$$

$$\Phi_{\text{лр2}} = \frac{1000 \cdot 0,5 \cdot 1,3}{1,1 \cdot (0,33 + 0,05)} = 1555 \text{ (лм)}.$$

По полученному наибольшему значению расчетного светового потока выбираем мощность стандартной лампы по справочнику или таблице 1 приложения 1. Принимаем лампу Б 230-240-100 мощностью 100 Вт со световым потоком $\Phi_{\text{лт}} = 1370$ лм.

Пример 2.4. Для помещения, приведенного в примере 2.3, при тех же исходных условиях определить световой поток ламп и выбрать их мощность, используя метод пространственных изолюкс.

Решение

Расстояние d определяем обмером по плану помещения. Например, расстояние от проекции светильника 1 на горизонтальную плоскость до точки А: $d_1 = \sqrt{11,4^2 + 4,0^2} = 12,1$ (м). Определив расстояние d_1 и зная расчетную высоту H_p , по графикам пространственных изолюкс условной горизонтальной освещенности для светильников с КСС типа Г-1 (см. рис. 3 прил. 2) определяем величину условной горизонтальной освещенности e в точке А от светильника 1 как изолюксу, проходящую через точку с координатами d_1 и H_p . Полученная точка на рисунке 3 приложения 2 попадает между изолюксами условной освещенности $e = 0,4$ лк и $e = 0,5$ лк. Интерполируя их, получаем результирующую освещенность e в точке А от светильника 1, равную 0,43 лк.

Аналогично рассчитываем освещенность в точке А от светильника 2 ($e = 0,11$ лк). Полная условная освещенность в точке А от светильников 1 и 2 будет равна 0,54 лк.

Наихудшей по освещенности оказывается точка В ($e_1 = 0,32$ лк, $e_2 = 0,06$ лк), для которой по формуле (2.23) определяем необходимый поток лампы, принимая $\mu = 1,1$:

$$\Phi_{\text{лрВ}} = \frac{1000 \cdot 0,5 \cdot 1,3}{1,1 \cdot (0,32 + 0,06)} = 1555 \text{ (лм)}.$$

По полученному наибольшему значению расчетного светового потока выбираем мощность стандартной лампы по справочнику или таблице 1 приложения 1. Принимаем лампу Б 230-240-100 мощностью 100 Вт со световым потоком $\Phi_{\text{л}} = 1370$ лм.

Контрольные вопросы и задания

1. Поясните методику расчета освещения точечным методом.
2. Что относят к точечным источникам света?

3. Поясните, какие точки выбирают в качестве контрольных.
4. Объясните, в чем отличие расчета точечным методом от других методов.

2.8. Расчет освещенности от светящейся линии

Излучатели, длина которых превышает половину расчетной высоты H_p , рассматриваются как светящиеся линии. Для расчета используют линейные изолюксы, которые дают относительную горизонтальную освещенность e при $H_p = 1$ м и $\Phi' = 1000$ лм/м (Φ' — плотность светового потока в ряду, т. е. отношение суммарного потока ламп к длине светящейся линии).

Линейные изолюксы строят для случая, когда расчетная точка совпадает с проекцией конца светящегося элемента на расчетную плоскость.

Расчет с использованием линейных изолюкс осуществляют следующим образом:

а) определяют высоту H_p , тип светильников и люминесцентных ламп в них, размещение светильников в линии и число линий в помещении;

б) по плану определяют геометрические размеры (рис. 2.6): l — длина светящейся линии, м; d — расстояние от проекции светящейся линии на плоскость, проходящую через расчетную точку, до расчетной точки, м. Затем рассчитывают их относительные значения:

$$l' = \frac{l}{H_p}; \quad (2.24)$$

$$d' = \frac{d}{H_p}; \quad (2.25)$$

в) если контрольная точка лежит напротив конца ряда светильников (точка A), то по графикам линейных изолюкс для точки с координатами l и d определяют условную освещенность e ;

г) вычисляя $\sum e$ от ближайших рядов или их частей, освещающих точку;

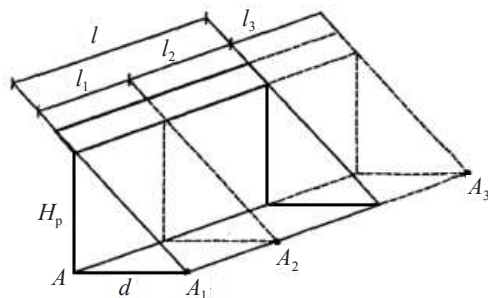


Рис. 2.6. Схема для расчета освещенности от светящейся линии

д) если расчетная точка лежит не напротив конца ряда светильников, то этот ряд разбивается на две части (точка A_2) или дополняется условным отрезком (точка A_3). При этом условная освещенность в точке A_2

$$e(A_2) = e(l_1) + e(l_2), \quad (2.26)$$

а в точке A_3

$$e(A_3) = e(l) + e(l_3), \quad (2.27)$$

где $e(l_1)$, $e(l_2)$, $e(l_3)$ – условная освещенность от участков светящегося элемента длиной соответственно l_1 , l_2 , l_3 , определяемая по графикам линейных изолюкс;

е) определяют необходимую линейную плотность светового потока в линии

$$\Phi = \frac{E_n K_3 H_p}{\mu \sum e}; \quad (2.28)$$

ж) суммарный расчетный световой поток ламп в светильнике определяют по формуле

$$\Phi_{\text{лп}} = \frac{\Phi(l + \lambda)}{N_R}, \quad (2.29)$$

где λ – суммарная длина равномерно распределенных разрывов ($\lambda < 0,5H_p$), м. При $\lambda > 0,5H_p$ рекомендуется вести расчеты отдельно для каждого сплошного участка;

з) при заданном потоке $\Phi_{\text{л}}$ можно определить фактическую освещенность

$$E = \frac{\Phi_{\text{л}} \sum e}{K_3 H_p \cdot 1000}. \quad (2.30)$$

Пример 2.4. Рассчитать осветительную установку, приведенную на рисунке 2.7, для создания освещенности $E_{\text{н}} = 300$ лк при $K_3 = 1,5$. В установке применяют светильники типа ЛСП18 с КСС типа Д-1 с лампами ЛБ; $H_p = 4$ м. Точка A расположена на одинаковом расстоянии от обоих рядов.

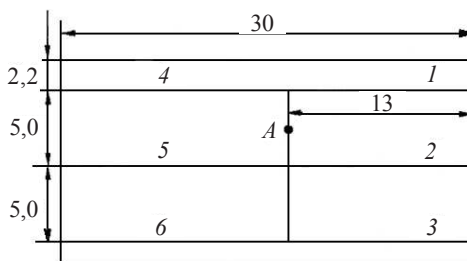


Рис. 2.7. Схема осветительной установки (размеры приведены в метрах)

Решение

Светящие линии разбиваем на полуряды 1–6, как показано на рисунке 2.7. Геометрические размеры d и l для каждого полуряда, определенные на основании схемы осветительной установки, расчетные значения d' и l' , а также значения условной освещенности, создаваемой этими полурядами в точке A , найденные по линейным изолюксам (рис. 3 прил. 3) на основании этих размеров, приведены в таблице 2.10.

Таблица 2.10

Результаты расчета освещенности

Полуряд	d , м	l , м	d'	l'	e , лк
1, 2	2,5	13	0,625	3,25	$2 \cdot 110$
3	7,5	13	1,87	3,25	16
4, 5	2,5	17	0,625	—	$2 \cdot 112$
6	7,5	17	1,87	—	17
					$\Sigma e = 477$

Принимая $\mu = 1,1$, находим плотность светового потока по формуле (2.28):

$$\Phi = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 4 \cdot 1000}{1,1 \cdot 477} = 3430,53 \text{ (лм/м)}.$$

Необходимое количество светильников в ряду (в каждом светильнике по две лампы ЛБ мощностью 36 Вт с $\Phi_{\text{л}} = 3050$ лм каждая (табл. 1 прил. 1) рассчитываем по формуле

$$N_R = \frac{\Phi / l}{2 \Phi_{\text{л}}} = \frac{3430,53 \cdot 30}{2 \cdot 3050} = 16,2 \text{ (шт.)}.$$

Принимаем 16 светильников ЛСП18.

Определяем длину светящейся линии:

$$l = 16 \cdot 1,630 = 26,08 \text{ (м)}.$$

Определяем суммарную длину разрывов:

$$\lambda = 30 - 26,08 = 3,92 \text{ (м)}.$$

Рассчитываем длину одного разрыва:

$$L_A = \frac{3,92}{16} = 0,25 \text{ (м)}.$$

Окончательно принимаем в ряду 16 светильников ЛСП18 с лампами ЛБ 2×36 каждый, размещенных равномерно с расстоянием между светильниками $L_A = 0,25$ м.

Контрольные вопросы и задания

1. Поясните последовательность расчета освещенности от светящейся линии.
2. Поясните, что используют чаще всего для расчета светящейся линии.
3. В каком порядке осуществляется расчет светящейся линии с помощью линейных изолюкс?

2.9. Расчет осветительных установок с помощью компьютерных программ

Методы расчета, рассмотренные выше, называют инженерными. Однако с 1980-х гг. начался переход от ручной технологии

расчета к компьютерной. В настоящее время на рынке программного обеспечения имеются специализированные светотехнические программы, в том числе позволяющие получать визуализацию моделируемых осветительных установок (ОУ).

Подход к построению математических моделей для программ реалистической визуализации сложных сцен получил название глобального освещения. Методологией глобального освещения является совокупность следующих методов: построение яркостной модели сцены; построение трехмерных геометрических моделей объектов и их преобразование при перемещении приемника излучения (камеры); затенение ИС; экранирование одних объектов другими при наблюдении; учет цвета; учет материалов и текстур и т. п. Базисным уравнением глобального освещения, связывающим яркость точки отражающей поверхности с яркостью окружающего пространства, является так называемое уравнение визуализации. Решение данного уравнения представляет значительные трудности. Для практических задач были разработаны специальные методы численного решения этого уравнения. К основным методам подхода к решению уравнения визуализации можно отнести метод излучательности и метод трассировки лучей.

В настоящее время на рынке имеется достаточно большой выбор программных продуктов, которые в той или иной степени можно использовать в качестве светотехнического программного обеспечения (СПО) при проектировании ОУ.

Все разнообразие СПО можно условно разделить на три группы:

- I — СПО для моделирования и фотореалистической визуализации трехмерных сцен (базируются на методах глобального освещения);
- II — программы, в которых используют упрощенные алгоритмы глобального или локального освещения при визуализации трехмерных сцен;
- III — программы, предназначенные для расчета утилитарного освещения (дорог и улиц, автотранспортных туннелей, спортивного, промышленного освещения и др.).

Рассмотрим программы, чаще всего применяемые в проектных организациях при проектировании осветительных установок:

1) DIALux 4.10. Программа разработана германским институтом прикладной светотехники (DIAL) и распространяется свободно по сети Интернет. Она позволяет загружать (в виде

вспомогательных программ) базы данных СП около 40 ведущих фирм — производителей световых приборов. Кроме того, она предоставляет возможность загружать файлы с фотометрическими данными световых приборов в форматах IES и LDT. Программа предназначена для проектирования освещения интерьеров, экстерьеров и дорожного освещения. Она ориентирована на быстрый расчет, поэтому эффективно работает со сценами, не перегруженными мелкими деталями. Кроме основной программы имеются версии для наружного освещения DIALuxExt и упрощенная версия DIALuxLight для проведения типовых расчетов. Интерфейс программы русифицирован, имеется также руководство пользователя на русском языке;

2) Calculux. Программа фирмы «Philips Lighting» существует в нескольких модификациях (AREA — для открытых площадок и ROAD — для дорог). Хотя основным форматом данных Calculux является Philips Phillum, программа позволяет вводить и другие фотометрические форматы (IES, LDT, TM14 и др.). Calculux позволяет рассчитывать освещенность на прямоугольных поверхностях в любой плоскости, определяемой пользователем. В программе можно самостоятельно задавать количество расчетных точек, создавать группы светильников и при этом ориентировать как отдельный светильник, так и целую их группу. В программе AREA задано большое количество стандартных спортивных площадок, что очень удобно при расчете закрытых и открытых сооружений. Есть возможность выбора языка для интерфейса и отчета. Программа предоставляется для свободного скачивания с сайта компании «Philips Lighting»;

3) Faellite 6.0. Программа разработана компанией «OxyTech» (Италия) по заказу компании «Pael Luce» (Италия) для расчета освещенности и яркости в помещениях, на открытых площадках и на улице. Она позволяет рассчитать горизонтальную, вертикальную и полуцилиндрическую освещенность, яркость поверхности и коэффициент дискомфорта. Для спортивных объектов и концертных залов программа обеспечивает расчет вертикальной освещенности по направлению к главной и вспомогательным телекамерам. Имеется возможность преобразования фотометрических данных светильников из внутреннего формата в другие, наиболее распространенные — TM14, LDT. Кроме того, Faellite 6.0 позволяет использовать созданные в

AutoCAD трехмерные модели мебели (в формате DXF). Результаты светотехнических расчетов могут быть представлены в отчете в графическом, табличном или трехмерном виде. Имеются дружественный интерфейс на английском и других европейских языках и возможность вывода отчета на русском языке. Программа распространяется бесплатно;

4) Light-in-Night Road 5.0. Разработанная российской компанией ЗАО НПСП «Светосервис» программа является специализированным продуктом для расчета уличного и паркового освещения. Программа имеет закрытую базу данных, содержащую номенклатуру уличных и парковых светильников. Она базируется на российской методологии расчета и отечественных нормах, а также принятых в России фотометрических характеристиках дорожных покрытий. Кроме основных расчетных параметров (распределения яркости и освещенности в графическом и табличном виде) программа позволяет определить другие нормируемые показатели: общий и продольный коэффициенты равномерности яркости, показатель ослепленности, полуцилиндрическую освещенность. Программа имеет русскоязычные интерфейс, справку и отчет и обеспечивается оперативной технической поддержкой. Распространяется бесплатно.

Пример последовательности светотехнического расчета интерьера в программе DIALux. Перед тем как приступить к расчету ОУ в программе DIALux, необходимо:

а) выбрать нормируемые количественные и качественные показатели освещения, коэффициенты запаса (согласно российским или европейским нормам);

б) выбрать ИС по определенным параметрам (тип, мощность, напряжение, световой поток, световая отдача, спад светового потока, яркость, цветовая температура, общий индекс цветопередачи, срок службы, пульсация светового потока, время разгорания, габаритные размеры, тип цоколя, тип балласта, стоимость);

в) выбрать СП по определенным параметрам (мощность, тип КСС, КПД, защитный угол, IP, габаритные размеры, способ установки, масса, стоимость).

Затем можно приступить к работе в программе по следующему алгоритму:

1) задание геометрических параметров помещения (длина, ширина, высота);

2) выбор коэффициента запаса. В компьютерной программе выбирают коэффициент уменьшения – величину, обратную коэффициенту запаса ($1/K_z$);

3) выбор и построение колонн, окон и дверей помещения;

4) выбор рабочей поверхности (или краевой зоны);

5) выбор материала и текстуры, а значит коэффициентов отражения потолка, стен и пола помещения;

6) выбор мебели, оргтехники, растительности и т. п. в помещении;

7) выбор ИС из собственного каталога программы DIALux либо из каталога фирмы-производителя (ИС должен иметь параметры, которые уже были выбраны);

8) выбор СП из собственного каталога программы DIALux либо из каталога фирмы-производителя (необходимо найти именно тот СП, который был предварительно выбран);

9) выбор вида установки светильника (монтажа) (подвесной, потолочный, встроенный и т. д.);

10) определение рабочей плоскости (горизонтальная, вертикальная) и ее высоты;

11) расстановка светильников;

12) расчет осветительной установки;

13) вывод результатов расчета в цифровом виде, в виде изолюкс или в грациях серого (рис. 2.8);

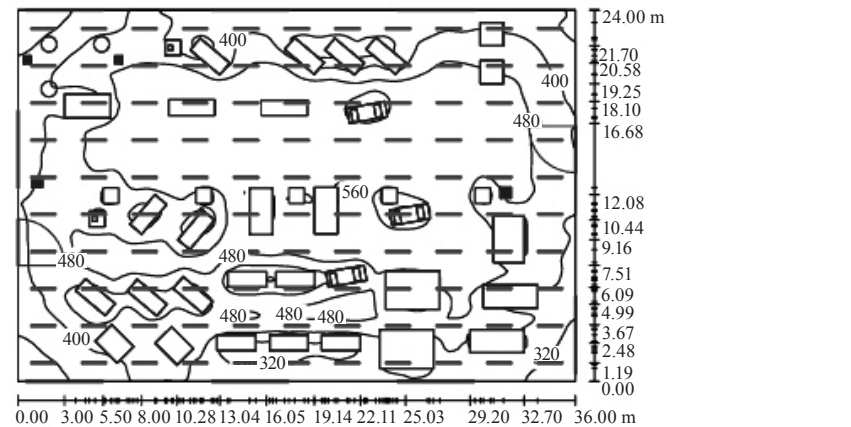
14) вывод резюме расчета;

15) фотореалистическая визуализация ОУ, расчет помещения в псевдоцветах. Оценка равномерности освещенности в ОУ (рис. 2.9);

16) расчет показателя UGR и сравнение его с нормируемыми значениями (рис. 2.10);

17) оценка количественных и качественных показателей освещения и удельной мощности ОУ;

18) корректировка проекта (выбор других ИС и СП) в случае неудовлетворительного результата.



Высота помещения: 6.000 m. Монтажная высота: 6.000 m. Коэффициент эксплуатации: 0.56

Поверхность	ρ [%]	E_{cp} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_{cp}
Рабочая плоскость	/	448	189	575	0.422
Полы	27	345	37	520	0.106
Потолок	70	156	64	334	0.409
Стенки (4)	50	323	172	617	/

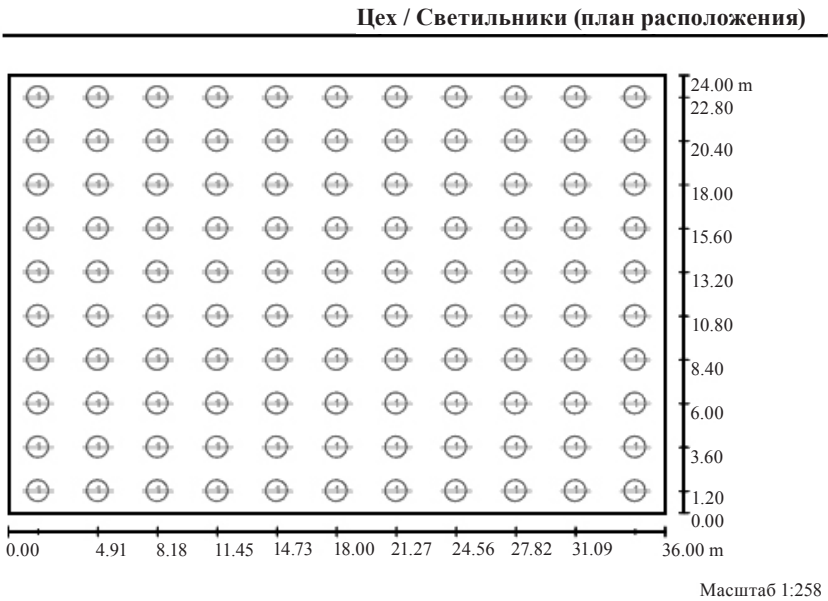
Рабочая плоскость:
Высота: 0.800 m
Растр: 128×128 точки
Красная зона: 0.000 m

Ведомость светильников

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	Φ [lm]	P [W]
1	110	ASTZ ACT3 KCG44-2×80-012 (1.000)	12300	160.0
Всего:			1353000	17600.0

Удельная подсоединенная мощность: $20.37 \text{ W/m}^2 = 4/54 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (поверхность основания: 864.00 m^2)

Рис. 2.8. Результаты расчета в цифровом виде, в виде изолюкс или в градациях серого

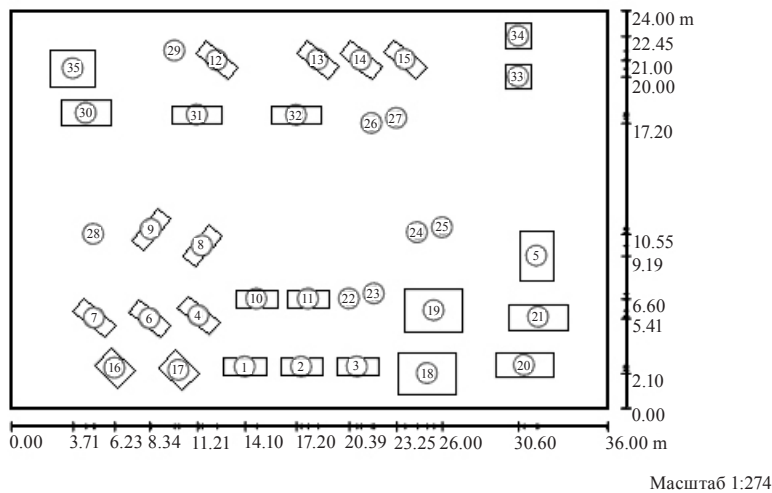


Ведомость светильников

№	Шт.	Обозначение
1	110	ASTZ ACT3 KCG44-2×80-012

Рис. 2.9. Равномерность освещенности в ОУ

Цех / Расчетные поверхности (обзор результатов)



Список расчетных поверхностей

№	Обозначение	Тип	Растр	E_{cp} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_{cp}	E_{min} / E_{max}
1	Расчетные поверхности токарно-винторезного станка 5	По вертикали	4×2	485	474	495	0.977	0.958
2	Расчетные поверхности токарно-винторезного станка 4	По вертикали	4×2	496	484	506	0.977	0.957
3	Расчетные поверхности токарно-винторезного станка 3	По вертикали	4×2	511	500	521	0.979	0.959
4	Расчетные поверхности токарно-винторезного станка 14	По вертикали	4×2	560	555	564	0.991	0.985

Сводка результатов

Тип	Число	E_{cp} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_{cp}	E_{min} / E_{max}
по вертикали	35	499	360	581	0.72	0.62

Рис. 2.10. Нормируемые показатели ОУ

Контрольные вопросы и задания

1. Перечислите компьютерные программы, применяемые для расчета осветительных установок.
2. Изложите последовательность расчета в программе DIALux.

ГЛАВА 3. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОСВЕЩЕНИЯ

3.1. Схемы электрических осветительных сетей

Все сети освещения разделяют на питающие и групповые. К питающей сети относят линии от трансформаторных подстанций или других точек питания до групповых щитков, а к групповой — линии от групповых щитков до светильников. В начале каждой питающей линии устанавливают аппараты защиты и отключения. В начале групповой линии обязателен аппарат защиты. Отключающие аппараты можно не устанавливать при наличии их по длине линии или управлении освещением аппаратами, установленными в линиях питающей сети.

Выбор конкретной схемы питания производят с учетом всех условий электроснабжения объекта, для которого проектируют осветительную установку.

На большинстве промышленных предприятий и практически во всех общественных и жилых зданиях питание внутреннего и наружного освещения осуществляется от трансформаторов, общих для силовых и осветительных электроприемников, со вторичным напряжением 400/230 В при глухом заземлении нейтрали. Самостоятельные осветительные трансформаторы применяют иногда для наружного освещения в больших городах и на некоторых промышленных предприятиях.

В крупных производственных объектах, где размещается значительное число трансформаторов, необходимых для электросиловых нагрузок, питание освещения рекомендуется выполнять не от всех трансформаторов, а от минимального их числа. При этом должны использоваться только такие трансформаторы, на шинах низшего напряжения которых частота и глубина резких изменений напряжения, вызванных работой силовых электро-

приемников, не превышают допустимых. На промышленных предприятиях при питании силовых электроприемников напряжением 660/400 В с глухим заземлением нейтрали светильников, рассчитанные на напряжение 380 В, могут питаться от общих с силовыми электроприемниками трансформаторов. Питание остальных осветительных электроприемников осуществляется от промежуточных трансформаторов 660/400–230 В или от отдельных трансформаторов 10(6) кВ/400–230 В, от которых питаются также некоторые силовые электроприемники.

При питании внутреннего освещения от КТП нецелесообразно использовать мощные линейные автоматические выключатели для защиты линий питающей сети, так как их номинальные данные могут быть значительно выше мощности линий. Поэтому вблизи КТП устанавливают магистральные щитки с автоматическими выключателями, от которых питаются групповые щитки.

Питание групповых щитков рабочего и аварийного освещения в производственных и общественных зданиях должно осуществляться от независимых источников питания. Допускается питание рабочего и аварийного освещения от разных трансформаторов одной двухтрансформаторной подстанции при питании трансформаторов от двух независимых источников.

Схемы питания электрического освещения должны обеспечивать необходимую степень надежности электроснабжения, простоту и удобство эксплуатации и управления, экономичность осветительной установки.

На рисунке 3.1 приведены схемы питания электрического освещения от вводно-распределительного устройства (ВРУ) совместно с силовыми электроприемниками.

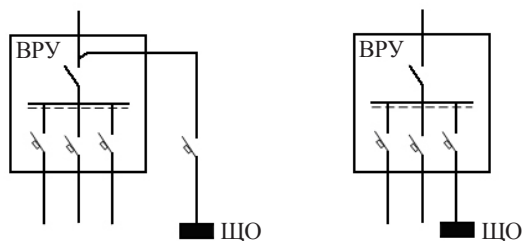


Рис. 3.1. Схема питания ОУ от ВРУ: ЩО — осветительный щиток

На рисунке 3.2 приведены схемы питания рабочего и аварийного освещения от одной однотрансформаторной подстанции.

Осветительные щитки питаются по отдельным линиям от щита подстанции (рис. 3.2, *а*) или по общей линии с разделением ее на вводе в здание (рис. 3.2, *б*).

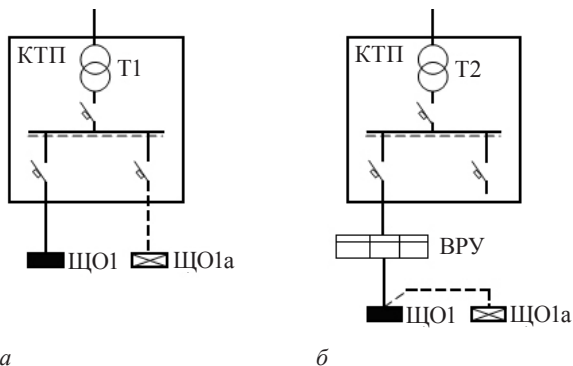


Рис. 3.2. Схема питания рабочего и аварийного освещения от однитрансформаторной подстанции

Для электрических нагрузок второй категории электро-снабжения могут использоваться схемы питания освещения от двух однитрансформаторных подстанций, причем для рабочего и аварийного освещения применяют разные трансформаторы (рис. 3.3).

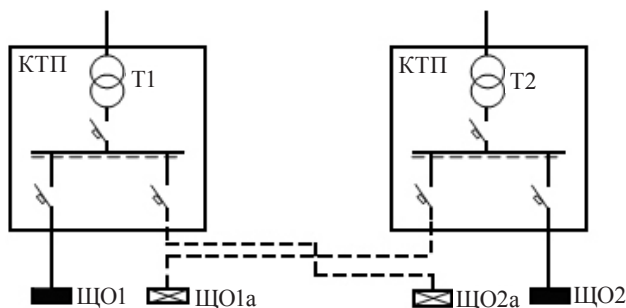


Рис. 3.3. Схема питания ОУ от двух однитрансформаторных подстанций

При наличии в системе электроснабжения здания двухтрансформаторных подстанций щитки рабочего и аварийного освещения подключают от разных трансформаторов (рис. 3.4).

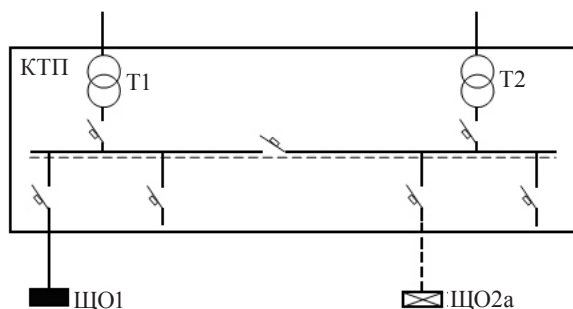


Рис. 3.4. Схема питания ОУ от двухтрансформаторной подстанции

В линейных шкафах комплектных трансформаторных подстанций устанавливают определенное количество аппаратов защиты, имеющих большие значения номинальных токов, поэтому используют магистральные осветительные щитки (МЩО), от которых питаются групповые щитки (рис. 3.5).

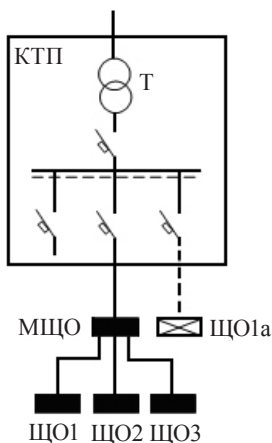


Рис. 3.5. Схема питания ОУ от магистрального щитка

Для электроустановок первой категории электроснабжения в качестве второго источника питания аварийного освещения применяют аккумуляторные батареи, генераторы с дизельными или бензиновыми двигателями, а также используют электрические связи с ближайшими независимыми источниками (рис. 3.6).

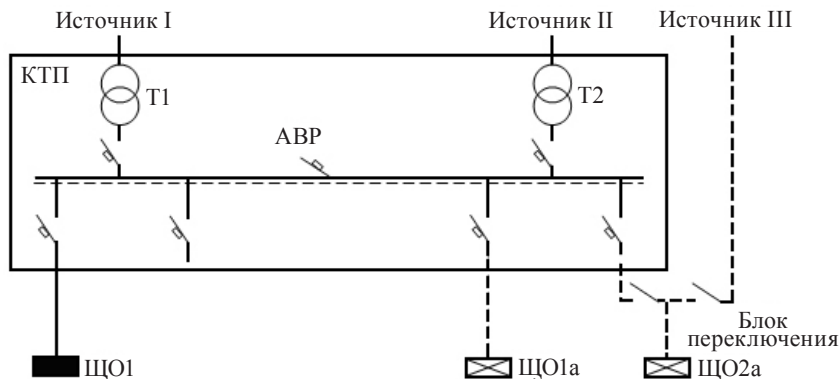


Рис. 3.6. Схема питания аварийного освещения от третьего независимого источника

Данную схему используют и в качестве третьих независимых источников при питании электроустановок особой категории электроснабжения.

При трехфазной системе с нулевым проводом групповые линии могут быть одно-, двух- и трехфазными. Каждая линия имеет по всей длине одинаковое число проводников одного и того же сечения.

Загрузка фаз в пределах каждого щитка и линии должна быть достаточно равномерной. Разница в нагрузке фаз отдельных групповых линий не должна превышать 30 %, а в начале питающих линий — 10 %.

Переход от трех(четырёх-)проводных одно- и двухфазных линий к четырех(пяти-)проводным двух- и трехфазным линиям позволяет применить удобные по конструктивным соображениям сечения проводников (в групповых сетях преимущественно должны быть проводники небольших сечений); уменьшить общее число проводников, прокладываемых по одной трассе (так, замена трех однофазных линий одной трехфазной уменьшает число проводников в 1,5 раза); уменьшить потери напряжения при том же расходе проводникового материала или обеспечить экономию проводникового материала при той же потере напряжения, что и в двухпроводных линиях; осуществить распределение светильников с газоразрядными лампами между различными фазами сети в целях уменьшения пульсации светового потока.

Возможны три варианта распределения ламп между фазами $L1$, $L2$, $L3$ в трехфазной группе (рис. 3.7).

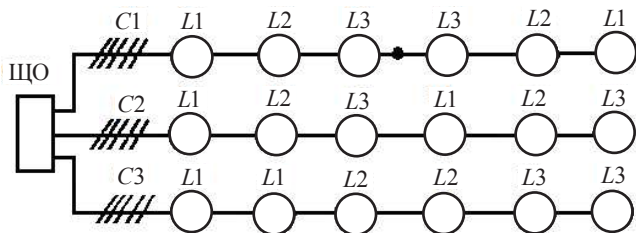


Рис. 3.7. Распределение ламп между фазами:
C1–C3 – групповые линии

Вариант, показанный на линии C1, является наиболее оптимальным с точки зрения потерь напряжения, так как центры сосредоточенных нагрузок всех фаз в этом случае совпадают.

Однако данный вариант не является лучшим в отношении ослабления пульсаций светового потока ламп и создает случайное распределение освещенности вдоль линии при отключении одной или двух фаз.

Наиболее часто на практике применяют распределение светильников по фазам, показанное на линии C2. Такое распределение обеспечивает в максимальной степени снижение пульсаций и относительно равномерную освещенность помещения при отключении одной или двух фаз линии.

Вариант, изображенный на линии C3, применяют редко. Он может быть использован, когда освещение производственного помещения должно включаться по участкам. По сути в данном варианте имеет место не трехфазная группа, а три однофазные с общими нулевыми проводниками.

Для освещения проходов и лестничных клеток желательно предусматривать отдельные групповые линии. При распределении светильников по группам необходимо учитывать расположение помещений относительно осветительных щитков.

Контрольные вопросы и задания

1. Что называют питающей, распределительной и групповой осветительной сетью?

2. Расскажите, какие требования предъявляют к осветительным сетям.
3. Назовите схемы питания осветительных установок.
4. Поясните, для чего применяют распределение фаз в групповых осветительных сетях.

3.2. Конструктивное исполнение и выбор способа прокладки осветительных сетей

Осветительные сети являются наиболее распространенным видом инженерных коммуникаций, так как их прокладывают во всех помещениях, где только могут находиться люди. В силу своего характера и назначения они должны отвечать ряду требований, а именно:

- 1) обеспечивать бесперебойность и надежность питания осветительных установок в любых конкретных условиях среды;
- 2) предусматривать для исполнения минимальную затрату средств и дефицитных материалов, в первую очередь меди и стальных труб;
- 3) обеспечивать пожаро-, взрывобезопасность и защиту от поражения электрическим током;
- 4) обеспечивать прокладку сетей промышленными методами, при которых максимальное число подготовительных и заготовочных работ может быть выполнено в условиях заводов или мастерских электромонтажных заготовок;
- 5) по возможности допускать замену поврежденных или изношенных проводов в процессе эксплуатации;
- 6) по возможности быть наглядными, доступными для обслуживания и не портящими внешний вид помещений;
- 7) обладать достаточной прочностью и устойчивостью к возможным механическим воздействиям.

В осветительных сетях всех напряжений следует применять провода и кабели с изоляцией, рассчитанной на номинальное напряжение сети.

В осветительных сетях применяют провода и кабели различных марок (марки указаны для проводников с алюминиевыми жилами, аналогичные изделия с медными жилами отличаются отсутствием в маркировке начальной буквы А):

• АПР — одножильный провод с резиновой изоляцией в оплетке из пропитанной хлопчатобумажной пряжи. Ранее широко

использовался для открытой проводки на изолирующих опорах. Сейчас имеет ограниченное применение в условиях среды, близких к нормальным, для прокладки на изоляторах поперек ферм, для проводки в изоляционных трубах, на тросах и в лотках;

- АПВ — одножильный провод с поливинилхлоридной изоляцией. Проводка, выполненная этими проводами, устойчива к большинству химических воздействий. Провод имеет универсальное применение, так как может прокладываться в любых трубах, лотках, открыто на изоляторах, по тросам, непосредственно по основанию и даже скрыто без труб;

- АПРТО — провод по конструкции аналогичен проводу АПР, но имеет более надежную изоляцию, поэтому специально предназначен для проводки в стальных и других трубах. Выпускается на разное число жил, но в осветительных сетях рекомендуются одножильные провода;

- АПРФ (ранее АТПРФ) — провод с 1–3 жилами с резиновой изоляцией, в металлической фальцованной оболочке. Служит для открытой прокладки по основанию в сухих, влажных и жарких помещениях. Ранее широко применялся, но постепенно был вытеснен различными видами скрытой проводки;

- АРТ — провод с 2–4 жилами и резиновой изоляцией, в конструкцию которого входит несущий трос;

- АППВ и АППВС — плоские провода с 2, 3 жилами, поливинилхлоридной изоляцией. Провода АППВ имеют между жилами разделительную пленку, через которую гвоздями или шурупами крепятся к основанию. Провода АППВС такой пленки не имеют и специально предназначены для скрытой проводки без труб;

- АНРГ, АВВГ, АВРГ — бронированные кабели с 2–4, а в некоторых случаях с 5 жилами, имеющие наиритовую оболочку, резиновую изоляцию либо поливинилхлоридную изоляцию и оболочку. Провод АНРГ в основном предназначен для сырых и особо сырых помещений, провода АВВГ и АВРГ — для помещений с химически активной средой. Оболочка кабелей двух последних марок не должна подвергаться действию прямых солнечных лучей, так как может размягчаться при нагреве.

В осветительных сетях следует, как правило, применять провода и кабели с алюминиевыми жилами. Провода и кабели с медными жилами согласно ТКП 45-4.04-296-2014 применяют:

- для присоединения передвижных и переносных светильников;

- в помещениях с химически активной по отношению к алюминию средой;
- в помещениях с взрывоопасными зонами классов В-I и В-Ia;
- для прокладки по основаниям, подверженным вибрации;
- зарядки светильников, свободно подвешиваемых светильников и светильников, устанавливаемых на подвижных кронштейнах или переставных стойках;
- открытой прокладки на чердаках.

Групповые электрические сети сечением до 16 мм² следует выполнять кабелями (проводами) с медными жилами.

Виды электропроводок, применяемые в осветительных сетях, должны обеспечивать надежную и долговечную работу сетей в условиях окружающей среды, обладать достаточной механической прочностью и по возможности быть доступны для обслуживания и внешнего осмотра.

Следует преимущественно применять электропроводки, допускающие выполнение электромонтажных работ промышленными методами: самонесущие провода, тросовые и струнные проводки, шинопроводы. Основным достоинством этих проводок является возможность заготовки больших секций в условиях заготовительных мастерских, откуда их доставляют на место монтажа в виде бухт. В комплект секций могут входить не только провода или кабели, но и ответвительные коробки и светильники. Распространена также прокладка в осветительных шинопроводах. Основным эксплуатационным преимуществом последних является гибкость выполненных ими сетей, т. е. возможность по мере необходимости переставлять, добавлять или снимать светильники. За рубежом выпускают шинопроводы для бесштырьного присоединения светильников.

В производственных помещениях с особым режимом чистоты, а также в административных и лабораторных помещениях, как правило, следует применять скрытую электропроводку. Скрытая проводка со сменяемыми проводами, при отсутствии каналов или пустот, должна выполняться в трубах или коробах. Преимущественное применение имеют полиэтиленовые, полипропиленовые и винипластовые трубы, которые, однако, запрещены в пожаро- и взрывоопасных помещениях.

Провода электрических сетей силовых электроприемников постирочных цехов и помещений для приготовления растворов

в прачечных должны быть с медными жилами в пластмассовой изоляции и при подготовке пола — прокладываться в пластмассовых трубах. Выводы труб выше уровня пола и на участке до 1 м при подготовке пола должны выполняться в стальных трубах, защищенных от коррозии и проникновения в них влаги.

Следует строго ограничивать применение электропроводок в стальных трубах в соответствии с правилами по экономному расходованию основных строительных материалов, предусматривая их только в помещениях со взрывоопасными зонами классов В-I и В-II и за подвесными потолками из горючих материалов. Для прокладки электропроводок в трубах следует, как правило, применять одножильные провода.

При прокладке в стальных и других механически прочных трубах, а также в рукавах, коробах, лотках и замкнутых каналах строительных конструкций зданий рекомендуется совместное использование проводов и кабелей (за исключением взаиморезвируемых):

- цепей, питающих сложный светильник;
- цепей нескольких групп одного вида освещения с общим количеством проводов в одной трубе не более восьми;
- линий напряжением до 48 В вместе с линиями напряжением до 400 В при условии заключения первых в отдельную изоляционную трубу.

Открытая прокладка кабелей по лестничным клеткам не допускается, за исключением кабелей сети их освещения. Для открытой прокладки надо выбирать кабели, не распространяющие горение. До высоты 2 м от пола кабели должны иметь защиту от механических повреждений.

Электропроводки в полостях над непроходными подвесными потолками, в фальшполах и внутри пустотных перегородок рассматриваются как скрытые, их следует выполнять сменяемыми проводами и кабелями:

- в стальных трубах с толщиной стенки 2,5 мм — при подвесных потолках, фальшполах, сборных перегородках и их каркасах, изготовленных из материалов групп горючести Г2, Г3, Г4 (кроме каркасов подвесных потолков);
- в поливинилхлоридных трубах и коробах — при подвесных потолках, фальшполах, сборных перегородках и их каркасах,

изготовленных из негорючих материалов (НГ) или материалов группы горючести Г1 (кроме каркасов подвесных потолков);

- открыто кабелями и проводами, не распространяющими горение, с низким дымо- и газовыделением — при подвесных потолках, фальшполах, сборных перегородках и их каркасах, изготовленных из НГ материалов или материалов группы горючести Г1 (кроме каркасов подвесных потолков). При этом должна быть обеспечена возможность доступа к светильникам, ответвительным и протяжным коробкам.

В ванных комнатах, душевых и туалетах должна применяться, как правило, скрытая электропроводка. При этом провода должны быть проложены в поливинилхлоридных или других изоляционных трубках или каналах строительных конструкций. Допускается открытая прокладка кабелей.

Линии аварийного освещения допускается прокладывать как независимо от линий рабочего освещения (по строительным основаниям, на тросах и т. д.), так и следующими способами:

- по внешней поверхности корпусов шинопроводов рабочего освещения;

- в одном с проводами рабочего освещения коробе для установки светильников с ЛЛ при выполнении условия невозможности соприкосновения проводов рабочего и аварийного освещения;

- совместно с проводами рабочего освещения в корпусах светильников с ЛЛ, если таковые предназначены для прокладки питающих проводов и при условии невозможности соприкосновения проводов рабочего и аварийного освещения;

- на общих с проводами рабочего освещения тросах или струнах с расстоянием в свету между проводами рабочего и аварийного освещения не менее 20 мм.

Устанавливать розетки в запираемых складских помещениях, содержащих горючие материалы или материалы в горючей упаковке, запрещается. Электроустановочные аппараты, устанавливаемые скрыто, должны быть заключены в коробки или специальные кожухи, а устанавливаемые открыто — монтироваться на прокладках из непроводящего материала толщиной не менее 10 мм. Установленные в пределах одного здания штепсельные розетки на напряжение 230 В и не выше 48 В должны иметь конструктивные различия, исключающие возможность включения

приемников на несоответствующее напряжение. Это может быть достигнуто применением для разных напряжений розеток и вилок с различным расположением плоских контактов или типом контактов (цилиндрические или плоские). Для присоединения переносных электроприемников, требующих заземления или зануления, необходимо применять штепсельные розетки и вилки с защитным контактом.

Штепсельные розетки в квартирах и общежитиях следует устанавливать в местах, удобных для их использования, и с учетом проектируемой расстановки бытовой и кухонной мебели, но не выше 1 м. Допускается установка штепсельных розеток в (или на) специально приспособленных для этого плинтусах или кабель-каналах из НГ материалов или материалов групп горючести Г1 и Г2. Выключатели для светильников общего освещения устанавливают на высоте 0,8–1,7 м от пола. Разрешается установка выключателей под потолком, управляемых с помощью шнура.

Контрольные вопросы и задания

1. Как конструктивно выполняют осветительные сети?
2. Перечислите способы прокладки осветительных сетей.
3. Какими способами допускается прокладывать линии аварийного или эвакуационного освещения?

3.3. Электрооборудование осветительных сетей.

Защита сетей освещения

Осветительные сети должны иметь защиту от токов короткого замыкания (КЗ), а в некоторых случаях также от перегрузки (требования ТСП 45-4.04-149-2009 (02250)). Максимально допустимая длина однофазных линий зависит от допустимой потери напряжения в линии, что влияет на количество устанавливаемых осветительных щитков.

Защите от перегрузки подлежат сети внутри помещений, проложенные открыто незащищенными изолированными проводниками и с горючей оболочкой; внутри помещений, проложенные защищенными проводниками в трубах, в негорючих строительных конструкциях и т. п.; осветительные в жилых, общественных и торговых помещениях, служебно-бытовых по-

мещениях промышленных предприятий, включая сети для бытовых и переносных электроприемников, а также в пожароопасных производственных помещениях; всех видов во взрывоопасных наружных установках независимо от условий технологического процесса или режима работы сети.

Все остальные сети не требуют защиты от перегрузки и защищаются только от токов короткого замыкания.

Аппараты, установленные для защиты от КЗ и перегрузки, должны быть выбраны таким образом, чтобы номинальный ток каждого из них $I_{\text{ном.з.а}}$ был не менее расчетного тока I_p рассматриваемого участка сети, т. е.

$$I_{\text{ном.з.а}} \geq I_p. \quad (3.1)$$

Осуществляется защита осветительных сетей аппаратами защиты — плавкими предохранителями или автоматическими выключателями, которые отключают защищаемую электрическую сеть при ненормальных режимах.

Для защиты осветительных сетей промышленных, общественных, жилых этажных зданий наибольшее распространение получили одно- и трехполюсные автоматические выключатели с расцепителями, имеющими обратно зависимую от тока характеристику, у которых с возрастанием тока время отключения уменьшается.

Автоматические выключатели, имеющие только электромагнитный расцепитель мгновенного действия (отсечку), во внутренних сетях общественных и жилых зданий применять, как правило, не следует.

Аппараты защиты электрической сети от токов КЗ должны обеспечивать отключение аварийного участка с минимальным временем с соблюдением требований селективности. Для обеспечения селективности защит участков электрической сети номинальные токи аппаратов защиты (ток плавких вставок предохранителей или токи уставок автоматических выключателей) каждого последующего по направлению к источнику питания следует принимать выше не менее чем на две ступени, чем предыдущего, если это не приводит к завышению проводов. Разница не менее чем на одну ступень обязательна при всех случаях.

Номинальные токи уставок автоматических выключателей и плавких вставок предохранителей следует выбирать по возможности наименьшими по расчетным токам защищаемых участков сети, при этом должно соблюдаться соотношение между наи-

большими допустимыми токами проводов $I_{\text{доп}}$ и номинальными токами аппаратов защиты I_z :

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_z K_{\text{заш}}}{K_{\text{п}}}, \quad (3.2)$$

где $K_{\text{заш}}$ — коэффициент кратности защиты; $K_{\text{п}}$ — поправочный коэффициент на условия прокладки проводников; $I_z = I_{\text{ном.пл.вст}}$, если линия защищается предохранителями; $I_z = I_{\text{ном.з.а}}$, если линия защищается автоматическим выключателем.

В сетях, не требующих защиты от перегрузки, принимаются следующие минимальные значения коэффициента $K_{\text{заш}}$:

- 0,33 — для номинального тока плавкой вставки предохранителя;
- 0,22 — для тока уставки автоматического выключателя, имеющего только отсечку;
- 1,0 — для номинального тока расцепителя автоматического выключателя с нерегулируемой обратно зависимой от тока характеристикой;
- 0,8 — для тока трогания расцепителя автоматического выключателя с регулируемой обратно зависимой от тока характеристикой.

Для электрических сетей, защищаемых от перегрузки, значения $K_{\text{заш}}$ принимаются по таблице 3.1.

Таблица 3.1

**Кратность допустимых токовых нагрузок на проводники
по отношению к номинальным токам или токам
срабатывания защиты**

Проводник	Вид защитного аппарата	I_z	$K_{\text{заш}}$
Проводники с поливинилхлоридной и резиновой изоляцией	Предохранитель	Номинальный ток плавкой вставки	1,25
	Автоматический выключатель, имеющий только отсечку	Ток уставки расцепителя	1,25
	Автоматический выключатель с регулируемой обратно зависимой от тока характеристикой	Ток трогания расцепителя	1,0

Окончание табл. 3.1

Проводник	Вид защитного аппарата	I_z	$K_{\text{защ}}$
Кабели с бумажной изоляцией	Предохранитель	Номинальный ток плавкой вставки	1,0
	Автоматический выключатель, имеющий только отсечку	Ток уставки расцепителя	1,0
Проводники всех марок	Автоматический выключатель с нерегулируемой обратной зависимой от тока характеристикой	Номинальный ток расцепителя	1,0
Кабели с бумажной изоляцией и с изоляцией вулканизированным полиэтиленом	Автоматический выключатель с регулируемой обратной зависимой от тока характеристикой	Ток трогания расцепителя	0,8

Пусковые токи для люминесцентных ламп низкого давления ввиду их незначительности могут не учитываться при выборе аппаратов защиты. В то же время пусковые токи мощных ламп накаливания (типов ДРЛ, ДРИ и ДНаТ) следует принимать в расчет при выборе аппаратов защиты.

Для ламп типов ДРЛ и ДРИ кратность пускового тока по отношению к номинальному достигает 1,6, 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.

Номинальные токи защитных аппаратов, применяемых для защиты групповых линий, не должны превышать 25 А. В группах, питающих газоразрядные лампы единичной мощностью 125 Вт и более или лампы накаливания мощностью 500 Вт и более, а также в сетях напряжением до 48 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. Лампы мощностью 10 кВт и более должны питаться отдельными линиями и иметь аппараты защиты, соответствующие их рабочим токам.

Для отстройки аппаратов защиты от пусковых токов источников света должны обеспечиваться отношения тока аппаратов защиты и расчетного тока линии, указанные в таблице 3.2.

Таблица 3.2

**Минимальные отношения тока аппаратов защиты
к расчетному току линии для ламп различных типов**

Аппарат защиты	ЛН	ДРЛ	ЛЛ
Плавкие предохранители	1,0	1,2	1,0
Автоматические выключатели с тепловыми расцепителями, с уставками:			
менее 50 А	1,0	1,4	1,0
50 А и более	1,0	1,0	1,0
Автоматические выключатели с комбинированными расцепителями, с уставками:			
менее 50 А	1,4	1,4	1,0
50 А и более	1,4	1,0	1,0

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 освещения от распределительных магистралей.

Некоторые типа защитных аппаратов, применяемых в осветительных сетях, приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3

**Технические характеристики автоматических
выключателей**

Тип выключателя	Количество полюсов, шт.	Номинальный ток автомата, А	Номинальный ток теплового расцепителя $I_{ном.р}$, А	Кратность тока отсечки по отношению к номинальному току расцепителя
<i>Тип ВА61</i>				
ВА61F29-3С	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

Окончание табл. 3.3

Тип выключателя	Количество полюсов, шт.	Номинальный ток автомата, А	Номинальный ток теплового расцепителя $I_{\text{ном.р}}$, А	Кратность тока отсечки по отношению к номинальному току расцепителя
BA61F29-1B	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
<i>Тип BA51 с комбинированными расцепителями</i>				
BA51-29	1	63	6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 63	—
BA51-31-1	1	100	6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 63; 80; 100	3; 7; 10
BA51-25	3	25	6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25	7; 10
BA51-31	3	100	6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 63; 80; 100	3; 7; 10
BA51-33	3	160	80; 100; 125; 160	10
BA51-35	3	250	80; 100; 125; 160; 200; 250	12
BA51-37	3	400	250; 320; 400	10
BA51-39	3	630	400; 500; 630	10

Щитки, применяемые в осветительных установках, предназначены для приема и распределения электроэнергии, управления освещением, а также защиты групповых линий при длительных перегрузках и коротких замыканиях. Щитки выбираются в зависимости от условий окружающей среды, числа присоединяемых к ним линий, их расчетных токов и требуемых защитных аппаратов.

На промышленных объектах в осветительных установках могут применяться осветительные щитки типов ЯОУ, ОП, ОЩВ, УОЩВ, ШО8505, распределительные пункты типов ПР8501, ПР11 и др. (табл. 3.4–3.6).

Таблица 3.4

Технические характеристики осветительных групповых щитков серии ЯОУ8500

Тип щитка	Тип вводного аппарата	Автоматические выключатели групповых линий		Способ установки
		Тип	Количество, шт.	
ЯОУ8501	ПВ3-60	АЕ1031-1	6	На стене
ЯОУ8502	ПВ3-100	АЕ1031-1	12	
ЯОУ8503	ПВ3-100	АЕ2044-10	6	
ЯОУ8504	ПВ3-100	АЕ2046-10	2	
ЯОУ8505	ПВ3-60	АЕ1031-1	6	В нише
ЯОУ8506	ПВ3-100		12	
ЯОУ8507	—		6	
ЯОУ8508	—		12	

Таблица 3.5

Технические характеристики осветительных групповых щитков серий ОП, ОЩ, ОЩВ, УОЩВ

Тип щитка	Число однофаз- ных групп	Устройство или аппарат на вводе	Аппарат 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-12АХЛ4	12			

Таблица 3.6

**Технические характеристики осветительных групповых щитков
серии ЩО8505**

Номер схемы	Тип щитка	Номиналь- ный ток расцепителя выключателя ввода, А	Выключатели групповых линий	
			Наибольший номинальный ток расцепи- теля, А	Максимальное количество выключателей, шт.
02	ЩО8505-0206	—	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
16	ЩО8505-1603		63,0	3
16	ЩО8505-1604		31,5	4
16	ЩО8505-1605		31,5	5
16	ЩО8505-1606		20,0	6
16	ЩО8505-1607		20,0	7

Примечание. В щитках применяют автоматические выключатели с комбинированным расцепителем типа ВА61F29-3С (трехполюсные) на вводе и ВА61F29-1В (однополюсные) на групповых линиях.

На лицевой стороне щитков и сборок сети освещения должны быть надписи (маркировка) с указанием наименования щитка или сборки и номера, соответствующего схеме на диспетчерском

пункте. С внутренней стороны (например, на дверцах) должны быть приведены однолинейная схема, надписи с указанием значения тока плавкой вставки на предохранителях или номинального тока автоматических выключателей и наименование электроприемников, получающих через них питание. Автоматические выключатели должны обеспечивать селективность отключения потребителей, получающих от них питание.

Расположение групповых щитков должно отвечать рациональному и экономически целесообразному построению осветительной сети с учетом заданного размещения источников питания, принятой системы управления освещением и т. д. Щитки должны размещаться в местах, постоянно доступных для обслуживания. Щитки, с которых осуществляется оперативное управление освещением, желательно размещать таким образом, чтобы с места их установки были видны управляемые светильники, и по возможности вблизи основного входа в помещение.

Применение для рабочего и аварийного (эвакуационного) освещения общих групповых щитков (даже с секционированными шинами), а также установка аппаратов дистанционного управления обоими видами освещения (за исключением сигнальных ламп и ключей управления) в общих шкафах запрещаются.

Конструктивное исполнение щитков или шкафов, в которых они установлены, должно удовлетворять условиям среды помещений. Следует по возможности выносить щитки из помещений с тяжелыми условиями среды, а также из помещений с пожаро- и взрывоопасными зонами, размещая их в помещениях с более благоприятными условиями среды.

Например, щиток групповой осветительный «МЗ СИАГА» представляет собой цельнометаллический корпус, в который вставляется монтажное шасси. На шасси смонтированы монтажные рейки, на которых установлены автоматические выключатели, устройства защитного отключения (УЗО), N- и PE-зажимы и произведен электрический монтаж. В верхней и нижней частях корпуса предусмотрены надрубы для ввода кабелей и проводов. Замена аппаратов, установленных в щитке, производится без демонтажа щитка. Аппараты, устанавливаемые в щитках, имеют переднее присоединение.

Групповые осветительные щитки изготовляют навесного исполнения. Схема такого щитка представлена на рисунке 3.8.

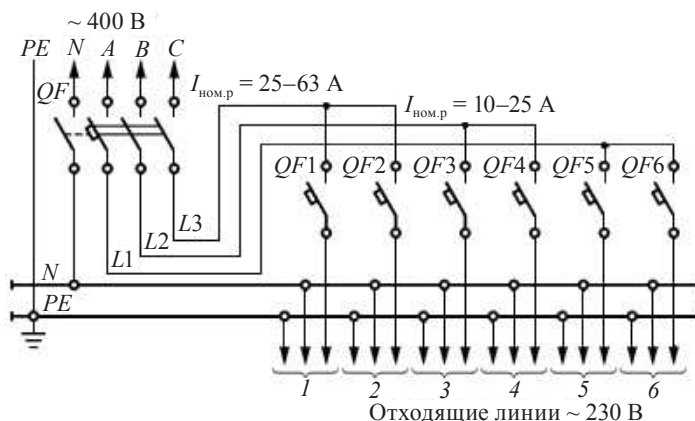


Рис. 3.8. Схема подключения осветительного щитка

Рассмотрим схемы групповых электрощитков с использованием УЗО и дифавтоматов.

Защитное отключение — одно из наиболее эффективных электрозащитных средств. Должна быть обеспечена защита человека от поражения в двух наиболее вероятных и опасных случаях: при прямом и косвенном прикосновении к токоведущим частям электрооборудования.

Под косвенным прикосновением понимается прикосновение человека к открытым проводящим частям электроприбора, на которых в исправном состоянии отсутствует электрический потенциал, но при каких-либо неисправностях, вызвавших нарушение изоляции или ее пробой на корпус, на этих частях возможно появление опасного для жизни человека потенциала.

Для защиты от прямого прикосновения служат меры, предотвращающие прикосновение к токоведущим частям: изоляция токоведущих частей; применение ограждений и оболочек; установка барьеров; размещение вне зоны досягаемости.

Дополнительная защита от электропоражения при прямом прикосновении достигается путем применения УЗО.

УЗО является предохранительным электрозащитным устройством и в сочетании с современными системами заземления (TN-S, TN-C-S) обеспечивает высокий уровень электробезопасности при эксплуатации электроприборов.

В основе действия защитного отключения как электрозащитного средства лежит принцип ограничения продолжительности

протекания тока через тело человека (за счет быстрого отключения) при непреднамеренном прикосновении его к элементам электроустановки, находящимся под напряжением. Из всех известных электрозащитных средств УЗО является единственным, обеспечивающим защиту человека от поражения электрическим током при прямом прикосновении к одной из токоведущих частей.

Функционально УЗО можно определить как быстродействующий защитный выключатель, реагирующий на дифференциальный ток в проводниках, подводящих электроэнергию к защищаемой электроустановке.

Основные функциональные блоки УЗО представлены на рисунке 3.9. Важнейшим функциональным блоком УЗО является дифференциальный трансформатор тока. В абсолютном большинстве УЗО, производимых и эксплуатируемых в настоящее время во всем мире, в качестве датчика дифференциального тока используется именно трансформатор тока.

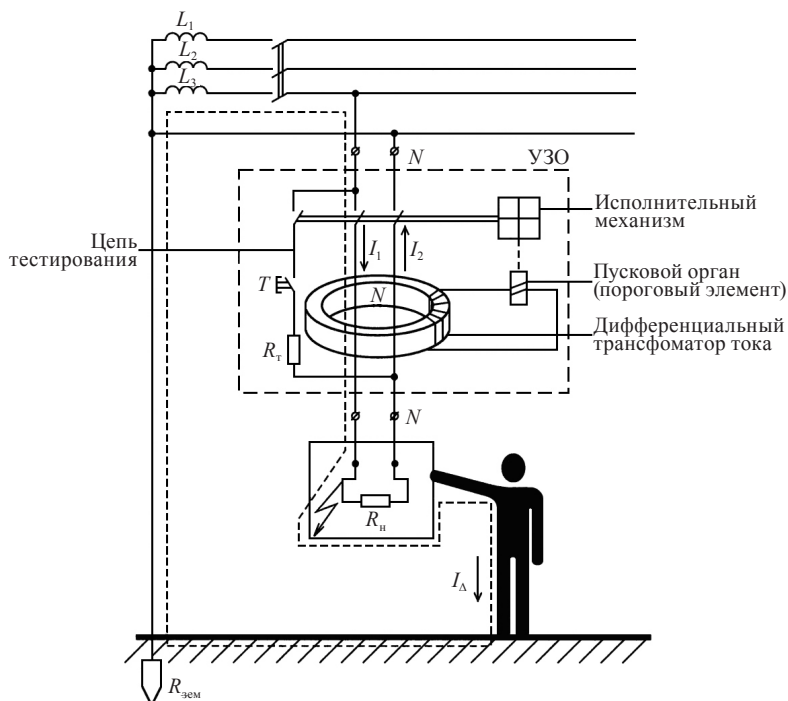


Рис. 3.9. Принцип действия УЗО

Пусковой орган (пороговый элемент) выполняется, как правило, на чувствительных магнитоэлектрических реле прямого действия или электронных компонентах. Исполнительный механизм включает в себя силовую контактную группу с механизмом привода.

Режим № 1. В нормальном режиме, при отсутствии дифференциального тока — тока утечки, в силовой цепи по проводникам, проходящим сквозь окно магнитопровода трансформатора тока, протекает рабочий ток нагрузки. Проводники, проходящие сквозь окно магнитопровода, образуют встречно включенные первичные обмотки дифференциального трансформатора тока. Если обозначить ток, протекающий по направлению к нагрузке, как I_1 , а от нагрузки — как I_2 , то можно записать равенство $I_1 = I_2$.

Равные токи во встречно включенных обмотках наводят в магнитном сердечнике трансформатора тока равные, но векторно встречно направленные магнитные потоки Φ_1 и Φ_2 . Результирующий магнитный поток равен нулю, ток во вторичной обмотке дифференциального трансформатора также равен нулю. Пусковой орган находится в этом случае в состоянии покоя.

Режим № 2. При прикосновении человека к открытым токопроводящим частям или к корпусу электроприемника, на котором произошел пробой изоляции, по фазному проводнику через УЗО кроме тока нагрузки I_1 протекает дополнительный ток — ток утечки (I_D), являющийся для трансформатора тока дифференциальным (разностным).

Неравенство токов в первичных обмотках ($I_1 + I_D$ в фазном проводнике и I_2 , равный I_1 , в нейтральном проводнике) вызывает неравенство магнитных потоков и, как следствие, возникновение во вторичной обмотке трансформированного дифференциального тока. Если этот ток превышает значение уставки порогового элемента пускового органа, последний срабатывает и воздействует на исполнительный механизм.

Исполнительный механизм, обычно состоящий из пружинного привода, спускового механизма и группы силовых контактов, размыкает электрическую цепь. В результате защищаемая УЗО электроустановка обесточивается.

Режим № 3. Для осуществления периодического контроля исправности (работоспособности) УЗО предусмотрена цепь тестирования. При нажатии кнопки ТЕСТ искусственно создается отключающий дифференциальный ток. Срабатывание УЗО означает, что оно в целом исправно. К УЗО, в силу его особого назначения — защиты жизни и имущества человека, предъявляются чрезвычайно высокие требования по надежности, помехоустойчивости, термической и электродинамической стойкости, материалам и исполнению конструкции. Этими особыми требованиями отчасти объясняется сравнительно высокая стоимость современных УЗО.

Конструкции УЗО различных производителей могут отличаться друг от друга не только параметрами, но и схемами подключения. На рисунке 3.10 приведены наиболее распространенные схемы включения УЗО. Кроме того, показано включение УЗО в одно-, двух- и трехфазном вариантах.

При включении УЗО по неполнофазному варианту необходимо обратить внимание на правильность подключения проводников к клеммам устройства — должна быть подключена цепь тестирующего резистора. Схему подключения приводят на лицевой или боковой поверхности корпуса УЗО.

Применение УЗО типа А целесообразно в обоснованных случаях, например в цепях, содержащих потребители с тиристорным управлением без разделительного трансформатора. УЗО типа В применяют в промышленных электроустановках со смешанным питанием — переменным, выпрямленным и постоянным токами.

Схемы групповых электрощитков с использованием УЗО и автоматического выключателя дифференциального тока (АВДТ) приведены на рисунке 3.11.

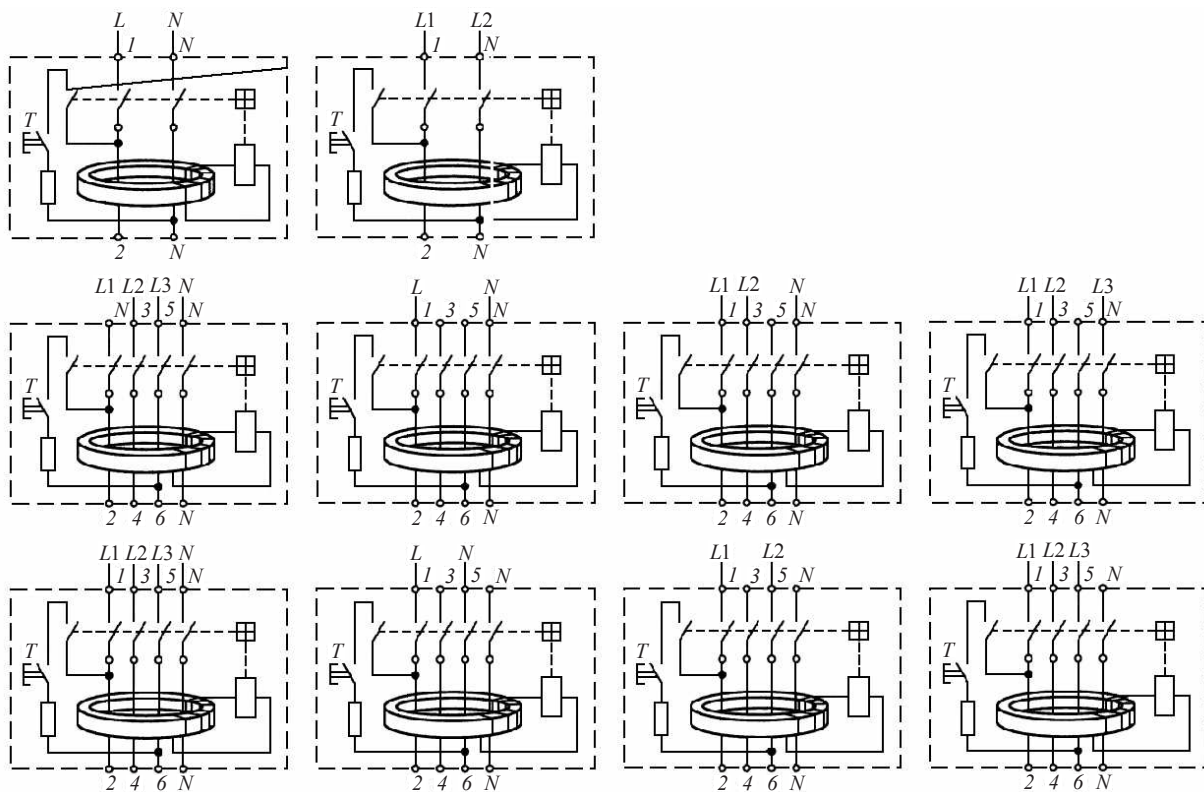


Рис. 3.10. Схемы подключения УЗО

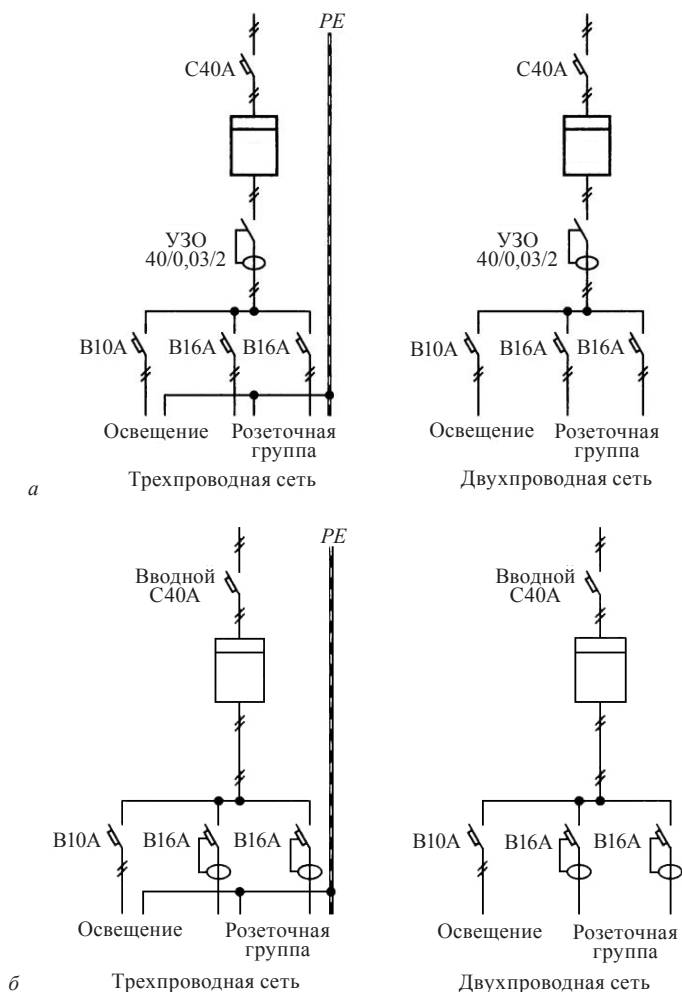


Рис. 3.11. Схемы подключения УЗО и АВДТ

Существует класс УЗО со встроенной защитой от сверхтоков (так называемые комбинированные УЗО или дифавтоматы) (рис. 3.12). Практически все фирмы – производители УЗО имеют в своей производственной программе УЗО со встроенной защитой от сверхтоков.

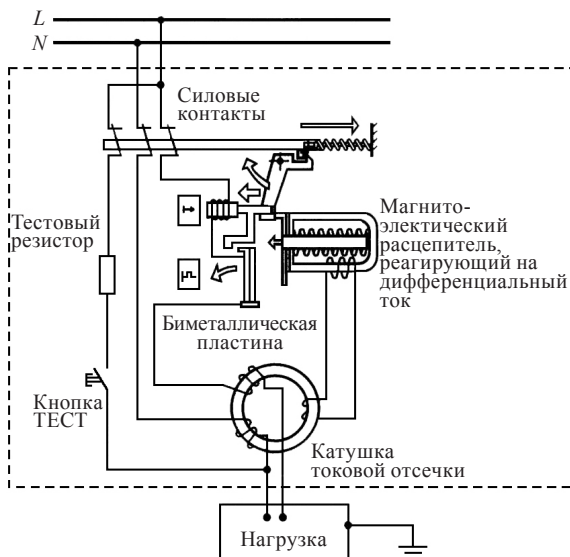


Рис. 3.12. Устройство дифавтомата

Показательным примером является освещение щитов уличных рекламных конструкций, где питание двух-трех люминесцентных ламп осуществляется через комбинированное УЗО с номинальным рабочим током 6 А и номинальным отключающим дифференциальным током 30 мА.

Конструктивной особенностью дифавтоматов является то, что механизм размыкания силовых контактов запускается при воздействии на него любого из трех элементов — катушки с сердечником токовой отсечки, реагирующей на ток короткого замыкания, биметаллической пластины, реагирующей на токи перегрузки, и магнитоэлектрического расцепителя, реагирующего на дифференциальный ток. Применение УЗО со встроенной защитой от сверхтоков целесообразно лишь в обоснованных случаях, например для одиночных потребителей электроэнергии.

Контрольные вопросы и задания

1. Поясните, какие сети защищают от перегрузки.
2. Какие аппараты защиты применяют для защиты осветительных сетей, от чего зависит их выбор?

3. Какие типы осветительных щитков применяют в осветительных сетях?
4. Поясните схему подключения осветительного щитка.
5. Расскажите о назначении УЗО и принципе его действия.
6. Поясните устройство дифавтомата.

3.4. Выбор сечения проводников сетей освещения

Определение установленной и расчетной мощности осветительной установки

Знание электрических нагрузок на освещение необходимо при выборе электрооборудования и расчете осветительных сетей. Электрические нагрузки учитывают также в общих нагрузках зданий, сооружений, установок, производственных объектов и т. п.

Расчетную осветительную нагрузку производственных и общественных зданий, а также наружного освещения определяют исходя из суммарной мощности ламп, полученной в результате светотехнического расчета. Установленную мощность находят суммированием номинальной мощности всех ламп стационарных световых приборов напряжением более 48 В и световых приборов местного освещения. В осветительных установках с разрядными лампами расчетную нагрузку определяют с учетом потерь мощности в ПРА.

Расчетную нагрузку на вводе в здание или в начале питающей линии вычисляют по формуле

$$P_p = K_c \sum_{i=1}^n K_{\text{ПРА}i} P_{\text{ном}i}, \quad (3.3)$$

где K_c – коэффициент спроса осветительной нагрузки; n – число ламп, питающихся по данной линии (установленных в здании или помещении); $K_{\text{ПРА}i}$ – коэффициент, учитывающий потери в ПРА i -й лампы; $P_{\text{ном}i}$ – номинальная мощность i -й лампы (для светодиодных источников света мощность питающих их драйверов принимают от 4 до 150 Вт).

При отсутствии данных обследования осветительных установок коэффициент спроса для расчета питающей сети рабочего освещения производственных зданий следует принимать равным

1,0 — для небольших зданий и линий, питающих отдельные групповые щитки; 0,95 — для помещений, состоящих из отдельных крупных пролетов; 0,9 — для библиотек и административных зданий; 0,85 — для зданий, состоящих из многих отдельных помещений; 0,8 — для лечебных, конторско-бытовых и лабораторных зданий; 0,6 — для складских зданий, состоящих из многих отдельных помещений, а также для электрических подстанций.

Значение $K_{\text{ПРА}}$ принимают равным 1,0 — для ЛН; 1,1 — для ламп типа ДРЛ, ДРИ; 1,2 — для ЛЛ со стартерной схемой включения; 1,3 — для ЛЛ при бесстартерной схеме включения.

В электронных ПРА потери мощности примерно на 20–50 % меньше по сравнению с потерями в электромагнитных ПРА.

Расчетная нагрузка понижающих трансформаторов с вторичным напряжением 12–48 В состоит из установленной мощности стационарных осветительных приборов общего и местного освещения и нагрузки переносного освещения. Для переносного освещения принимают мощность одного ручного светильника 40 Вт при напряжении 12 В и 50 Вт при напряжении 36 и 48 В с коэффициентом спроса, значение которого определяет степень использования переносного освещения. При отсутствии конкретных данных коэффициент спроса для ручных светильников можно считать равным 0,5.

Расчетная нагрузка от понижающих трансформаторов с вторичным напряжением 12, 36, 48 В состоит из мощности осветительных приборов, установленных стационарно, и нагрузки переносного освещения исходя из мощности одного ручного осветительного прибора 40 Вт с коэффициентом спроса 0,5–1,0, принимаемым в зависимости от степени использования переносного освещения.

В зависимости от нагрузки применяют однофазные понижающие трансформаторы ОСОВ-0,25; ОСО-0,25; однофазные комплектные ЯТП-0,25; АМО-3-50 и трехфазные ТС3-1,5/1; ТС3-2,5/1.

Выбор сечений проводов по механической прочности

По механической прочности расчет проводов и кабелей внутренних электрических сетей не производится. В практике проектирования электрических сетей соблюдают установленные стандартом минимальные сечения жил проводов по механической прочности. Наименьшие сечения проводов по механической

прочности для медных жил не менее $1,5 \text{ мм}^2$, а для алюминиевых жил не менее $2,5 \text{ мм}^2$.

Выбор сечений проводов по нагреву

Электрический ток нагрузки, протекая по проводнику, нагревает его. Нормами установлены наибольшие допустимые температуры нагрева жил проводов и кабелей. Исходя из этого определены длительно допустимые токовые нагрузки для проводов и кабелей в зависимости от материала их изоляции, оболочки и условий прокладки.

Сечения проводов и кабелей выбирают по условиям нагрева длительно расчетным током в нормальном режиме и проверяют по потере напряжения, соответствию току выбранного аппарата защиты, условиям окружающей среды.

Сечение жил проводов и кабелей для сети освещения можно определить по таблицам в зависимости от расчетного длительного значения токовой нагрузки при нормальных условиях прокладки при условии

$$I_{\text{доп}} \geq I_p K_n, \quad (3.4)$$

где $I_{\text{доп}}$ — допустимый ток на стандартное сечение провода, А (длительно допустимые токовые нагрузки на провода и кабели); I_p — расчетное значение длительного тока нагрузки, А; K_n — поправочный коэффициент на условия прокладки.

Для выбора сечений проводов и кабелей по допустимому нагреву необходимо определить расчетные токовые нагрузки линий.

Расчетные максимальные токовые нагрузки определяют по следующим формулам:

- для однофазной сети

$$I_p = \frac{P_p}{U_{\phi} \cos \varphi}; \quad (3.5)$$

- для трехфазной (четырёхпроводной) сети

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3} U_{\text{ном}} \cos \varphi}; \quad (3.6)$$

- для двухфазной сети с нулем, при равномерной нагрузке фаз

$$I_p = \frac{P_p}{2U_\phi \cos \varphi}. \quad (3.7)$$

Коэффициент мощности ($\cos \varphi$) следует принимать равным 1,0 — для ламп накаливания; 0,85 — для одноламповых светильников с люминесцентными лампами низкого давления; 0,92 — для многоламповых светильников с люминесцентными лампами низкого давления; 0,5 — для светильников с разрядными лампами высокого давления (ДРЛ, ДРИ); 0,85–0,95 — для светильников со светодиодными лампами.

Пример 3.1. Рассчитать сечение жил и выбрать провода для прокладки групповой сети электроосвещения производственного участка с нормальными условиями окружающей среды.

Электрическая сеть однофазная трехпроводная напряжением 230 В. Кабель прокладывают открыто. Групповая линия состоит из девяти ламп накаливания мощностью 200 Вт. Коэффициент спроса освещения $K_c = 1$.

Решение

Определяем расчетную мощность:

$$P_p = K_c \sum P_n;$$

$$P_p = 1 \cdot 9 \cdot 200 = 1800 \text{ (Вт)}.$$

Определяем расчетный ток по формуле (3.5):

$$I_p = \frac{1800}{230} = 7,82 \text{ (А)}.$$

Минимальное сечение жил проводов определено исходя из механической прочности и составляет 2,5 мм².

Выбираем провод с алюминиевыми жилами сечением 2,5 мм², имеющий длительно допустимый ток 20 А.

При этом 20 А > 7,82 А.

Выбранное сечение удовлетворяет условию, следовательно, выбираем кабель с алюминиевыми жилами марки АВВГ 3×2,5 мм².

Расчет сети по потере напряжения

Нормально допустимые значения установившегося отклонения напряжения ΔU на выводах приемников электрической энер-

гии должно быть равно $\pm 5\%$ от номинального напряжения $U_{\text{ном}}$ электрической сети.

Располагаемая (допустимая) потеря напряжения в осветительной сети, т. е. потеря напряжения в линии от источника питания (шин 0,4 кВ КТП) до последней лампы в ряду, рассчитывается по формуле

$$\Delta U_p = 105 - U_{\text{min}} - \Delta U_T, \quad (3.8)$$

где 105 – напряжение холостого хода на вторичной стороне трансформатора, %; U_{min} – наименьшее напряжение, допускаемое на зажимах источника света, % (принимается равным 95 %); ΔU_T – потери напряжения в силовом трансформаторе, приведенные к вторичному номинальному напряжению и зависящие от мощности трансформатора, его загрузки β и коэффициента мощности нагрузки, %.

Потери напряжения в трансформаторах (масляных) можно определить по таблице 3.7 или по выражению

$$\Delta U_T = \beta(U_a \cos \varphi + U_p \sin \varphi), \quad (3.9)$$

где U_a , U_p – соответственно активная и реактивная составляющие напряжения короткого замыкания трансформатора, которые определяют следующим образом:

$$U_a = \frac{P_k}{P_{\text{ном}}} \cdot 100; \quad (3.10)$$

$$U_p = \sqrt{U_k^2 - U_a^2}, \quad (3.11)$$

где P_k – потери короткого замыкания, кВт; $P_{\text{ном}}$ – номинальная мощность трансформатора, кВ·А; U_k – напряжение короткого замыкания, %.

Таблица 3.7

Потери напряжения в трансформаторах

Мощность трансформатора, кВ·А	Потери напряжения в трансформаторах ΔU_T при различных значениях коэффициента мощности и коэффициенте загрузки $\beta = 1$					
	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
160	1,7	3,3	3,8	4,1	4,3	4,4

Окончание табл. 3.7

Мощность трансформатора, кВ·А	Потери напряжения в трансформаторах ΔU_T при различных значениях коэффициента мощности и коэффициенте загрузки $\beta = 1$					
	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
250	1,5	3,2	3,7	4,1	4,3	4,4
400	1,4	3,1	3,7	4,0	4,2	4,4
630	1,2	3,4	4,1	4,6	4,9	5,2
1000	1,1	3,3	4,1	4,6	5,0	5,2
1600, 2500	1,0	3,3	4,1	4,5	4,9	5,2

Примечание. Для определения ΔU_T его значение, найденное по таблице, следует умножить на фактическое значение коэффициента загрузки β .

Значения P_k и U_k можно определить по таблице 3.8, а более точные значения приводятся в каталогах на трансформаторы (масляные).

Таблица 3.8

Значения P_k и U_k

Мощность трансформатора, кВ·А		160	250	400	630	1000	1600	2500
Потери, кВт	$P_{x.x}$	0,73	1,05	1,45	2,27	3,3	4,5	6,2
	P_k	2,65	3,7	5,5	7,6	11,6	16,5	23,5
Напряжение U_k , %		4,5	4,5	4,5	5,5	5,5	5,5	5,5

Примечание. $P_{x.x}$ — потери холостого хода.

Потери напряжения при заданном значении сечения проводов можно определить по формуле

$$\Delta U = \frac{M}{CS}, \quad (3.12)$$

где M — момент нагрузки, кВт·м; C — коэффициент, зависящий от материала провода и напряжения сети (определяется по табл. 3.9); S — сечение проводника, мм².

При заданном значении потери напряжения можно определить сечение провода:

$$S = \frac{M}{C\Delta U}. \quad (3.13)$$

Таблица 3.9

Значение коэффициента C

Номинальное напряжение сети, В	Система сети, род тока	Коэффициент C проводов	
		медных	алюминиевых
400/230	Трёхфазная с нулем	76,2	46,31
400/230	Двухфазная с нулем	33,7	20,63
230	Однофазная с нулем	12,65	7,74
48	Двухпроводная,	0,48	0,29
24	переменного и по-	0,216	0,132
12	стоянного тока	0,036	0,022

Метод определения момента нагрузки выбирается в зависимости от конфигурации сети освещения:

- в простом случае (рис. 3.13) момент определяется как произведение мощности ламп и длины участка сети:

$$M = P_p L, \quad (3.14)$$

где L — длина участка сети от группового щитка до первого светильника в ряду, м;

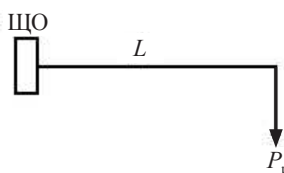


Рис. 3.13. Определение момента в простом случае

- в проектной практике осветительная сеть имеет более сложную конфигурацию (рис. 3.14), момент нагрузки можно определить по формуле

$$M = P_1 L + P_2(L + l_1) + P_3(L + l_1 + l_3) = L(P_1 + P_2 + P_3) + l_1(P_2 + P_3) + l_3 P_3; \quad (3.15)$$

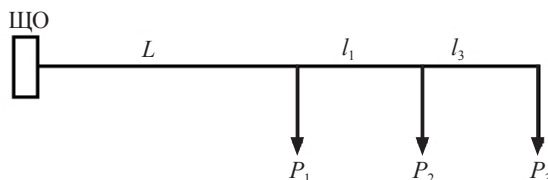


Рис. 3.14. Определение момента сети сложной конфигурации

• для сети с равномерно распределенной нагрузкой (рис. 3.15) момент нагрузки определяется как произведение мощности ламп и половины длины групповой линии:

$$M = \sum P_p L + (l_1 + l_2) / 2. \quad (3.16)$$

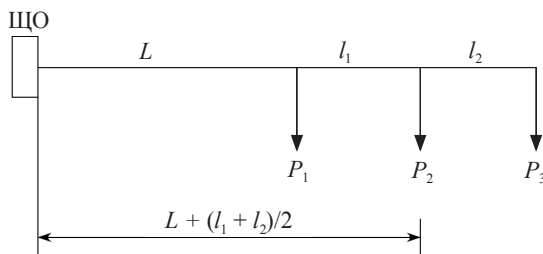


Рис. 3.15. Определение момента для сети с равномерно распределенной нагрузкой

Для сети более сложной конфигурации, когда участки сети имеют разное количество фазных проводов, приведенный момент определяют по формуле

$$M_{\text{пр}} = \sum M + \alpha \sum m, \quad (3.17)$$

где $\sum M$ — сумма моментов данного и всех последующих по направлению тока участков с тем же числом проводов в линии, что и на данном участке; $\sum m$ — сумма моментов питаемых через данный участок линии с иным числом проводов, чем на данном участке; α — коэффициент приведения моментов (определяется по таблице 3.10).

Таблица 3.10

Значение коэффициента приведения моментов

Линия	Ответвление	Коэффициент приведения моментов (α)
Трехфазная с нулем	Однофазное	1,85
	Двухфазное с нулем	1,39
Двухфазная с нулем	Однофазное	1,33
Трехфазная без нуля	Двухпроводное	1,15

Последовательно определяют сечения на всех участках сети освещения, начиная от участка, ближайшего к источнику питания, и округляются до ближайшего большего значения стандартного ряда. По выбранному сечению данного участка определяются потери напряжения в нем. Последующие участки сети рассчитываются по разности между расчетной потерей напряжения и потерями до начала каждого участка.

Пример 3.2. Определить момент нагрузки для групповой сети электроосвещения (рис. 3.16) и выбрать сечение проводов при условии, что допустимая потеря напряжения (ΔU_p) для группового щитка ЩО равна 2,5 %.

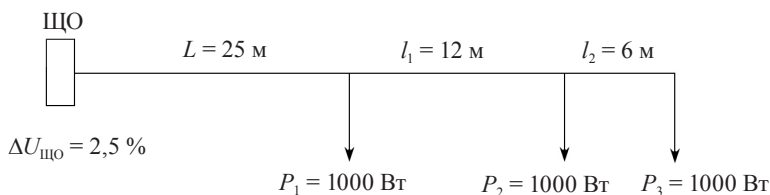


Рис. 3.16. Сеть к задаче 3.2

Решение

Определяем момент нагрузки по формуле (3.15):

$$M = 25 \cdot (1000 + 1000 + 1000) + 12 \cdot (1000 + 1000) + 6 \cdot 1000 = \\ = (75 + 24 + 6) \cdot 1000 = 105 \text{ (кВт}\cdot\text{м)}.$$

Определяем сечение провода по формуле (3.13):

$$S = \frac{105}{44 \cdot 2,5} = 0,95 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

Ближайшее большее стандартное сечение провода 2,5 мм², следовательно для подключения ряда светильников подходит пятижильный кабель сечением 5×2,5 мм².

Пример 3.3. Определить сечение жил кабелей на участках от КТП до МЩ1 и от МЩ1 до ЩО1 (рис. 3.17). Мощность трансформатора КТП 250 кВ·А, коэффициент загрузки 0,8.

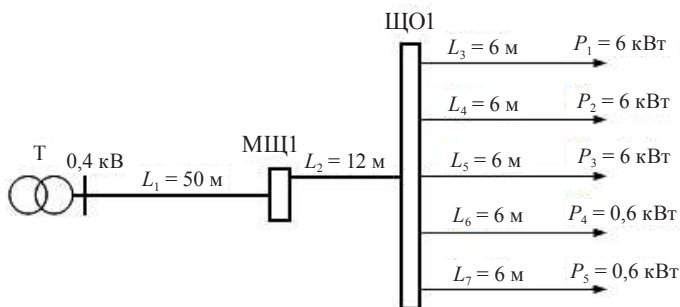


Рис. 3.17. Сеть к задаче 3.3

Решение

Определяем потери напряжения в трансформаторе (по табл. 3.8 $\Delta U_T = 3,7 \%$).

Определяем располагаемую допустимую потерю напряжения по формуле (3.8):

$$\Delta U_p = 105 - 95 - 3,7 = 6,3 \%$$

Определяем моменты нагрузки M_1 и M_2 для участков L_1 и L_2 , кВт·м:

$$M_1 = L_1 P_{1-5} = 50 \cdot 19,2 = 960;$$

$$M_2 = L_2 P_{1-5} = 12 \cdot 19,2 = 230,4.$$

Для сети более сложной конфигурации, когда участки сети имеют разное количество фазных проводов, например участок сети от МЩ1 до ЩО1 – пятипроводная линия, а участок от ЩО1 до групповых линий L_6 и L_7 – трехпроводная, необходимо рассчитать приведенный момент:

$$M_{npL_1} = M_1 + M_2 + \alpha(m_6 + m_7) = 960 + 230,4 + 1,85 \cdot (3,6 + 3,6) = 1203,7 \text{ (кВт·м)}.$$

Определяем сечение жил кабеля на участке L_1 по формуле (3.13):

$$S = \frac{1203,4}{44 \cdot 6,3} = 4,34 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

Принимаем сечение кабеля от трансформатора КТП до МЩ $5 \times 6 \text{ мм}^2$.

Фактическая потеря напряжения на участке L_1 составит

$$\Delta U = \frac{1203,7}{44 \cdot 6} = 4,5 \%.$$

Располагаемые потери напряжения для последующего участка сети от МЩ1 до ЩО1 составят

$$\Delta U = 6,3 - 4,5 = 1,8 \text{ \%}.$$

Определяем приведенный момент $M_{\text{пр}L_2}$ и сечение жил кабеля на втором участке L_2 :

$$M_{\text{пр}L_2} = 230,4 + 1,85 \cdot (3,6 + 3,6) = 243,72 \text{ (кВт}\cdot\text{м)};$$

$$S = \frac{243,72}{44 \cdot 1,8} = 3,07 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

Выбираем кабель сечением $4 \times 4 \text{ мм}^2$:

$$\Delta U = \frac{243,72}{44 \cdot 4} = 1,38 \text{ \%}.$$

Располагаемая потеря напряжения для групповой сети составляет

$$\Delta U = 1,8 - 1,38 = 0,42 \text{ \%}.$$

✍ Контрольные вопросы и задания

1. Объясните, как определяют расчетную осветительную нагрузку производственных и общественных зданий.
2. Как выбирают сечение проводников осветительных сетей по механической прочности?
3. Как выбирают сечение проводников осветительных сетей по допустимому нагреву?
4. Как выбирают сечение проводников осветительных сетей по допустимой потере напряжения?

3.5. Выбор системы заземления и сечения нулевых проводников

В осветительных сетях применяют, как правило, глухозаземленную нейтраль в виде системы TN. Данная система заземления имеет несколько вариантов исполнения: TN-S с разделением нулевого проводника на рабочий N и защитный PE (рис. 3.18); TN-C с использованием одного нулевого проводника PEN , совмещающего функции рабочего и защитного (рис. 3.19); TN-C-S, в котором от трансформаторной подстанции до вводно-распределительного

устройства предусмотрен совмещенный нулевой проводник PEN , а далее два проводника: PE , который служит для зануления токопроводящего оборудования (щитков, светильников и т. п.), и N , используемый для питания однофазных электроприемников, включаемых на фазное напряжение (рис. 3.20).

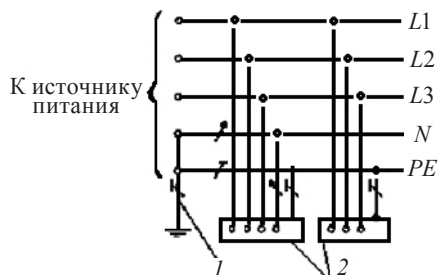


Рис. 3.18. Схема системы TN-S: 1 – заземлитель нейтрали источника переменного тока; 2 – открытые проводящие части

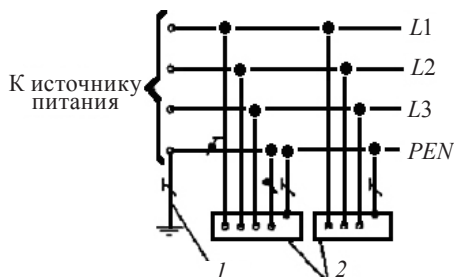


Рис. 3.19. Схема системы TN-C

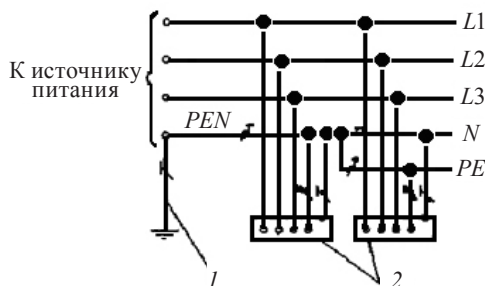


Рис. 3.20. Схема системы TN-C-S

Применяемые в обозначении систем заземления обозначения:

- первая буква Т (от фр. *terre* — земля) означает непосредственное присоединение одной точки источника питания (как правило, нейтрали) к земле;

- вторая буква N (от фр. *neutre* — нейтраль) характеризует непосредственную связь открытых токопроводящих частей оборудования здания с точкой заземления источника питания с помощью нулевого проводника и предопределяет необходимость зануления в электрических сетях переменного тока;

- буква S (от фр. *separe* — сепарация) — функции нулевого рабочего и нулевого защитного проводников обеспечивают раздельными проводниками *N* и *PE*;

- буква C (от фр. *combine* — комбинация) — функции нулевого рабочего и нулевого защитного проводников выполняет общий проводник *PEN*.

Достоинства подсистемы TN-S. Это наиболее современная и безопасная система заземления. Рекомендуются при строительстве новых зданий. Способствует хорошей защите человека, оборудования, а также защиты зданий.

Недостатки подсистемы TN-S. Высокая стоимость ограничивает распространение. Эта подсистема требует прокладки от трансформаторной подстанции пятижильного кабеля в трехфазной сети или трехжильного кабеля в однофазной сети, что приводит к удорожанию проекта.

Достоинства подсистемы TN-C. Это наиболее распространенная подсистема, экономичная и простая.

Недостатки подсистемы TN-C. У данной системы нет отдельного проводника *PE* (защитное заземление). Это означает, что в жилом доме в розетках отсутствует заземление. Нередко при такой системе делается зануление (это крайняя мера, рассчитанная на эффект короткого замыкания). Если проводник фазы окажется на корпусе прибора, произойдет короткое замыкание, в итоге сработает автоматический выключатель на отключение.

Достоинства подсистемы TN-C-S. Подсистема рекомендована для широкого применения. Технически достаточно легко выполняема. При переходе с подсистемы TN-C требует несложной модернизации.

Недостатки подсистемы TN-C-S. Нуждается в модернизации стояков; при обрыве *PEN*-проводника электроприборы могут оказаться под опасным потенциалом.

Нулевые рабочие проводники электрической сети подключают к шине *N*, а защитные — к шине *PE*. По сути система TN-C-S является сочетанием двух предыдущих вариантов и в большинстве случаев соответствует требованиям в отношении надежности электрооборудования и электробезопасности.

Основные требования, которые необходимо учитывать при выборе нулевых проводников, представлены в таблице 3.11.

Таблица 3.11

Сечения нулевых проводников

Линии	Требования к сечению
1. Однофазные (двухпроводные) и симметрично нагруженные двухфазные (трехпроводные)	Сечение должно быть равным сечению фазных проводов
2. Трехфазные питающей сети и групповые с одновременным отключением всех фаз, рассчитываемые как симметрично нагруженные	Сечение должно быть приблизительно равным половине сечения фазных проводов, если не требуется большего размера сечения, соответствующего пунктам 6, 7
3. Трехфазные групповой сети с раздельным отключением фаз, рассчитываемые как симметрично нагруженные	Пропускная способность должна соответствовать току каждого из фазных проводов
4. Многопроводные, обслуживающие приемники с местным управлением, имеющие совмещенный нулевой провод	Пропускная способность должна соответствовать суммарному току проводов наиболее нагруженной фазы
5. Двух- и трехфазные, рассчитываемые как несимметрично нагруженные	Сечение определяется расчетом и может превышать сечение части фазных проводов. При раздельном отключении фаз пропускная способность должна соответствовать току наиболее нагруженной фазы
6. Питающие тиристорные ограничители напряжения или обслуживаемые этими ограничителями	Пропускная способность должна соответствовать току наиболее нагруженной фазы
7. Линии, по которым проходит ток газоразрядных ламп с компенсированными ПРА или с групповой компенсацией реактивной мощности	Пропускная способность должна соответствовать току наиболее нагруженной фазы, а в линиях со смешанной нагрузкой — току, определенному как сумма 90 % рабочего тока газоразрядных ламп и 30 % тока ламп накаливания для той фазы, где эта сумма имеет наибольшее значение

Линии	Требования к сечению
8. Питающие газоразрядных ламп при некомпенсированной реактивной мощности, включая линии между групповыми конденсаторами и ДРЛ или ДРИ	Как для пунктов 1–6

 Контрольные вопросы и задания

1. Какие системы заземления применяются в осветительных сетях?
2. Поясните, как устроена система TN-S.
3. Поясните, как устроена система TN-C.
4. Поясните, как устроена система TN-C-S.
5. Какие требования необходимо учитывать при выборе нулевых проводников?

ГЛАВА 4. УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ОСВЕЩЕНИЕМ

4.1. Основные принципы организации и схемы управления электрическим освещением

Системы и способы управления освещением можно разделить на следующие виды:

1) местное — прямое управление — установка аппаратов управления (выключатели, автоматы) вблизи освещаемых помещений или перед входами в них, у рабочих мест для местного освещения, на отдельных участках территории, а также установка аппаратов управления (автоматы, выключатели) в линиях питающей сети внутреннего освещения и в линиях наружного освещения: на щитах подстанций, магистральных щитках, на вводах в здания, ответвлениях от шинопроводов. Область применения — небольшие и средние по размерам помещения, большие помещения при включении общего освещения частями, местное освещение; освещение участков территории, включаемое периодически, площадки наружных работ, погрузочно-разгрузочные участки, открытые склады и т. п.; освещение входов в здания;

2) централизованное:

• дистанционное управление — установка магнитных пускателей в линиях питающей и групповой сетей внутреннего освещения и в линии наружного освещения. Использование дистанционно управляемых автоматов. Область применения — при управлении с диспетчерского или командного пункта общим освещением больших помещений, питаемым несколькими линиями или от нескольких подстанций; при необходимости включения общего внутреннего освещения из двух и более мест; на-

ружное освещение промышленных предприятий при удалении пункта управления от источников питания (практически необходимо при питании от двух подстанций и более); освещение больших открытых спортивных сооружений; наружное освещение городов и населенных пунктов с населением до 20 тыс. жителей;

- автоматическое программное и фотоавтоматическое управление — установка магнитных пускателей в линиях внутреннего и наружного освещения и программного реле времени, фотореле или фотоэлектрического автомата, включающих освещение в зависимости от времени суток или от уровня естественной освещенности. Область применения — для наружного и внутреннего освещения;

- телемеханическое управление — установка магнитных пускателей в линиях наружного освещения. Включение и выключение магнитных пускателей из диспетчерского или командного пункта с помощью телемеханических устройств. Область применения — наружное освещение предприятий, на которых предусматривается телемеханическое управление электроснабжением. Наружное освещение городов с населением более 50 тыс. жителей.

В помещениях с боковым естественным освещением рекомендуется предусматривать включение светильников рядами параллельно окнам. В больших производственных помещениях (более 200 м²), не используемых круглосуточно и не имеющих аварийного освещения, рекомендуется выделять на отдельное включение небольшое число светильников, создающих освещенность, необходимую для уборки и охраны помещения (дежурное освещение). В протяженных помещениях с несколькими входами, посещаемых только специальным персоналом (кабельные, водопроводные, теплофикационные туннели и др.), необходимо предусматривать управление освещением от каждого входа или части входов. Схемы управления освещением из нескольких мест приведены на рисунке 4.1.

Схема с транзитной фазой (см. рис. 4.1, б) не разрывает фазный провод L , что позволяет питать какую-либо нагрузку в конце линии. При наличии более двух входов (см. рис. 4.1, в) у крайних входов применяют однополюсные двухпозиционные переключатели (без нейтрального положения), а у каждого из промежуточных входов — двухполюсные переключатели на два положения.

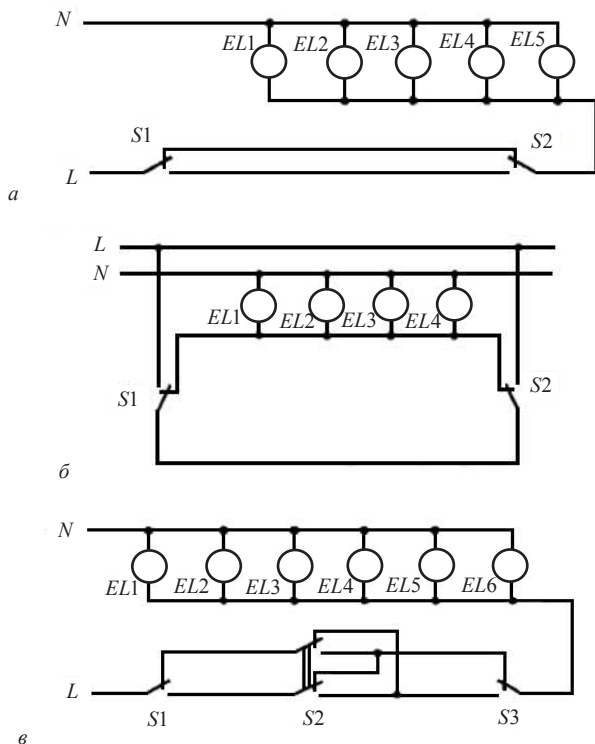


Рис. 4.1. Схемы управления освещением: *a* — из двух мест; *б* — из двух мест с транзитной фазой; *в* — из трех мест; *S1*, *S2* — однополюсные двухпозиционные переключатели; *S3* — двухполюсный двухпозиционный переключатель; *EL1–EL6* — электрические лампы

Коридорные схемы управления освещением примерно в два раза увеличивают расход проводников. При этом проводники могут иметь большое сечение, так как путь тока от начала линии до светильников возрастает, что необходимо учитывать при расчете сети по потере напряжения. В связи с этим в протяженных осветительных сетях со значительными электрическими нагрузками применяют схему, в которой управление светильниками осуществляется с помощью магнитного пускателя или контактора (рис. 4.2). Управление катушкой пускателя (контактора) КМ осуществляется по коридорной схеме переключателями *SA1* и *SA2*.

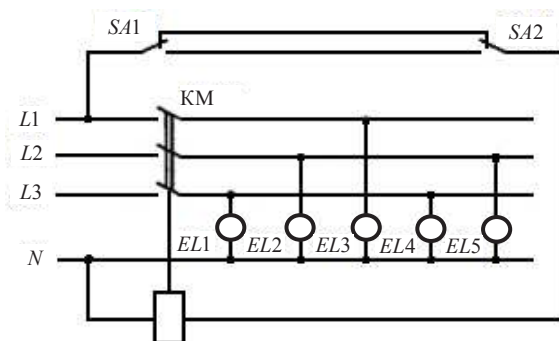


Рис. 4.2. Схема управления освещением с использованием магнитного пускателя

Осветительные приборы для освещения входов в здания питаются, как правило, от сети внутреннего освещения, управление ими производится местными выключателями или централизованно.

Управление освещением больших помещений обычно производится аппаратами на групповых щитках. Места установки групповых щитков и любых других аппаратов управления должны быть легкодоступными для обслуживания. В помещениях с некруглосуточной работой щитки следует располагать вблизи входа или обеспечивать освещение подходов к ним. С мест управления желательно видеть управляемые светильники.

В многоплощадочных зданиях с тяжелыми условиями среды (ряд цехов металлических, рудоподготовительных, химических и других заводов) управление освещением нескольких площадок (помещений, пролетов) может быть сосредоточено на щитках, располагаемых в помещениях с нормальной средой, например в электропомещениях, обслуживаемых, как правило, электроперсоналом.

Управление местным освещением производится выключателями, являющимися конструктивной частью ОП или расположенными в стационарной части электропроводки. В сетях малого напряжения допускается использование электрических соединителей.

Управление наружным освещением промышленных предприятий рекомендуется выполнять раздельным для проходов и

проездов участков наружных работ, открытых технологических установок, открытых складов, светового ограждения высотных препятствий, охранного и дежурного освещения. Светильники освещения входов в здание обычно питаются от сети внутреннего освещения, и управление такими светильниками осуществляется местными выключателями.

Когда управление освещением местными выключателями или с групповых щитков приводит к большим затратам времени эксплуатационного персонала и требуется одновременное включение (отключение) осветительной установки или ее части по заданной программе, применяют централизованно-дистанционное управление (ЦДУ). Преимущественно по такой системе осуществляют управление наружным освещением; верхним освещением многопролетных производственных зданий; общим освещением протяженных трактов подачи материалов в производство (комплекс зданий и сооружений приема, транспортировки, перегрузки и складирования материалов); освещением зрелищных помещений и т. д.

Раздельно должно производиться управление освещением участков с различной естественной освещенностью, а иногда и с резкоразличной искусственной освещенностью; рабочим и аварийным освещением; освещением участков с различными режимами работы. Освещение помещений без естественного света не должно входить в систему ЦДУ.

В наружном освещении промышленных предприятий осуществляется раздельное управление: охранным освещением, освещением складов, дорог и проездов, открытых технологических площадок каждого цеха, светоограждением высоких зданий и сооружений.

При ЦДУ должна быть сохранена возможность местного (со щитков или отдельными выключателями) управления освещением.

Автоматическое управление освещением разделяют на фотоавтоматическое и программное. При фотоавтоматическом управлении включение и выключение наружного и внутреннего освещения осуществляют в зависимости от изменения освещенности, создаваемой естественным светом, с помощью фотореле и фотоавтоматов. Фотоавтоматическое управление используют преимущественно для предприятий, общественных и жилых зданий (вестибюли, лестницы, коридоры) и уличного освещения. В установках внутреннего освещения оно имеет ограниченное при-

менение ввиду отсутствия производства фотоэлектрических автоматов с необходимыми для внутреннего освещения параметрами. Программное управление применяют для внутреннего освещения промышленных предприятий. Оно предусматривает включение и выключение освещения в зависимости от времени начала и окончания рабочих смен и обеденных перерывов. Управление осуществляется с помощью программных реле времени.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие способы управления освещением применяют на практике?
2. Поясните схемы управления освещением из нескольких мест.
3. Поясните схемы управления освещением с использованием магнитного пускателя.
4. Где используют дистанционное и автоматическое управление освещением?
5. Поясните способы управления наружным освещением.

4.2. Структура и элементы автоматизированной системы управления освещением

Основным элементом системы освещения является, конечно, источник света (ИС).

На рисунке 4.3 в качестве таких источников показаны светодиодная и разрядная лампы, которые в настоящее время служат основными типами ИС для энергосберегающих осветительных устройств. Существует огромное разнообразие освещаемых объектов; относительно каждого из них предъявляются специфические требования к системам освещения. Для внутреннего и наружного освещения в настоящее время используют ИС различных типов: разрядные лампы низкого давления (люминесцентные, обычные и компактные — энергосберегающие) — для внутреннего освещения, ртутные, натриевые и металлогалогенные лампы — для наружного. В последнее время все более популярны лампы на основе светоизлучающих диодов (СИД), которые применяют как для наружного, так и для внутреннего освещения. Для подключения к питающей сети и газоразрядных, и светодиодных ламп требуются специальные источники электропитания (ИЭП): для газоразрядных ламп — электронный пускорегулирующий аппарат (ЭПРА,

электронный балласт), для светодиодных — драйвер СИД. В системе автоматического управления освещением эти ИЭП являются интеллектуальными компонентами, подключаемыми к каналу управления и через счетчик электроэнергии к силовой сети. Счетчик электроэнергии также является интеллектуальным прибором, подключенным к шине интерфейса, и может посылать информацию в диспетчерский пункт.

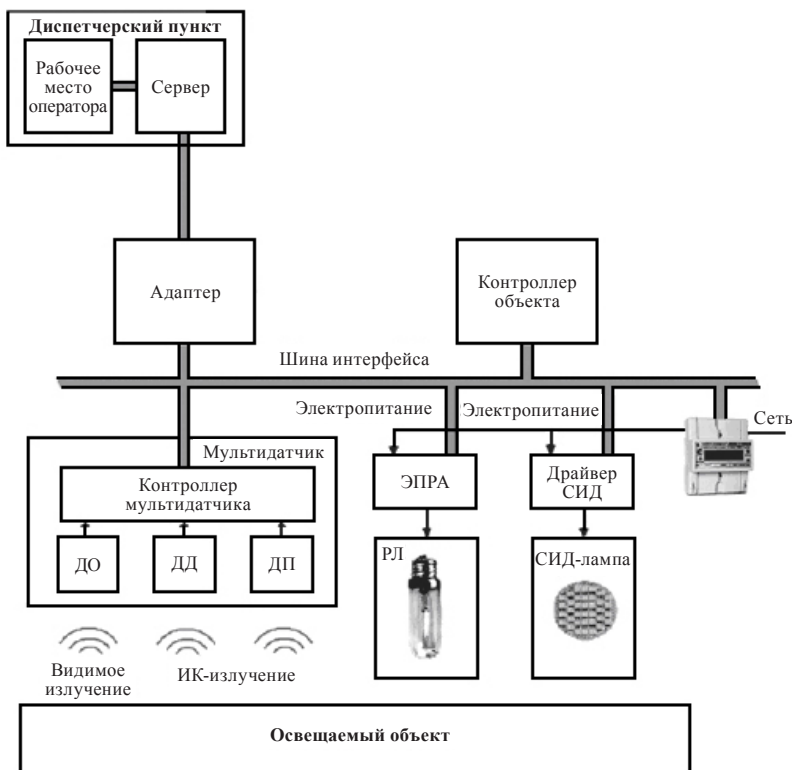


Рис. 4.3. Структура АСУ освещением

Лампа вместе с ИЭП обеспечивает определенный уровень освещенности: нулевой, если ИЭП выключен, рабочий, если он включен и работает в номинальном режиме, и пониженный, зависящий от уровня сигнала, приходящего на ИЭП по цепи управления. Этот сигнал формируется контроллером объекта освещения после обработки информации, поступающей на контроллер

от мультидатчика, содержащего несколько датчиков, сообщающих контроллеру об обстановке на объекте: уровнях естественной и искусственной освещенности (датчик освещенности (ДО) на рис. 4.3) и о присутствии людей (датчик движения (ДД) или датчик присутствия (ДП)). Мультидатчик в системе АСУ — также интеллектуальный прибор, подключенный к шине интерфейса и передающий информацию контроллеру объекта или серверу диспетчерского пункта.

Контроллер объекта помимо обработки информации от мультидатчика формирует на ИЭП каждого обслуживаемого им светильника управляющий сигнал, определяющий мощность, поступающую в лампы от сети питания. Кроме того, осуществляя мониторинг электрического режима ИЭП с помощью специальных электрических датчиков, контроллер формирует и пересылает в диспетчерский пункт информацию об исправности ИЭП и лампы. Он может передать также информацию об окончании срока службы РЛ (определяется по повышению напряжения на лампе), перегреве светодиодной лампы, который может вызвать выход ее из строя, и о других аварийных или нестандартных ситуациях.

Контроллер объекта может решать и более сложные задачи. Например, при большой ширине цеха и одностороннем естественном освещении (окна с одной стороны) контроллер может по-разному регулировать световой поток в светильниках ближайшего к окнам ряда и удаленного от окон ряда, плавно изменяя световой поток при снижении уровня естественного освещения и выводя его на номинальный режим в вечернее время.

Следующим компонентом АСУ (см. рис. 4.3) является шина интерфейса, по которой осуществляется обмен сигналами между всеми интеллектуальными компонентами АСУ. Хотя сама шина может быть достаточно простой (например, витой парой проводов), она является лишь первым уровнем в сложной системе обмена цифровой информацией. Кроме типа шины при обмене информацией важна иерархия протоколов, которые определяют, какой смысл передающее устройство придает каждой группе импульсов в последовательности нулей и единиц, передаваемых по шине. Ввиду различия смысла в разных типах интерфейсов в сети, где имеется несколько типов интерфейсов, должны быть «переводчики», адаптеры, которые переводят формат данных одного интерфейса в формат данных другого. На рисунке 4.3 при переходе сигнала с шины локального интерфейса на канал связи с диспет-

черским пунктом приведен такой адаптер, который предположительно имеет другой интерфейс. В сети есть различные устройства: размножающие сигналы, осуществляющие их промежуточную запись, промежуточные станции (ретрансляторы), принимающие и вновь повторяющие сигнал с усилением его мощности.

Сервер диспетчерского пункта обрабатывает всю информацию, поступающую от описанных интеллектуальных устройств сети, представляет ее с помощью записанного в нем программного обеспечения в максимально понятной для оператора системе схем и преобразует принятые оператором решения в последовательность управляющих сигналов, которые доходят до ЭПРА и драйверов СИД. Кроме того, сервер осуществляет учет потребляемой электроэнергии, оптимизирует ее потребление и распечатывает счета для оплаты электроэнергии ее поставщикам.

На рисунке 4.3 показаны два светильника. Однако в зависимости от масштаба освещаемого объекта их может быть намного больше. Кроме того, расточительно использовать столь сложную систему только для оптимизации освещения здания, поэтому не удивительно, что интеллектуальными объектами в такой системе обычно становятся датчики и приборы систем водоснабжения, отопления, кондиционирования, телекоммуникации, систем пожарной и охранной сигнализации, всех других необходимых служб. На рабочих станциях операторов при этом видно «самочувствие» всех систем управляемого здания.

Контрольные вопросы и задания

1. Расскажите о структуре и об элементах автоматизированной системы управления освещением.
2. Объясните назначение диспетчерского пункта в системе.

4.3. Пути экономии электроэнергии в осветительных установках

Экономия электроэнергии на освещение не должна достигаться за счет снижения норм освещенности, отключения части светильников или отказа от использования искусственного освещения при недостаточном уровне естественного света, поскольку уменьшение освещенности приводит к понижению зри-

тельной реакции, ухудшению психофизиологического состояния людей, повышению травматизма, снижению производительности труда и качества продукции. Потери от ухудшения осветительных условий значительно превосходят стоимость сэкономленной электроэнергии.

Оптимизация светотехнической части ОУ и осветительных сетей включает в себя следующие мероприятия: правильный выбор системы освещения и типов ИС; принятие экономичных схем размещения светильников; правильный выбор типов светильников по светораспределению и конструктивному исполнению.

Светодиодные источники света имеют очень большой срок службы (до 50 тыс. ч) и высокую световую отдачу. На лабораторных образцах СИД достигнута рекордная световая отдача — 250 лм/Вт; доступные СИД некоторых фирм (Cree, Philips, OSRAM, «Оптоган») имеют световую отдачу более 100 лм/Вт. В области энергосбережения СИД открывают широкие перспективы.

В таблице представлены некоторые параметры основных групп ИС, главным из которых является показатель удельной световой энергии, вырабатываемой за срок службы. Если световую энергию от ЛН принять за единицу, то все остальные типы ламп многократно вырабатывают больше световой энергии. Необходимо отметить, что ЛН, которые сыграли огромную роль в развитии человечества, сегодня являются устаревшими ИС.

Основные параметры источников света

Тип	Средний срок службы, тыс. ч	Индекс цветопередачи, R_a	Световая отдача, лм/Вт	Удельная световая энергия, вырабатываемая за срок службы (среднее значение)	
				Млм·ч/Вт	Отн. ед.
ЛН	1	100	8–17	0,013	1
КЛЛ	10–20	57–92	48–104	1,140	88
ДРЛ	12–24	40–57	19–63	0,738	57
ДНаТ	10–28	21–40	66–150	2,050	157
ДРИ	3,5–20	65–93	68–120	1,020	78
СИД	25	85–90	До 150	2,500	192

Приведем рекомендации и мероприятия по экономному и рациональному использованию электроэнергии в осветительных установках.

1. Сокращение областей применения ЛН и расширение применения разрядных и светодиодных ламп, преимущественно тех из них, которые обладают наибольшей световой отдачей.

2. Использование в помещениях с тяжелыми условиями среды маломощных РЛВД (< 250 Вт) взамен ЛН, энергоэкономичных ЛЛ вместо ЛЛ мощностью 60–80 Вт, ламп типа ДНаТ вместо ламп ДРЛ.

3. Применение в ОУ с ЛЛ при отсутствии или невысоких требованиях к цветоразличению и цветопередаче ЛЛ типа ЛБ, обладающих высокой световой отдачей. При наличии требований к цветоразличению надо использовать ЛЛ типов ЛДЦ, ЛЕЦ, ЛХЕ или ЛБЦТ. Использование по возможности ЛЛ типа ЛБЦТ вместо ламп типа ЛДЦ обеспечивает экономию электроэнергии на 21 %. При повышенной температуре в зоне работы ИС (в светильниках для тяжелых условий среды) следует применять амальгамные лампы типа ЛБА, что обеспечивает экономию электроэнергии до 25 % по сравнению с использованием в этих условиях ЛЛ типа ЛБ. В светильниках для тяжелых условий среды, не имеющих отражателей, следует применять рефлекторные ЛЛ типа ЛБР, что обеспечивает экономию электроэнергии около 20 % по сравнению с вариантом использования в этих же светильниках ЛЛ типа ЛБ.

4. Применение системы освещения, наиболее рациональной для данных условий работы. В помещениях, где выполняют зрительные работы II–IV разрядов, экономия электроэнергии от 15 до 50 % может быть получена за счет использования системы комбинированного освещения вместо общего при определенной площади, приходящейся на одно рабочее место.

5. Использование АСУ освещением с датчиками освещенности и присутствия, что может дать экономию электроэнергии до 50 %.

6. Применение современных ИС с высокой световой отдачей (ЛЛ в колбах диаметром 16 мм, КЛЛ, СИД, НЛВД, МГЛ с керамическими горелками). Расход электроэнергии сокращается при замене ЛН на ЛЛ до 80 %, на МГЛ – до 75 % и на НЛВД – до 90 %.

7. Замена электромагнитных балластов на ЭПРА, особенно для ЛЛ, что позволит сэкономить 10–20 % электроэнергии.

8. Использование РЛ возможно большей мощности при соблюдении нормативных требований к качеству освещения (к ослепленности, отраженной блескости, пульсации освещенности).

9. Применение ДНаТ в производственных помещениях, в которых не предъявляют жестких требований к цветопередаче.

10. Выбор светильников с наиболее целесообразным светораспределением и размещение СП светильников при максимально выгодных соотношениях расстояния между ними и высоты установки.

11. Выбор для помещений с тяжелыми условиями среды светильников соответствующего конструктивного исполнения, позволяющих уменьшать значение коэффициента запаса на 0,2.

12. Применение комплексных осветительных устройств со щелевыми световодами для освещения помещений с тяжелыми условиями среды (взрывоопасных, пыльных и т. п.), относящихся по точности зрительных работ к III–VI разрядам, а также при трудном доступе к ОУ. Это может дать экономию электроэнергии 10–15 % по сравнению с освещением светильниками для тяжелых условий среды.

13. В производственных зданиях с боковым и комбинированным (верхним и боковым) естественным светом и в помещениях общественных зданий должно быть предусмотрено отключение рядов светильников, параллельных окнам, что позволяет снизить расход электроэнергии на 5–10 %. В помещениях с совмещенным освещением рекомендуется проводить включение и выключение отдельных групп светильников в зависимости от уровня освещенности, создаваемого естественным светом в различных зонах помещения, что дает экономию 10–20 % электроэнергии. Для наружного освещения промышленных предприятий, городов и населенных пунктов и для внутреннего освещения больших производственных помещений целесообразно устройство централизованного автоматического управления, что дает экономию электроэнергии в размере 10–15 %.

14. Питание напряжением 660/400 В (система с глухим заземлением нейтрали) ОУ большой мощности без промежуточной трансформации, включая специально предназначенные для этого ОУ на фазное напряжение 400 В. Питание ОУ напряжением 660/400 В может дать экономию электроэнергии до 12 % благодаря увеличению световой отдачи ИС и уменьшению потерь в сети и ПРА.

15. Применение в ОУ, в которых мощность РЛВД значительна (сотни киловатт и более), групповых трехфазных компенсирующих конденсаторов, которые снижают потери электроэнергии и

сокращают потребность в кабелях, проводах, коммутационных и защитных аппаратах для осветительных сетей.

16. Использование устройств и приспособлений для удобного и безопасного доступа к ОУ для их очистки в процессе эксплуатации. На стадии проектирования следует также определять штат персонала, необходимого для обслуживания освещения.

17. Чистка остеклений окон и световых фонарей в производственных и общественных зданиях не реже 2 раз в год, что позволит сократить время работы искусственного освещения и даст экономию электроэнергии в среднем 5–10 %.

18. Повышение коэффициента использования естественного и искусственного освещения путем использования при окраске помещений производственных и общественных зданий светлых тонов.

Контрольные вопросы и задания

1. Каков потенциал экономии энергии в ОУ при использовании современных технологий?
2. Каковы основные критерии оценки эффективности ОУ?
3. Перечислите основные мероприятия по экономии электроэнергии в ОУ.

ГЛАВА 5. ОФОРМЛЕНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ ГРАФИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ПРОЕКТОВ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

К рабочим чертежам внутреннего электрического освещения относят чертежи, предназначенные для производства электро-монтажных работ (основной комплект рабочих чертежей марки ЭО); чертежи конструкций и деталей, предназначенные для установки электрического оборудования (при отсутствии типовых чертежей).

Планы расположения электрооборудования выполняют с учетом требований ГОСТ 21.608-2014. На планы расположения наносят и указывают:

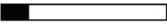
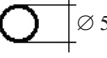
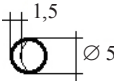
- строительные конструкции в виде упрощенных контуров сплошными линиями;
- наименования помещений;
- классы взрыво- и пожароопасных зон, категорию и группу взрывоопасных смесей для взрывоопасных зон по ПУЭ;
- нормируемую освещенность для каждого помещения;
- тип, мощность, высоту подвеса и расположение светильников или рядов светильников с привязкой к элементам строительных конструкций или координатным осям здания (сооружения);
- комплектные распределительные устройства на напряжение до 1 кВ, относящиеся к питающей сети (распределительные щиты, щиты станций управления, распределительные ящики и шкафы управления, вводно-распределительные устройства), и их обозначения;
- групповые щитки и их обозначения;
- понижающие трансформаторы;

- выключатели, штепсельные розетки (в жилых домах включая розетки для бытовых электроприемников);
- линии питающей, групповой сети и сети управления освещением, их обозначения, сечения, а при необходимости марку и способ прокладки;
- другое электрооборудование, относящееся к электрическому освещению.

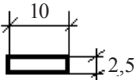
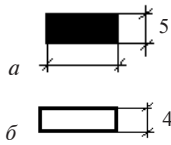
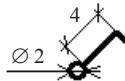
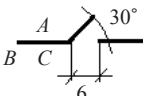
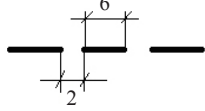
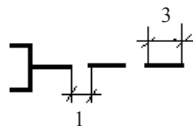
Кроме того, на планах расположения электрооборудования следует указывать количество проводов (жил кабеля) на участках между элементами системы освещения и фазу, к которой подключается данный осветительный прибор (при трехфазной групповой сети).

Порядок записи условных обозначений на планах расположения электрического оборудования внутреннего освещения приведен в таблице. Пример оформления плана расположения электрооборудования для производственного здания приведен на рисунке 5.1.

**Условные обозначения элементов осветительной сети
на картах и схемах**

Наименование	Пример условного обозначения
Светильник с ЛН на тросе	
Светильник на кронштейне	
Люстра	
Светильник-световод	
Прожектор	
Светильник с лампой накаливания	
Светильник с лампой типов ДРЛ, ДРИ	

Окончание таблицы

Наименование	Пример условного обозначения
Светильник с люминесцентными лампами	
Щиток рабочего освещения: <i>a</i> — на плане; <i>б</i> — на схеме	
Щиток аварийного освещения	
Выключатель однополюсный	
Выключатель однополюсный сдвоенный	
Выключатель двухполюсный	
Автоматический воздушный выключатель (на схеме): <i>A</i> — тип выключателя; <i>B</i> — тип расцепителя (К — комбинированный; Э — электромагнитный); <i>C</i> — ток расцепителя	
Линия, состоящая из пяти проводников	
Линия сети аварийного освещения	
Линия из пяти проводников на тресе и его концевое крепление	

При наличии в здании одинаковых по размеру помещений (участков помещений) с одинаковыми техническими решениями освещения электрическое оборудование, электрические сети и другие элементы на планах расположения допускается изображать не для всех, а для части помещений. Допускается также приводить фрагменты планов расположения для отдельных типовых помещений.

Принципиальные схемы питающей сети, схемы дистанционного управления и схемы подключения комплектных распределительных устройств на напряжение до 1 кВ выполняют в однолинейном изображении в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД к электротехническим схемам и ГОСТ 21.608-2014.

Принципиальные схемы питающей сети допускается выполнять с учетом расположения электрического оборудования по частям и этажам здания. Пример оформления принципиальной схемы питающей сети и групповой сети объекта в однолинейном изображении приведен на рисунках 5.1–5.3.

На расчетной схеме (см. рис. 5.2) указывают тип осветительного щитка, типы автоматических выключателей, установленных в нем, тип расцепителей (К – комбинированный; Э – электромагнитный) и токи расцепителей.

Над осветительной линией указывают маркировку линии; расчетную нагрузку (кВт); коэффициент мощности; расчетный ток (А – длина участка, м).

Под осветительной линией указывают момент нагрузки (кВт·м); потерю напряжения (%); марку, сечение проводника; способ прокладки (Тс – трос; Т – металлическая труба; П – пластмассовая труба).

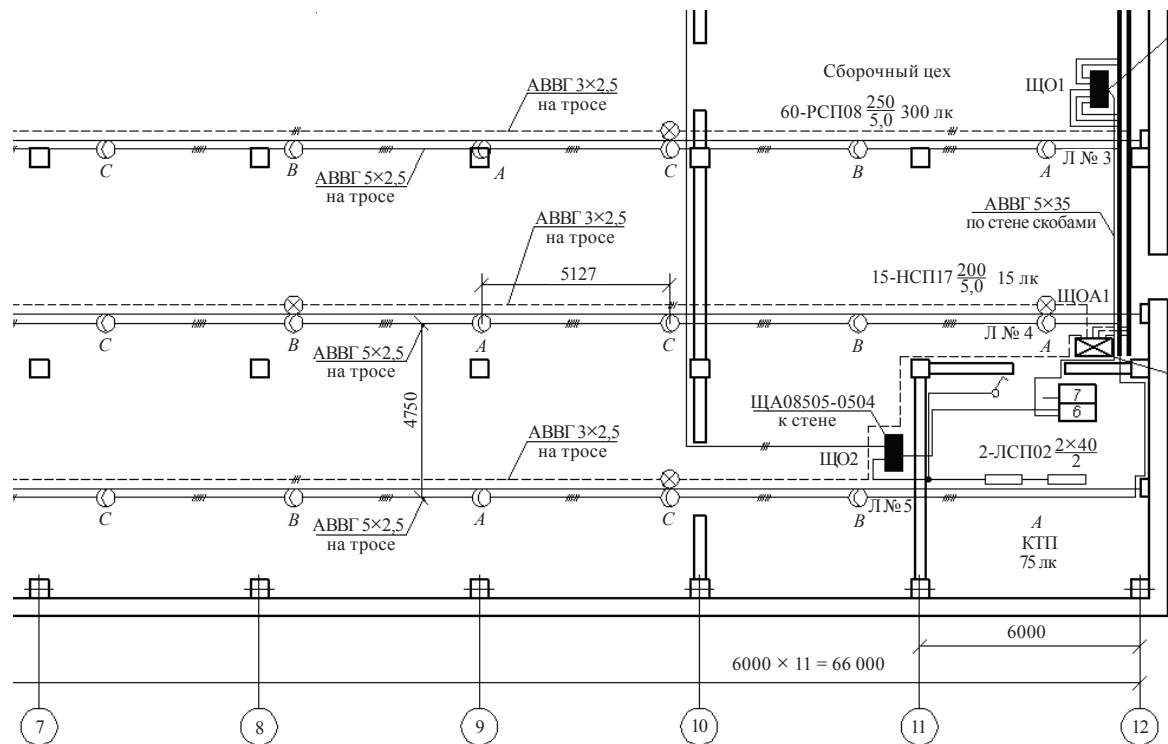


Рис. 5.1. Фрагмент плана осветительной сети сборочного цеха

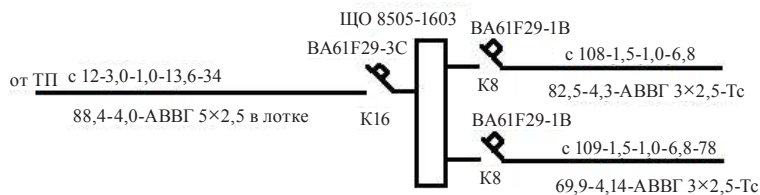


Рис. 5.2. Пример оформления надписей на расчетной схеме осветительной сети

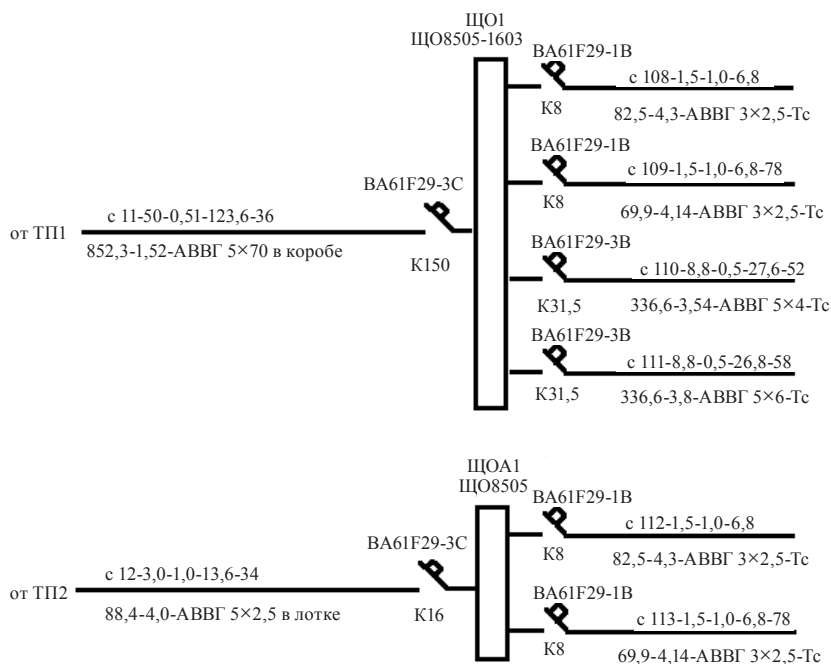


Рис. 5.3. Пример оформления расчетной схемы осветительной сети

Контрольные вопросы и задания

1. Поясните, какие элементы и параметры указывают на планах расположения осветительных установок.
2. Приведите пример расчетной схемы осветительной сети.

ЛИТЕРАТУРА

- Айзенберг, Ю.Б.** Справочная книга по светотехнике : справ. / Ю.Б. Айзенберг. 2-е изд. М., 1995.
- Грибанов, А.А.** Электрическое освещение : информ.-метод. материалы / А.А. Грибанов. Барнаул, 2006.
- Епанешников, М.М.** Электрическое освещение : учеб. пособие / М.М. Епанешников. М., 1973.
- Кириленко, А.И.** Светоизлучающие диоды — перспективные твердотельные источники света / А.И. Кириленко, С.Н. Чернявский // Энергия и менеджмент. 2004. № 3. С. 20.
- Козловская, В.Б.** Электрическое освещение : справ. / В.Б. Козловская, В.Н. Радкевич, В.Н. Сацукевич. 2-е изд. Минск, 2008.
- Кнорринг, Г.М.** Осветительные установки / Г.М. Кнорринг. Ленинград, 1981.
- Кнорринг, Г.М.** Справочная книга для проектирования электрического освещения / Г.М. Кнорринг. Ленинград, 1976.
- Кнорринг, Г.М.** Справочная книга для проектирования электрического освещения / Г.М. Кнорринг, И.М. Фадин, В.Н. Сидоров. СПб., 1992.
- Пособие** по расчету и проектированию естественного, искусственного и совмещенного освещения (к СНиП 11-4-79). М., 1985.
- Радкевич, В.Н.** Проектирование систем электроснабжения / В.Н. Радкевич. Минск, 2001.
- Справочная** книга по светотехнике / под ред. Ю.Б. Айзенберга. М., 1995.
- Федоров, Л.А.** Основы электроснабжения промышленных предприятий / Л.А. Федоров, В.В. Каменева. М., 1984.
- Шеховцов, В.П.** Осветительные установки промышленных и гражданских объектов / В.П. Шеховцов. М., 2009.

Шмаков, С.Б. Профессиональные советы домашнему электрику / С.Б. Шмаков. СПб., 2014.

Энергоэффективное электрическое освещение : учеб. пособие / С.М. Гвоздев [и др.] ; под ред. Л.П. Варфоломеева. М., 2013.

Технические нормативные правовые акты

ТКП 45-2.02-22-2006 (02250). Здания и сооружения. Эвакуационные пути и выходы. Правила проектирования.

ТКП 45-2.04-153-2009 (02250). Естественное и искусственное освещение. Строительные нормы проектирования.

ТКП 45-4.04-149-2009 (02250). Системы электрооборудования жилых и общественных зданий. Правила проектирования.

ТКП 45-4.04-296-2014 (02250). Силовое и осветительное оборудование промышленных предприятий. Правила проектирования.

ТКП 181-2009 (02230). Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей.

ТКП 339-2011 (02230). Электроустановки на напряжение до 750 кВ.

СТБ 1944-2009. Светильники. Общие технические условия.

ГОСТ 21.608-2014. Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации внутреннего электрического освещения.

ГОСТ 30331.1-95. Электроустановки зданий. Основные положения.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1. Характеристики источников света

Таблица 1

Номенклатура источников света

Тип	Цо- коль	Мощ- ность, Вт	Све- товой поток, лм	Све- товая отдача, лм/Вт	Тс, К	R_a	Средний срок службы, ч	Фирма- изгото- витель (страна)	
Лампы накаливания общего назначения (220 В)									
Б 230-240-25	Е 27	25	210	8,4	4500	80	1000	ЛИСМА (Россия)	
Б 230-240-40	Е 27	40	430	10,1					
Б 230-240-60	Е 27	60	710	12					
Б 230-240-100	Е 27	100	1370	13,7					
Б 230-240-150	Е 27	150	2150	14,3					
Б 230-240-200	Е 27	200	3000	15					
Б 230-240-300	Е 27	300	4800	16					
Б 230-240-500	Е 40	500	8400	16,8					
Б 230-240-750	Е 40	750	13000	17,3					
ЛОН 25	Е 40	25	200	8					
ЛОН 40	Е 27	40	490	10,2				OSRAM (Герма- ния)	
ЛОН 60	Е 27	60	810	13					
ЛОН 100	Е27	100	1540	15,4					
CLASSIK-OSRAM:									
CLAS A FR 25	Е27	25	220	8,8			1000		
CLAS A FR 40		40	420	10,5					

Продолжение табл. 1

Тип	Цо- коль	Мош- ность, Вт	Све- товой поток, лм	Све- товая отдача, лм/Вт	Тс, К	R_a	Средний срок службы, ч	Фирма- изгото- витель (страна)
CLAS A FR 60 CLAS A FR 75 CLAS A FR 100 CLAS A FR 150 CLAS A FR 200		60 75 100 150 200	720 940 1360 2200 3100	12,0 12,5 13,6 14,7 15,5				
Галогенные лампы сетевого на- пряжения OSRAMHALOLUX*BT: 64470 BT 64472 BT 64476 BT 64478 BT	E27	40 60 100 150	490 840 1600 2550	12,2 14,0 16,0 17,0	2900	60	2000	OSRAM (Герма- ния)
<i>Низковольтные лампы накаливания для светильников местного освещения (12, 24, 36 В)</i>								
MO 12-40 MO 24-40 MO 36-40 MO 36-60 MO 36-100	E 27 E 27 E 27 E 27 E 27	40 40 40 60 100	620 600 580 950 1550	15,5 15 14,5 15,8 15,5			1000	Россия
<i>Компактные люминесцентные лампы</i>								
OSRAMDULUX*LONGLIFEE27: DULUXEL 5W/41-827 E27 DULUXEL 7W/41-827 E27 DULUXEL 11W/41-827 E27 DULUXEL 15W/41-827 E27	E27	5 7 11 15	240 400 600 900	48 57,14 54,5 60	2700	80–89	18 000	OSRAM (Герма- ния)

Продолжение табл. 1

Тип	Цо- коль	Мош- ность, Вт	Све- товой поток, лм	Све- товая отдача, лм/Вт	Тс, К	R_a	Средний срок службы, ч	Фирма- изгото- витель (страна)
DULUX EL 20W/41-827 E27 DULUX EL 23W/41-827 E27		20 23	1200 1500	60 65,2				
Компактные спиральные с электронным ПРА: СКЛЭН-7 «АЛАДИН» СКЛЭН-11 «АЛАДИН» СКЛЭН-12 «АЛАДИН» СКЛЭН-15 «АЛАДИН» СКЛЭН-20 «АЛАДИН»	E27	7 11 12 15 20	400 600 800 900 1200	57,1 54,5 66,6 60,0 60,0	2700	80—89	8000	Россия
Компактные прямые с электрон- ным ПРА: PLE 15 Вт; 230-240 В PLE 20 Вт; 230-240 В PLE 23 Вт; 230-240 В	E27	15 20 23	900 1200 1500	60	3000	80—89	8000	Philips (Голлан- дия)
Компактные люминесцентные лампы интегрированные: Ambiance PRO 6Вт/827 Ambiance PRO 9Вт/827 Ambiance PRO 16Вт/827 Ambiance PRO 20Вт/827 Ambiance PRO 23Вт/827	E27	6 9 16 20 23	250 425 900 1200 1350	41,6 47,2 56,25 60,0 58,7	3000	82	12000	Philips (Голлан- дия)
<i>Линейные люминесцентные лампы</i>								
ЛБ-18	G 13	18	1060	58,8	3450	65/70	10 000	Россия

Продолжение табл. 1

Тип	Цо- коль	Мош- ность, Вт	Све- товой поток, лм	Све- товая отдача, лм/Вт	Тс, К	R_a	Средний срок службы, ч	Фирма- изгото- витель (страна)
ЛБ-20	G 13	20	1060	58,8	3450	65/70	10 000	Россия
ЛБ-20-2		20	1060	58,8	3450		10 000	
ЛБ-30		30	2020	67	3450		10 000	
ЛБ-40		40	2800	70	3450		10 000	
ЛБ-40-2		40	2800	70	3450		10 000	
ЛБ-65		65	4600	70,8	3450		12 000	
ЛБ-80		80	5200	65	6400		12 000	
ЛД-20-2		20	880	44	6400		12 000	
ЛД-40-2		40	2300	57,5	6400		12 000	
ЛД-65-2		65	3750	57,5	6400		12 000	
ЛД-80-2		80	4250	53	6400		12 000	
Диаметр трубки 16 мм:								
MASTER TL5 HO 24Вт/827	G 5	24	1750	83	2700	85	24 000	Philips (Голлан- дия)
MASTER TL5 HO 39Вт/830	G 5	39	3100	90	3000	85	24 000	
MASTER TL5 HO 54Вт/830	G 5	54	4450	93	3000	85	24 000	
MASTER TL5 HO 80Вт/830	G 5	80	6150	88	3000	85	24 000	
MASTER TL5 HE 14Вт/840	G 5	14	1200	96	4000	85	24 000	
MASTER TL5 HE 21Вт/840	G 5	21	1900	100	4000	85	24 000	
MASTER TL5 HE 28Вт/830	G 5	28	2600	104	3000	85	24 000	
MASTER TL5 HE 35Вт/830	G 5	35	3300	104	3000	85	24 000	

Приложение 1. Характеристики источников света

Тип	Цо- коль	Мощ- ность, Вт	Све- товой поток, лм	Све- товая отдача, лм/Вт	Тс, К	R_a	Средний срок службы, ч	Фирма- изгото- витель (страна)
Диаметр трубки 26 мм:								
TL-D 14 Вт/33	G 13	14	750	53,5	2400	63	18 000	Philips (Голлан- дия)
TL-D 15 Вт/33	G 13	15	960	64,0	2400	63	18 000	
TL-D 18 Вт/33	G 13	18	1200	66,6	2400	63	18 000	
TL-D 23 Вт/54	G 13	23	1550	67,4	2800	72	18 000	
TL-D 30 Вт/54	G 13	30	1825	60,8	2800	72	18 000	
TL-D 36 Вт/54	G 13	36	2500	69,4	2800	72	18 000	
TL-D 54 Вт/54	G 13	54	4000	74,0	2800	72	18 000	
L10W/41-827 Plus Eco	G 13	10	650	65,0	3000	80–89	20 000	OSRAM (Герма- ния)
L15W/11-840 Plus Eco	G 13	15	950	63,3	3000	80–89	20 000	
L16W/11-840 Plus Eco	G 13	16	1250	78,0	3000	80–89	20 000	
L30W/11-840 Plus Eco	G 13	30	2350	78,3	3000	80–89	20 000	
FQ 39 W/840	G 13	39	3500	89,7	3000	80–89	20 000	
FQ 54 W/840	G 13	54	5000	92,6	3000	80–89	20 000	
FQ 80 W/840	G 13	80	8000	100,0	3000	80–89	20 000	
Дуговые ртутные лампы высокого давления с люминофором (ДРЛ)								
ДРЛ-125	E 27	125	6300	50,4	4000	42	12 000	Россия
ДРЛ-250	E 40	250	23 000	54	4000	42	12 000	
ДРЛ-400	E 40	400	24 000	60	4000	42	15 000	
ДРЛ-700	E 40	700	41 000	58,5	4000	42	20 000	
ДРЛ-1000	E 40	1000	59 000	59	4000	42	18 000	

Продолжение табл. 1

Тип	Цо- коль	Мош- ность, Вт	Све- товой поток, лм	Све- товая отдача, лм/Вт	Тс, К	R_a	Средний срок службы, ч	Фирма- изгото- витель (страна)
HQL 50	E 27	50	1800	36	4200	40—59	18000	OSRAM (Герма- ния)
HQL 80	E 27	80	3800	47,5	4100	40—59	18000	
HQL 125	E 27	125	6300	50,4	4000	40—59	18000	
HQL 250	E 40	250	13 000	52,0	3900	40—59	18000	
HQL 400	E 40	400	22 000	55,0	3800	40—59	18000	
HQL 700	E 40	700	38 500	55,0	3550	40—59	18000	
HQL 1000	E 40	1000	58 000	58,0	3550	40—59	18000	
HPL-N 50W	E 27	50	1770	36,0	4200	49	15000	Philips (Голлан- дия)
HPL-N 80W	E 27	80	3600	45,0	4300	48	15000	
HPL-N 125W	E 27	125	6200	50,0	4100	46	15000	
HPL-N 125W	E 40	125	6200	50,0	4100	46	15000	
HPL-N 250W	E 40	250	12 700	51,0	4100	40	15000	
HPL-N 400W	E 40	400	22 000	55,0	3900	40	15000	
HPL-N 700W	E 40	700	38 500	55,0	3900	36	15000	
HPL-N 1000W	E 40	1000	58 500	59,0	3900	33	15000	
HPLCOMFORT PRO 400W	E 40	400	24 200	61,0	3500	47	15000	
Металлогалогенные лампы (ДРИ)								
ДРИ-250-5	E 40	250	19 000	76	4200	65	10000	Россия
ДРИ-400-5	E 40	400	36 000	90	4200	65	10000	
ДРИ-700-5	E 40	700	60 000	85,7	4200	65	9000	
ДРИ-1000-5	E 40	1000	103 000	103	4200	65	9000	
ДРИ-1000-6	E 40	1000	103 000	100	4200	65	3000	
ДРИ-2000-6	E 40	2000	200 000	100	4200	65	2000	
ДРИ-3500-6	E 40	3500	350 000	100	4200	65	1500	

Приложение 1. Характеристики источников света

Тип	Цо- коль	Мош- ность, Вт	Све- товой поток, лм	Све- товая отдача, лм/Вт	Тс, К	R_a	Средний срок службы, ч	Фирма- изгото- витель (страна)
HPI-T 250W	E 40	250	17 000	4600	65			Philips (Голлан- дия)
HPI-T-400W	E 40	400	30 500	4500	65			
HPI-T-1000W	E 40	1000	82 000	4300	65			
HPI-T-2000W 220V	E 40	2000	189000	4900	65			
HPI-T-2000W 380V	E 40	2000	183 000	4300	65			
Ртутно-вольфрамовые лампы								
ДРВ 160	E 27	160	8000	50	4000		12 000	Россия
ДРВ 250	E 40	250	13 500	54	4000	60–69	12 000	
ДРВ 500	E 40	500	25 000	50	4000		15 000	
HWL 160 225V	E 27	160	3100	19,3	3600	60–69	9000	OSRAM (Герма- ния)
HWL 160 235V	E 27	160	3100	19,3	3600	60–69		
HWL 250 225V	E 40	250	5600	22,4	3800	60–69		
HWL 250 235V	E 40	250	5600	22,4	3800	60–69		
HWL 500 225V	E 40	500	14 000	28	4100	60–69		
HWL 500 235V	E 40	500	14 000	28	4100	60–69		
ML-100 230/240V	E 27	100	1100	11	3050	60	9000	Philips (Голлан- дия)
ML 160 230/240V	E 27	160	3150	19,7	3500	60	9000	
ML 250 230/240V	E 40	250	5700	22,8	3550	60	9000	
ML 500 230/240V	E 40	500	13 000	26	3750	50	9000	
Натриевые лампы высокого давления (ДНаТ)								
ДНаТ-250-5	E 40	250	28 000	96				Россия
ДНаТ-400-5	E 40	400	48 000	120	2000	23	12 000	
ДНаТ-70	E 27	70	5000	71,4				

Окончание табл. 1

Тип	Цо- коль	Мош- ность, Вт	Све- товой поток, лм	Све- товая отдача, лм/Вт	Тс, К	R_a	Средний срок службы, ч	Фирма- изгото- витель (страна)
ДНаЗ-100	Е 27	100	9800	98	2000	23	12 000	Россия
ДНаЗ-150	Ех 40	150	14 000	93,3				
ДНаЗ-250	Ех 40	250	26 000	104				
ДНаТ-100	Е 40	100	9500	95				
ДНаТ-150	Е 40	150	15 000	100				
MASTERSONPIA 50 Вт	Е 27	50	3500	70	1950	23	24 000	Philips (Голлан- дия)
MASTERSONPIA 70 Вт	Е 27	70	5600	80	1950			
MASTERSONPIA 150 ВтHgф	Е 40	150	14 500	97	2150			
MASTERSONPIA 250 ВтHgф	Е 40	250	27 000	108	2150			
MASTERSONPIA 400 ВтHgф	Е 40	400	48 000	120	2150			
MASTER SON PIA 100 Вт	Е 40	100	10 000	100	1950			
MASTER SON PIA 150 Вт	Е 40	150	16 000	107	1950			
MASTER SON PIA 250 Вт	Е 40	250	30 000	120	1950			
MASTER SON PIA 400 Вт	Е 40	400	54 000	135	1950			
SPX ECO ARC 98 W	Е 27	98	7400	75,5	2000	23	24 000	SILVA- NIA (Гер- мания)
SPX ECO ARC 190 W	Е 40	190	17 000	89,5	2000			
SPX ECO ARC 295 W	Е 40	295	32 000	108,5	2000			

Приложение 1. Характеристики источников света

Характеристики светодиодных источников света

Название	Мощность, Вт	Питание, В		Цо-коль	Цвет	ССТ, К	Яр-кость, лм	Угол сече-ния, град.	Срок служ-бы, ч	Диа-метр, мм	Дли-на, мм
		AC	DC								
Светодиодные лампы переменного тока											
AccentWhite 2W E14WW 230-240V B	2	230—240	—	E14	Белый теплый	2700	50	—	20 000	37	104
AccentWhite 2W E27 WW 230-240V A	2	230—240	—	E27	Белый теплый	2700	55	—	20 000	50,3	100
MASTER LEDbulb 6W E27 2700K	6	230—240	—	E27	Белый теплый	2700	240	—	45 000	55	106
MASTER LEDbulb 7W B 22 2700K	7	230—240	—	B22	Белый теплый	2700	400	—	25 000	60	108,9
MASTER LEDbulb 7W E27 2700K	7	230—240	—	E27	Белый теплый	2700	400	—	25 000	60	108,9
MASTER LEDbulb 8-40W B 22 2700K 2	8	230—240	—	B22	Белый теплый	2700	470	—	25 000	60	108
MASTER LEDbulb 8-40W E 27 2700K	8	230—240	—	E27	Белый теплый	2700	470	—	25 000	60	108
MASTER LEDbulb D 12-60W B 22 2700	12	230—240	—	B22	Белый теплый	2700	806	—	25 000	58	108
MASTER LEDbulb D 12-60W E27 2700	12	230—240	—	E27	Белый теплый	2700	806	—	25 000	58	108
MASTER LEDspot 11W 2700K 230V PA	11	230—240	—	E27	Белый теплый	2700	430	25	45 000	92,1	90

Продолжение табл. 2

Название	Мощность, Вт	Питание, В		Цоколь	Цвет	ССТ, К	Яркость, лм	Угол сечения, град.	Срок службы, ч	Диаметр, мм	Длина, мм
		AC	DC								
MASTER LEDspot 16W 2700K 230V PA	16	230–240	—	E27	Белый теплый	2700	600	25	45 000	121,5	131
MASTER LEDspot 16W 2700K 230V PA	16	230–240	—	E27	Белый теплый	2700	600	25	22 000	121,5	131
MASTER LEDspot D7-50W 2700K PAR	7	230–240	—	E27	Белый теплый	2700	1000	25	45 000	63,7	90,2
MASTER LEDspot D7-50W 2700K PAR	7	230–240	—	E27	Белый теплый	2700	450	40	45 000	63,7	90,2
MASTER LEDspot D7-50W 3000K PAR	7	230–240	—	E27	Белый	3000	1050	25	45 000	63,7	90,2
MASTER LEDspot D7-50W 3000K PAR	7	230–240	—	E27	Белый	3000	500	40	45 000	63,7	90,2
MASTER LEDspot D7-50W 4000K PAR	7	230–240	—	E27	Белый холодный	4000	1200	25	45 000	63,7	90,2
MASTER LEDspot D7-50W 4000K PAR	7	230–240	—	E27	Белый холодный	4000	550	40	45 000	63,7	90,2
MASTER LEDspotMV3-35W GU10 2700	3	230–240	—	GU10	Белый теплый	2700	850	25	35 000	50	52,5
MASTER LEDspotMV4-35W GU10 2700	4	230–240	—	GU10	Белый теплый	2700	330	40	25 000	50	56

Приложение 1. Характеристики источников света

Продолжение табл. 2

Название	Мощность, Вт	Питание, В		Цоколь	Цвет	ССТ, К	Яркость, лм	Угол сечения, град.	Срок службы, ч	Диаметр, мм	Длина, мм
		AC	DC								
MASTER LEDspotMV4-35W GU10 2700	4	230–240	—	GU10	Белый теплый	2700	600	25	25 000	50	56
MASTER LEDspotMV7-50W GU10 2700	7	230–240	—	GU10	Белый теплый	2700	270	25	40 000	50,2	80,5
MASTER LEDspotMV7-50W GU10 2700	7	230–240	—	GU10	Белый теплый	2700	270	40	40 000	50,2	80,5
MASTER LEDspotMV7-50W GU10 3000	7	230–240	—	GU10	Белый	3000	290	25	40 000	50,2	80,5
MASTER LEDspotMV7-50W GU10 3000	7	230–240	—	GU10	Белый	3000	290	40	40 000	50,2	80,5
MASTER LEDspotMV7-50W GU10 4200	7	230–240	—	GU10	Белый-холодный	4200	290	25	40 000	50,2	80,5
MASTER LEDspotMV7-50W GU10 4200	7	230–240	—	GU10	Белый-холодный	4200	290	40	40 000	50,2	80,5
Novallure 2W E14 2700K 230V B35	2	230–240	—	E14	Белый теплый	2700	86	—	20 000	35	98

Продолжение табл. 2

Название	Мощность, Вт	Питание, В		Цоколь	Цвет	ССТ, К	Яркость, лм	Угол сечения, град.	Срок службы, ч	Диаметр, мм	Длина, мм
		АС	DC								
Novallure 2W E14 2700K 230V P45	2	230–240	—	E14	Белый теплый	2700	37	—	20 000	46	89
Novallure 2W E14 2700K 230V P45	2	230–240	—	E14	Белый теплый	2700	86	—	20 000	45	76
Novallure 2W E14 2700K 230V P45	2	230–240	—	E14	Белый теплый	2700	86	—	20 000	45	76
Novallure D 3W E14 2700K 230V B3	3	230–240	—	E14	Белый теплый	2700	136	—	20 000	35	100
Novallure D 3W E14 2700K 230V P4	3	230–240	—	E14	Белый теплый	2700	136	—	20 000	45	82
Novallure D 3W E14 2700K 230V P4	3	230–240	—	E27	Белый теплый	2700	136	—	20 000	45	90
<i>Светодиодные лампы постоянного тока</i>											
MASTER LEDspotLV 3W GU4 2700K MR	3	10,8–13,2	12	GU4	Белый теплый	2700	410	24	30 000	34,6	40
MASTER LEDspotLV 3W GU4 4200K	3	10,8–13,2	12	GU4	Белый холодный	4200	450	24	30 000	34,6	40
MASTER LEDspotLV 4-20W 2700K	4	10,8–13,2	12	GU5,3	Белый теплый	2700	700	24	45 000	50,1	46,02

Приложение 1. Характеристики источников света

Продолжение табл. 2

Название	Мош- ность, Вт	Питание, В		Цо- коль	Цвет	ССТ, К	Яр- кость, лм	Угол сече- ния, град.	Срок служ- бы, ч	Диа- метр, мм	Дли- на, мм
		АС	DC								
MASTER LEDspotLV 4-20W 3000K	4	10,8– 13,2	12	GU5,3	Белый	3000	720	24	45 000	50,1	46,02
MASTER LEDspotLV D 10- 50W 2700K	10	—	12	GU5,3	Белый теплый	2700	4100	15	25 000	50	53,7
MASTER LEDspotLV D 10- 50W 2700K	10	—	12	GU5,3	Белый теплый	2700	1700	24	25 000	50	53,7
MASTER LEDspotLV D 10- 50W 3000K	10	—	12	GU5,3	Белый	3000	4200	15	25 000	50	53,7
MASTER LEDspotLV D 10- 50W 3000K	10	—	12	GU5,3	Белый	3000	1760	24	25 000	50	53,7
MASTER LEDspotLV D 7-35W 2700KM	7	—	12	GU5,3	Белый теплый	2700	1380	24	40 000	50	53,7
MASTER LEDspotLV D 7-35W 2700KM	7	-	12	GU5,3	Белый теплый	2700	3210	15	40 000	50	53,7

Окончание табл. 2

Название	Мощность, Вт	Питание, В		Цоколь	Цвет	ССТ, К	Яркость, лм	Угол сечения, град.	Срок службы, ч	Диаметр, мм	Длина, мм
		АС	DC								
MASTER LEDspotLV D 7-35W 3000KM	7	—	12	GU5,3	Белый	3000	3300	15	40 000	50	53,7
MASTER LEDspotLV D 7-35W 3000KM	7	—	12	GU5,3	Белый	3000	1460	24	40 000	50	53,7

Таблица 3

Общая характеристика светильников для освещения производственных зданий

Тип светильника	Количество и мощность ламп	КПД, %	Тип КСС	Степень защиты	Климатическое исполнение	Характеристика помещения	Примечание
НСП 17-100-104	100	75	Д	50	УХЛ4	Сухое, чистое	
НСП 17-200-103	200	75	Л	50			
НСП 17-500-104	500	75	Г	50	У3		
НСП 17-1000-004	1000	75	Г	IP20	У3		
РСП 05-125-001	125	80	Г	IP20 IP54	УХЛ4	То же	
РСП 05-250-001	250	80					
РСП 05-400-001	400	80					
РСП 05-700-001	700	80					
РСП 05-1000-001	1000	80					

Приложение 1. Характеристики источников света

Продолжение табл. 3

Тип светильника	Количество и мощность ламп	КПД, %	Тип КСС	Сте- пень защиты	Клима- тическое исполне- ние	Характери- стика поме- щения	Примечание
ЖСП 01-400-007	ДНаТ-400-5	75	Г	IP 20	У3	Сухое, чи- стое	
ЖСП 01-400-008	ДНаТ-400-5	75	К	IP 20	У3		
ГСП 17-700-055	ДРИ-700-5	78	К	IP 20	У3		
ГСП 17-2000-055	ДРИ-2000-5	78	К	IP 20	У3		
РСП 48-250(400)-001	250(400)	60	ЛчК	IP 54	УХЛ4	Тяжелые условия среды	Индивидуаль- ной компенса- ции
ЖСП 48-250(400)-001	250(400)	60	ЛчК	IP 54	УХЛ4		
ГСП 48-250(400)-001	250(400)	60	ЛчК	IP 54	УХЛ4		
ГПП 06-(250-400)-001	250(400)	60	Л	IP 54	УХЛ2		
РПП 06-(250-400)-001	250(400)	60	Л	IP 54	УХЛ2		
ЖПП 06-(100-400)-001	100(400)	60	Л	IP 54	УХЛ2		
РСП 25-125(250)	125(250)	60	М	IP 54		То же	
ВЗГ-200-АМС	200(ЛН)	60	М	IP 54			
ЖКУ-150(250)001	150(250)	>75	Л	IP 66	У1	-//-	
ЖКУ-400-001	400	>60	Л	IP 53	У1		
ЖКУ 02-400-001	400	>60	Ш	IP 53	У1		
ГКУ 02-250-001	250	>60	Ш	IP 53	У1		
РКУ 02-400-002	400	>60	Ш	IP 53	У1		
РКУ 02-250-001	250	>60	Ш	IP 53	У1		
РКУ 01-125-008	125	>60	Л	IP 23	У1		
РКУ 01-250-007	250	>60	Л	IP 23	У1		
РКУ 01-400-006	400	>60	Л	IP 23	У1		
РСУ 05-250-001	250	>60	Ш	IP 53	У1		
ГСУ 05-250-001	250	>60	Ш	IP 53	У1	-//-	
ЖСУ 05-250-001	250	>60	Ш	IP 53	У1		

Окончание табл. 3

Тип светильника	Количество и мощность ламп	КПД, %	Тип КСС	Сте- пень защиты	Клима- тическое исполне- ние	Характери- стика поме- щения	Примечание
ЖКУ 32-70,150(250) ГКУ 32-150(250)-001 РКУ 45-80(125)-001	70, 150, 250 150, 250 80, 125	>60 >60 >60	Л-Ш	IP66 IP66 IP66	УХЛ1 УХЛ1 УХЛ1	Тяжелые условия среды	Индивидуаль- ной компенса- ции
ЛСП 18-18-002	18	75	М	IP65	УХЛ4,04	То же	720×152×204
ЛСП 18-36-002	36	75	М	IP65	УХЛ4,04		1330×152×204
ЛСП 18-58-002	58	75	М	IP65	УХЛ4,04		1630×152×204
ЛСП 18-65-002	65	88	Специ- альная	54	УХЛ4,04	—//—	1130×65×165
ЛСП 18-40-002	40	88		54	УХЛ4,04		1330×65×165
ЛСП 18-36-002	36	73		IP65	УХЛ4,04		1630×75×180
ЛСП 22-65-001	65(ЛБР65)	92	Д	53	УХЛ4	Сухое, чистое	1625×280×215
ЛСП 22-2×65-001	2×65(ЛБР65)		Д	53	УХЛ4,04	Пыльное, влажное	
ЛПП-24 2×18 6**	2×18		Д	IP65	УХЛ4		
ЛПП-24 2×36 6**	2×36		Д	IP65	УХЛ4		
ЛСП 02-2×36-001	2×36	72	Д	IP20	УХЛ4	Сухое, чи- стое	1330×270×204
ЛСП 02-2×58-001	2×58	72	Д	IP20	УХЛ4		1630×270×204
ЛСП 02-2×36-003	2×36	72	Д	IP20	УХЛ4		1320×240×126
ЛСП 02-2×58-003	2×58	72	Д	IP20	УХЛ4		1620×240×126
ЛСП 24-2×40-002	2×40	85	Специ- альная М	54	УХЛ4	Пыльное, влажное	1625×148×170
ЛСП 24-2×65-002	2×65	85		54	УХЛ4		
ЛСП 40-2×40-001	2×40	>65		IP54	УХЛ4		
ЛПО 50-36(40)-002	2×36 2×40	0,92	М	IP20		Сухое, чи- стое	1282×190×144

Приложение 1. Характеристики источников света

Таблица 4

Приложение

Значения типовых КСС круглосимметричного светового прибора ($\Phi_{\text{д}} = 1000$ лм)

Коэф- фи- циент $\alpha_1, \circ$	Типовые кривые силы света отечественных круглосимметричных светильников																
	М	Д-1	Д	Д-2	Д-3	Г-1	Г-2	Г	Г-3	К-1	К-2	К-3	К	С	Л (Ш-1)	Л-Ш (Ш-2)	Ш (Ш-3)
0	159,2	233,4	330,0	295	377,3	503	670,7	800	894,2	1192	1583	2120	2400	0	154,8	119,6	78,3
5	159,2	232,9	328,7	293,8	375,5	499,8	664,8	791,7	883,8	1173	1549	2062	2323	17,9	155,5	119,0	78,6
10	159,2	229,2	325	290,2	370,3	490,2	647,5	767,1	852,5	1118	1449	1893	2097	35,6	158,2	118,6	79,4
15	159,2	228,5	318,8	284,2	361,6	474,4	618,5	726,5	801,1	1026	1288	1595	1737	53,1	164,5	120,2	81,4
20	159,2	224,7	310,1	275,9	349,8	452,7	579,5	670,9	731,2	902	1052	1261	1265	70,1	175,5	126,0	81,7
25	159,2	220	299,1	265,3	334,3	425,1	530,2	601,5	643,8	750	810	832	712	86,6	190,7	134,0	83,3
30	159,2	214,1	285,8	252,5	316	392,1	471,4	519,6	541,3	574	515	249	113	102,5	210,8	145,0	87,2
35	159,2	207,1	270,3	237,7	294,7	354,1	404,7	426,9	439,9	380	196	0	0	117,6	235,1	159,6	94,8
40	159,2	199,3	252,9	221	270,7	311,7	330,9	325,4	301	174	0	0	0	131,8	261,8	180,4	105,4
45	159,2	190,6	233,3	202,4	244,2	265,3	251,4	217,2	168,8	0	0	0	0	145,0	281,6	209,7	121,3
50	159,2	180	212,1	182,1	215,4	215,5	167,3	104,4	32,6	0	0	0	0	157,0	282,1	243,3	137,1
55	159,2	170,5	189,3	160,4	184,6	162,9	81,8	0	0	0	0	0	0	168,0	257,2	269,7	162,0
60	159,2	159,2	165	137,4	152	108,3	0	0	0	0	0	0	0	201,9	212,9	275,0	199,0
65	159,2	147,1	139,5	113,2	118,2	52,6	0	0	0	0	0	0	0	185,8	161,7	247,6	230,0
70	159,2	134,3	112,9	88,1	83,1	0	0	0	0	0	0	0	0	192,6	113,6	194,0	252,0
72	159,2	129,0	102	77,9	68,9	0	0	0	0	0	0	0	0	195,0	95,6	167,0	243,2
74	159,2	123,6	91	67,5	54,6	0	0	0	0	0	0	0	0	197,1	79,4	139,0	225,0
75	159,2	121	85,4	62,3	47,4	0	0	0	0	0	0	0	0	198	71,5	125,2	212,3
76	159,2	118,1	79,8	57,1	40,2	0	0	0	0	0	0	0	0	199,0	63,8	111,1	199,0
78	159,2	112,6	68,6	46,6	25,7	0	0	0	0	0	0	0	0	199,0	49,1	84,5	165,5
80	159,2	106,9	57,3	36,0	11,2	0	0	0	0	0	0	0	0	201,9	35,8	60,4	127,7

Окончание табл. 4

Коэф- фи- циент $\alpha_1, ^\circ$	Типовые кривые силы света отечественных круглосимметричных светильников																
	М	Д-1	Д	Д-2	Д-3	Г-1	Г-2	Г	Г-3	К-1	К-2	К-3	К	С	Л (Ш-1)	Л-Ш (Ш-2)	Ш (Ш-3)
82	159,2	101,2	45,9	25,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	203,0	23,8	39,5	89,1
84	159,2	95,4	34,5	14,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	203,9	13,8	22,5	53,6
85	159,2	92,5	28,7	9,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	204,2	10,0	16,2	39,0
86	159,2	89,6	23	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	204,5	6,2	10,1	25,0
88	159,2	83,6	11,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	204,9	1,6	2,5	6,4
90	159,2	77,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	205,0	0	0	0

Приложение 2. Пространственные изолюксы условной горизонтальной освещенности

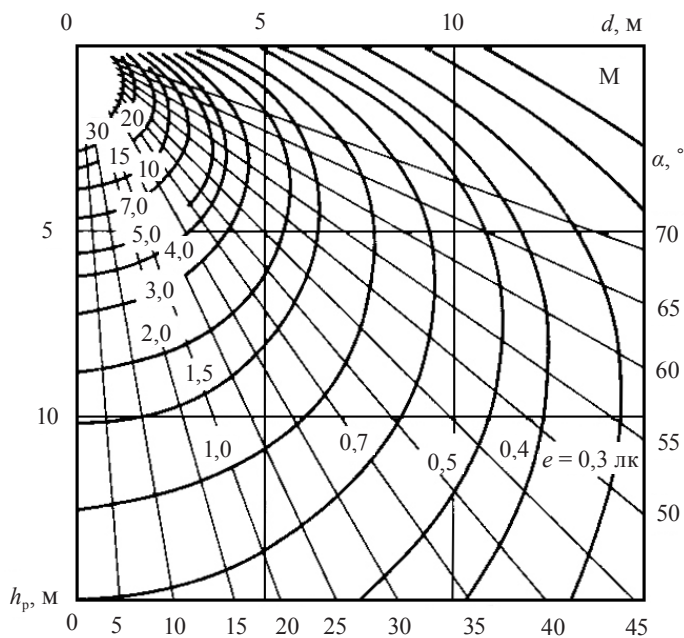


Рис. 1. Светильники с КСС типа М

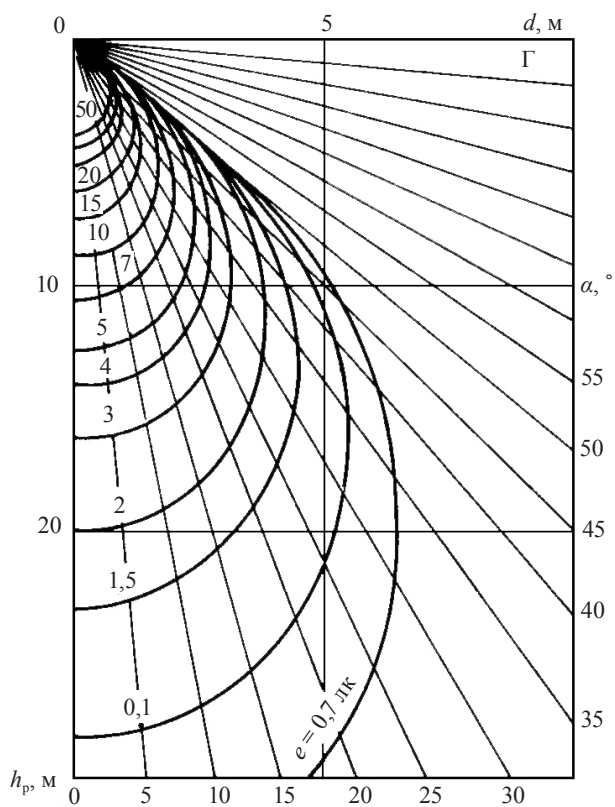


Рис. 2. Светильники с КСС типа Γ

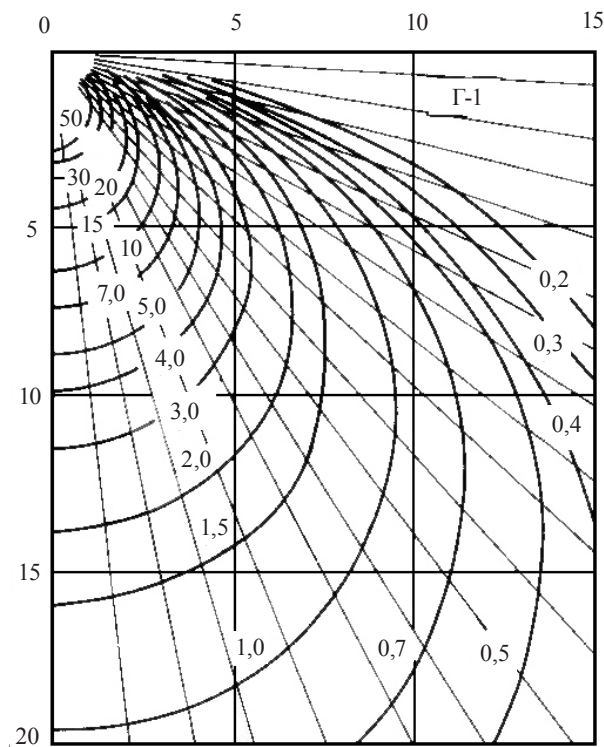


Рис. 3. Светильники с КСС типа Г-1

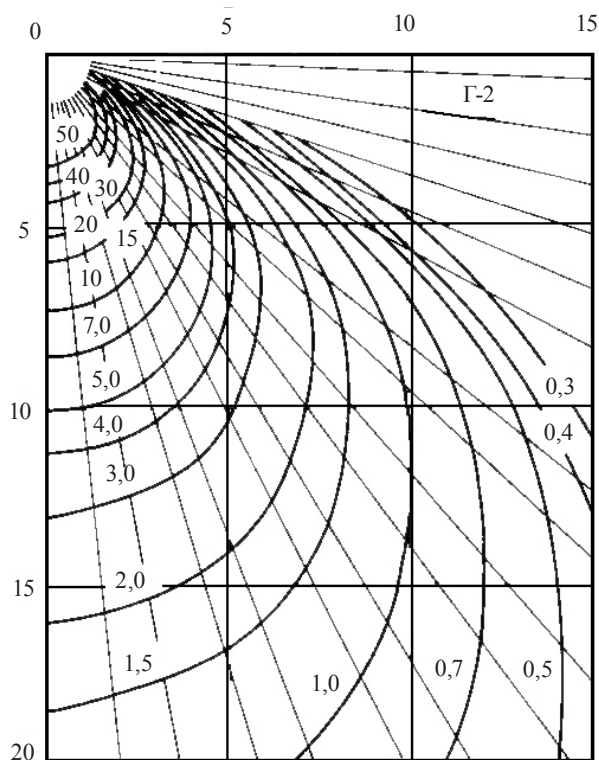


Рис. 4. Светильники с КСС типа Г-2

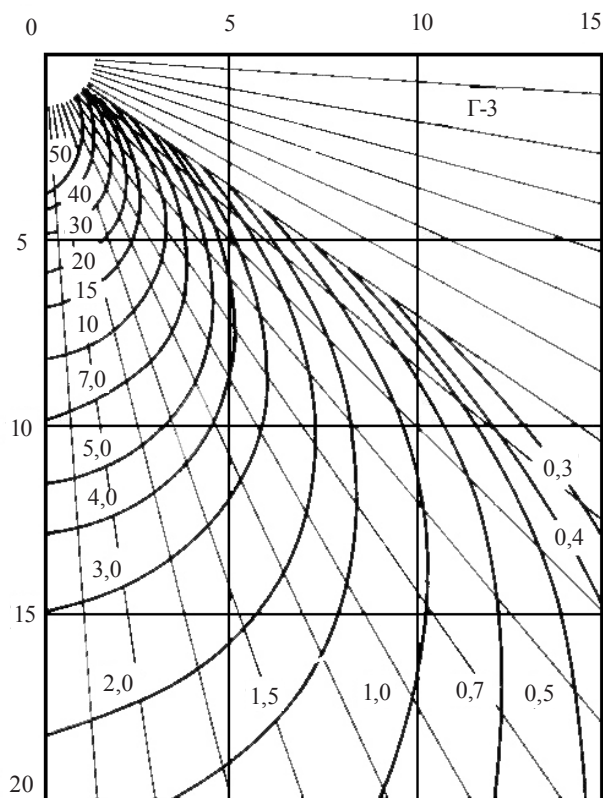


Рис. 5. Светильники с КСС типа Г-3

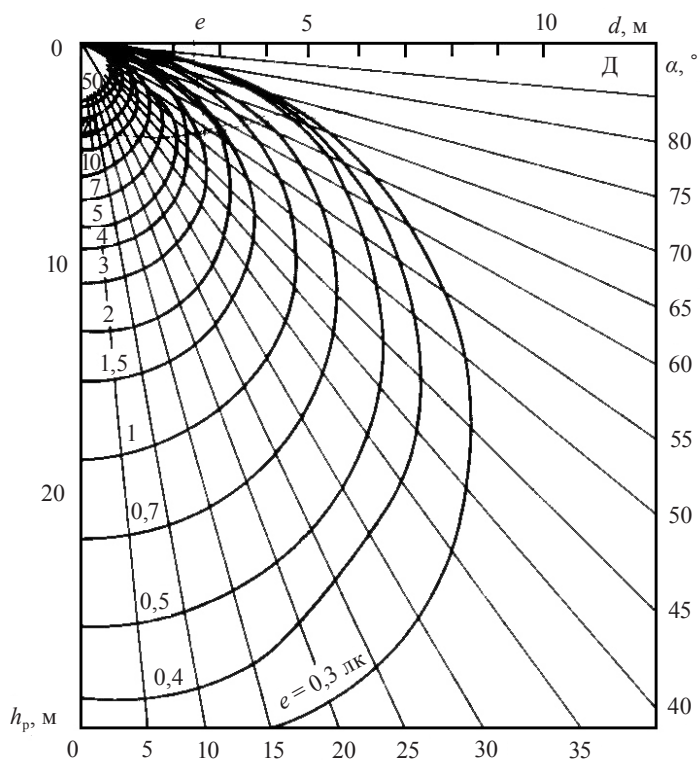


Рис. 6. Светильники с КСС типа Д

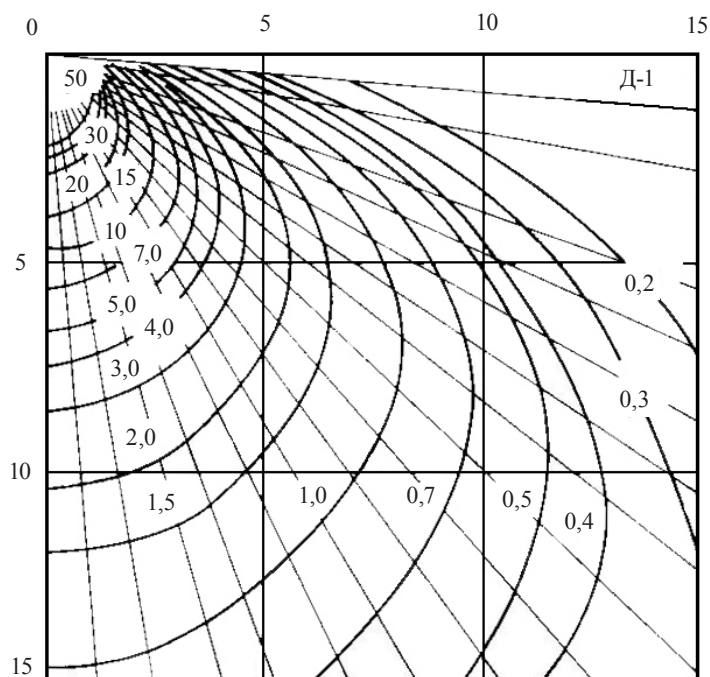


Рис. 7. Светильники с КСС типа Д-1

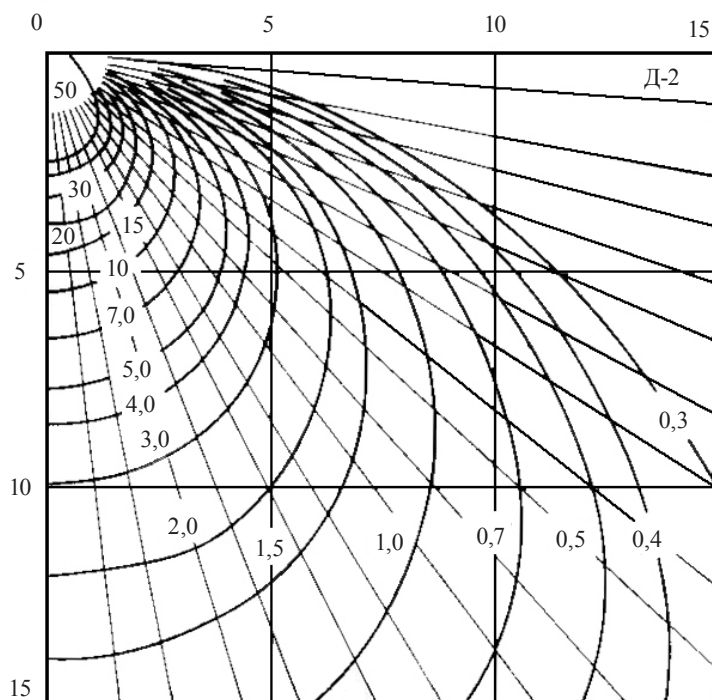


Рис. 8. Светильники с КСС типа Д-2

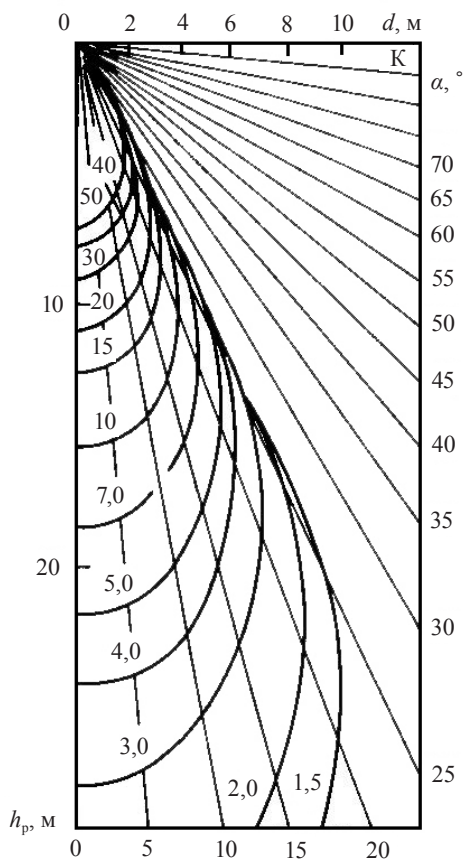


Рис. 9. Светильники с КСС типа К

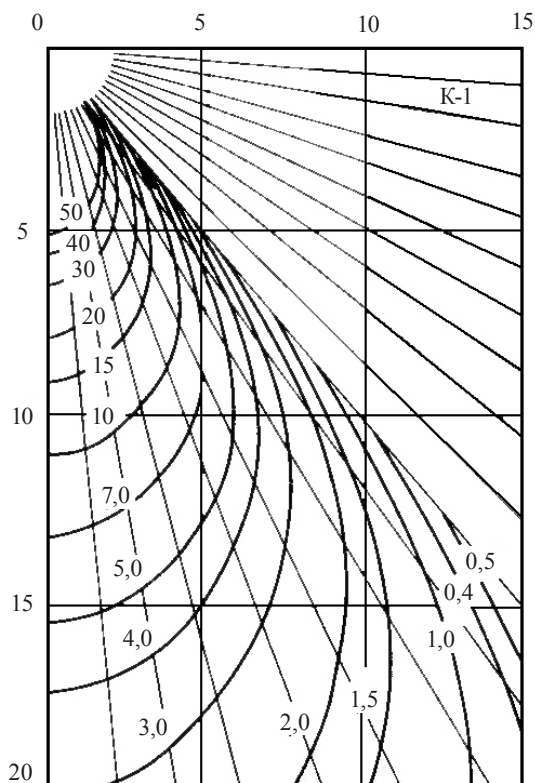


Рис. 10. Светильники с КСС типа К-1

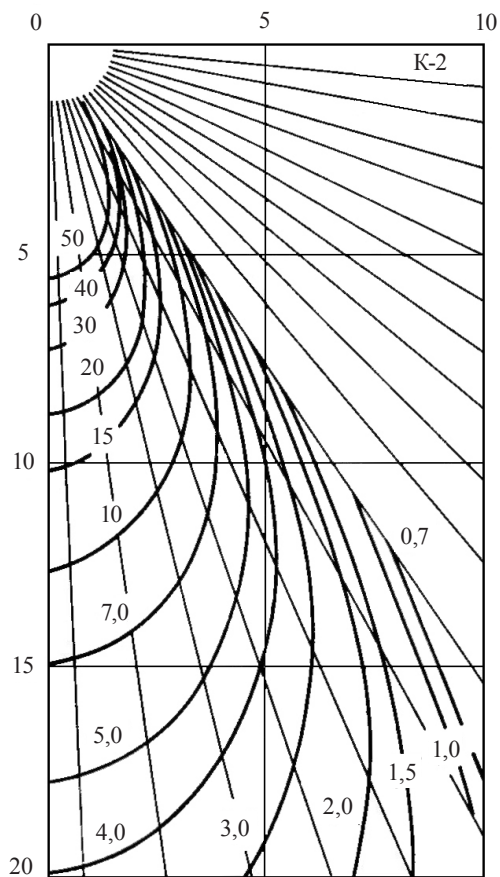


Рис. 11. Светильники с КСС типа К-2

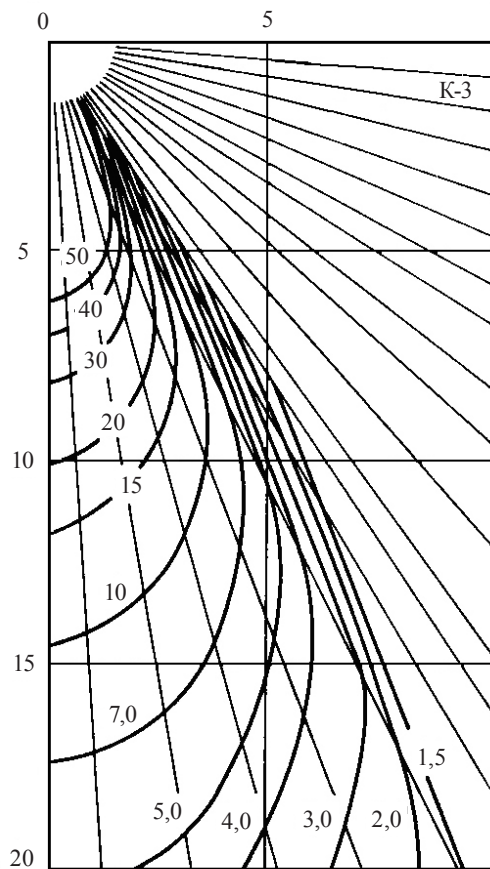


Рис. 12. Светильники с КСС типа К-3

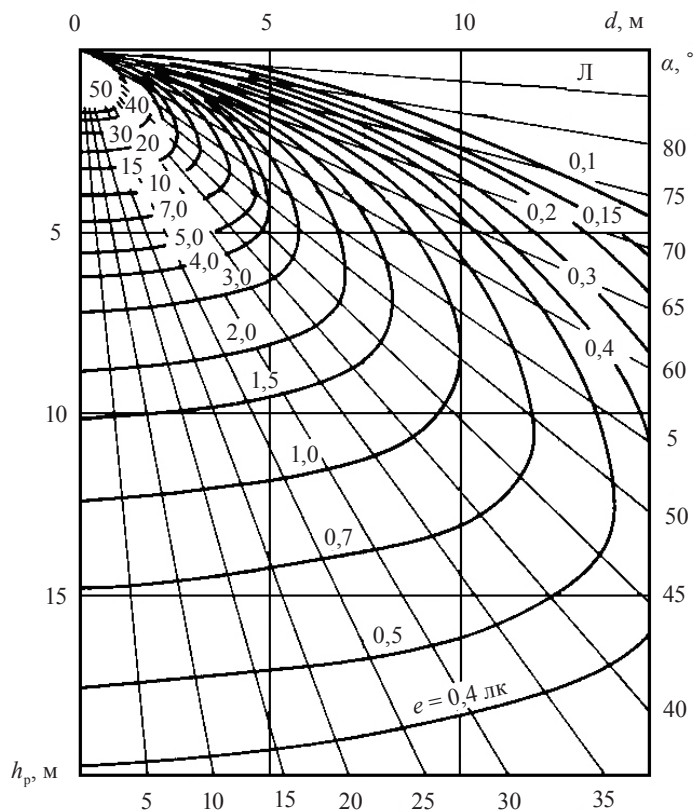


Рис. 13. Светильники с КСС типа Л

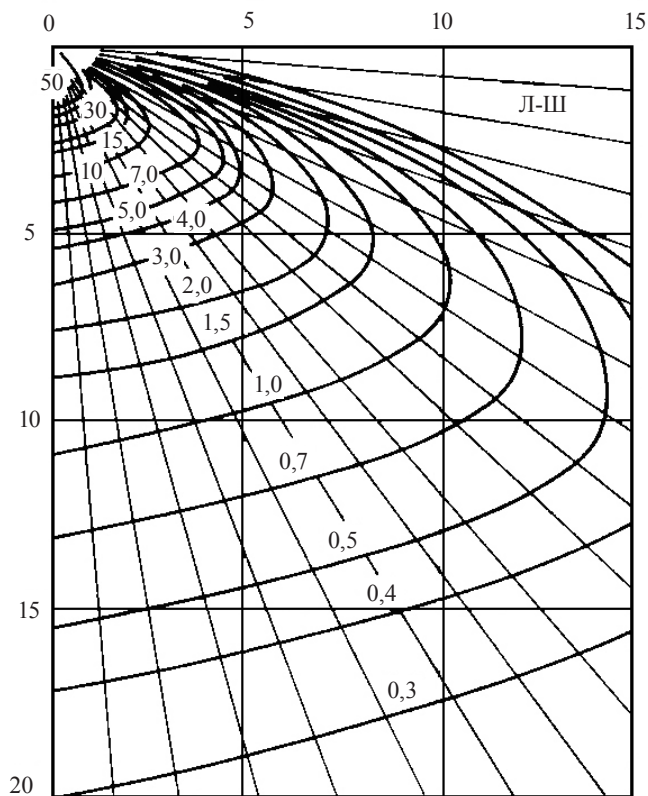


Рис. 14. Светильники с КСС типа Л-Ш

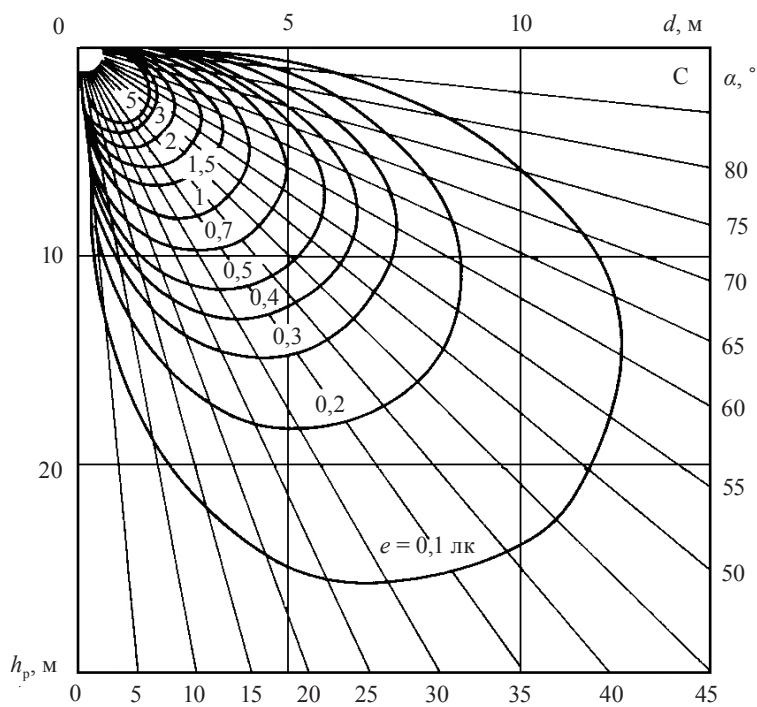


Рис. 15. Светильники с КСС типа С

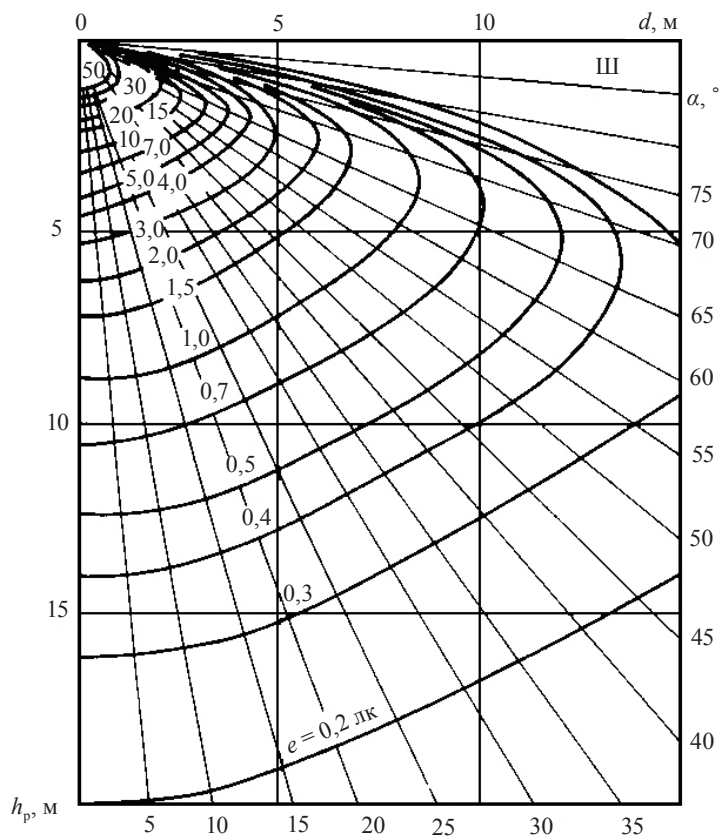


Рис. 16. Светильники с КСС типа Ш

Приложение 3. Линейные изолюксы

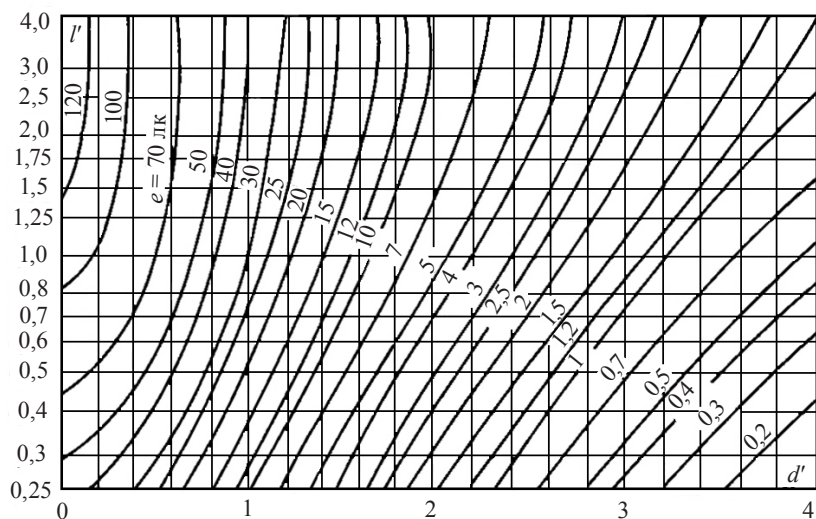


Рис. 1. Светильники с КСС типа Г-1

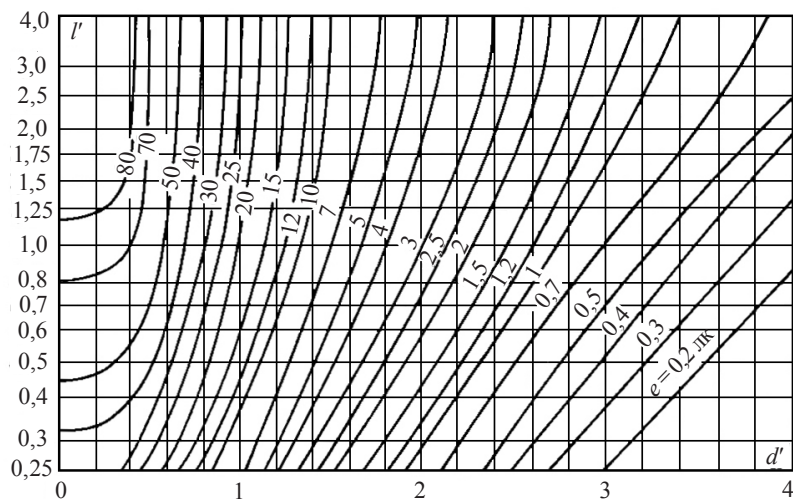


Рис. 2. Светильники с КСС типа Г-2

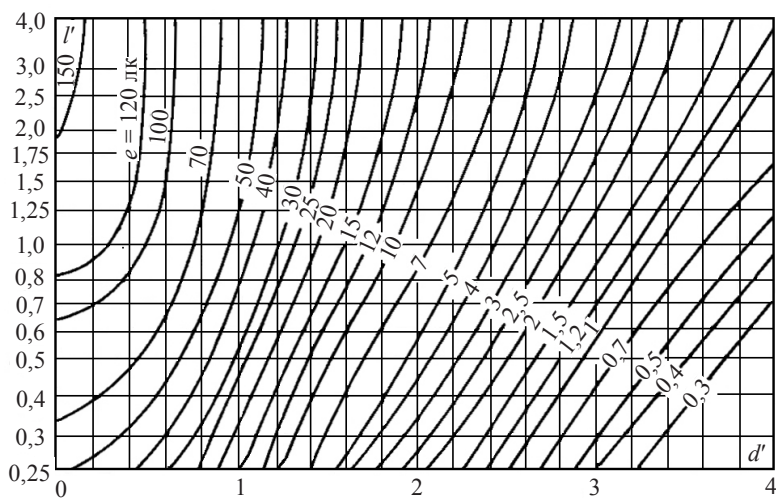


Рис. 3. Светильники с КСС типа Д-1

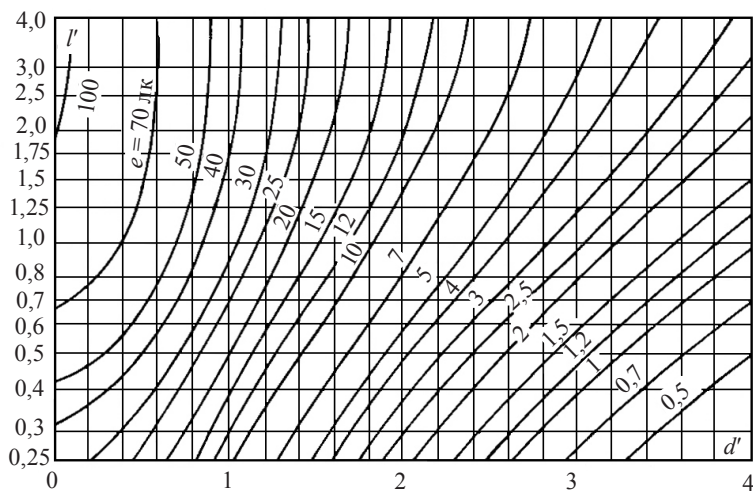


Рис. 4. Светильники с КСС типа Д-2

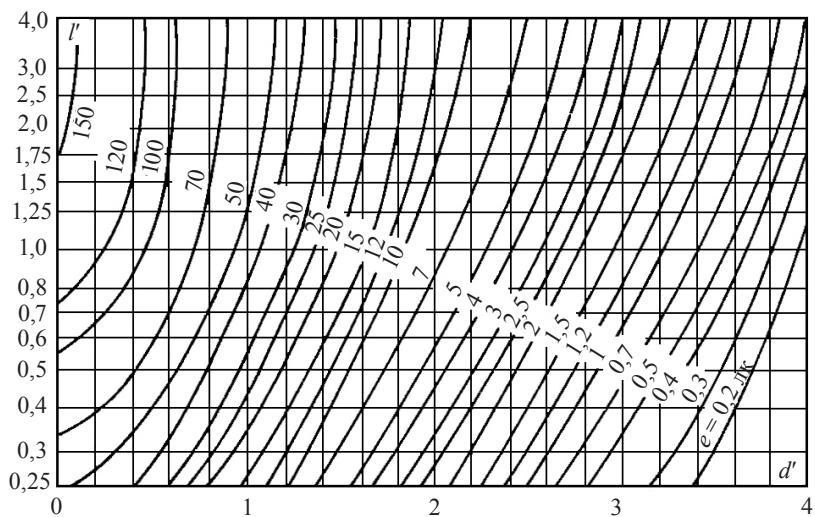


Рис. 5. Светильники с КСС типа М

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
ГЛАВА 1. СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ, ИСТОЧНИКИ СВЕТА И СВЕТИЛЬНИКИ	5
1.1. Светотехнические величины и понятия.....	5
1.2. Электрические источники света: общие сведения	13
1.3. Световые приборы: классификация и характеристика	52
ГЛАВА 2. СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОСВЕЩЕНИЯ.....	70
2.1. Виды освещения. Выбор системы освещения и нормированной освещенности.....	70
2.2. Выбор источников света	77
2.3. Выбор типа светильников.....	82
2.4. Размещение светильников	86
2.5. Расчет освещения методом коэффициента использования светового потока	91
2.6. Расчет освещенности по удельной мощности	97
2.7. Расчет освещения точечным методом	99
2.8. Расчет освещенности от светящейся линии	108
2.9. Расчет осветительных установок с помощью компьютерных программ	111
ГЛАВА 3. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОСВЕЩЕНИЯ	119
3.1. Схемы электрических осветительных сетей	119
3.2. Конструктивное исполнение и выбор способа прокладки осветительных сетей	125
3.3. Электрооборудование осветительных сетей. Защита сетей освещения.....	130
3.4. Выбор сечения проводников сетей освещения	146
3.5. Выбор системы заземления и сечения нулевых проводников	156
ГЛАВА 4. УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ОСВЕЩЕНИЕМ	161
4.1. Основные принципы организации и схемы управления электрическим освещением.....	161
4.2. Структура и элементы автоматизированной системы управления освещением	166
4.3. Пути экономии электроэнергии в осветительных установках	169
ГЛАВА 5. ОФОРМЛЕНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ ГРАФИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ПРОЕКТОВ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК	174
ЛИТЕРАТУРА	180
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	182

Учебное издание

Дробов Андрей Владимирович

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

Учебное пособие

Редактор *Е.Л. Мельникова*
Технический редактор *Е.В. Потанейко*
Корректор *И.В. Счеснюк*
Дизайн обложки *И.В. Дворниковой*

Подписано в печать 10.11.2017. Формат 60×84/16.
Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 12,82. Уч.-изд. л. 9,52. Тираж 400 экз. Заказ 171.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Республиканский институт профессионального образования.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/245 от 27.03.2014.
Ул. К. Либкнехта, 32, 220004, Минск. Тел.: 226 41 00, 200 43 88.

Отпечатано в Республиканском институте
профессионального образования. Тел. 200 69 45.