

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

Н. П. БАДАЛЯН
Г. П. КОЛЕСНИК

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОСВЕЩЕНИЕ: ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ И АДМИНИСТРАТИВНЫХ ЗДАНИЙ

Учебное пособие



Владимир 2022

УДК 628.921
ББК 31.294
Б15

Рецензенты:

Кандидат технических наук, доцент
зав. кафедрой электротехники Ковровской государственной
технологической академии имени В. А. Дегтярева
Е. А. Чащин

Кандидат технических наук, доцент
доцент кафедры электроники, приборостроения и биотехнических систем
Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
Г. Ф. Долгов

Издается по решению редакционно-издательского совета ВлГУ

Бадалян, Н. П. Электрическое освещение: основы проектирования осветительных установок производственных и административных зданий : учеб. пособие / Н. П. Бадалян, Г. П. Колесник ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2022. – 267 с. – ISBN 978-5-9984-1523-4.

Изложены основы проектирования осветительных установок внутреннего и наружного освещения промышленных предприятий и административных зданий, а также даны практические указания по их устройству и эксплуатации. Рассмотрены типы источников света, виды и системы освещения, схемы питания и управления, а также вопросы расчета освещения и осветительных сетей и выбора нормируемых характеристик.

Предназначено для студентов бакалавриата направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» профиля «Электроснабжение» всех форм обучения. Может служить руководством по вопросам проектирования электрического освещения при выполнении курсовых проектов для студентов строительных специальностей.

Рекомендовано для формирования профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС ВО.

Табл. 42. Ил. 49. Библиогр.: 33 назв.

УДК 628.921
ББК 31.294

ISBN 978-5-9984-1523-4

© ВлГУ, 2022

ВВЕДЕНИЕ

Проектирование и эксплуатация установок искусственного внутреннего и наружного освещения – один из важнейших аспектов деятельности инженера-электрика. Установки искусственного освещения – самые массовые инженерные устройства (более 1,5 млрд световых точек суммарной мощностью около 150 млн кВт). Они потребляют в среднем 20 процентов от всей вырабатываемой электроэнергии в мире (свыше 220 млрд кВт · ч), при этом в промышленно развитых странах (Германия, Япония, США) этот показатель достигает около 10 %, а в преимущественно аграрных странах (Аргентина, Бразилия) – 60 %. Таким образом, профессиональный подход к эксплуатации установок искусственного освещения прямо связан с энергосбережением и уменьшением трудозатрат.

Соблюдение научно обоснованных светотехнических норм с учетом благосостояния и технического потенциала страны, правильный выбор источников света и осветительных приборов для конкретного помещения способствуют исключению каких-либо объективных помех при решении той или иной зрительной задачи и комфортному восприятию визуальной информации без напряжения и утомления глаз в зависимости от времени суток. Если указанные нормативы и рекомендации не выполняются, то человек расходует значительную часть жизненных сил на преодоление последствий «плохого освещения», что ведет к снижению производительности труда.

Качественное освещение, удовлетворяющее светотехническим и санитарно-гигиеническим нормам, позволяет человеку легко, быстро и безопасно ориентироваться, перемещаться в пространстве и качественно выполнять ту или иную работу с минимальными трудозатратами.

Учебное пособие может служить студентам практическим пособием при решении различных задач освещения.

ГЛАВА 1. СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

1.1. Общие положения о нормативных показателях освещенности

Освещенность на расчетной рабочей поверхности $E_{р.п}$ создает световой поток Φ , поступающий непосредственно от светильников (прямая составляющая освещенности E) и падающий на расчетную рабочую поверхность в результате многократных отражений от стен, потолка, пола, оборудования (отраженная составляющая освещенности $E_{о.с}$),

$$E_{р.п} = E + E_{о.с}.$$

При проектировании *осветительной установки* (ОУ) необходимо учитывать тот факт, что светотехнические характеристики как источников света (ламп), так и осветительных приборов (светильников) имеют значительные допуски, поэтому высокая точность расчета в большинстве случаев не требуется, тем более что при выборе лампы допустимые отклонения светового потока составляют от -10 до $+20$ процентов от расчетного значения. Кроме того, расчет ОУ производственных или офисных помещений с использованием светильников с направлением светового потока преимущественно в нижнюю полу-сферу ведется, как правило, для прямой составляющей освещенности, поскольку учет отраженной составляющей освещенности трудоемок и мало влияет на конечный результат. Влияние отраженной составляющей освещенности без общих потерь учитывают поправочными коэффициентами. Компромисс находят, рассматривая результаты расчета по двум-трем методикам.

В зависимости от назначения помещения и нормативных показателей освещенности в ОУ применяют либо *точечные* источники света (лампы накаливания, дуговые лампы, компактные люминесцентные, светодиодные, индукционные и плазменные лампы), либо *линейные* (трубчатые люминесцентные и линейные светодиодные). При этом в большинстве случаев важно решить задачу определения количества и мощности источников света, а также их координат в трехмерном пространстве.

Светящий элемент считается точечным, если его размеры не превышают $0,2$ расстояния до освещаемой точки на рабочей поверхности. При светотехнических расчетах точечный светильник принимают за светящую точку с условно выбранным световым центром, характеризующимся силой света по всем направлениям в пространстве.

К светящим линиям относят излучатели, длина которых превышает половину расчетной высоты установки светильника над рабочей поверхностью (например, люминесцентные светильники, расположенные непрерывными линиями или линиями с разрывами, не превышающими половину длины одного светильника).

В зависимости от целевой задачи при светотехнических расчетах прямой составляющей освещенности в основном используют две методики:

1) точечный метод, базирующийся на основе кривой силы света светильников и расположения светильников относительно контрольной точки на рабочей поверхности;

2) расчет общей равномерной освещенности в заданном световом поле (по методам коэффициента использования, удельной мощности (упрощенный вариант метода коэффициента использования) или расчетной мощности) по следующим формулам:

– для средней освещенности E , лк,

$$E = \frac{\Phi}{S},$$

где Φ – суммарный световой поток ламп светильника, лм;

S – площадь освещаемой рабочей поверхности, м²;

– для суммарной мощности ОУ P_{Σ} , Вт,

$$P_{\Sigma} = SP_{уд},$$

где $P_{уд}$ – удельная мощность, Вт/м² (определяют по справочным таблицам для расчетного значения индекса помещения).

При известной мощности ламп светильника и числа светильников ОУ удельную мощность $P_{уд}$, Вт/м², можно определить по формуле

$$P_{уд} = \frac{P_{л}N}{S},$$

где $P_{л}$ – суммарная мощность ламп светильника, Вт;

N – расчетное число ламп ОУ.

Расчет ОУ по методу удельной мощности обычно производят только для общего равномерного освещения при отсутствии крупных затеняющих объектов и в пределах тех данных, для которых составлены справочные таблицы.

При расчете равномерной освещенности предварительно определяют общее число светильников ОУ и их размещение в световом поле (метод коэффициента использования). При предварительном расчете суммарной мощности ОУ используют справочные данные по удельной мощности в функции геометрических размеров помещения (индекс помещения), затем выбирают светильники определенной мощности и по значению суммарной мощности ОУ определяют их количество. После этого светильники распределяют равномерно над освещаемой поверхностью.

Упомянутая методика не дает полную картину распределения значений освещенности по расчетной рабочей поверхности, полагая ее равной во всех точках. Отметим, что при этом вопрос учета и оптимизации энергетических затрат остается неразрешенным. Для этого необходимо использовать точечный метод расчета освещенности, в котором обязательной процедурой является определение минимальной и максимальной освещенности в расчетных точках рабочей поверхности.

Параметры ОУ общего равномерного освещения и схемы расположения световых приборов следует выбирать в соответствии с прил. 1, 2, 3.

Значение средней освещенности в точке минимальной (максимальной) освещенности на горизонтальной, вертикальной или наклонной поверхностях рассчитывают по формуле

$$E = \frac{I \cos \alpha}{r^2},$$

где I – сила света в заданном направлении от источника света к контрольной точке, кд;

α – угол между лучом и нормалью к освещаемой поверхности в контрольной точке;

r – расстояние по лучу от источника света до контрольной точки, м.

На основании результатов светотехнического расчета выполняют электротехнический расчет, на этапах которого можно корректировать тип светильника и его мощность, а также решать вопросы энергосбережения и энергоэффективности. Анализ вышеизложенного материала показывает, что методики равномерной освещенности энергозатратны и в настоящее время практически не используются. Единственная ме-

тодика расчета ОУ, удовлетворяющая требованиям Федерального закона от 23.11.2009 № 261-ФЗ (ред. от 26.07.2019) «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности в отдельные законодательные акты Российской Федерации», – точечный метод, реализация ОУ по результатам расчета которого позволяет снизить потребление электроэнергии на 20 – 30 % при одних и тех же источниках света.

Успешное решение вопросов энергоэффективности и энергосбережения обусловлено внедрением в этот процесс многоплановых расчетных методик, ориентированных на новейшие разработки источников света и осветительных приборов. Отметим, что внедрение новых расчетных технологий и материалов обуславливает обновление парка осветительных приборов практически каждые два года, что влияет на конечную стоимость проекта ОУ.

Задача светотехнического расчета ОУ в зависимости от их назначения и нормативных требований к ним – определение значения освещенности в характерных точках на горизонтально, вертикально или наклонно расположенных поверхностях ($E_{г}$, $E_{в}$, $E_{нк}$), среднего значения освещенности $E_{ср}$ или яркости L ; а также контроль обеспечения качественных характеристик ОУ: цилиндрической освещенности $E_{ц}$, коэффициента пульсации $K_{п}$, показателя ослепленности P или показателя дискомфорта M . При необходимости значения указанных величин определяют с учетом многократных отражений света.

Целевая задача электрического освещения – обеспечение заданного уровня освещенности в заданной точке рабочей поверхности произвольной конфигурации от источника света HL (рис. 1). При этом значение освещенности E , лк, в контрольной точке определяют по формуле

$$E = \frac{I_{\alpha} \cos \beta}{r^2},$$

где I_{α} – сила света излучателя в заданном направлении, кд;

r – расстояние по лучу от источника света до точки на рабочей поверхности, м;

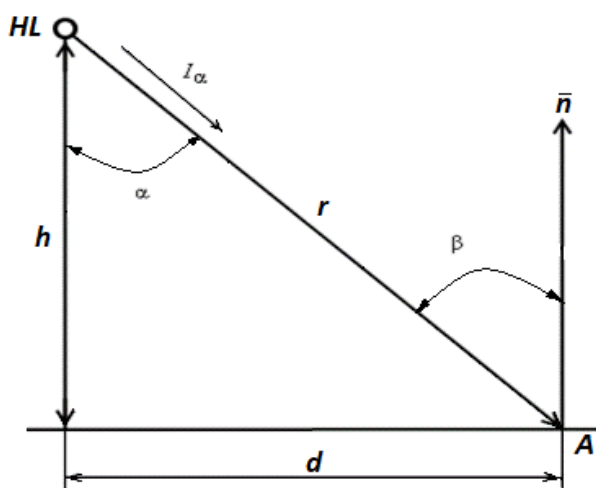


Рис. 1. К формулировке целевой задачи расчета освещенности

α и β – углы между направлением луча и нормалью к горизонтальной поверхности, между направлением луча и нормалью к поверхности в контрольной точке соответственно.

Таким образом, для решения задачи освещенности в заданной точке на произвольной поверхности необходимо:

- знать координаты источника света и контрольной точки;
- форму и расположение освещаемой поверхности в пространстве;
- силу света источника излучения в заданном направлении.

Ответы на поставленные вопросы можно получить, рассмотрев в трехмерном пространстве OY , предназначенную для освещения рабочей поверхности, представленной в сферической системе координат в соответствии с существующими стандартами углов: полярным Θ и азимутальным φ углами в сферической системе координат $O''r\Theta\varphi$, центр которой находится в расчетной точке, как это показано на рис. 1.

При значении угла $\Theta = 0^\circ$ рассматривают горизонтально расположенную плоскость, а случай $\Theta = \pi/2$ соответствует пучку вертикальных плоскостей, ориентированных азимутальным углом φ .

Положение светильников определяется координатами $O'(x_i y_i z_i)$ в декартовой системе $Oxyz$, центр которой находится в одном из углов помещения (рис. 2). Координаты расчетной точки на рабочей поверхности $O''(x_0 y_0 z_0)$ определяются в той же системе координат $Oxyz$.

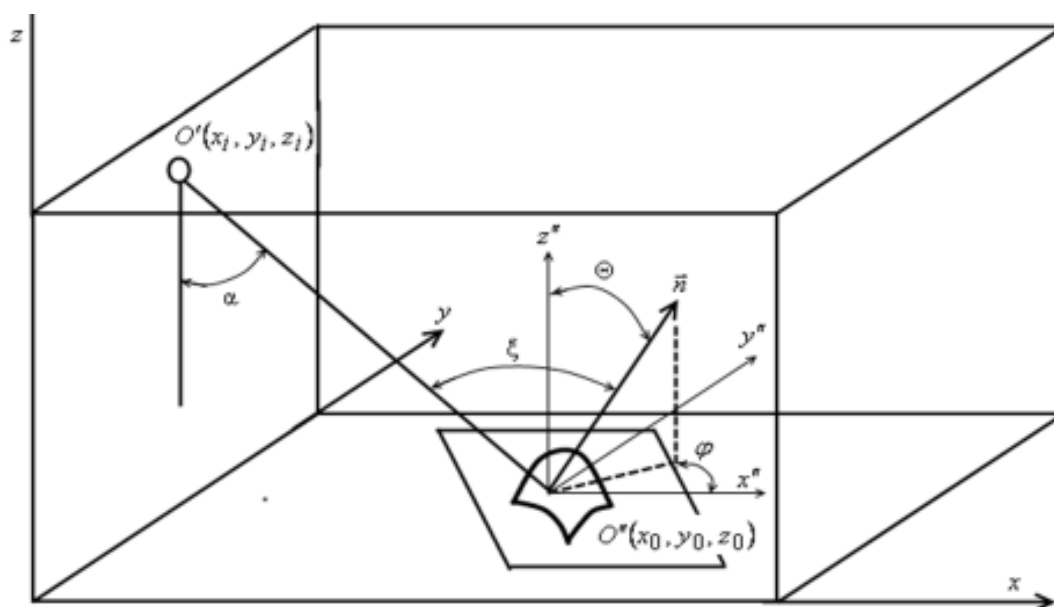


Рис. 2. К формулировке целевой задачи расчета освещенности в заданной точке трехмерного пространства

Для упрощения расчетных соотношений сначала определяют условную освещенность. При этом суммарный световой поток источников света в светильнике условно принимают равным 1000 лм.

Условная, или относительная, освещенность – это освещенность заданной точки поверхности при значении расчетной высоты в 1 м. С использованием обозначений на рис. 2 формула расчета условной освещенности принимает вид

$$e_n = \sum_{i=1}^N I_i(\alpha) r_i^{-2} \cos \xi_i = \sum_{i=1}^N e_i,$$

где $I_i(\alpha)$ – сила света i -светильника в направлении к точке расчета;
 r_i – расстояние i -светильника до расчетной плоскости по лучу;
 ξ_i – угол между лучом i -светильника, падающим в расчетную точку, и нормалью \vec{n} к расчетной плоскости в данной точке;

N – расчетное число светильников ОУ в заданном пространстве.

При известных координатах i -светильника и расчетной точки в трехмерном пространстве значение косинуса угла и расстояние до расчетной плоскости по лучу определяют по формуле

$$\cos \xi_i = \frac{(x_i - x_0) \sin \Theta \cos \varphi + (y_i - y_0) \sin \Theta \sin \varphi + (z_i - z_0) \cos \Theta}{\sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 + (z_i - z_0)^2}},$$

$$r_i = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 + (z_i - z_0)^2}.$$

В частном случае при освещении *горизонтальной плоскости* выполняется равенство углов $\xi_i = \alpha_i$ (см. рис. 2) и формула условной освещенности от i -светильника принимает вид

$$e_i = \frac{I_i(\alpha_i) \cos^3(\alpha_i)}{(z_i - z_0)^2}.$$

При освещении *вертикальной плоскости* нормаль к расчетной плоскости направлена по оси Oz (см. рис. 2) и угол $\Theta = 0$, следовательно

$$e_i = \frac{I_i(\alpha_i) \cos^3(\alpha_i)}{(z_i - z_0)^2} [(x_i - x_0) \cos \varphi + (y_i - y_0) \sin \varphi].$$

При освещении *наклонной плоскости* относительно оси Oz значение угла $\varphi = 0$ (см. рис. 2), и формулу расчета условной освещенности можно представить в следующем виде:

$$e_i = \frac{I_i(\alpha_i)\cos^3(\alpha_i)}{(z_i - z_0)^2} \left[\cos \Theta + \frac{x_i - x_0}{z_i - z_0} \sin \varphi \right].$$

Освещенность в расчетной точке при вычисленной условной освещенности от группы светильников с учетом КПД для нижней полусферы светильника и коэффициента запаса определяют по формуле

$$E = \frac{\Phi \eta_{\Omega} e}{1000 K_3},$$

где $e = \sum_{i=1}^N e_i + e_0$ – сумма прямой и отраженной составляющих условной освещенности, лк;

Φ – суммарный поток источников света в светильнике, лм;

η_{Ω} – КПД светильника для нижней полусферы, относительные единицы;

K_3 – коэффициент запаса по СП 52.13330.2016 (актуализованная редакция СНиП23-05-95).

При решении задачи определения значения суммарного светового потока источников света в светильнике для обеспечения нормативной освещенности в контрольной точке расчет ведут по формуле

$$\Phi = \frac{1000 E_n K_3}{e \eta_{\Omega}},$$

где E_n – норма освещенности, лк.

В работе применяются следующие термины и соответствующие им определения согласно своду правил СП 52.13330.2016 и СП 256.1325800.2016:

– **аварийное освещение**: освещение, предусматриваемое в случае выхода из строя питания рабочего освещения;

– **дежурное освещение**: освещение, используемое в нерабочее время;

– **дорога (в городе)**: автомобильная дорога, являющаяся составным элементом городской дорожно-уличной сети или соединяющая город с функционально связанными с ним объектами, но в отличие от улиц прокладываемая по свободным от застройки территориям;

– **естественное освещение:** освещение помещений светом неба (прямым или отраженным), проникающим через световые проемы в наружных ограждающих конструкциях, а также через световоды;

– **индекс цветопередачи R_a :** мера соответствия зрительных восприятий цветного объекта, освещенного исследуемым и стандартным источниками света при одинаковых условиях наблюдения;

– **интенсивность движения, единиц в час:** число транспортных средств в единицу времени, проходящих через поперечное сечение полотна дороги в часы пик в обоих направлениях;

– **комбинированное искусственное освещение:** искусственное освещение, при котором к общему искусственному освещению добавляется местное;

– **коэффициент естественной освещенности (КЕО) e , %:** отношение естественной освещенности, создаваемой в расчетной точке заданной плоскости внутри помещения светом неба (непосредственным или после отражений), к одновременно измеренному значению наружной горизонтальной освещенности, создаваемой светом полностью открытого небосвода; при этом участие прямого солнечного света в создании той или другой освещенности исключается;

– **контраст объекта различения с фоном K , относительные единицы:** определяется отношением абсолютной величины разности между яркостью объекта и фона и яркости фона. Контраст объекта различения с фоном считается:

– большим – при значении K более 0,5 (объект и фон резко отличаются по яркости);

– средним – при значении K от 0,2 до 0,5 (объект и фон заметно отличаются по яркости);

– малым – при значении K менее 0,2 (объект и фон мало отличаются по яркости);

– **коэффициент пульсации освещенности K_p , %:** критерий оценки относительной глубины колебаний освещенности в осветительной установке в результате изменения во времени светового потока источников света при их питании переменным током, выражающийся формулой

$$K_{\Pi} = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{2E_{\text{ср}}} 100,$$

где E_{\max} и E_{\min} – максимальное и минимальное значения освещенности за период ее колебания, лк;

$E_{\text{ср}}$ – среднее значение освещенности за этот же период, лк;

– *коэффициент слепящей блескости R_G , относительные единицы*: коэффициент, характеризующий прямую слепящую блескость светильников в ОУ в местах производства работ вне зданий;

– *коэффициент эксплуатации (для искусственного освещения) MF , относительные единицы*: коэффициент, равный отношению освещенности или яркости в заданной точке, создаваемой ОУ в конце установленного срока эксплуатации, к освещенности или яркости в той же точке в начале эксплуатации;

– *местное освещение*: освещение, дополнительное к общему, создаваемое светильниками, концентрирующими световой поток непосредственно на рабочих местах;

– *общее равномерное искусственное освещение помещений*: освещение, при котором светильники размещаются в верхней зоне помещения и создают равномерное распределение освещенности на рабочих местах;

– *общее локализованное искусственное освещение помещений*: освещение, при котором светильники размещаются в верхней зоне помещения непосредственно над оборудованием;

– *объект различения*: рассматриваемый предмет, отдельная часть его или дефект, которые требуется различать в процессе работы;

– *освещение путей эвакуации*: вид эвакуационного освещения для надежного определения и безопасного использования путей эвакуации;

– *освещенность E , лк*: отношение светового потока $d\Phi$, падающего на элемент поверхности, содержащий рассматриваемую точку, к площади dA этого элемента

$$E = d\Phi / dA;$$

- **помещение с постоянным пребыванием людей:** помещение, в котором люди находятся большую часть (более 50 %) своего рабочего времени в течение суток или более 2 ч непрерывно;
- **рабочая поверхность:** поверхность, на которой проводится работа, нормируется и измеряется освещенность;
- **рабочее освещение:** освещение, обеспечивающее нормируемые световые условия (освещенность, качество освещения) в помещениях и местах производства работ вне зданий;
- **резервное освещение:** вид аварийного освещения для продолжения работы в случае отключения рабочего освещения;
- **световой указатель:** знак безопасности с внутренней подсветкой;
- **светодиод:** источник света, основанный на испускании некогерентного излучения в видимом диапазоне длин волн при пропускании электрического тока через полупроводниковый диод;
- **совмещенное освещение:** освещение, при котором недостаточное по нормам естественное освещение дополняется искусственным в течение полного рабочего дня;
- **стандартные условия наблюдения в дорожном освещении:** регламентируемые при расчете яркости дорожного покрытия условия наблюдения водителем транспортного средства, при которых глаз наблюдателя располагается на высоте 1,5 м над дорожным покрытием и удален от расчетной точки на расстояние, при котором линия зрения направлена в расчетную точку под углом $(1,0 \pm 0,5)^\circ$ к плоскости дороги;
- **удельная мощность ω , Вт/м²:** установленная мощность искусственного освещения в помещении, отнесенная к полезной площади;
- **условная рабочая поверхность:** условная горизонтальная поверхность, расположенная на высоте 0,8 м от пола;
- **фликер:** субъективное восприятие колебаний светового потока искусственных источников света по величине и во времени;
- **фон:** поверхность, прилегающая непосредственно к объекту различения, на которой он рассматривается. Фон считается: светлым – при коэффициенте отражения поверхности K более 0,4; средним – при K от 0,2 до 0,4; малым – при K менее 0,2;
- **цветовая температура $T_{ц}$, К:** температура излучателя Планка (черного тела), при которой его излучение имеет ту же цветность, что

и излучение рассматриваемого объекта. Градация цветовой температуры представлена на рис. 3 в зависимости от источника света;

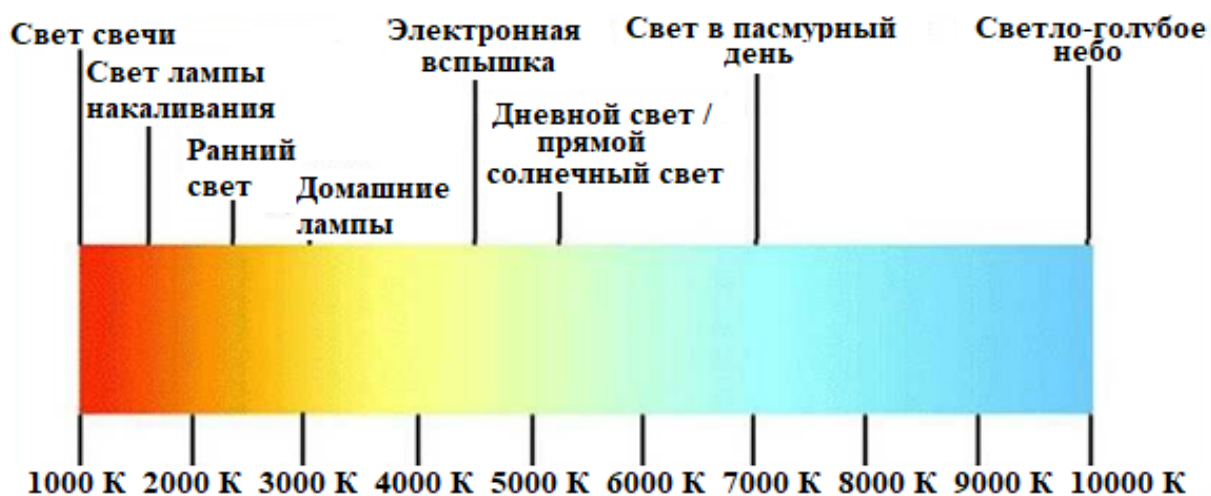


Рис. 3. Градация цветовой температуры

– **цветопередача**: общее понятие, характеризующее влияние спектрального состава источника света на зрительное восприятие цветных объектов, сознательно или бессознательно сравниваемое с восприятием тех же объектов, освещенных стандартным источником света (рис. 4);



Рис. 4. Цветопередача и цветовая температура

– **цилиндрическая освещенность $E_{ц}$** , лк: отношение светового потока, падающего на боковую поверхность бесконечно малого цилиндра с центром в заданной точке, к площади боковой поверхности этого цилиндра;

– **эвакуационное освещение:** вид аварийного освещения для эвакуации людей или завершения потенциально опасного процесса;

– **энергетическая эффективность:** характеристики, отражающие отношение полезного эффекта от использования энергетических ресурсов к затратам энергетических ресурсов, произведенных в целях получения такого эффекта, применительно к продукции, технологическому процессу, юридическому лицу, индивидуальному предпринимателю;

– **энергосбережение:** реализация организационных, правовых, технических, технологических, экономических и иных мер, направленных на уменьшение объема используемых энергетических ресурсов при сохранении соответствующего полезного эффекта от их использования (в том числе объема произведенной продукции, выполненных работ, оказанных услуг);

– **яркость L , кд/м²:** отношение светового потока $d^2\Phi$, переносимого элементарным пучком лучей, проходящим через заданную точку и распространяющимся в телесном угле $d\Omega$, содержащем заданное направление, к произведению площади проходящего через заданную точку сечения этого пучка dA , косинуса угла Θ между нормалью к этому сечению и направлением пучка лучей и телесного угла $d\Omega$

$$L = \frac{dI_\alpha}{dS \cos \alpha} = \frac{d^2\Phi}{dA \cos \Theta d\Omega}.$$

Яркость определяет световое ощущение глаз человека и зависит от световых свойств освещаемой поверхности, степени освещенности и угла, под которым рассматривается поверхность.

В общем случае яркость предмета определяют двумя составляющими: яркостью излучения ($L_{\text{изл}}$, определяют мощностью источника света и его световой отдачей) и яркостью за счет внешней засветки (яркостью отражения) ($L_{\text{отр}} = E\rho/\pi$, определяют уровнем освещенности данной поверхности E и значением ее коэффициента отражения ρ)

$$L = L_{\text{изл}} + L_{\text{отр}}.$$

Таким образом, под яркостью освещаемой поверхности понимают то количество отраженной силы света относительно глаз наблюдателя, которое будет зависеть от окраски и отражающих свойств этой поверхности. Также термин «яркость» используют и для источников

света, имеющих излучающие поверхности различных форм. Например, если взять лампу накаливания с колбой в форме шара, то проекцию излучения в пространстве можно будет наблюдать в виде круга с площадью, определяемой по формуле $\pi D^2/4$. Для газоразрядных ламп с цилиндрической излучающей поверхностью проекция излучения в пространстве будет представлять собой множество прямоугольников, которые вычисляются как произведение длины и ширины, а в данном случае умножения диаметра колбы на ее длину.

1.2. Общие положения при расчете освещенности

Проектирование ОУ производственных и офисных помещений подчиняется общим положениям, принятым в СП 52.13330.2016 (актуализованная редакция СНиП23-05-95), СП 256.1325800.2016, ВСН 59-88, СН 541-82, РД 34.20.185-94, СП 31-110-2003.

В общем случае различают следующие стадии проектирования осветительных установок:

– **разработка технического задания** или **технико-экономического обоснования** (ТЭО), его согласование и утверждение. Техническое задание разрабатывают на основе **технических условий**, выдаваемых организацией-заказчиком.

Следующие стадии – разработка технического предложения, эскизного проекта, технического проекта и рабочей документации;

– **техническое предложение** предусматривает выявление или уточнение требований, которые не могли быть указаны в техническом задании. Техническое предложение разрабатывают в том случае, если это предусмотрено техническим заданием с целью выявления дополнительных или уточненных требований к проектируемой осветительной установке. Для этого проводят следующую работу:

– выявление вариантов возможных решений, установление особенностей вариантов (принципы действия, размещение основных функциональных частей и т. п.);

– проверка вариантов на патентную чистоту и конкурентноспособность, оформление заявок на изобретения;

– проверка соответствия вариантов требованиям техники безопасности и производственной санитарии;

– сравнительная оценка рассматриваемых вариантов по показателям качества (надежности, экономичности, эстетическим и эргономическим), а также по показателям технологичности (ориентировочной удельной трудоемкости монтажа, ориентировочной удельной материалоемкости и др.), стандартизации и унификации;

– выбор оптимального варианта (-ов) схем, обоснование выбора; установление требований к ОУ (например, технических характеристик, показателей качества) и последующей стадии разработки схемы ОУ (необходимые работы, варианты возможных решений, которые следует рассмотреть на последующей стадии и др.);

– установление и обоснование принципиальных решений (на стадии эскизного проекта).

Технический проект (ТП) разрабатывают для определения окончательных технических решений, дающих полное представление о проектируемом объекте. Для этой стадии характерны конструктивные решения объекта в целом и его основных частей в частности, расчет экономических показателей, выполнение принципиальных схем, разработка вопросов монтажа, эксплуатации, транспортировки.

Рабочую документацию используют непосредственно при сооружении проектируемого объекта (рабочие чертежи (РЧ); техно-рабочий проект (ТРП)).

В состав РЧ внутреннего электрического освещения помещений зданий и сооружений включают:

– чертежи, предназначенные для производства электромонтажных работ (основной комплект РЧ марки ЭО);

– чертежи конструкций и деталей, предназначенных для установки электрического оборудования (при отсутствии типовых).

В состав основного комплекта РЧ марки ЭО включают:

– общие данные по РЧ;

– планы расположения электрического оборудования и прокладки электрических сетей;

– принципиальные схемы питающей сети;

– принципиальные схемы дистанционного управления освещением;

– схемы подключения КРУ на напряжение до 1 тыс. В;

– кабельный журнал для питающей сети (при необходимости);

- чертежи установки электрического оборудования (при отсутствии типовых).

Общие данные по РЧ приводят с учетом дополнительных требований:

- ведомость спецификаций не составляют;
- в общих указаниях в дополнение к сведениям указывают итоговые данные: полезную площадь освещаемых помещений, установленную мощность освещения, количество светильников. Для жилых домов итоговые данные не приводят.

Планы расположения выполняют по ГОСТ 2.702-75 (без перечня элементов) с учетом требований настоящего стандарта. В качестве подосновы для планов расположения следует принимать планы помещений, выполненные в основных комплектах рабочих чертежей других марок. Масштаб этих планов должен обеспечивать четкое графическое изображение электрических сетей и электрического оборудования.

На планах расположения наносят и указывают:

- строительные конструкции и технологическое оборудование в виде упрощенных контурных очертаний сплошными тонкими линиями;
- наименование помещений (при необходимости), кроме помещений жилых домов;
- классы взрывоопасных и пожароопасных зон, категорию и группу взрывоопасных смесей для взрывоопасных зон по ПУЭ;
- нормируемую освещенность от общего освещения (за исключением жилых помещений) (ПУЭ, СНиП);
- светильники (в жилых домах – места их установки) – их количество (при необходимости), типы (ПУЭ, СНиП);
- количество и мощность ламп в светильниках (ПУЭ, СНиП);
- высоту установки светильников (кроме потолочных) (ПУЭ, СНиП);
- привязочные размеры для светильников или рядов светильников к элементам строительных конструкций или координатным осям здания;
- КРУ на напряжения до 1000 В, относящиеся к питающей сети (распределительные щиты (РЩ), щиты станций управления, распределительные пункты (РП), ящики и шкафы управления, вводно-распределительные устройства (ВРУ)) и их обозначения;

- групповые щитки и их обозначения;
- понижающие трансформаторы;
- выключатели, штепсельные розетки (в жилых домах также розетки для электроплит и других бытовых электроприемников);
- линии питающей, групповой сети и сети управления освещением (в жилых домах также линии для электроплит и других бытовых электроприемников), их обозначения, сечение и, при необходимости, марку и способ прокладки (ПУЭ, СНиП);
- другое электрическое оборудование, относящееся к внутреннему освещению.

При большом числе линий питающей сети, групповой сети и сети управления освещением указанные сети и относящееся к ним электрическое оборудование допускается отображать на отдельных листах в разных масштабах. Электрическое оборудование и проводки на планах расположения указывают условными графическими изображениями согласно ГОСТ 21.608-2014 «Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации внутреннего электрического освещения».

Если проект освещения выполняется отдельно от комплекса всей проектной документации, то он должен содержать одну стадию проектирования – ТРП. В остальных случаях рекомендуется выполнять два этапа проектирования: ТЭО и ТРП, и только в очень сложных случаях – все четыре. На этапе ТЭО в краткой пояснительной записке излагают основные положения, определяют общую мощность и приводят сметно-финансовый расчет. Задача ТП – принятие основных решений и определение окончательной стоимости установки. В состав ТП входят:

- пояснительная записка;
- ведомость основных технических показателей;
- заявочная ведомость электрооборудования, кабельные изделия и основные материалы;
- план-схема внутренней питающей сети и план внешней сети;
- основные строительные задания, смета.

В ведомости основных технических показателей указывают площадь помещения, преимущественную освещенность, преимущественный

тип светильников, удельную и установленную мощность, число светильников общего и местного освещения, число контактных разъемных соединений, преимущественный род проводки.

Заявочные ведомости составляют укрупненно по общим характеристикам изделий. Например, светильники для взрывоопасных помещений; провода, полностью изолированные сечением. Смету составляют в полном объеме.

Для выполнения полноценного проекта освещения необходимо владеть наиболее полной информацией об объекте: детальная планировка здания по всем отметкам, включая разного рода площадки, подвалы; высота помещения; особенности строительных конструкций; расположение технологического оборудования, вентиляции, водопровода, канализации и системы отопления; условия внутренней среды в помещениях; число рабочих и т. д.

Проектирование можно разделить на три части: светотехническую, электротехническую и составление схем и спецификаций. Однако для конкретного помещения все вопросы решают комплексно; так, выбирая и размещая светильники, необходимо учитывать условие трассировки групповых сетей. В сетевой части сначала решают ключевой вопрос о размещении групповых щитков, а затем komponуют и наносят на план все виды сетей и производят расчет их сечений.

1.3. Основные понятия, применяемые в светотехнике

Свет и излучение. Под *светом* понимают электромагнитное излучение с длиной волны от 380 до 780 нм, вызывающее в глазу человека зрительное ощущение. Видимый диапазон электромагнитных излучений составляет мизерную часть известного спектра электромагнитных излучений оптического (от 1 нм до 1 мм) диапазона.

Световой поток Φ – суммарная мощность излучения источника света, оцениваемая по световому ощущению глаза человека и соответствующая фотометрическому эквиваленту K_m . Единица измерения – люмен (лм). Световой поток можно трактовать как скорость изменения мощности излучения

$$\Phi = \frac{dQ}{dt}$$

1 Вт монохроматического излучения с длиной волны 555 нм ($\lambda = 0,555$ мкм) равен 680 лм светового потока. При этом максимальное значение спектральной световой эффективности численно равно

$$(K_\lambda)_{\max} = 680 \frac{\text{лм}}{\text{Вт}}.$$

Световой поток сложного излучения определяют по формуле

$$\Phi = 680 \int_{\lambda_1=0,38 \text{ мкм}}^{\lambda_2=0,78 \text{ мкм}} \Phi_e(\lambda) V(\lambda) d\lambda.$$

Для светового потока монохроматического излучения справедливо соотношение

$$\Phi = 680 \sum_{i=1}^n \Phi_{e\lambda i} V_{\lambda i},$$

где $V_{\lambda i}$ – относительная световая эффективность монохроматического излучения;

Φ_e – поток излучения, лм;

$\Phi_{e\lambda i}$ – поток излучения источника излучения с заданной длиной волны, лм;

n – число линий спектра в потоке излучения.

Подробная информация про световой поток представлена в прил. 4.

Освещенность E отражает отношение падающего светового потока к освещаемой площади. Единица измерения – люкс (лк)

$$dE = \frac{d\Phi}{dA}, \quad E_{\text{ср}} = \Phi/A,$$

где dE – освещенность участка поверхности dA ;

$E_{\text{ср}}$ – средняя освещенность поверхности A .

Освещенность равна 1 лк, если световой поток в 1 лм равномерно распределяется по площади в 1 м^2 . Значения рекомендованной освещенности для различных видов зрительной работы приведены на рис. 5.

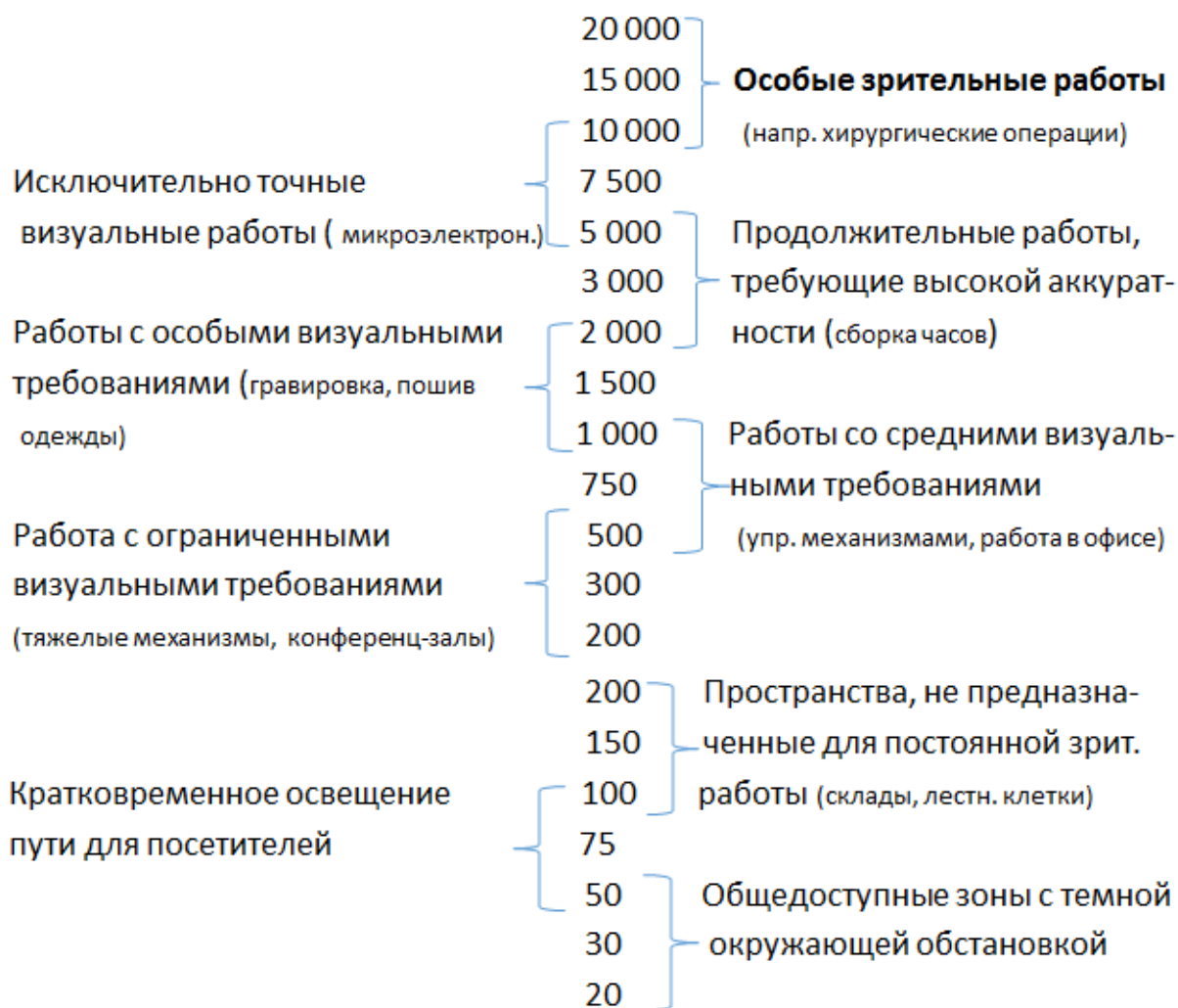


Рис. 5. Рекомендуемые уровни освещенности, лк

Значения освещенности от 20 до 500 лк характерны для общего освещения в зонах с малым движением и обычными визуальными требованиями. Для общего внутреннего освещения рекомендованы значения от 750 до 3000 лк. При решении особых визуальных задач требуется дополнительное освещение от 5000 до 20 000 лк.

Сила света $I_{\alpha\beta}$ (рис. 6) – пространственная плотность (скорость изменения) светового потока в телесном углу Ω . Единица измерения – кандела (кд). Значения углов α и β дают информацию о пространственной ориентации вектора силы света относительно продольной и поперечной осей светильника

$$I_{\alpha\beta} = \frac{d\Phi}{d\Omega}$$

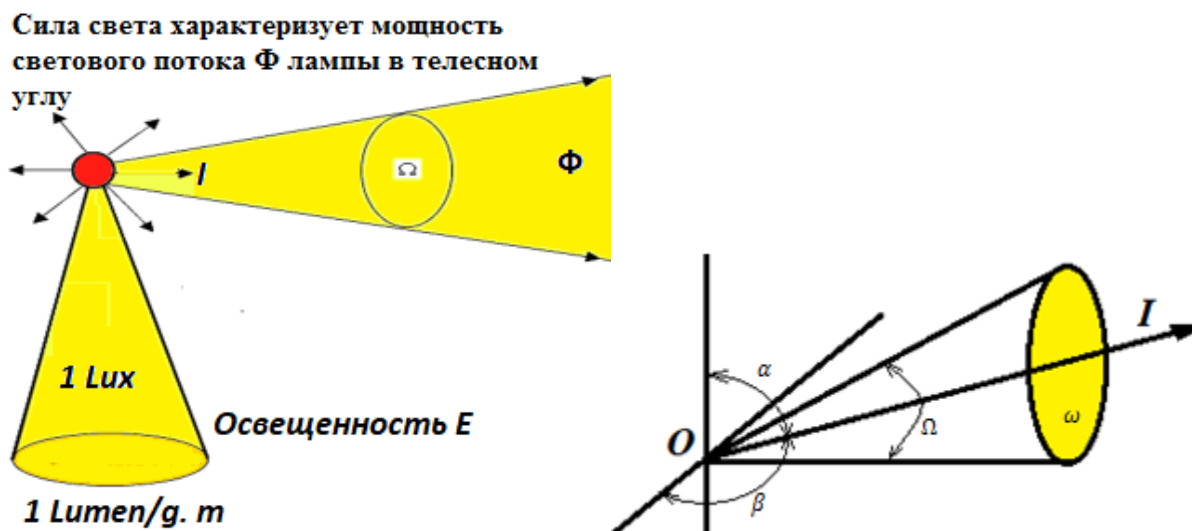


Рис. 6. Иллюстрация к понятиям: сила света, световой поток, телесный угол, освещенность

Источник света излучает световой поток Φ в разных направлениях с разной интенсивностью, а сила света характеризует излучаемый световой поток в определенном направлении (точечный источник света располагается в вершине телесного угла). Для однозначного определения распределения светового потока в пространстве используют фотометрическое тело, располагаемое в полярной системе координат. Под **фотометрическим телом** понимают часть пространства, ограниченного поверхностью, проведенной через концы радиус-векторов силы излучения, выходящих из светового центра, длина которых пропорциональна силе света светильника в соответствующем направлении.

Если фотометрическое тело источника света имеет ось или плоскость симметрии, то световой поток этого источника определяют по *кривой силы света* (КСС), представляющей зависимость силы света от меридиональных α и экваториальных β углов, по продольной или поперечной осям с учетом среднего значения силы света в зональном телесном углу

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

Сечение фотометрического тела плоскостью, проходящей через начало координат и точечный источник света, определяет КСС (в полярных координатах) данного источника света для данной плоскости сечения. Если фотометрическое тело имеет ось симметрии, то источник излучения обычно характеризуют КСС только в продольной плоскости в виде графиков $I_\alpha = f(\alpha)$ для светового потока светильника $\Phi = 1000$ лм, как это показано на рис. 7.

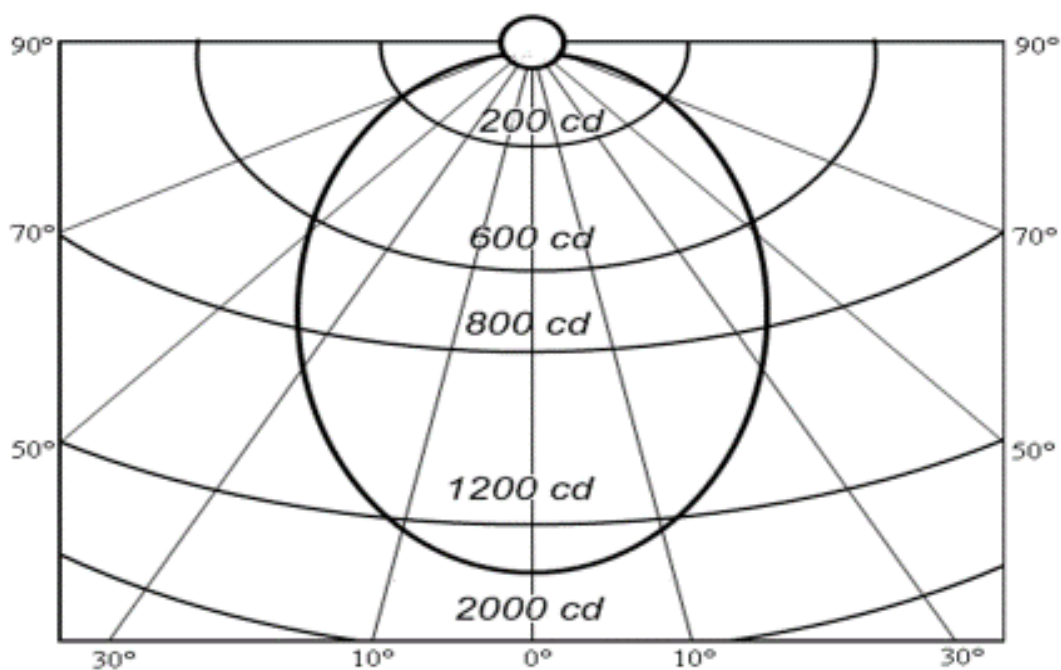


Рис. 7. Пример графика КСС в полярных координатах

КСС представляют в виде графиков, таблиц или задают в виде формул, аппроксимирующих графики КСС. Например, аналитическое выражение КСС класса Д при любом значении угла α имеет вид

$$I_\alpha = 330 \cos \alpha.$$

В зависимости от значения угла α КСС класса Г аппроксимируется выражением

$$I_\alpha = \begin{cases} 800 \cos(1,65\alpha) & \text{при } \alpha < \frac{90^\circ}{1,65}, \\ 0 & \text{при } \alpha \geq \frac{90^\circ}{1,65}. \end{cases}$$

При точных вычислениях КСС можно аппроксимировать по методу наименьших квадратов (как непрерывную функцию) полиномом n -й степени

$$I_\alpha = \sum_{i=0}^n a_n \alpha^n.$$

Яркость L источника света или освещаемой площади – главный фактор для уровня светового ощущения глаза человека. Единица измерения – кандела на квадратный метр ($\text{кд}/\text{м}^2$). За единицу измерения яркости принята яркость такой плоской поверхности, которая в перпендикулярном направлении излучает силу света в одну канделу с площади в один квадратный метр (рис. 8).

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

$$L_\alpha = \frac{dI_\alpha}{dA \cos \alpha}, \quad L_{\alpha \text{ ср}} = \frac{I_\alpha}{\sigma},$$

где L_α и $L_{\alpha \text{ ср}}$ – яркости участка поверхности dA и поверхности A в направлении α , проекция которых на плоскость перпендикулярна этому направлению, а площади равны $dA \cos \alpha$ и σ соответственно;

dI_α и I_α – значения силы света, испускаемые поверхностями dA и A в направлении α соответственно.

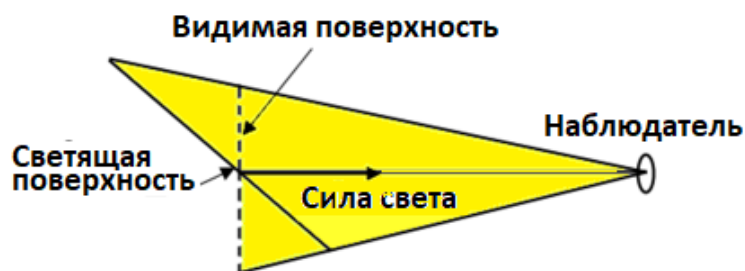


Рис. 8. К определению яркости видимой поверхности

Светотехнические расчеты базируются на установленных соотношениях для светового потока, силы света, освещенности, яркости и световой отдачи. Важнейшие светотехнические формулы и их прочтение приведены в табл. 1.

Важнейшие светотехнические формулы

| Наименование | Формула | Чтение формулы |
|------------------------|---|---|
| Сила света, кд | $I_{\alpha\beta} = \frac{d\Phi}{d\Omega}$ | Световой поток на телесный угол. <i>Люмен на стерадиан</i> |
| Освещенность, лк | $dE = \frac{d\Phi}{dA'}$ $E_{\text{ср}} = \Phi/A$ | Падающий световой поток на освещаемую поверхность. <i>Люмен на квадратный метр</i> |
| Яркость, кд | $L_{\alpha} = \frac{dI_{\alpha}}{dA \cos \alpha'}$ $L_{\alpha \text{ ср}} = \frac{I_{\alpha}}{\sigma}$ | Сила света на видимую светящую поверхность. <i>Кандела на квадратный метр</i> |
| Световая отдача, лм/Вт | Φ/P | Генерируемый световой поток на потребляемую электрическую мощность. <i>Люмен на ватт</i> |

Измерения освещенности, яркости и коэффициента пульсации освещенности при приемке в эксплуатацию и контроле в процессе эксплуатации за состоянием освещения в зданиях и сооружениях осуществляются по ГОСТ 24940 и ГОСТ 26824.

Состав и правила оформления рабочих чертежей для искусственного освещения помещений зданий и сооружений определены ГОСТ 21.608, а для искусственного освещения территорий промышленных предприятий ГОСТ 21.607. Световая отдача источников света для общего искусственного освещения помещений производственных и административных (общественных) зданий при минимально допустимых индексах цветопередачи не должна быть меньше приводимой в стандартах.

1.4. Выбор видов и системы освещения

В соответствии со сводом правил СП 52.13330.2016 (актуализованная редакция СНиП23-05-95) искусственное освещение подразделяют на **рабочее, охранное, аварийное и дежурное**:

– **рабочее освещение** – необходимое условие для работы во всех помещениях зданий при нормальных режимах ОУ; оно может быть *общим* (равномерным и локализованным) и *комбинированным*. Рабочее

освещение необходимо для всех помещений зданий, а также участков открытых пространств, предназначенных для прохода людей и движения транспорта. Управление рабочим освещением в различных зонах помещений производят раздельно. Нормируемую освещенность и обеспечивающую ее удельную мощность обязательно указывают на рабочих чертежах помещений и рабочих зон;

– **охранное освещение** – разновидность рабочего, устраивается по линии охраняемых границ территорий промышленных предприятий (освещенность не менее 0,5 лк на уровне земли в горизонтальной плоскости или на уровне 0,5 м от земли на одной стороне вертикальной плоскости, перпендикулярной к линии границы);

– **аварийное освещение** обеспечивает минимально необходимые осветительные условия для продолжения работы при временном отключении рабочего освещения в помещениях в соответствии с требованиями СП 52.13330.2016, ГОСТ Р 55842-2013 и СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Аварийное освещение разделяют на резервное освещение (освещение безопасности) и эвакуационное:

– **резервное освещение (освещение безопасности)** следует предусматривать в тех случаях, если отключение рабочего освещения и связанные с этим нарушения обслуживания оборудования и механизмов могут вызвать взрыв, пожар, отравление людей, длительное нарушение технологического процесса, а также нарушение работы электрических станций, радиоузлов, телестудий, диспетчерских пунктов, насосных установок, вентиляционных камер помещений, в которых недопустимо прекращение работ и т. п.;

– **эвакуационное освещение** служит для безопасной эвакуации людей из помещения при аварийном отключении рабочего освещения;

– **дежурное освещение** предназначено для освещения помещений в нерабочее время. К дежурному освещению не предъявляют требований по значению и неравномерности освещенности.

Часть светильников рабочего или аварийного освещения можно использовать для дежурного освещения, поэтому нормируемые характеристики освещения в производственных помещениях и вне зданий обеспечивают как светильники рабочего освещения, так и их совместная работа со светильниками аварийного освещения.

Аварийное освещение жилых и общественных зданий согласно СП 52.13330.2016 предусматривают на случай нарушения работы основного (рабочего) освещения; оно должно соответствовать структуре, показанной на рис. 9. Аварийное освещение автоматически или вручную подключают к независимому от рабочего освещения источнику питания при отсутствии питания основного освещения, а также по сигналам систем пожарной и аварийной сигнализации.

Искусственное освещение может быть *общим и комбинированным*. При выполнении в помещениях промышленных предприятий зрительных работ I – III, IV а, IV б, IV в, V а разрядов необходима система комбинированного освещения. Предусматривать систему общего освещения допускается при технической невозможности или нецелесообразности устройства местного освещения. Освещенность рабочей поверхности, создаваемая светильниками общего освещения в системе комбинированного, должна составлять не менее 10 % от нормируемой освещенности при тех источниках света, которые применяют для местного освещения. При этом освещенность должна быть не менее 200 лк при разрядных лампах и не менее 75 лк при лампах накаливания.

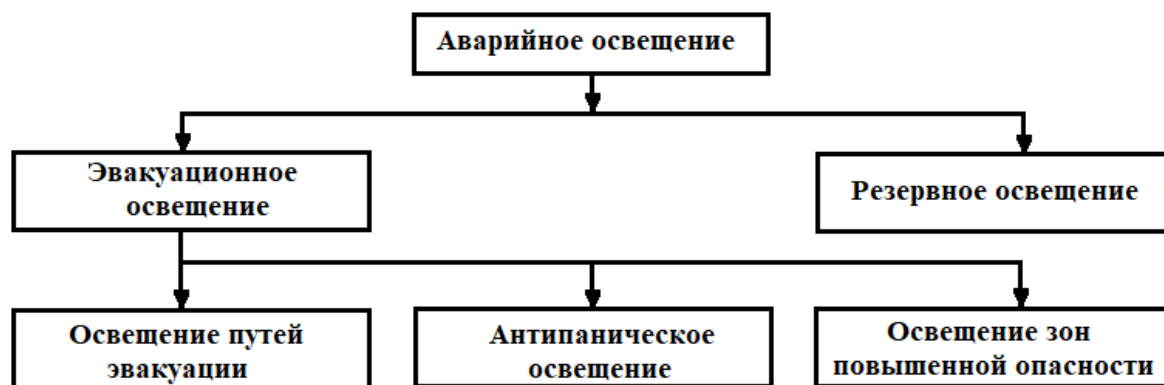


Рис. 9. Виды аварийного освещения

Отношение максимальной освещенности к минимальной в помещениях промышленных предприятий не должно превышать 1,3 для зрительных работ I – III разрядов при люминесцентных лампах, 1,5 при других источниках света, 1,5 и 2,0 для зрительных работ разрядов IV – VII соответственно.

1.5. Выбор источников света

При выборе источников света руководствуются указаниями сводов правил СП 52.13330.2016 и СП 256.1325800.2016:

1) применять по возможности лампы наибольшей единичной мощности, не нарушая при этом нормативных требований к качеству освещения и отдавая предпочтение при равной мощности источникам света с наибольшими световой отдачей и сроком службы;

2) для общего и местного освещения помещений следует использовать источники света с цветовой температурой от 2400 до 6800 К. Интенсивность ультрафиолетового излучения в диапазоне длин волн 320 – 400 нм не должна превышать $0,03 \text{ Вт/м}^2$. Наличие в спектре излучения длин волн менее 320 нм не допускается.

Для общего освещения производственных помещений следует использовать светодиоды и энергоэффективные источники света;

3) для искусственного освещения следует использовать энергоэффективные источники света, отдавая предпочтение при равной мощности источникам света с наибольшими световой отдачей и сроком службы, с учетом требований к цветоразличению. Источники света должны отвечать требованиям СП 52.13330.2016 (раздел 4);

4) не допускается питание газоразрядных ламп постоянным и переменным током при его возможном снижении до уровня 90 процентов от номинального;

5) для общего внутреннего и наружного освещения применение ламп накаливания (ЛН) общего назначения ограничивается. Не допускается применение для освещения ЛН общего назначения мощностью 100 Вт и более.

Рекомендуемая световая отдача световых приборов, используемых для общего искусственного освещения помещений, освещения мест производства вне зданий и наружного утилитарного освещения при минимально допустимых индексах цветопередачи приведена в табл. 2.

Таблица 2

Рекомендуемая световая отдача световых приборов

| Тип источника света | Световая отдача световых приборов, лм/Вт, при минимально допустимых индексах цветопередачи R_a (не менее) | | | |
|--|---|---------------|---------------|---------------|
| | $R_a \geq 80$ | $R_a \geq 60$ | $R_a \geq 40$ | $R_a \geq 20$ |
| Световые приборы для общего освещения помещений | | | | |
| Световые приборы со светодиодными источниками света и светодиодными модулями | 90 | 100 | – | – |
| Световые приборы с люминесцентными источниками света | 50 | 40 | – | – |
| Световые приборы с металлогалогенными источниками света | 55 | 50 | – | – |
| Световые приборы с натриевыми лампами высокого давления | – | 50 | 60 | – |
| Световые приборы для освещения мест производства вне зданий | | | | |
| Световые приборы со светодиодными источниками света и светодиодными модулями | 90 | 100 | – | – |
| Световые приборы с металлогалогенными источниками света | – | – | 50 | 50 |
| Световые приборы с натриевыми лампами высокого давления | – | – | 50 | 50 |
| Световые приборы с люминесцентными источниками света | 40 | 50 | – | – |
| Световые приборы для наружного утилитарного освещения селитебных территорий | | | | |
| Световые приборы со светодиодными лампами и модулями | 90 | 100 | – | – |
| Световые приборы с натриевыми лампами высокого давления | – | – | 50 | 50 |
| Световые приборы с металлогалогенными источниками света | – | – | 50 | 50 |

В целях контроля энергопотребления осветительной установкой СП 52.13330.2016 регламентирует требования к максимально допустимой удельной установленной мощности общего искусственного освещения помещений. Удельные установленные мощности общего искусственного освещения в производственных и складских помещениях

не должны превышать максимально допустимых значений, приведенных в табл. 3. Для помещений других размеров и освещенностей значения максимальных допустимых удельных установленных мощностей определяются интерполяцией.

Таблица 3

**Максимально допустимые удельные установленные мощности
общего искусственного освещения в производственных
помещениях**

| Освещенность на рабочей поверхности, лк | Индекс помещения | Максимально допустимая удельная установленная мощность, Вт/м ² (не более) |
|---|------------------|--|
| 750 | 0,60 | 30,0 |
| | 0,80 | 26,0 |
| | 1,25 | 19,0 |
| | 2,00 и более | 15,0 |
| 500 | 0,60 | 20,0 |
| | 0,80 | 17,0 |
| | 1,25 | 12,0 |
| | 2,00 и более | 10,0 |
| 400 | 0,60 | 15,0 |
| | 0,80 | 13,0 |
| | 1,25 | 10,0 |
| | 2,00 и более | 8,0 |
| 300 | 0,60 | 12,0 |
| | 0,80 | 10,0 |
| | 1,25 | 8,0 |
| | 2,00 и более | 6,0 |
| 200 | 0,60 – 1,25 | 9,0 |
| | 1,25 – 3,00 | 6,0 |
| | Более 3,00 | 5,0 |
| 150 | 0,60 – 1,25 | 7,0 |
| | 1,25 – 3,00 | 5,0 |
| | Более 3,00 | 4,0 |
| 100 | 0,60 – 1,25 | 5,0 |
| | 1,25 – 3,00 | 3,0 |
| | Более 3,00 | 2,5 |

При наличии крупногабаритного электротехнологического оборудования значения максимально допустимых удельных установленных мощностей искусственного освещения помещений допускается повышать на 30 % в технически обоснованных случаях.

В дошкольных образовательных организациях, а также в основных функциональных помещениях лечебно-профилактических учреждений следует применять люминесцентные (в том числе компактные) и галогенные ЛН. Использование светодиодных источников света в указанных помещениях не разрешается (СП 52.13330.2016, п. 7.3).

Для *местного освещения* помещений административных зданий (кабинетов, рабочих комнат, читальных залов библиотек и т. п.) допускается применять ЛН, в том числе галогенные, мощностью не более 75 Вт, в светильниках с непросвечивающими отражателями в следующих случаях:

- при отсутствии требований к правильной цветопередаче;
- в случае необходимости определенного и переменного направлений света и при технической невозможности установки осветительных приборов с люминесцентными лампами.

Согласно СП 256.1325800.2016 ЛН **допускается** применять для общего освещения:

- помещений, где по технологическим требованиям недопустимо применение разрядных ламп (например, в помещениях для работы с материалами, которые под воздействием излучения разрядных ламп теряют свои свойства; и в помещениях, где радиопомехи, создаваемые светильниками с разрядными лампами, недопустимы для работы технологического оборудования): киноаппаратных, помещений для звукозаписи;

- помещений, где применение ЛН необходимо для оформления интерьера: залов ресторанов, кафе, баров, фойе и т. п.;

- спальных и веранд, используемых только в летнее время;

- вспомогательных помещений: кладовых, машинных отделений лифтов, электрощитовых технических подполий;

- моечных, душевых и парильных в банях;

- охлаждаемых помещений и холодильных камер.

Люминесцентные лампы (ЛЛ) рекомендуется применять:

- в помещениях, где требуется правильная цветопередача;

- административно-конторских и лабораторных помещениях;

- для жарких помещений рекомендуются амальгамные ЛЛ.

При высоких требованиях к цветоразличению следует применять ЛЛ с индексом цветопередачи не менее 90.

Газоразрядные лампы (ГЛ) всех типов, за исключением ксеноновых, рекомендуется применять:

– для внутреннего освещения (как правило, обязательны для системы одного общего освещения в помещениях, где выполняются зрительные работы I ÷ V и VII разрядов):

– общего освещения в системе комбинированного освещения;
– в помещениях без естественного света или с его недостаточным количеством;

– предназначенных для постоянного пребывания людей.

ГЛ высокого давления типов ДРИ, ДНаТ, ДРЛ с улучшенной цветопередачей рекомендуется применять для освещения:

– помещений высотой более 7 м;
– помещений, в осветительных установках которых применяются полые цилиндрические и плоские световоды;

– производственных помещений, приравненных к промышленным (например, цехов прачечных).

Выбор типа ГЛ (ЛЛ, ДТЛ, ДРИ, ДНаТ) производят в зависимости от назначения помещения, его высоты, характера выполняемых зрительных работ и др.

В наружном освещении (НО) используют:

– светодиодные источники света для охранного освещения, у входов в зданиях – в прожекторных установках (наряду с ГЛВД); для архитектурно-декоративного освещения;

– ДРЛ и ДНаТ – для освещения территорий промышленных предприятий, улиц, площадей, скверов, парков;

– ДРИ – в прожекторных установках разного назначения;

– ДКсТ – при освещении больших открытых пространств.

При решении вопросов энергосбережения в осветительных установках общественных зданий необходимо руководствоваться контрольными цифрами, приведенными в СП 256.1325800.2016 для удельных установленных мощностей. Удельные установленные мощности общего искусственного освещения общественных зданий с учетом ПРА не должны превышать максимально допустимых значений, приведенных в табл. 4.

Таблица 4

**Максимально допустимые удельные установленные мощности
общего искусственного освещения общественных зданий
с учетом ПРА**

| Освещенность на рабочей поверхности, лк | Индекс помещения | Максимально допустимая удельная установленная мощность, Вт/м ² (не более) |
|---|------------------|--|
| 500 | 0,60 | 23,0 |
| | 0,80 | 20,0 |
| | 1,25 | 18,0 |
| | 2,00 и более | 15,0 |
| 400 | 0,60 | 20,0 |
| | 0,80 | 16,0 |
| | 1,25 | 14,0 |
| | 2,00 и более | 12,0 |
| 300 | 0,60 | 18,0 |
| | 0,80 | 14,0 |
| | 1,25 | 12,0 |
| | 2,00 и более | 10,0 |
| 200 | 0,60 – 1,25 | 14,0 |
| | 1,25 – 3,00 | 8,0 |
| | Более 3,00 | 6,0 |
| 150 | 0,60 – 1,25 | 10,0 |
| | 1,25 – 3,00 | 8,0 |
| | Более 3,00 | 7,0 |
| 100 | 0,60 – 1,25 | 5,0 |
| | 1,25 – 3,00 | 3,5 |
| | Более 3,00 | 3,0 |

Для аварийного освещения следует применять (при индексе цветопередачи не менее 40):

– светодиодные источники света, а также ЛН при невозможности использования других источников света;

– ЛЛ – в помещениях с минимальной температурой окружающей среды не менее 5 °С и при условии питания ламп во всех режимах напряжением не ниже 90 процентов от номинального;

– разрядные лампы высокого давления их мгновенного (ртутно-вольфрамовые) или быстрого повторного зажигания как в горячем состоянии после кратковременного отключения, так и в холодном состоянии.

Освещение путей эвакуации в помещениях и местах производства работ вне зданий следует предусматривать по всевозможным путям эвакуации. При этом нормы освещенности, предельная равномерность освещенности, порядок включения и продолжительность работы освещения путей эвакуации устанавливаются в соответствии с СП 256.1325800.2016. Повышенные нормы освещенности путей эвакуации установлены для лестничных маршей в зданиях с постоянным пребыванием маломобильных групп населения.

Антипаническое освещение направлено на предотвращение паники и обеспечение условий для безопасного подхода к путям эвакуации; его следует предусматривать в больших помещениях площадью более 60 м² при одновременном нахождении в нем 30 и более человек.

Эвакуационное освещение зон повышенной опасности следует предусматривать для безопасного завершения потенциально опасного процесса или ситуации.

Резервное освещение следует предусматривать, если по условиям технологического процесса требуется нормальное продолжение работы при нарушении питания рабочего освещения, а также если связанные с этим нарушения обслуживания оборудования подпадают под перечень СП 256.1325800.2016.

Нормы аварийного освещения приведены в табл. 5.

Таблица 5

Нормы аварийного освещения

| Вид и объект аварийного освещения | Нормируемая освещенность на горизонтальной поверхности, лк (не менее) | Предельная равномерность освещенности E_{\min}/E_{\max} (не более) | Продолжительность работы аварийного освещения, ч | Режим включения аварийного освещения |
|---|---|--|---|---|
| Пути эвакуации шириной до 2 м: – на полу оси прохода – на полу в полосе шириной не менее 50 % ширины прохода, симметрично расположенная относительно центральной линии | 1,0 | 1 : 40 | 1,0 | Должно обеспечивать 50 % нормируемой освещенности через 5 с после нарушения питания рабочего освещения, а 100 % нормируемой освещенности – через 10 с |
| | 0,5 | 1 : 40 | 1,0 | |
| – пункт первой помощи, места с противопожарным оборудованием, места расположения плана эвакуации, места включения аварийной сигнализации, перед каждым эвакуационным выходом, снаружи перед каждым конечным выходом из здания | 5,0 | 1 : 40 | 1,0 | |
| – лестничные марши в зданиях с постоянным пребыванием маломобильных групп населения и детей дошкольного возраста | 5,0 | 1 : 40 | 1,0 | – |
| Антипаническое освещение – на всей свободной площади пола, за исключением полосы 0,5 м по периметру помещения | 0,5 | 1 : 40 | 1,0 | – |
| Освещение зон повышенной опасности | 10 % нормируемой освещенности рабочего освещения, но не менее 15 | 1 : 10 | Определяется временем, при котором существует опасность для людей | Должно обеспечивать 50 % нормируемой освещенности через 0,5 с после нарушения питания рабочего освещения |
| | | | | |

| Вид и объект аварийного освещения | Нормируемая освещенность на горизонтальной поверхности, лк (не менее) | Предельная равномерность освещенности E_{\min}/E_{\max} (не более) | Продолжительность работы аварийного освещения, ч | Режим включения аварийного освещения |
|-----------------------------------|---|--|--|---|
| Резервное освещение | Не менее 30 % нормируемой освещенности рабочего освещения | 1 : 40 | Постоянная работа до восстановления питания рабочего освещения | Должно обеспечивать 50 % нормируемой освещенности не более чем через 15 с после нарушения питания рабочего освещения и 100 % нормируемой освещенности – не более чем через 60 с, если иное не установлено специальными нормами или соответствующим обоснованием |

Рекомендуемые цветовые параметры и примерные типы источников света (ИС) в зависимости от особенностей зрительной работы и требований к цветопередаче при системах общего и комбинированного освещения приведены в табл. 6 и 7 соответственно. Рекомендации по выбору ГЛ для освещения производственных помещений (при отсутствии специальных требований к цветопередаче) приведены в табл. 8. Характеристики смешанного освещения лампами ДНаТ + ДРЛ и ДНаТ + ДРИ, обеспечивающего комфортность смешанного освещения, не меньшую чем в ОУ с лампами типа ДРЛ, приведены в табл. 9. Номенклатура современных источников света проведена в прил. 5 (табл. П5-1 – П5-4).

Таблица 6

Рекомендуемые источники света при системе общего освещения

| Характеристика зрительной работы по требованиям к цветопередаче | Освещенность, лк | Индекс цветопередачи источников света R_a | Диапазон цветовой температуры источников света $T_{цв}$, К | Рекомендуемый источник света |
|--|------------------|---|---|--|
| 1. Контроль цвета с очень высокими требованиями к цветоразличению; качество цветопередачи отличное | ≥ 300 | 90 – 100 | 5000 – 6500 | СД; ЛЛ типов: ЛДЦ 950, 965 |
| 2. Сопоставление цветов с высокими требованиями к цветоразличению; качество цветопередачи отличное | ≥ 300 | 85 – 89 | 3000 – 6500 | СД; ЛЛ типов: ЛТЦЦ, ЛДЦ 930, 940, 950, 965 |
| | ≥ 500 | 80 – 84 | 4000 – 6000 | СД; ЛЛ типов: ЛЕЦ 840, 865 МГЛ |
| 3. Различение цветных объектов при невысоких требованиях к цветоразличению; качество цветопередачи хорошее (сборка радиоаппаратуры и т. п.) | От 300 до 500 | 80 – 84 | 3500 – 5500 | СД; ЛЛ типов: ЛЕЦ 840, 865 МГЛ |
| | От 200 до 300 | 80 – 84 | 2700 – 4500 | СД; ЛЛ типов: ЛТБЦ 827, 830 МГЛ, КЛЛ |
| | Менее 200 | 80 – 84 | 2700 – 3500 | СД; ЛЛ типов: ЛТБЦ 827, 830 МГЛ, КЛЛ, НЛВД+МГЛ |
| 4. Требования к цветопередаче отсутствуют, качество цветопередачи стандартное (механическая обработка металлов пластмасс, сборка машин и инструментов и др.) | ≥ 500 | 70 – 79 | 4000 – 6500 | СД; ЛЛ типов: ЛД 740, 765, МГЛ |
| | От 300 до 500 | 70 – 79 | 3500 – 5000 | СД; ЛЛ типов: ЛХБ 740, 765 МГЛ, ЛВД+МГЛ |
| | От 200 до 300 | 50 – 69 | 2600 – 4500 | СД; ЛЛ типов: ЛБ, 735, МГЛ, НЛВД+МГЛ |
| | Менее 200 | 50 – 69 | 2400 – 3500 | СД; ЛЛ типов: ЛТБ, ЛБ, 730, 735, НЛВД, КЛЛ |

Таблица 7

Рекомендуемые источники света при системе комбинированного освещения

| Характеристика зрительной работы по требованиям к цветопередаче | Освещенность от общего освещения при системе комбинированного освещения, лк | Индекс цветопередачи источников света R_a | | Диапазон цветовой температуры источников света $T_{цв}$, К | | Рекомендуемый источник света | |
|--|---|---|----------|---|-------------|--|---|
| | | Общего | Местного | Общего | Местного | Общего | Местного |
| 1. Контроль цвета с очень высокими требованиями к цветоразличению | ≥ 300 | 85 – 89 | 90 – 100 | 5000 – 6500 | 5000 – 6500 | СД; ЛЛ типов: ЛТЦЦ, ЛДЦ 930, 940, 950, 965 | СД; ЛЛ типов: ЛДЦ 950, 965 |
| 2. Сопоставление цветов с высокими требованиями к цветоразличению | ≥ 300 | 70 – 79 | 85 – 89 | 3000 – 6500 | 3000 – 6500 | СД; ЛЛ типов: ЛЕЦ 840, 865 МГЛ | СД; ЛЛ типов: ЛТБЦЦ, ЛДЦ 930, 940, 950, 965 |
| | ≥ 500 | 50 – 69 | 80 – 84 | 2700 – 4500 | 4000 – 6000 | СД; ЛЛ типов: ЛБ 730 МГЛ | СД; ЛЛ типов: ЛЕЦ 840, 865 МГЛ |
| 3. Различение цветных объектов для контроля и сопоставления (сборка радиоаппаратуры и т. п.) | От 300 до 500 | 50 – 69 | 80 – 84 | 2600 – 4500 | 3500 – 5500 | СД; ЛЛ типов: ЛБ 730 МГЛ | СД; ЛЛ типов: ЛЕЦ 840, 865 МГЛ |
| | От 200 до 300 | 50 – 69 | 80 – 84 | 2700 – 4500 | 2700 – 4500 | СД; ЛЛ типов: ЛБ 730 МГЛ, КЛЛ | СД; ЛЛ типов: ЛТБЦЦ 827, 730 МГЛ, КЛЛ |
| | Менее 200 | 50 – 69 | 80 – 84 | 2600 – 4500 | 2700 – 3500 | СД; ЛЛ типов: ЛБ 730 МГЛ, КЛЛ | СД; ЛЛ типов: ЛТБ, ЛБ, 730, 735 МГЛ, КЛЛ |

Окончание табл. 7

| Характеристика зрительной работы по требованиям к цветопередаче | Освещенность от общего освещения при системе комбинированного освещения, лк | Индекс цветопередачи источников света R_a | | Диапазон цветовой температуры источников света $T_{цв}$, К | | Рекомендуемый источник света | |
|--|---|---|----------|---|-------------|--|------------------------------------|
| | | Общего | Местного | Общего | Местного | Общего | Местного |
| 4. Требования к цветопередаче отсутствуют; качество цветопередачи стандартное (механическая обработка металлов пластмасс, сборка машин и инструментов и др.) | ≥ 500 | 50 – 69 | 70 – 79 | 2700 – 4500 | 4000 – 6500 | СД; ЛЛ типов: ЛБ 730 МГЛ | СД; ЛЛ типов: ЛД 740, 765 МГЛ |
| | От 300 до 500 | 50 – 69 | 70 – 79 | 2600 – 4500 | 3500 – 5000 | СД; ЛЛ типов: ЛБ 730 МГЛ, КЛЛ | СД; ЛЛ типов: ЛХБ 740, 765 МГЛ |
| | От 200 до 300 | 50 – 69 | 50 – 69 | 2700 – 4500 | 2600 – 4500 | СД; ЛЛ типов: ЛБ 730 МГЛ, КЛЛ | СД; ЛЛ типов: ЛБ 735 МГЛ |
| | Менее 200 | 50 – 69 | 50 – 69 | 2600 – 4500 | 2400 – 3500 | СД; ЛЛ типов: ЛБ 730 МГЛ, НЛВД+ МГЛ, КЛЛ | СД; ЛЛ типов: ЛТБ, ЛБ 730, 735 КЛЛ |

Примечания. В таблицах приняты следующие сокращения: КЛЛ – компактные люминесцентные лампы; ЛБ, ЛД – лампы дневного света; ЛВД – индукционные лампы дневного света; ЛДЦ – лампы дневного света с улучшенной цветопередачей; ЛЕЦ – лампы естественного света с улучшенной цветопередачей; ЛЛ – люминесцентные лампы; ЛТБ – лампы тепло-белого света; ЛТБЦ – лампы тепло-белого света с улучшенной цветопередачей; ЛТБЦЦ – лампы тепло-белого света с высококачественной цветопередачей; ЛХБ – лампы холодно-белого света; МГЛ – металлогалогенные лампы; НЛВД – натриевые лампы высокого давления; СД – светодиоды.

По ГОСТ Р 54815-2011 первая цифра в шифре лампы определяет индекс цветопередачи (в десятках R_a), а две последние – цветовую температуру (в сотнях кельвинов). Например, 765 означает, что $R_a = 70$, $T_{ц} = 6500$ К.

Таблица 8

Рекомендации по выбору ГЛ для освещения производственных помещений (при отсутствии специальных требований к цветопередаче)

| Тип лампы | Система освещения | Характеристика зрительных работ по СНиП23-05-95 | | | | | Строительный модуль, м | | | | |
|-----------|----------------------------------|---|------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|-----------|-----------|------------|------------|
| | | Разряд работы | Освещенность, лк | Коэффициент пульсации K_p % | Показатель неравномерности n | Показатель ослепленности, P | 6 × 6 | 6 × 12 | 6 × 8 | 6 × 4 | 12 × 18 |
| | | | | | | | Высота установок светильника, м | | | | |
| ЛЛ | Общее | I, II | 300 ÷ 1500 | 10 | 1,5 | 20 | < 4,4 | < 5,4 | < 6,0 | < 6,0 | < 9,6 |
| | | III | 200 ÷ 500 | 15 | 1,5 | 40 | < 3,6 | < 4,8 | < 4,8 | < 6,0 | < 7,2 |
| IV ÷ VII | | 100 ÷ 300 | 20 | 1,8 | 40; 60 | < 7,2 | < 3,6 | < 6,0 | < 5,4 | < 5,4 | |
| ЛЛ | Общее в системе комбинированного | I ÷ III | 150 ÷ 500 | 20 | 1,5 | 20; 40 | < 3,2 | < 3,6 | < 4,8 | < 5,4 | < 6,0 |
| | | IV, V | 150 | 20 | 1,8 | 40 | < 7,2 | < 3,6 | < 6,0 | < 5,4 | < 5,4 |
| ДРИ | Общее | I | 300 ÷ 1500 | 10 | 2,0 | 20 | 4,5 ÷ 7,2 | 5,5 ÷ 8,4 | 6,1 ÷ 8,4 | 6,1 ÷ 9,6 | 9,7 ÷ 14,4 |
| | | II, III | 200 ÷ 500 | 15 | 2,0 | 40 | 3,7 ÷ 6,0 | 4,9 ÷ 6,0 | 4,9 ÷ 6,0 | 6,1 ÷ 9,5 | 7,3 ÷ 10,8 |
| | | IV ÷ VII | 100 ÷ 300 | 20 | 3,0 | 40; 60 | – | 3,7 ÷ 6,0 | 6,1 ÷ 7,2 | 5,5 ÷ 6,0 | 3,5 ÷ 10,8 |
| | Общее в системе комбинированного | I ÷ III | 150 ÷ 500 | 20 | 2,0 | 20; 40 | 3,3 ÷ 5,4 | 3,7 ÷ 6,0 | 4,9 ÷ 6,0 | 5,5 ÷ 7,2 | 6,1 ÷ 10,8 |
| IV, V | | 150 | 20 | 3,0 | 40 | – | 3,7 ÷ 6,0 | 6,1 ÷ 7,2 | 5,5 ÷ 6,0 | 6,1 ÷ 10,8 | |
| ДРЛ | Общее | I, II | 300 ÷ 1500 | 10 | 2,0 | 20 | ≥ 7,3 | ≥ 8,5 | ≥ 8,5 | ≥ 9,7 | ≥ 14,5 |
| | | III | 200 ÷ 500 | 15 | 2,0 | 40 | ≥ 6,1 | ≥ 6,1 | ≥ 6,1 | ≥ 9,6 | ≥ 10,9 |
| | | IV ÷ VII | 100 ÷ 300 | 20 | 3,0 | 40; 60 | ≥ 7,3 | ≥ 6,1 | ≥ 7,3 | ≥ 6,1 | ≥ 10,9 |
| | Общее в системе комбинированного | I ÷ III | 150 ÷ 500 | 20 | 2,0 | 20; 40 | ≥ 5,5 | ≥ 6,1 | ≥ 7,3 | ≥ 7,3 | ≥ 10,9 |
| IV, V | | 150 | 20 | 3,0 | 40 | ≥ 7,3 | ≥ 6,1 | ≥ 7,3 | ≥ 6,1 | ≥ 10,9 | |

Характеристики смешанного освещения лампами ДНаТ + ДРЛ и ДНаТ + ДРИ

| Тип ИС в ОУ смешанного освещения | Рекомендуемые разряды зрительной работы по СНиП 23-05-95 | Характеристика смешанного освещения | | | |
|----------------------------------|--|--|--|--------------|-------|
| | | Соотношение световых потоков ($\Phi_1 : \Phi_2$), % Φ_{Σ} | Соотношение мощностей ($P_1 : P_2$), % P_{Σ} | $T_{цв}$, К | R_a |
| ДРЛ + ДНаТ | III б, III в, IV а, III г, IV б и ниже | 100:0 – 75:25 | 100:0 – 86:14 | 3450 | 37 |
| | | 75:25 – 50:50 | 86:14 – 67:33 | 300 | 34 |
| ДРИ + ДНаТ | III б, III в, IV а III г, IV б и ниже | 100:0 – 55:45 | 100:0 – 62:38 | 3500 | 48 |
| | | 55:45 – 38:62 | 62:38 – 45:55 | 3100 | 44 |

Примечание. Φ_2 и P_2 доли ДНаТ в суммарном световом потоке Φ_{Σ} и суммарной мощности P_{Σ} соответственно.

1.6. Выбор норм освещенности и коэффициента запаса

Проектирование ОУ регламентировано СП 52.13330.2016 (актуализованная редакция СНиП 23-05-95), СП 256.1325800.2016, отраслевыми нормами искусственного освещения, инструкциями по проектированию, а также ПУЭ и некоторыми другими нормативными документами.

Нормируемые значения освещенности в СП 52.13330.2016 приводятся в точках ее минимального значения на рабочей поверхности внутри помещения для разрядных источников света (кроме оговоренных случаев); для НО – для любых источников света.

Нормированные значения освещенности в люксах, отличающихся на одну ступень, следует принимать по шкале: 0,2; 0,3; 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 10; 15; 20; 30; 50; 75; 100; 150; 200; 300; 400; 500; 600; 750; 1000; 1250; 1500; 2000; 2500; 3000; 3500; 4000; 4500; 5000.

К условиям, требующим повышения уровня освещенности, найденного по СНиП, относят: повышенную длительность напряженной зрительной работы в течение рабочего дня, большое удаление объекта от глаз наблюдателя (более 0,5 м), отсутствие естественного освещения и т. д. Снижение освещенности на одну ступень возможно в случае

малоллюдного производства с оборудованием, не требующим постоянного обслуживания, или в помещениях, предназначенных для кратковременного пребывания людей.

Требования к освещению помещений промышленных предприятий следует принимать по табл. 4.1 СП 52.13330.2016, а требования к нормам средней яркости усовершенствованных покрытий при проектировании наружного освещения – по табл. 7.10 и 7.27 СП 52.13330.2016. Коэффициент запаса K_z при проектировании естественного, искусственного и совмещенного освещения выбирают по табл. 4.3. Упомянутые таблицы также приведены в прил. 6 (табл. Пб-1 – Пб-3).

1.7. Выбор типа светильника (осветительных приборов)

Выбор типов светильников следует производить с учетом характера их светораспределения, энергоэффективности, экономической эффективности и условий окружающей среды. Это означает, что осветительные приборы (ОП) должны соответствовать: типу лампы; конкретной светотехнической функции (общего, местного или комбинированного освещения); форме фотометрического тела, классу светораспределения и типу КСС; возможности перемещения при эксплуатации (стационарные и переносные); способу установки; классу защиты от поражения электрическим током и степени защиты от пыли и воды; исполнению для работы в определенных условиях эксплуатации; способу питания ламп; возможности изменения светотехнических характеристик и т. д.

Условия окружающей среды, соответствующие помещения и зоны приводятся ниже.

Пожароопасные помещения и зоны класса:

П-I – помещения, в которых обращаются горючие жидкости с температурой вспышки паров выше $61\text{ }^{\circ}\text{C}$ (например, склады минеральных масел и т. д.).

П-II – помещения, в которых выделяется горючая пыль или волокна с нижним концентрационным пределом воспламенения более 65 г/м^3 .

П-IIa – помещения, в которых обращаются твердые или волокнистые горючие вещества.

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

Помещения

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 и пыльных и с химически активной средой.

Влажные – помещения, в которых пары или конденсирующаяся влага выделяются лишь временно и в небольших количествах, и относительная влажность которых более 60 %, но не выше 75 % при 20 °С.

Сырые – помещения, в которых относительная влажность длительно превышает 75 % при 20 °С.

Особо сырые – помещения, в которых относительная влажность воздуха близка к 100 % (потолок, стены, пол и предметы, находящиеся в помещении, покрыты влагой) при 20 °С.

С повышенной опасностью – помещения, которые характеризуются наличием в них одного из следующих условий, создающих повышенную опасность:

- сырости или проводящей пыли;
- токопроводящих полов;
- высокой температуры;
- возможности одновременного прикосновения человека к заземленным конструкциям зданий и корпусам технологических механизмов, с одной стороны, и корпусам электрооборудования – с другой.

Во взрыво- и пожароопасных зонах следует применять светильники, удовлетворяющие требованиям глав 7.3 и 7.4 ПУЭ [19]. Минимально допустимую степень защиты светильников по ГОСТ 17677-82 и ГОСТ 14254-80 для освещения непожаро- и невзрывоопасных помещений с разными условиями среды следует принимать по табл. 10.

Условия среды внутри помещения

| № | Минимально допустимая степень защиты светильников | Тип источника света | Условия среды | | | | | | |
|---|---|---------------------|---------------|---------|-------|-------------|--------------------|---------|--------|
| | | | Нормальные | Влажные | Сырые | Особо сырые | Химически активные | Пыльные | Жаркие |
| 1 | IP20 | ЛЛ, СД | + | * | – | – | – | – | + |
| 2 | IP20 | ЛН, ГЛВД | + | * | – | – | – | – | + |
| 3 | IP23 | ЛЛ, ЛН, ГЛВД, СД | (–) | + | * | * | * | * | * |
| 4 | IP51 | ЛН | (–) | (–) | + | * | * | + | * |
| 5 | IP53 | ЛЛ, ЛН, ГЛВД, СД | (–) | + | + | + | + | + | * |
| 6 | IP54 | ЛЛ, СД, ГЛВД | (–) | (–) | + | + | + | + | * |
| 7 | IP54 | ЛН | (–) | (–) | + | + | + | + | * |

Примечания:

«+» – светильники рекомендуются;

«*» – светильники допускаются;

«–» – светильники запрещаются;

«(–)» – применение светильников возможно, но нецелесообразно.

Жаркие – помещения, в которых температура длительное время превышает 30 °С.

Химически активные – помещения, в которых по условиям производства постоянно или в течение длительного времени содержатся пары или образуются отложения, действующие разрушающе на изоляцию и токоведущие части электрооборудования.

Особо опасные помещения характеризуются наличием одного из следующих условий, создающих особую опасность:

- особой сырости;
- химически агрессивной среды;
- одновременного наличия двух или более условий повышенной опасности.

Указания по выбору светильников различного назначения и их светотехнические характеристики приведены в прил. 7 (табл. П7-1 и П7-2).

1.8. Размещение светильников

При размещении ОП в производственных помещениях и установках наружного освещения необходимо соблюдать следующие основные условия:

а) создание нормируемой освещенности на расчетной рабочей поверхности наиболее экономичным путем;

б) соблюдение требований к качеству освещения (равномерность, направление света, ограничение теней, пульсация освещенности, а также прямая и отраженная блескость);

в) обеспечение безопасного и удобного доступа для обслуживания осветительных приборов и электрической осветительной сети;

г) обеспечение наименьшей протяженности и удобства монтажа групповой электрической сети;

д) обеспечение надежности крепления ОП.

Расположение светильников характеризуется коэффициентами оптимизации с соответствующими индексами и может быть светотехнически наиболее выгодным (индекс «С»), энергетически наиболее выгодным (индекс «Э») и экономически наиболее выгодным (индекс «О»).

Решением задачи обычно является определение отношения расстояния между светильниками в ряду L к расчетной высоте h , обозначаемого λ и принимаемого с коэффициентом оптимизации с индексами «С», «Э» и «О» соответственно. Уменьшение значения λ ведет к удорожанию устройства и обслуживания освещения, а чрезмерное увеличение – к резкой неравномерности освещения и возрастанию расходов энергии. Рекомендации по выбору λ приведены в табл. 11. Расчетное значение λ_c или λ_3 принимают по табл. 11 в зависимости от типа источника света и вида КСС светильника.

Таблица 11

Значения светотехнического и энергетического коэффициентов оптимизации

| Тип КСС | λ_c | λ_3 |
|------------------------------|-------------|-------------|
| К – концентрированная | 0,6 | 0,6 |
| Г – глубокая | 0,9 | 1,0 |
| Д – косинусная | 1,4 | 1,6 |
| М – равномерная | 2,0 | 2,6 |
| Л – полуширокая | 1,6 | 1,8 |

Примечание. Значениями λ_c следует пользоваться в тех случаях, когда увеличение λ не приводит к использованию ламп с увеличенной световой отдачей (в частности при люминесцентных лампах), значения λ_3 – в остальных случаях.

Типичные случаи расположения светильников производственного или офисного помещения показаны на рис. 10: а) в разрезе – для точечных источников света; б) в плане – для точечных источников света при реализации квадратных световых полей; в) для светящихся линий из люминесцентных ламп или светодиодных светильников; г) для рядов люминесцентных ламп или светодиодных светильников.

Расстояние между соседними светильниками в одном ряду или между рядами светильников с учетом обозначений на рис. 10 определяют по формуле

$$L = h\lambda,$$

где $\lambda = L/h$ – коэффициент оптимизации (принимают по табл. 5);

$h = H - h_c - h_p$ – расчетная высота, м;

H – высота помещения, м;

h_c – расстояние светильника от перекрытия (высота свеса светильника), м;

h_p – высота расчетной рабочей поверхности над полом, м.

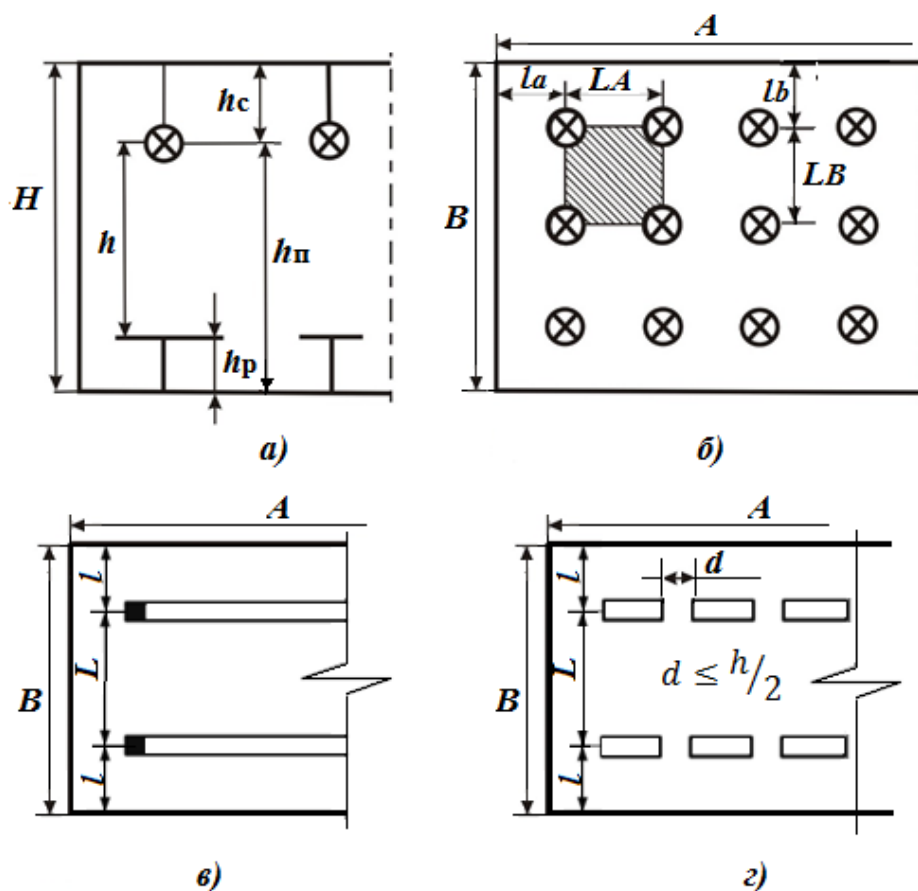


Рис. 10. Схемы расположения светильников в производственном или офисном помещении

Светильники с люминесцентными лампами рекомендуют устанавливать рядами, преимущественно параллельно длинной стороне помещения или стене с окнами. Значение L в этом случае определяют как расстояние между рядами светильников.

Расстояние от крайних рядов светильников до стены принимают в пределах $l = (0,3 \div 0,5)L$ в зависимости от наличия вблизи стен рабочих мест. Для помещения с геометрическими размерами $A \times B \times H$, м (где A и B – длина и ширина помещения соответственно, H – высота потолков помещения), число рядов светильников, расположенных параллельно длинной стороне помещения, вычисляют по формуле

$$n = \frac{(B - 2l_b)}{L} + 1 = n_1 \div n_2,$$

где l_b – расстояние от крайних рядов светильников до стены A .

Затем полученное значение n_i округляют до ближайшего целого числа n' , уточняют при неизменном значении L размерность l_b и проверяют выполнение условия $l_b = (0,3 \div 0,5)L_A$.

Светильники с «точечными» источниками света (лампы накаливания, светодиодные и газоразрядные лампы ДРЛ, ДРИ, ДНаТ и т. д.) располагают по вершинам квадратных, прямоугольных или треугольных световых полей, и в общем случае число светильников в ряду N определяют по формуле

$$N = \frac{A - 2l_a}{L} + 1 = N_1 \div N_2,$$

где l_a – расстояние от крайних светильников в ряду до стены длиной B .

После округления расчетных значений N_i до целого числа светильников в ряду N' и числа рядов светильников определяют число светильников осветительной установки конкретного помещения

$$m = n'N'.$$

Число светильников в ряду и число рядов светильников можно скорректировать по результатам светотехнического расчета с учетом диапазона допусков на значения светового потока источников света для решения задач энергоэффективности и энергосбережения.

В случае реализации прямоугольных световых полей расстояние L_A между светильниками в ряду должно быть больше расстояния

между рядами светильников L_B . Общепринято выдерживать соотношение $L_a/L_b \leq 1,5$. В пределе при выполнении условия $L_a = L_b = L$ получим квадратное световое поле.

Контрольные вопросы

1. Стадии проектирования систем электроснабжения.
2. Содержание рабочего проекта.
3. Текстовые документы и чертеж общего вида в техническом предложении.
4. Пояснительная записка технического предложения.
5. Чертеж общего вида для технического проекта.
6. Пояснительная записка технического проекта.
7. Технические условия для технического проекта.
8. Состав разделов проектной документации.
9. Текстовая часть проектной документации.
10. Характеристика источников электроснабжения.
11. Надежность электроснабжения и качество электроэнергии.
12. Категории обеспечения надежности электроснабжения электроприемников жилых и общественных зданий.
13. Точечный источник излучения.
14. Какая из световых величин характеризует пространственную плотность светового потока, а какая – поверхностную?
15. Что характеризует КСС и как осуществляется ее построение?
16. Приемник лучистой энергии. Приведите примеры некоторых видов приемников.
17. Какие качественные и количественные показатели являются характеристиками цвета?
18. Какие величины характеризуют экономичность ламп и светильников?
19. Основные светотехнические характеристики осветительных приборов.
20. Методы расчета осветительной установки: по коэффициенту использования, удельной мощности.

21. Проверочные светотехнические расчеты: расчет прямой составляющей освещенности от точечных светящихся элементов точечным методом.

22. Проверочные светотехнические расчеты: расчет прямой составляющей освещенности от линейных светящихся элементов точечным методом.

23. Расчет отраженной составляющей освещенности.

Примеры решения задач

Методика расчета схемы расположения светильников в цехе промышленного предприятия без учета расположения оборудования и затеняющих конструктивных элементов здания изложена в задачах 1, 2 и 3.

Задача 1. Инструментальный цех освещается газоразрядными лампами типа ДРЛ в светильниках РСПО5 с типом КСС типа Г. Размеры цеха $A \times B \times H = 60 \times 30 \times 10$ м. Определить схему расположения светильников в цехе при значениях высоты рабочей поверхности $h_p = 0,8$ м и высоты свеса $h_c = 1,2$ м.

Решение

С учетом исходных данных определяем расчетную высоту светильника

$$h = H - h_c - h_p = 10,0 - 1,2 - 0,8 = 8 \text{ м.}$$

Выбирая по табл. 5 значение энергетического коэффициента оптимизации для светильника с глубокой КСС, равной единице ($\lambda_3 = 1$), определяем расстояние между светильниками в ряду, расположенном параллельно длинной стороне цеха,

$$L_A = h\lambda_3 = 8 \cdot 1 = 8 \text{ м.}$$

С учетом значения L_A определяем количество светильников в ряду

$$N = \frac{A - 2l_a}{L_A} + 1 = \frac{60 - (2,4 \div 4,0)}{8} = 7,9 \div 7,5,$$

где $l_a = (0,3 \div 0,5)L_A = (0,3 \div 0,5)8 = (2,4 \div 4,0)$ м.

Округляем полученное значение N до большего целого и окончательно принимаем число светильников в ряду равным восьми

$$N' = 8.$$

Из соотношения для числа светильников в ряду получаем формулу для расчета расстояния крайнего светильника в ряду до короткой стены l_a

$$l_a = \frac{A - L_A(N' - 1)}{2} = \frac{60 - 8(8 - 1)}{2} = 2 \text{ м.}$$

Отношение $l_a/L_A = 2/8 = 0,25$, что несколько меньше условного значения $l_{a \min} = 0,3L$, но может быть принято к реализации (с учетом рекомендаций СНиП 23-05-95 по уровням горизонтальной освещенности общего освещения в системе комбинированного в проходах цеха без рабочего оборудования).

Число рядов светильников осветительной установки с квадратными и прямоугольными световыми полями:

а) при расположении светильников по вершинам квадратных световых полей выполняется равенство $L_A = L_B = 8 \text{ м}$. Тогда число рядов светильников

$$n = \frac{(B - 2l_b)}{L} + 1 = \frac{30 - 2(2,4 \div 4,0)}{8} + 1 = 4,14 \div 3,75,$$

где $l_b = (0,3 \div 0,5)L_A = (0,3 \div 0,5)8 = 2,4 \div 4,0 \text{ м}$.

Округляем полученное до ближайшего целого и принимаем число рядов осветительной установки равным четырем ($n' = 4$). После этого определяем количество светильников в цехе

$$m = n'N' = 4 \cdot 8 = 32.$$

Уточняем значение l_b для выбранного числа рядов светильников

$$l_b = \frac{B - L_B(n' - 1)}{2} = \frac{30 - 8(4 - 1)}{2} = 3 \text{ м.}$$

Отношение расстояний равно $l_b/L_A = 3/8 = 0,375$, что соответствует условию $l_b = (0,3 \div 0,5)L_A$;

б) при расположении светильников по вершинам прямоугольных световых полей значение расстояния между рядами светильников L_B выбирают из условия

$$L_a/L_b \leq 1,5, \text{ или } \frac{L_A}{1,5} \leq L_B \leq L_A.$$

Подставляя расчетное значение L_A в приведенное выше неравенство, получаем

$$\frac{8}{1,5} \leq L_B < 8, \text{ или } 5,33 \leq L_B < 8,00,$$

что удовлетворяет условию.

Выбираем значение $L_B = 6$ м и рассчитываем число рядов светильников

$$n = \frac{(B - 2l_b)}{L} + 1 = \frac{30 - 2(1,8 \div 3,0)}{6} + 1 = 5,4 \div 5,0,$$

где $l_b = (0,3 \div 0,5)L_A = (0,3 \div 0,5)6 = 1,8 \div 3,0$ м.

Принимая значение $n' = 5$, определяем количество светильников в цехе

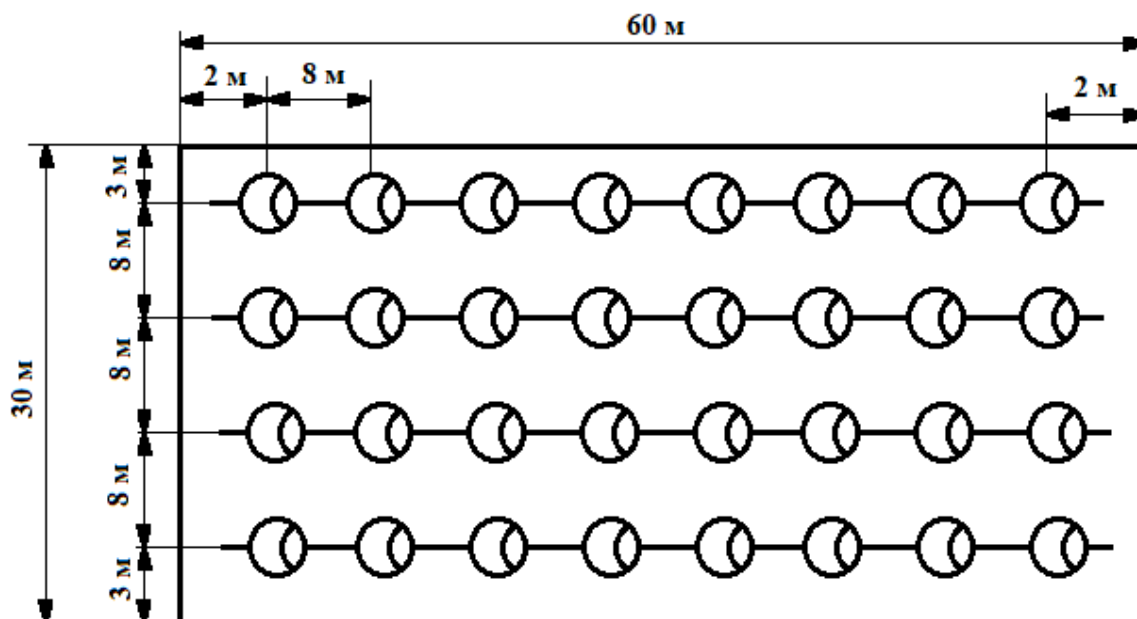
$$m = n'N' = 5 \cdot 8 = 40.$$

При этом расстояние до длинной стены составит

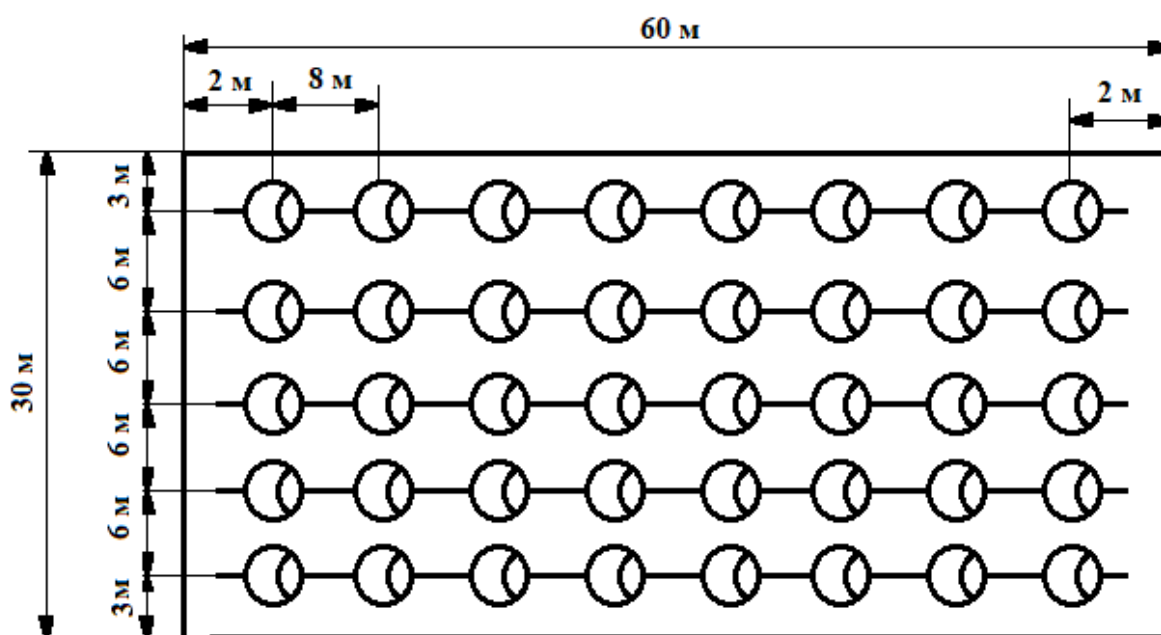
$$l_b = \frac{B - L_B(n' - 1)}{2} = \frac{30 - 6(5 - 1)}{2} = 3 \text{ м},$$

что удовлетворяет техническим условиям и совпадает с предыдущим случаем.

Схема расположения светильников по вершинам квадратных и прямоугольных световых полей задачи 1 показана на рис. 11. Окончательный выбор схемы расположения светильников производят после расчета наименьшей освещенности в контрольных точках цеха и определения значения коэффициента неравномерности (под наименьшей освещенностью понимают значение нормируемой освещенности для конкретного типа производства в соответствии с рекомендациями СНиП 23-05-95).



a)



б)

Рис. 11. Схема расположения светильников задачи 1:

а – для квадратных световых полей; б – для прямоугольных световых полей

Задача 2. Освещение механического цеха выполнено люминесцентными лампами в светильниках ЛСП02, расположенными в виде светящихся линий. Размеры цеха $A \times B \times H = 48 \times 24 \times 6$ м. Высота

рабочей поверхности $h_p = 0,8$ м (по СНиП). Расстояние светильника от перекрытия (высота свеса) $h_c = 0,5$ м. Согласно паспортным данным светильник ЛСП02 имеет косинусную КСС.

Определить число рядов светильников и изобразить схему их размещения, полагая, что длина светящей линии равна длине помещения (на данном этапе без учета геометрических размеров светильника заданного типа).

Решение

Определяем расчетную высоту светильника

$$h = H - h_c - h_p = 6,0 - 0,8 - 0,5 = 4,7 \text{ м.}$$

Вычисляем расстояние между рядами светильников

$$L = h\lambda_c = 4,7 \cdot 1,4 = 6,58 \text{ м,}$$

где $\lambda_c = 1,4$ – светотехнический коэффициент оптимизации для светильников с косинусным светораспределением.

Окончательно принимаем значение расстояния между рядами светильников $L = 6,5$ м.

Определяем число рядов светильников при их расположении параллельно длинной стене цеха

$$n = \frac{(B - 2l)}{L} + 1 = \frac{24 - 2(1,95 \div 3,25)}{6,5} + 1 = 4,092 \div 3,692 \text{ м,}$$

где $l = (0,3 \div 0,5)L = (0,3 \div 0,5)6,5 = 1,95 \div 3,25$ м.

Округляем полученное значение числа рядов светильников ближайшего целого и принимаем расчетное число рядов осветительной установки равным четырем ($n' = 4$).

Уточняем значение l для выбранного числа рядов светильников

$$l = \frac{B - L(n' - 1)}{2} = \frac{24,0 - 6,5(4 - 1)}{2} = 2,25 \text{ м.}$$

Отношение расстояний равно $l/L = 2,25/6,50 = 0,346$, что соответствует условию $l = (0,3 \div 0,5)L$.

Схема расположения светильников с учетом результатов расчета задачи 2 показана на рис. 12.

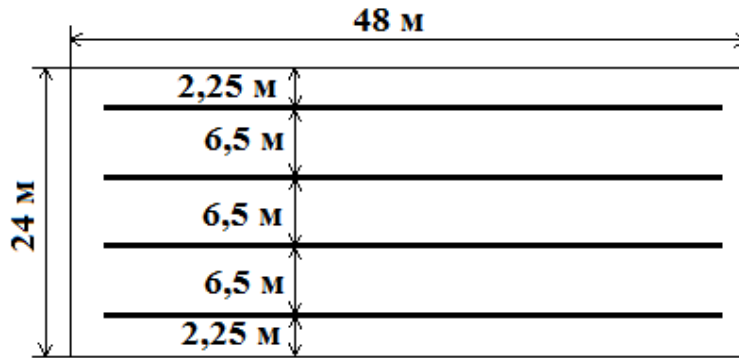


Рис. 12. Схема расположения светильников задачи 2

Задача 3. По результатам расчета задачи 1 определить координаты светильников осветительной установки в трехмерной системе координат при расстановке светильников по вершинам квадратных световых полей.

Исходные данные:

- расчетная высота $h = 8$ м;
- расстояние между светильниками в ряду $L_A = 8$ м;
- расстояние между рядами светильников $L_B = 8$ м;
- расстояние от крайнего светильника в ряду до короткой стены $l_a = 2$ м;
- расстояние от крайнего ряда до длинной стены $l_b = 3$ м.

Решение

Размещаем начало координат $O'(x_0, y_0, z_0)$ в левом углу помещения на высоте рабочей поверхности, тогда при $z_0 = 0$ все значения $z_i = h = 8$ м. Координаты светильников представим в общем виде как $O'(x_i, y_j, z_i)$.

Значения x_{i1} и y_{j1} крайних светильников в ряду можно рассчитать по формулам

$$\begin{aligned} x_{i1} &= x_0 + l_a, \\ y_{j1} &= y_0 + l_b, \end{aligned}$$

где $x_0 = y_0 = 0$.

Значения координат x_i и y_j остальных светильников ОУ можно определить по формулам

$$\begin{aligned} x_i &= x_{(i-1)} + L_A, \\ y_j &= y_{(j-1)} + L_B. \end{aligned}$$

Тогда координаты крайнего светильника нижнего ряда (условно под номером 1) принимают значения

$$x_1 = x_0 + l_a = 0 + 2 = 2 \text{ м,}$$

$$y_1 = y_0 + l_b = 0 + 3 = 3 \text{ м.}$$

С учетом значения $z_i = h = 8 \text{ м}$ координаты первого светильника записываем в виде $O'_1(2; 3; 8)$. Аналогично по значениям x_i и y_j остальных светильников определяем их координаты, численные значения которых показаны на рис. 13, на котором светильники осветительной установки представлены в виде проекции на горизонтальную плоскость. Для удобства на рис. 13 показаны координатные оси X и Y , их градации показывают расстояние между светильниками в ряду (шкала X) и между рядами светильников (шкала Y). Для крайних светильников на осях указаны расстояния до короткой и длинной стены.

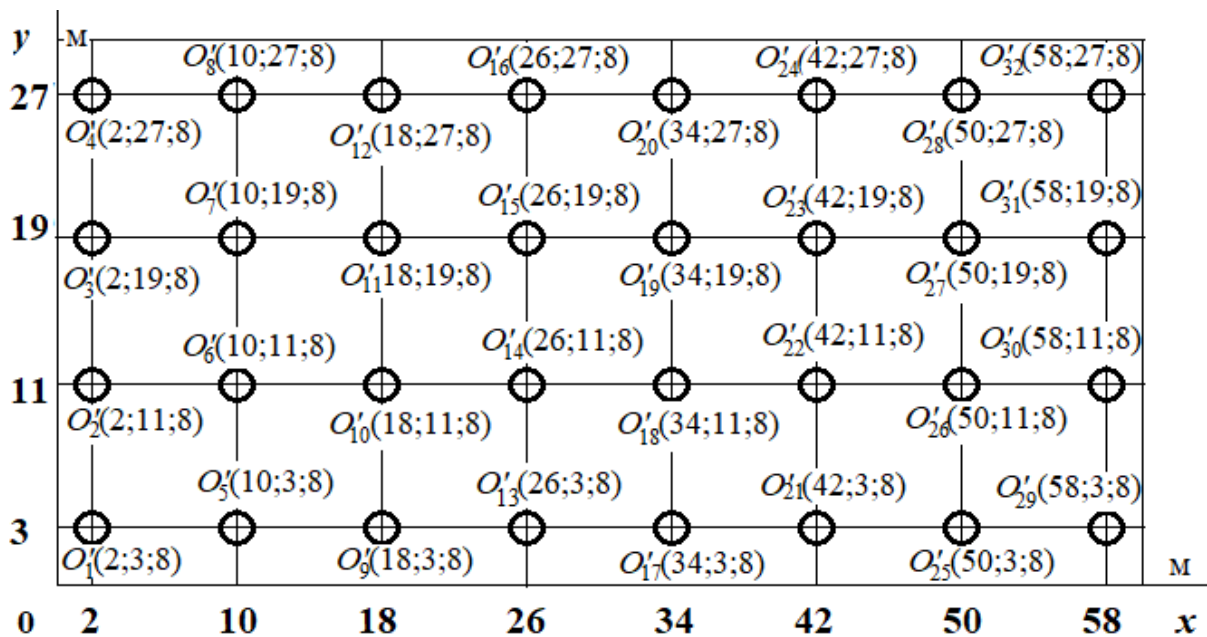


Рис. 13. Координаты светильников по результатам расчета задачи 3

ГЛАВА 2. РАСЧЕТ ПРЯМОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ОСВЕЩЕННОСТИ

2.1. Задачи расчета

При расчете ОУ, как правило, определяют количество и мощность источников света для реализации нормированной освещенности в заданной точке пространства. В некоторых случаях проводят проверочные расчеты существующей осветительной установки с целью оптимизации ее количественно-энергетических показателей.

В зависимости от поставленной задачи светотехнического расчета выбирают метод расчета:

– *метод коэффициента использования светового потока* предназначен для расчета общего равномерного освещения горизонтальных поверхностей при отсутствии крупных затеняющих предметов. Для этой же цели служат различные упрощенные формы этого метода;

– *точечный метод* служит для расчета освещения поверхностей, расположенных любым образом относительно светильника и при любом распределении освещенности.

Отметим, что независимо от выбранного метода расчета освещенности размещение светильников должно проводиться с учетом размещения оборудования и его затеняющих свойств.

2.2. Расчет освещенности рабочей поверхности по методу коэффициента использования

Результат размещения светильников в конкретном (заданном) помещении дает общее число светильников, равное m , каждый из которых создает световой поток Φ ; а суммарный поток, создаваемый в помещении, будет равен $m\Phi$. Поскольку поток теряется в светильниках (характеризуется КПД светильника) и падает на стены и потолок помещения, то в результате на рабочую поверхность попадает только часть суммарного светового потока.

Отношение светового потока, падающего на освещаемую рабочую поверхность, ко всему суммарному потоку ламп светильников

называют *коэффициентом использования светового потока* и обозначают буквой η . Таким образом, полезный световой поток $\Phi_{п.п}$ можно определить как

$$\Phi_{п.п} = m\Phi\eta.$$

Полезный световой поток $\Phi_{п.п}$, распределяясь по площади S , создает на ней среднюю освещенность

$$E_{ср} = \frac{\Phi m \eta}{S}.$$

Так как обычно расчет ведут на определение минимальной освещенности (наихудший случай), которая меньше средней, то вводя понятие коэффициента минимальной освещенности z , выражаемого соотношением

$$z = \frac{E_{ср}}{E_{\min}},$$

и коэффициента запаса K_3 , учитывающего снижение светового потока ламп светильника за время эксплуатации, получаем рабочую формулу для расчета освещенности E , лк, от точечного источника методом коэффициента использования

$$E = \frac{m\Phi\eta}{SzK_3}.$$

В зависимости от поставленной задачи из предыдущей формулы можно получить выражения для расчета суммарного светового потока ламп светильника и числа светильников осветительной установки

$$\Phi = \frac{E_H Sz K_3}{m \eta},$$

$$m = \frac{E_H Sz K_3}{\Phi \eta}.$$

Коэффициент минимальной освещенности z является функцией геометрических размеров помещения, коэффициентов отражения потолков, стен, пола, светотехнических характеристик светильника и в наибольшей степени зависит от отношения расстояния между светильниками в ряду к расчетной высоте $\lambda = L/h$.

Точное определение коэффициента минимальной освещенности связано с такими трудностями, которые не оправдываются результатом, поэтому на практике значение принимают равным $z = 1,15$ при освещении светильниками, расположенными по вершинам квадратных полей, и $z = 1,1$ при освещении линиями люминесцентных светильников. В установках отраженного света или хорошо отражающих потолках и стенах $z = 1,0$.

При известном числе светильников рассчитывают световой поток Φ и выбирают по каталогу стандартную лампу так, чтобы ее световой поток отличался от расчетного значения светового потока Φ не более чем на $-10 \div +20 \%$. В противном случае корректируют число светильников m осветительной установки.

При расчете освещенности от светящихся линий из светильников с люминесцентными или светодиодными трубчатыми лампами в выражение для расчета освещенности E , лк, подставляют число рядов N вместо числа светильников m , т. е.

$$E = \frac{N\Phi\eta}{SzK_3},$$

где Φ – суммарный поток ламп светящей линии.

При выбранном типе светильника с люминесцентными или светодиодными трубчатыми лампами (световой поток Φ_n) и суммарным световым потоком светящей линии

$$\Phi = \sum_{i=1}^m \Phi_n$$

число светильников в ряду светящей линии составит

$$m_{с.л} = \frac{\Phi}{\sum_{i=1}^m \Phi_n}.$$

Суммарная длина светильников светящей линии числом $m_{с.л}$ должна быть сопоставимой с длиной помещения, если она будет отличаться, то реализуется один из трех случаев:

1) при превышении длиной светящей линии длины помещения возможны следующие решения:

а) увеличение числа рядов светящих линий;
б) компоновка рядов на сдвоенных (строенных и т. д.) светильниках;
в) применение люминесцентных ламп с большим значением Φ_n ;
2) при равенстве длин светящей линии и помещения решением будет устройство непрерывного ряда светильников;

3) устройство разрывного ряда светильников светящей линии с равномерными расстояниями между светильниками в ряду при условии, что расстояние между светильниками в ряду d не превысит половины расчетной высоты h .

Коэффициент использования светового потока η , определяющий экономичность светильника, зависит:

- от КПД (прямо пропорционально);
- формы КСС светильников (возрастает с увеличением концентрации светового потока и убывает с увеличением доли светового потока, направляемой светильниками в верхнюю часть пространства);
- площади помещения (возрастает с ее увеличением, так как при этом увеличивается телесный угол, в пределах которого световой поток падает на расчетную поверхность);
- расчетной высоты (возрастает с ее уменьшением вследствие увеличения телесного угла);
- формы помещения (убывает по мере удаления формы помещения от квадрата, так как при этом уменьшается среднее расстояние светильников от стен и увеличивается доля светового потока, падающего на стены);
- отношения расстояния между светильниками в ряду к расчетной высоте (незначительно);
- значения коэффициентов отражения потолков ρ_n , стен ρ_c , расчетной плоскости ρ_p (возрастает с их увеличением);
- индекса помещения i , учитывающего площадь помещения, высоту и форму помещения, вычисляемого по формуле

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

где A и B – длина сторон помещения, м;

S – площадь помещения (расчетной поверхности), м²;

h – расчетная высота помещения, м.

Зависимость коэффициента использования светового потока η от перечисленных факторов определяется тем, что для каждого светильника или группы светильников с близкими характеристиками составляют отдельную таблицу коэффициентов использования светового потока, в которой также учитывают характерное значение коэффициента светотехнической оптимизации λ_c светильника и коэффициенты отражения. Отметим, что коэффициенты отражения оценивают субъективно или предположительно, и так как их точные значения неизвестны, то из усредненных значений $\rho_{\text{п}} = \rho_{\text{с}} = 70; 50; 30; 10 \%$ и $\rho_{\text{р}} = 30; 10; 0 \%$ выбирают их наиболее вероятные сочетания.

Значения индекса помещения i и коэффициента использования η в функции модуля помещения и коэффициентов отражения приведены в прил. 8 (табл. П8-1 – П8-6).

При использовании метода коэффициента использования для расчета осветительной установки после расстановки светильников рекомендуется руководствоваться следующим алгоритмом:

1) в качестве исходных данных принимать:

– для *помещения*: длина A , м; ширина B , м; высота H , м;

– коэффициенты отражения потолка, стен и пола;

– для *светильников*: коэффициент использования η и расчетная высота h , м;

– для *лампы*: тип лампы и ее мощность;

2) в качестве *вспомогательных материалов* применять: таблицы коэффициентов использования и коэффициентов отражения, таблицы нормативных освещенностей рабочих поверхностей, таблицы начальных уровней светового потока используемых источников света.

Расчет осветительной установки выполняют в следующей последовательности:

– определяют площадь и индекс помещения

$$S = AB; \quad i = \frac{S}{h(A + B)};$$

- по значению индекса помещения и исходным данным по коэффициентам отражения по справочным таблицам определяют коэффициент использования η для указанной в паспорте КСС светильника;
- определяют требуемое количество светильников

$$m = \frac{E_H S K_3 z}{n \Phi_L \eta},$$

где E_H – нормативная освещенность горизонтальной плоскости, лк;
 S – площадь помещения, м²;
 K_3 – коэффициент запаса;
 H – коэффициент использования осветительной установки;
 Φ_L – световой поток одной лампы светильника, лм;
 n – число ламп в одном светильнике.

При решении обратной задачи определения светового потока лампы для реализации расчетной схемы размещения светильников используют соотношение

$$\Phi_L = \frac{E_H S K_3 z}{n m \eta}.$$

По результатам расчета выбирают лампу определенного (требуемого) типа, значение светового потока которой находится в пределах от –10 до +20 процентов от расчетного.

Контрольные вопросы

1. Сущность метода расчета осветительной установки по коэффициенту использования.
2. Факторы, определяющие значение коэффициента использования светильников осветительной установки.
3. Влияние отражений светового потока на значение коэффициента использования.
4. Коэффициенты отражения поверхностей и способы их оценки.
5. Индекс помещения: определение и расчет.
6. Энергоэффективность осветительной установки при ее реализации по методу коэффициента использования.
7. Наиболее вероятные значения коэффициентов отражения и их связь с характеристикой помещения.

8. В чем отличие КПД светильника от коэффициента использования светильника?

9. Неравномерность освещенности рабочей поверхности и возможности ее оценки при расчетах по методу коэффициента использования светильника.

Примеры решения задач

Задача 4. Выполнить светотехнический расчет осветительной установки инструментального цеха по результатам расчета задачи 1 методом коэффициента использования при заданных значениях коэффициентов отражения $\rho_{\text{п}} = 0,7$; $\rho_{\text{с}} = 0,5$; $\rho_{\text{р}} = 0,1$ и расположении светильников на вершинах прямоугольных световых полей.

Решение

Определяем значение индекса помещения

$$i = \frac{AB}{h(A+B)} = \frac{60 \cdot 30}{8(60+30)} = 2,5.$$

По данным табл. 5.9 справочника [14] или П8-4 для найденного значения индекса помещения i и заданных коэффициентов отражения $\rho_{\text{п}}$, $\rho_{\text{с}}$, $\rho_{\text{р}}$ определяем значение коэффициента использования $\eta = 0,76$ (для светильника РСП05 с КСС типа Г).

При значениях нормативной освещенности $E_{\text{н}} = 300$ лк и коэффициента запаса $K_{\text{з}} = 1,5$ получаем расчетное значение светового потока одной лампы (светильники расположены по вершинам прямоугольных полей)

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E_{\text{н}}SK_{\text{з}}z}{nm\eta} = \frac{300 \cdot 60 \cdot 30 \cdot 1,5 \cdot 1,15}{1 \cdot 40 \cdot 0,76} = 30\,641,45 \text{ лм.}$$

По результатам расчета данных из таблиц прил. 5 выбираем лампу типа SPXEKOARC295W с номинальным световым потоком $\Phi_{\text{н}} = 32\,000$ лм фирмы Sylvania или лампу типа NAVE400DELUXE фирмы Osram.

Фактическая освещенность рабочей поверхности этими типами ламп составит

$$E = \frac{\Phi_{\text{л}}nm\eta}{SK_{\text{з}}z} = \frac{32\,000 \cdot 1 \cdot 40 \cdot 0,76}{60 \cdot 30 \cdot 1,5 \cdot 1,15} = 313,301 \text{ лк.}$$

Превышение фактической освещенности над нормативной составляет 4,433 %, что соответствует допустимым отклонениям.

Задача 5. Выполнить светотехнический расчет осветительной установки механического цеха по исходным данным задачи 2 методом коэффициента использования при заданных значениях коэффициентов отражения $\rho_{\text{п}} = 0,7$; $\rho_{\text{с}} = 0,3$; $\rho_{\text{р}} = 0,1$.

Решение

По таблицам прил. 6 для общего освещения механического цеха в системе комбинированного принимаем значения нормативной освещенности $E_{\text{н}} = 300$ лк и коэффициента запаса $K_{\text{з}} = 1,5$.

В качестве источника света можно выбрать промышленный светодиодный светильник Ю-PROM50, с номинальным световым потоком $\Phi_{\text{н}} = 6300$ лм, КСС типа Д (косинусная, 120°), степень защиты IP67, климатическое исполнение УХЛ1, коэффициент мощности 0,98, напряжение питания 176 – 264 В, 45 – 65 Гц, габаритные размеры 530 × 80 × 136 мм. Цветовая температура 5000 К.

Определяем значение индекса помещения

$$i = \frac{AB}{h(A + B)} = \frac{48 \cdot 24}{4,7(48 + 24)} = 3,4.$$

По значению индекса помещения $i = 3,4$ и принятым значениям коэффициентов отражения $\rho_{\text{п}} = 0,7$; $\rho_{\text{с}} = 0,3$; $\rho_{\text{р}} = 0,1$ находим по данным табл. П8-4 значение коэффициента использования светового потока светильника с КСС типа Д $\eta = 0,69$.

Определяем световой поток одного ряда ламп (по расчетным данным задачи 2 число рядов равно четырем)

$$\Phi_{\text{р.л}} = \frac{E_{\text{н}}SK_{\text{з}}z}{m\eta} = \frac{300 \cdot 48 \cdot 24 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{4 \cdot 0,69} = 206\,608,7 \text{ лм.}$$

Вычисляем количество светильников в ряду

$$n_{\text{с.л}} = \frac{\Phi_{\text{р.л}}}{\Phi_{\text{н}}} = \frac{206\,608,7}{6300} = 32,795.$$

Принимаем значение $n_{с.л} = 33$, тогда при длине светильника Ю-PROM50, равной $l_{св} = 530$ мм, суммарная длина светильников в ряду составит

$$L_{св} = l_{св} n = 0,53 \cdot 33 = 17,49 \text{ м.}$$

При расположении светильников в ряд суммарный разрыв между светильниками

$$\sum d = A - L_{св} = 48,00 - 17,49 = 30,51 \text{ м.}$$

Тогда расстояние между соседними светильниками в ряду

$$d = \frac{\sum d}{n_{с.л} + 1} = \frac{30,51}{33 + 1} = 0,897 \text{ м} \leq 0,5h = \frac{4,7}{2} = 2,35 \text{ м.}$$

При полученном соотношении расстояния между светильниками в ряду и расчетной высотой установки светильника над рабочей поверхностью (d и $h/2$) ряд светильников можно считать сплошным (сплошная светящая линия), поэтому значение освещенности рабочей поверхности рассчитываем через относительную освещенность и значение погонного светового потока, определяемые по методике расчета освещенности от светящей линии.

2.3. Точечный метод расчета прямой составляющей горизонтальной освещенности

Стоит задача обеспечения наименьшей освещенности, соответствующей нормативной в заданном типе помещения, при выбранном типе светильников с точечными излучателями с известными параметрами: светораспределением, световым потоком ламп, коэффициентом запаса K_z , геометрическими характеристиками, определяющими расположение светильника над рабочей поверхностью.

Расчет ведут для наихудшего случая, т. е. для наименее освещенной в пределах поверхности точки, для которой должна быть обеспечена нормированная освещенность.

Для решения задачи определяют расстояние d_i от контрольной точки до проекции каждого светильника на расчетную поверхность; по графикам пространственных изолюкс или с использованием аналити-

ческого выражения КСС при известной расчетной высоте h находят значение относительной освещенности ε или e (для лампы со световым потоком в 1000 лм) каждого светильника и, суммируя их расчетные значения, определяют суммарную относительную освещенность $\Sigma\varepsilon$ или Σe от группы светильников в контрольной точке.

Влияние удаленных светильников, значение относительной освещенности от которых в контрольной точке составляет менее 10 процентов от относительной освещенности от ближних светильников, неучтенных в данных суммах, а также света, отраженного от стен и потолков помещения, учитывает коэффициент дополнительной освещенности μ . Из-за сложности расчета точного значения коэффициента дополнительной освещенности его обычно принимают равным $\mu = 1,0 \div 1,2$. Тогда значение реализуемого светового потока Φ , лм, лампы в каждом светильнике с учетом КПД можно определить по формуле

$$\Phi = \frac{1000E_n K_3 h^2}{\eta_n \mu \Sigma \varepsilon},$$

или

$$\Phi = \frac{1000E_n K_3}{\eta_n \mu \Sigma e},$$

где η_n – КПД осветительного прибора для нижней полусферы (при использовании графиков линейных изолукс не учитывается).

По расчетному значению светового потока по справочным данным подбирают лампу с учетом ее энергоэффективности, световой поток которой может отличаться от расчетного в пределах от -10 до $+20$ %. Если невозможно подобрать близкую по параметрам лампу с таким допуском, расположение светильников корректируют (меняют число светильников в ряду или число рядов светильников).

Отметим, что при общем равномерном освещении крупных помещений основные контрольные точки, в которых определяют минимальные значения суммарной относительной освещенности $\Sigma\varepsilon$, – это центр углового поля и середина его длинной стороны. Возможны и другие точки с учетом влияния затеняющих объектов (например, наличие в помещении поддерживающих колонн или крупногабаритного электротехнологического оборудования).

Расположение контрольных точек при проведении измерений минимальной или средней освещенности определяют в соответствии с рекомендациями ГОСТ 24940-2016.

Вышеприведенную формулу для светового потока Φ можно также использовать для определения освещенности в контрольной точке при известном суммарном световом потоке светильника (лампы).

Контрольные вопросы

1. Почему энергоэффективность осветительной установки, рассчитанная по точечному методу, значительно выше, чем при реализации расчета по другим методикам?
2. В чем суть пространственных изолюкс и при расчете каких осветительных установок целесообразно их использование?
3. В чем причина больших погрешностей при расчете освещенности с применением графиков пространственных изолюкс?
4. В каких случаях допустимо использование аналитических выражений КСС?
5. С какой целью определяют предельный угол между лучом источника света и нормалью к рабочей поверхности в контрольной точке?
6. Почему при расчете освещенности по методу пространственных изолюкс и точечному методу все расстояния и углы определяют по проекции осветительной установки на горизонтальную поверхность?
7. Какой из известных методов расчета освещенности рабочей поверхности наиболее универсальный?
8. В чем отличие относительной освещенности от произвольного источника света и нормированного?

Примеры решения задач

Задача 6. Выполнить проверку светотехнического расчета задачи 3 точечным методом с использованием графиков пространственных изолюкс. Схема расположения светильников показана на рис. 13, нумерация светильников выбрана произвольно. Контрольная точка А расположена в середине прямоугольного поля размером 6×8 м, а точка Б – в середине длинной стороны светового поля. Расстояния d_i определяют по геометрическому построению с использованием рис. 14. По данным

задачи 3 расчетная высота $h = 8$ м. Относительные освещенности от каждого светильника РСП 05 можно определить по графикам пространственных изолукс условной горизонтальной освещенности, построенных в координатах (d, h) .

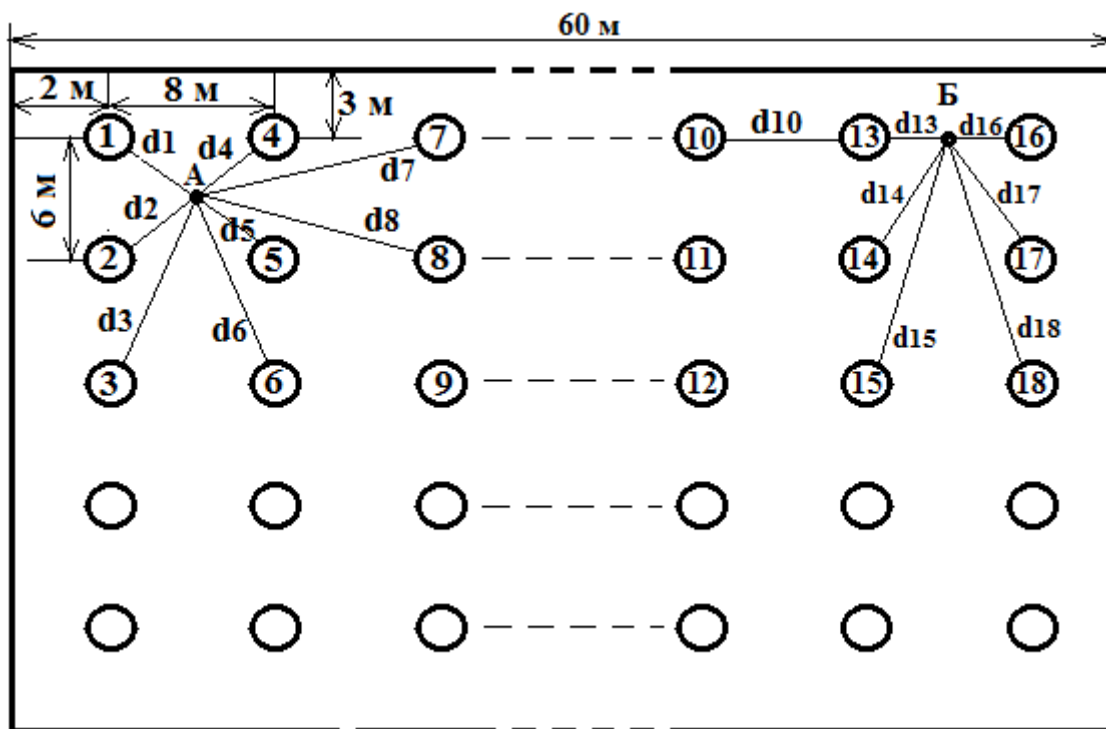


Рис. 14. Схема расположения светильников задач 6 и 7

Результаты определения значений упомянутых относительных освещенностей с использованием методов интерполяции и с учетом количества равноудаленных светильников приведены в табл. 12.

Таблица 12

Определение относительной освещенности с использованием метода интерполяции

| Точка | Номер светильника | d_i , м | e , лк | ne , лк | Σe , лк |
|-------|-------------------|-----------|----------|-----------|-----------------|
| А | 1, 2, 3, 4, 5 | 5,00 | 3,50 | 14,00 | 14,88 |
| | 9, 6 | 9,84 | 0,35 | 0,70 | |
| | 7, 8 | 12,36 | 0,09 | 0,18 | |
| Б | 13, 16 | 4,0 | 5,00 | 10,00 | 13,07 |
| | 14, 17 | 7,2 | 1,40 | 2,80 | |
| | 15, 18 | 12,6 | 0,08 | 0,16 | |
| | 10 | 12,0 | 0,11 | 0,11 | |

Решение

Суммарная относительная освещенность в точке Б оказывается меньше, чем в точке А. Следовательно, прямая составляющая горизонтальной освещенности в точке Б оказывается наименьшей, и именно в ней необходимо определить фактическую освещенность. Принимая значение коэффициента дополнительной освещенности $\mu = 1,1$, получим

$$E_B = \frac{\Phi_n \mu \sum e}{1000 K_3} = \frac{32\,000 \cdot 1,1 \cdot 13,07}{1000 \cdot 1,5} = 321,493 \text{ лк.}$$

Фактическая освещенность отличается от нормированной освещенности $E_n = 300$ лк на 7,16 %, что вполне допустимо.

Задача 7. Выполнить проверку светотехнического расчета задачи 3 точечным методом с использованием аналитического выражения КСС и провести сравнение с результатами расчета предыдущей задачи. Схема расположения светильников показана на рис. 14. Контрольная точка А расположена в середине прямоугольного поля размером 6×8 м, а точка Б – в середине длинной стороны светового поля. Расстояние d_i от центра светильника до контрольной точки определяют по геометрическому построению с использованием рис. 14.

Решение

Относительные освещенности в точке А от каждого светильника РСП05 с КСС типа Г рассчитываем по формуле

$$e_A = \frac{800 \cos(1,65\alpha) \cos^3 \alpha}{h^2},$$

где угол между нормалью к горизонтальной поверхности и лучом в контрольную точку определяется соотношением длины от проекции светильника на плоскость к расчетной высоте

$$\alpha = \operatorname{arctg} \left(\frac{d_i}{h} \right).$$

По данным задачи 3 значение $h = 8$ м, тогда значения d_i можно определить по геометрическому построению. Например, для светильника № 1 получаем

$$d_1 = \sqrt{\left(\frac{L_A}{2}\right)^2 + \left(\frac{L_B}{2}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{8}{2}\right)^2 + \left(\frac{6}{2}\right)^2} = 5 \text{ м.}$$

Аналогично определяем все длины от проекции всех светильников осветительной установки на плоскость. Результаты расчета упомянутых величин с учетом количества равноудаленных светильников и значения угла α приведены в табл. 13.

Значение относительной освещенности в точке А от равноудаленных светильников № 1, 2, 4, 5

$$e_A = \frac{800 \cos(1,65\alpha) \cos^3 \alpha}{h^2} = \frac{800 \cos(1,65 \cdot 32^\circ) \cos^3 32^\circ}{8^2} = 4,6 \text{ лк.}$$

Значения относительных освещенностей в точках А и Б вычисляем аналогично. Результаты вычислений приведены в табл. 13.

Таблица 13

Значения относительных освещенностей

| Контрольная точка на рис. 14 | Номер светильника на рис. 14 | Расстояние по проекции d_i , м | Значение угла, α , град. | Относительная освещенность от одного светильника e , лк | Относительная освещенность от равноудаленных светильников ne , лк | Суммарная относительная освещенность в контрольной точке Σe , лк |
|------------------------------|------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|---|---|--|
| А | 1, 2, 4, 5 | 5,00 | 32,00 | 4,6 | 18,400 | 19,07 |
| | 9, 6 | 9,84 | 50,88 | 0,189 | 0,378 | |
| | 7, 8 | 12,36 | 57,08 | 0,146 | 0,292 | |
| Б | 13, 16 | 4,0 | 26,560 | 6,45 | 12,9000 | 16,9769 |
| | 14, 17 | 7,2 | 41,987 | 1,816 | 3,6320 | |
| | 15, 18 | 12,6 | 57,587 | 0,1683 | 0,3366 | |
| | 10 | 12,0 | 56,309 | 0,1083 | 0,1083 | |

Суммарная относительная освещенность в точке Б на рис. 13 оказывается меньше, чем в точке А. Следовательно, прямая составляющая горизонтальной освещенности в точке Б оказывается наименьшей, и именно в ней необходимо определить фактическую освещенность. Принимая значение коэффициента дополнительной освещенности $\mu = 1,1$, получаем значение освещенности в контрольной точке Б

$$E_B = \frac{\Phi_n \mu \Sigma e}{1000 K_3} = \frac{32\,000 \cdot 1,1 \cdot 16,9769}{1000 \cdot 1,5} = 398,39 \text{ лк.}$$

Фактическая освещенность отличается от значения нормированной освещенности $E_n = 300$ лк на 32,797 %, что недопустимо по нормативам,

поэтому необходимо подобрать лампу с несколько меньшим световым потоком. Например, подойдет светодиодный аналог ранее выбранного светильника с дуговой лампой. В этом случае решают сразу две задачи: первая – коррекция светового потока, вторая – определение энергоэффективности светильника. По справочным данным выбираем светодиодный светильник типа RSL-Industrial-64WxTRIO со световым потоком 24 969 лм и мощностью 192 Вт. Освещенность в точке Б при использовании данного светильника составит

$$E_B = \frac{\Phi_{н\mu} \Sigma e}{1000K_з} = \frac{24\,969 \cdot 1,1 \cdot 16,9769}{1000 \cdot 1,5} = 310,897 \text{ лк.}$$

В этом случае фактическая освещенность отличается от значения нормированной освещенности $E_n = 300$ лк на 3,619 %, что вполне допустимо по нормативам, кроме того, снижение потребляемой мощности одним светильником составит 103 Вт по сравнению с лампой SPXEKOARC295W и 208 Вт – при использовании лампы NAVE400DELUXE. При числе светильников осветительной установки в количестве 40 шт. потребляемая мощность уменьшится на 4,12 кВт и 8,32 кВт соответственно.

Сравнивая результаты расчета осветительной установки методом коэффициента использования и точечным методом с использованием аналитического выражения КСС, отмечаем, что точечный метод позволяет успешно решить светотехническую задачу с минимальными отклонениями от нормативов при обеспечении значительной экономии электроэнергии.

2.4. Расчет точечным методом с использованием аналитического выражения КСС

Расчет горизонтальной освещенности точечным методом с использованием графиков пространственных изолюкс не отличается высокой точностью из-за интерполяции при определении значений относительной освещенности по расчетным координатам. Более точные результаты можно получить при расчете точечным методом с использованием аналитического выражения КСС. Аналитические выражения КСС всех стандартных классов КСС приведены в табл. П7-2 для заданного (выбранного) типа светильника с известным светораспреде-

нием. Из-за наличия технологических допусков и отличия светоотражающих материалов светильников были детализированы отдельные стандартные классы светораспределения и установлены поля допусков, в пределах которых реальное светораспределение светильника можно отнести к определенному классу светораспределения. Например, Д-1 ÷ Д-3, Г-1 ÷ Г-4, К-1 ÷ К-4.

При условии соответствия светильника точечному излучателю с условным световым потоком в 1000 лм типовые КСС могут быть представлены в аналитической форме. В этом случае формулы для расчета силы света наиболее часто используемых излучателей имеют следующий вид:

– для КСС типа Д

$$I(\alpha) = 330 \cos \alpha,$$

– для КСС типа Д-1

$$I(\alpha) = 233,4 \cos(0,784\alpha),$$

– для КСС типа Д-2

$$I(\alpha) = 295 \cos(1,037\alpha),$$

– для КСС типа Д-3

$$I(\alpha) = \begin{cases} 377,3 \cos(1,1038\alpha), & \alpha < \frac{90^\circ}{1,1038}, \\ 0, & \alpha \geq \frac{90^\circ}{1,1038}, \end{cases}$$

– для КСС типа Г

$$I(\alpha) = \begin{cases} 800 \cos(1,65\alpha), & \alpha < \frac{90^\circ}{1,65}, \\ 0, & \alpha \geq \frac{90^\circ}{1,65}, \end{cases}$$

– для КСС типа Г-1

$$I(\alpha) = \begin{cases} 503 \cos(1,2928\alpha), & \alpha < \frac{90^\circ}{1,2928}, \\ 0, & \alpha \geq \frac{90^\circ}{1,2928}. \end{cases}$$

Аналитические выражения остальных стандартизированных типовых КСС можно уточнить по таблицам прил. 7.

2.5. Расчет прямой составляющей освещенности на горизонтальной плоскости от светящей линии

Освещенность от светящей линии рабочей поверхности определяется линейной плотностью светового потока и относительной освещенностью, зависящей от силы света и геометрических параметров светящей линии.

С учетом многих излучателей светящей линии (рядов люминесцентных или линейных светодиодных светильников) рабочая формула для расчета линейной плотности светового потока Φ' , лм/м, светящей линии имеет вид

$$\Phi' = \frac{1000E_n K_3 h}{\mu \sum \varepsilon}.$$

Освещенность E , лк, в контрольной точке горизонтальной плоскости при известной линейной плотности светового потока равна

$$E = \frac{\Phi' \mu \sum \varepsilon}{1000 K_3 h}.$$

Относительную освещенность, выраженную через приведенные значения длины светящей линии и расстояние по проекции от конца светящей линии на горизонтальную плоскость, в контрольной точке определяют по формуле

$$\varepsilon = \frac{I_\alpha}{2[(p'_i)^2 + 1]} \left[\frac{L' \sqrt{(p'_i)^2 + 1}}{(L')^2 + (p'_i)^2 + 1} + \tan^{-1} \frac{L'}{\sqrt{(p'_i)^2 + 1}} \right] =$$
$$= I_\alpha f(p'_i, L'),$$

где $p'_i = \frac{p_i}{h}$ – нормированное по расчетной высоте значение расстояния от проекции конца светящей линии на горизонтальную плоскость до контрольной точки, о. е.;

$L'_i = \frac{L_{i.c.l.}}{h}$ – нормированное по расчетной высоте значение длины светящей линии, м.

На основании расчетного значения линейной плотности потока Φ' , полученного по рабочей формуле, геометрических размеров светильника и его светового потока производят компоновку светящей линии. При этом можно использовать следующий алгоритм:

1) определить число рядов осветительной установки n , m , и расстояние между рядами L , m , по известным формулам

$$n = \frac{(B - 2(0,3 \div 0,5)h\lambda_c)}{h\lambda_c} + 1,$$

$$L = h\lambda_c,$$

где B – длина короткой стены освещаемого помещения, м;

h – расчетная высота, м;

λ_c – светотехнический коэффициент оптимизации, определяемый типом КСС светильника;

2) для достаточно длинных светящих линий на практике обычно определяют число светильников в ряду N по суммарной длине светильника с зазором между светильниками в ряду светящей линии и линейной плотности потока Φ' . Полагая, что расстояние d между светильниками в ряду меньше половины расчетной высоты, можно записать

$$N = \frac{L_{с.л}}{l_{св} + d} = \frac{\Phi' L_{с.л}}{\Phi_{св}},$$

где $L_{с.л}$ – длина светящей линии, обычно равная длине помещения, м;

$l_{св}$ – длина светильника, м;

d – расстояние между светильниками в ряду, м;

Φ' – линейная плотность светового потока, лм/м;

$\Phi_{св}$ – световой поток одного светильника, лм.

Тогда для определения расстояния между светильниками в ряду можно использовать соотношение

$$d = \frac{L_{с.л} - Nl_{св}}{N - 1} \leq \frac{h}{2}.$$

Придавая различные значения световому потоку Φ светильника (меняя тип лампы и светильника), выбирают подходящий вариант компоновки ряда светильников светящей линии и по соотношению фактической плотности светового потока ряда из N светильников $\Phi'_{факт}$ и линейной плотности светового потока Φ' светящей линии рассчитывают (с учетом нормы) фактическую освещенность в контрольной точке. Методика расчета освещенности горизонтальной плоскости от светящей линии точечным методом с использованием аналитического выражения КСС приведена в задаче 9.

2.6. Учет отраженной составляющей освещенности

При высоких значениях коэффициентов отражения потолка, стен, пола, а также в тех случаях, когда светильники не относятся к классу прямого света, при точечном методе расчета необходимо учитывать отраженную составляющую освещенности. В данном случае целесообразно воспользоваться известными приближенными решениями.

При равномерном освещении или при небольшой степени локализации отражающую составляющую можно считать равномерно распределенной по площади помещения; при расчете осветительной установки на нормируемую освещенность с учетом отраженной составляющей формула для расчета последней имеет вид

$$E_0 = \frac{N\Phi(\eta_p - \eta_r)}{SK_3},$$

где N – число светильников, шт.;

$\Phi = \Phi_{л}\eta_{св}$ – световой поток источника света с учетом КПД светильника, лм;

$\Phi_{л}$ – суммарный световой поток ламп светильника (лампы), лм;

$\eta_{св}$ – КПД светильника;

η_p – коэффициент использования светильника при заданных значениях коэффициентов отражения потолка, стен, расчетной поверхности или пола;

η_r – коэффициент использования черного помещения (при нулевых значениях коэффициентов отражения $\rho_{п} = \rho_{с} = \rho_{р} = 0$ по табл. П4-4);

S – площадь помещения, м²;

K_3 – коэффициент запаса.

В случае сильно выраженной локализации освещения можно считать, что прямая и отраженная составляющие освещенности распределены с одинаковой степенью неравномерности. В этом случае суммарную освещенность в контрольной точке умножают на коэффициент неравномерности

$$\chi = \frac{\eta_p}{\eta_r}.$$

Тогда суммарная освещенность рабочей поверхности с учетом коэффициента неравномерности равна

$$E = \sum_{i=1}^N E_i \chi.$$

Однако учет коэффициента неравномерности не всегда оправдан из-за больших разбросов коэффициентов отражений ограждающих конструкций помещения и наличия крупногабаритного оборудования.

Контрольные вопросы

1. В чем суть расчета освещенности рабочей поверхности точечным методом с использованием аналитического выражения КСС?
2. В чем проявляется взаимосвязь между геометрическими размерами помещения и силой света источника света?
3. В чем отличие расчетов прямой составляющей освещенности на горизонтальной плоскости точечным методом от расчетов точечного источника света и светящей линии?
4. При каких условиях источник света можно считать точечным или линейным?
5. В чем отличие понятия «световой поток» от понятия «линейная плотность светового потока»?
6. Поясните взаимосвязь расстояния между светильниками в ряду светящей линии и значения освещенности в контрольной точке.
7. В чем причина отличия светового потока светильника от светового потока источника света?
8. В чем смысл понятия «коэффициент использования черного помещения»?
9. Почему КПД светильника всегда меньше 100 %?
10. В чем отличие понятия «отражение лучей света» от понятия «преломление лучей света»?
11. В каких случаях целесообразно учитывать отраженную составляющую освещенности?

Примеры решения задач

Задача 8. Выполнить светотехнический расчет осветительной установки инструментального цеха, размеры которого $A \times B \times H = 48 \times 24 \times 6$ м, точечным методом с использованием аналитического выражения КСС светодиодного светильника типа RSL-Industrial-

64WxTRIO со световым потоком 24 969 лм и мощностью 192 Вт. Схема расположения светильников по вершинам квадратных световых полей показана на рис. 15. Расчетная высота установки светильников $h = 8$ м. Координаты контрольных точек и расстояния d_i определены по проекции осветительной установки на горизонтальную поверхность и приведены в табл. 14.

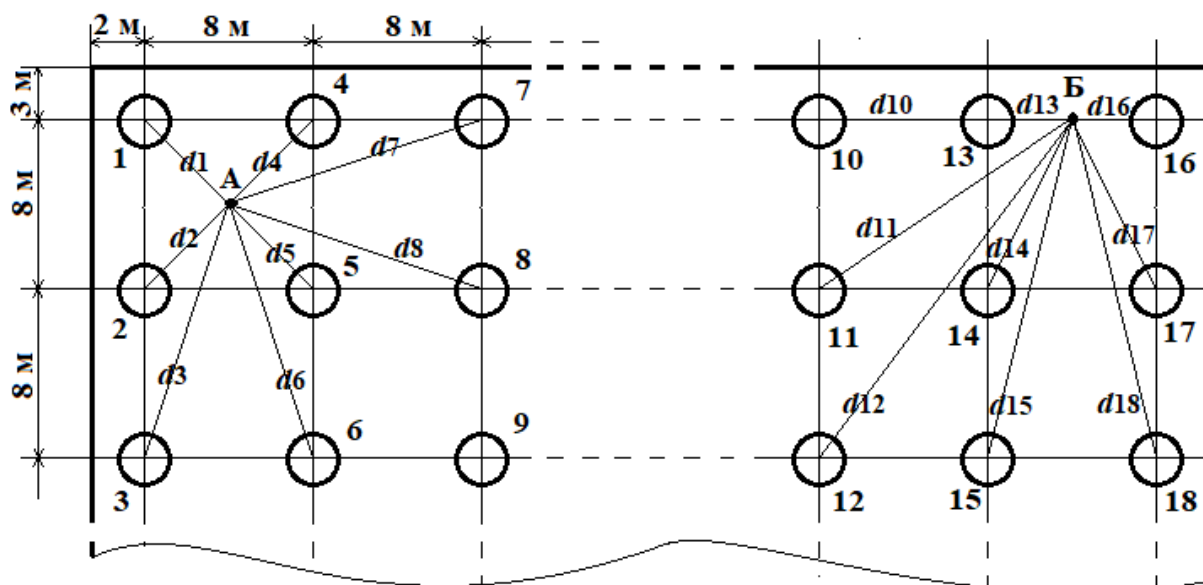


Рис. 15. Схема расстановки светильников задачи 8

В соответствии с данными завода-изготовителя светильник типа RSL-Industrial-64WxTRIO имеет КСС типа Д, аналитическое выражение которой в соответствии с табл. П7-2

$$I(\alpha) = I_0 \cos(n\alpha), \quad \text{где } n = 1,0; \quad I_0 = 330 \text{ кд.}$$

Если угол $\alpha \geq \frac{90^\circ}{n}$, то значение $I(\alpha) = 0$.

Освещенность в контрольной точке А в соответствии с основным законом светотехники определяем по формуле

$$E_A = \frac{I_\alpha \cos \beta}{r^2},$$

где r – расстояние по прямой между источником излучения и контрольной точкой, м;

β – угол между направлением силы света I_α и нормалью к поверхности.

При освещении горизонтальной плоскости взаимосвязь между указанными величинами можно установить по рис. 16.

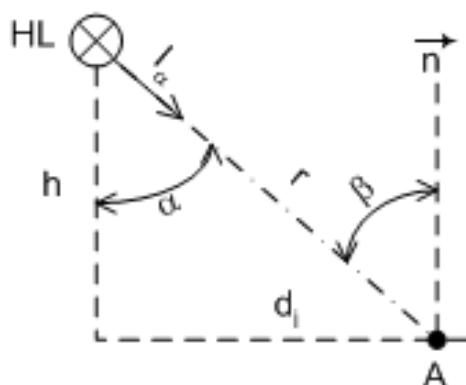


Рис. 16. Геометрическое представление взаимосвязи источника света и контрольной точки на рабочей поверхности

Для горизонтальной плоскости можно записать

$$\alpha = \beta = \arctg \frac{d_i}{h};$$

$$r = \sqrt{h^2 + d_i^2}; \quad r = \frac{h}{\cos \alpha}.$$

Тогда выражение для освещенности в контрольной точке принимает вид

$$E_A = \frac{I_\alpha \cos^3 \alpha}{h^2} = \frac{I_\alpha \cos^3 \left(\arctg \frac{d_i}{h} \right)}{h^2}.$$

Поскольку типовая КСС конкретного светильника нормирована к световому потоку в 1000 лм, то выражение для относительной освещенности e_A (в конкретном случае для светильника с КСС типа Д) с учетом выражения для E_A и значений для силы света при нулевом угле и множителя n принимает вид

$$e_A = \frac{I_\alpha \cos^3 \alpha}{h^2} = \frac{330 \cos \alpha \cos^3 \alpha}{h^2}.$$

Результаты расчета относительных освещенностей e_A и e_B в контрольных точках рис. 16 приведены в табл. 14.

Как и в примере 5, освещенность в точке Б меньше, чем в точке А, и именно в точке Б необходимо определить фактическую освещенность. Номинальный световой поток светодиодного светильника типа RSL-Industrial-64WxTRIO, паспортное значение которого $\Phi = 24\,969$ лм при значении коэффициента дополнительной освещенности $\mu = 1,1$ и коэффициента запаса $K_3 = 1,5$, равен

$$E_B = \frac{\Phi_n \mu \sum e}{1000 K_3} = \frac{24\,969 \cdot 1,1 \cdot 12,586}{1000 \cdot 1,5} = 230,4658 \text{ лк.}$$

Фактическая освещенность светодиодного светильника

| Точка на рис. 15 | Номер светильника | d_i , м | r_i , м | α , град. | e , лк | $n'e$, лк | Σe , лк |
|------------------|-------------------|-----------|-----------|------------------|----------|------------|-----------------|
| А | 1, 2, 4, 5 | 5,6568 | 5,6568 | 35,264 | 2,6500 | 10,6190 | 16,3876 |
| | 3, 6 | 12,6490 | 12,6490 | 48,188 | 1,4399 | 2,8798 | |
| | 7, 8 | 12,6490 | 12,6490 | 48,188 | 1,4399 | 2,8798 | |
| Б | 13, 16 | 4,000 | 8,940 | 26,565 | 3,6000 | 7,2000 | 12,586 |
| | 14, 17 | 8,944 | 12,000 | 48,188 | 1,4399 | 2,8798 | |
| | 15, 18 | 16,492 | 18,329 | 64,122 | 0,4199 | 0,8398 | |
| | 10 | 12,000 | 14,422 | 56,309 | 0,8310 | 0,8310 | |
| | 11 | 14,422 | 16,492 | 60,980 | 0,5645 | 0,5645 | |
| | 12 | 20,000 | 21,540 | 68,198 | 0,2710 | 0,2710 | |

Таким образом, фактическая освещенность отличается от нормированной $E_n = 300$ лк на $-23,178\%$, что недопустимо по нормативам, поэтому необходимо подобрать светильник с несколько большим световым потоком, например, светодиодный светильник типа ОРТИМА-2Р-013-240-50 с паспортным значением светового потока $\Phi = 31\,948$ лм и мощностью 235 Вт. В этом случае при тех же условиях получим

$$E_B = \frac{\Phi_n \mu \Sigma e}{1000 K_3} = \frac{31\,948 \cdot 1,1 \cdot 12,586}{1000 \cdot 1,5} = 294,8715 \text{ лк.}$$

Значение расчетной освещенности при использовании светодиодного светильника типа ОРТИМА-2Р-013-240-50 отличается от нормативной освещенности $E_n = 300$ лк на $-1,7\%$, что удовлетворяет требованиям нормативных документов и вполне приемлемо для его реализации.

Задача 9. Выполнить проверку светотехнического расчета задачи 5 точечным методом с использованием аналитического выражения КСС. В осветительной установке используют промышленные светодиодные светильники типа Ю-PROM50 с номинальным световым потоком $\Phi_n = 6300$ лм, КСС типа Д, габаритные размеры $530 \times 80 \times 136$ мм. Схема расположения светящихся линий показана на рис. 17.

Решение

Контрольную точку А выбираем на расстоянии 10 м от короткой стены посередине между крайними рядами. В этом случае относительная освещенность определяется от $2n$ полурядов ($n = 4$ в примере 5), концы которых находятся на линии контрольной точки. Значения расстояний от концов светящихся линий до контрольной точки p_i отсчитываются по линии, на которой находится контрольная точка.

Отметим, что контрольную точку при проверке освещенности светящими линиями следует выбирать ближе к концу светящей линии, так как при большой длине рядов ($L_{св} > 2h$) сильно уменьшается освещенность у их концов (примерно вдвое по сравнению с освещенностью центральных участков).

Нормированные значения p'_i и L'_i для каждого полуряда, рассчитанные с учетом геометрических размеров, обозначенных на рис. 11 и рис. 17, при значении расчетной высоты $h = 4,7$ м (по данным примера 4), приведены в табл. 15.

Таблица 15

Нормированные значения для полурядов

| Обозначение полуряда | P_i , м | $L_{сви}$, м | α , град. | I_α , кд | P'_i | L'_i | ε , лк | $\Sigma\varepsilon$, лк |
|----------------------|-----------|---------------|------------------|-----------------|--------|--------|--------------------|--------------------------|
| 1 и 2 | 3,25 | 10 | 34,663 | 271,438 | 0,69 | 2,12 | $2 \times 136,110$ | 606,936 |
| 3 | 9,75 | 10 | 64,263 | 143,315 | 2,07 | 2,12 | 16,812 | |
| 4 | 16,25 | 10 | 73,868 | 91,679 | 3,45 | 2,12 | 3,439 | |
| 5 и 6 | 3,25 | 38 | 34,663 | 271,438 | 0,69 | 8,08 | $2 \times 144,020$ | |
| 7 | 9,75 | 38 | 64,263 | 143,315 | 2,07 | 8,08 | 21,034 | |
| 8 | 16,25 | 38 | 73,868 | 91,679 | 3,45 | 8,08 | 5,390 | |

Значения относительных освещенностей в контрольной точке, обозначенной на рис. 17, определяем по формуле

$$\varepsilon = \frac{I_\alpha}{2[(p'_i)^2 + 1]} \left[\frac{L' \sqrt{(p'_i)^2 + 1}}{(L')^2 + (p'_i)^2 + 1} + \tan^{-1} \frac{L'}{\sqrt{(p'_i)^2 + 1}} \right].$$

При расчете освещенности от реальных светильников делаем допущение, что в продольных плоскостях светораспределение является косинусным, а в поперечной плоскости задается паспортной кривой $I_\alpha = f(\alpha)$.

Для КСС типа Д аналитическое выражение силы света в заданном направлении имеет вид

$$I_\alpha = I_0 \cos \left(\tan^{-1} \frac{p_i}{h} \right) = 330 \cos \left(\tan^{-1} \frac{p_i}{h} \right).$$

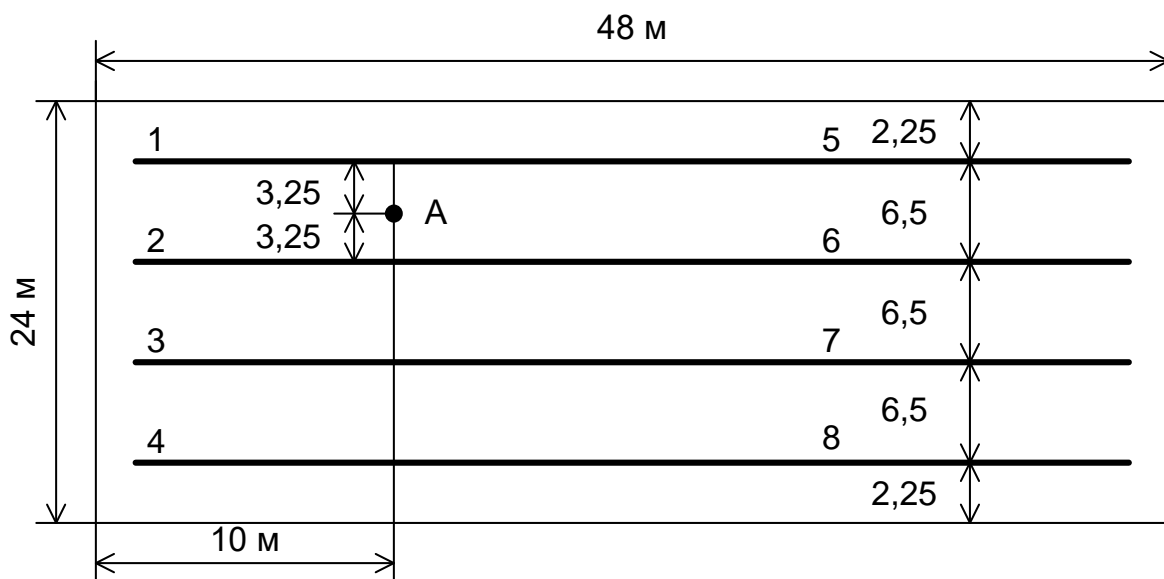


Рис. 17. Схема расположения светящихся линий задач 2 и 9

Линейную плотность светового потока Φ' светящей линии определяем по известной расчетной формуле

$$\Phi' = \frac{1000 E_H K_3 h}{\mu \sum \varepsilon} = \frac{1000 \cdot 300 \cdot 1,5 \cdot 4,7}{1,1 \cdot 606,936} = 3\,167,924 \text{ лм/м.}$$

Число светодиодных светильников типа IO-PROM50 с номинальным световым потоком $\Phi_H = 6300$ лм в световом ряду протяженностью 48 м равно

$$N = \frac{\Phi' L_{\text{сл}}}{\Phi} = \frac{3167,924 \cdot 48}{6300} = 24,136 \text{ шт.}$$

Округляем число светильников до 24 шт., тогда расстояние между светильниками в ряду при длине светильника, равной 0,53 м, составит

$$d = \frac{L_{с.л} - Nl_{св}}{N - 1} = \frac{48 - 24 \cdot 0,53}{24 - 1} = 1,5339 \text{ м} \leq \frac{h}{2} = 2,35 \text{ м.}$$

Фактическая плотность светового потока ряда из 24 промышленных светодиодных светильников типа Ю-PROM50 (световой поток светильника $\Phi_{св} = 6300$ лм) равна

$$\Phi'_{\text{факт}} = \frac{\Phi_{св} N}{L_{с.л}} = \frac{6300 \cdot 24}{48} = 3150 \frac{\text{лм}}{\text{м}}.$$

Фактическая освещенность в контрольной точке

$$E_{\text{факт}} = E_{\text{н}} \frac{\Phi'_{\text{факт}}}{\Phi'} = 300 \frac{3150}{3167,924} = 298,3 \text{ лм,}$$

что на 0,566 % меньше нормированной освещенности $E_{\text{н}}$.

Значительное различие результатов расчета точечным методом и методом пространственных изолукс объясняется большой погрешностью при считывании результатов с графиков пространственных изолукс, поэтому при использовании круглосимметричных светильников целесообразно применять в расчетных выражениях аналитические выражения КСС. Кроме того, графики пространственных изолукс современных светодиодных светильников не представлены в справочной литературе.

Задача 10. Определить отраженную составляющую освещенности E_0 инструментального цеха, который освещают газоразрядные лампы типа ДРЛ в светильниках РСП05 с КСС типа Г. Размеры цеха $A \times B \times H = 60 \times 30 \times 10$ м. Высота рабочей поверхности $h_p = 0,8$ м, высота свеса $h_c = 1,2$ м. Заданные значения коэффициентов отражения потолка, стен, расчетной поверхности $\rho_{\text{п}} = 0,7$; $\rho_{\text{с}} = 0,5$; $\rho_{\text{р}} = 0,1$. Светильники, световой поток лампы и КПД которых равны $\eta_{св} = 0,8$ и $\Phi_{\text{л}} = 32\ 000$ лм соответственно, в количестве 40 шт. размещены по вершинам прямоугольных световых полей в пять рядов.

Решение

Определяем расчетную высоту и индекс помещения

$$h = H - h_c - h_p = 10,0 - 1,2 - 0,8 = 8 \text{ м,}$$

$$i = \frac{AB}{h(A + B)} = \frac{60 \cdot 30}{8(60 + 30)} = 2,5.$$

По данным табл. П8-5 коэффициент использования светильника РСР05 с КСС типа Г при расчетном значении индекса помещения и заданных значениях коэффициентов отражения равен $\eta_p = 0,93$, а значение коэффициента использования черного помещения при нулевых значениях коэффициентов отражения в соответствии с табл. П8-5 (для кривой типа Г) равен $\eta_r = 0,85$.

Тогда при заданных значениях $N = 40$; $\Phi_{\text{л}} = 32\,000$ лм; $K_3 = 1,5$; $\eta_{\text{св}} = 0,8$; $S = 1800$ м² отраженная составляющая освещенности составит

$$E_0 = \frac{N\Phi(\eta_p - \eta_r)}{SK_3} = \frac{N\Phi_{\text{л}}(\eta_p - \eta_r)}{SK_3} =$$

$$= \frac{40 \cdot 32\,000(0,93 - 0,85)}{1800 \cdot 1,5} = 24,272 \text{ лк.}$$

Расчетное значение отраженной горизонтальной составляющей освещенности $E_0 = 24,272$ лк составляет 7,747 процентов от расчетной освещенности по методу коэффициента использования $E = 313,301$ лк (данные задачи 4), что позволяет в дальнейших инженерных расчетах принимать значение отраженной составляющей освещенности примерно равным 10 процентам от расчетной освещенности.

Примеры решения задач

Задача 11. Определить количество светильников аварийного освещения инструментального цеха, который освещают газоразрядные лампы типа ДРЛ в светильниках РСР05 с КСС типа Г, и наметить план размещения аварийных светильников. Светильники рабочего освещения, световой поток лампы и КПД которых равны $\eta_{\text{св}} = 0,8$, $\Phi_{\text{л}} = 32\,000$ лм соответственно, в количестве 40 шт. размещены по вершинам прямоугольных световых полей в пять рядов.

Решение

Расчет аварийного освещения производственных зданий, помещений и зон регламентирует стандарт СП 439.1325800.2018 (табл. 9.1, п. 12). Нормированные значения освещенности дополнительно указаны в табл. 5 в зависимости от назначения помещения, количества людей и особенностей технологического процесса, поэтому целесообразно рассмотреть наиболее типичные случаи.

1. Аварийное освещение производственного помещения площадью более 60 м^2 при одновременном нахождении в нем более 30 человек при отсутствии факторов повышенной опасности должно обеспечивать требуемую освещенность путей эвакуации значением 1 лк через 15 с при внезапном отключении рабочего освещения. Предельная равномерность освещенности в помещении $E_{\min}/E_{\max} = 1:40$, не более.

По данным задач № 1 и 4 светильники рабочего освещения, световой поток лампы которых равен $\Phi_{\text{л}} = 32\,000 \text{ лм}$, в количестве $m = 40$ шт. обеспечивают минимальную освещенность в контрольной точке, равную $\Phi_{\text{ф.л}} = 313,301 \text{ лк}$.

В качестве аварийного выбираем светодиодный светильник типа RSL-Industrial-64WxTRIO со световым потоком $\Phi_{\text{л1}} = 24\,969 \text{ лм}$ и мощностью 192 Вт, освещенность от которого должна составить $E_{\text{н.ав}} = 1 \text{ лк}$.

Тогда количество аварийных светильников $m_{\text{ав}}$ можно определить по формуле

$$m_{\text{ав}} = \frac{m\Phi_{\text{л}}E_{\text{н.ав}}}{\Phi_{\text{л1}}E_{\text{ф.л}}} = \frac{40 \cdot 32\,000 \cdot 1}{24\,969 \cdot 313,301} = 0,1636 \text{ шт.}$$

Полученный результат указывает на необходимость уменьшения светового потока аварийного светильника. Например, уменьшая световой поток в 10 раз, можно использовать два светодиодных светильника, световой поток которых не превышает 2500 лм, но, учитывая значение предельной равномерности освещенности в помещении, можно определить допустимое число аварийных светодиодных светильников типа RSL-Industrial-64WxTRIO со световым потоком $\Phi_{\text{л1}} = 24\,969 \text{ лм}$ по формуле

$$m'_{\text{ав}} = m_{\text{ав}} \cdot 40 = 0,1636 \cdot 40 = 6,544 \text{ шт.}$$

Таким образом, число аварийных светодиодных светильников типа RSL-Industrial-64WxTRIO со световым потоком $\Phi_{\text{л1}} = 24\,969 \text{ лм}$ не должно превышать полученного значения (шесть). В указанных пределах равномерности освещенности число аварийных светильников типа RSL-Industrial-64WxTRIO можно принять в количестве двух ($m'_{\text{ав}} = 2$) в помещении размером $60 \times 30 \times 10 \text{ м}$ и разместить в третьем ряду на расстоянии 20 м от короткой стены и между собой.

2. Аварийное освещение производственного помещения площадью более 60 м^2 при одновременном нахождении в нем более 30 человек при наличии факторов повышенной опасности должно обеспечивать требуемую освещенность зоны повышенной опасности значением 10 процентов от нормы освещенности при рабочем освещении, но не менее 15 лк при внезапном отключении рабочего освещения. Предельная равномерность освещенности в помещении $E_{\min}/E_{\max} = 1:10$, не более.

При тех же условиях, но при значении минимальной освещенности $E_{\text{н.ав}} = 15 \text{ лк}$ получим

$$m_{\text{ав}} = \frac{m\Phi_{\text{л}}E_{\text{н.ав}}}{\Phi_{\text{л1}}E_{\text{ф.л}}} = \frac{40 \cdot 32\,000 \cdot 15}{24\,969 \cdot 313,301} = 2,454 \text{ шт.}$$

С учетом значения предельной равномерности освещенности в помещении допустимое число аварийных светодиодных светильников типа RSL-Industrial-64WxTRIO со световым потоком $\Phi_{\text{л1}} = 24\,969 \text{ лм}$ составит

$$m'_{\text{ав}} = m_{\text{ав}}10 = 2,454 \cdot 10 = 24,54 \text{ шт.}$$

Если будем ориентироваться на значение предельной равномерности освещенности, то фактически выполним условие обеспечения 10 % нормируемой освещенности общего рабочего освещения, равного 30 лк при $E_{\text{н}} = 300 \text{ лк}$.

Для обеспечения минимальной освещенности принимаем число аварийных светильников типа RSL-Industrial-64WxTRIO в помещении размером $60 \times 30 \times 10 \text{ м}$ равным трем ($m_{\text{ав}} = 3$) и размещаем равномерно по площади помещения между светильниками рабочего освещения.

3. Упрощенный расчет. Принимая значение освещенности от аварийных светильников равным 5 процентам от номинальной освещенности и полагая, что световой поток светильников аварийного освещения равен световому потоку светильников рабочего освещения, найдем число светильников аварийного освещения

$$m_{\text{ав}} = 0,05m = 0,05 \cdot 40 = 2 \text{ шт.}$$

Полученный результат практически совпадает с расчетом первого случая при обеспечении нормативной аварийной освещенности при отсутствии факторов повышенной опасности.

4. При расчете резервного освещения требуется обеспечить освещенность помещения не менее 30 процентов от нормируемой

освещенности общего рабочего освещения. Предельная равномерность освещенности в помещении $E_{\min}/E_{\max} = 1:40$, не более.

Расчетное число светильников аварийного освещения для обеспечения освещенности значением 30 процентов от $E_H = 300$ лк, т. е.

$$E_{H,ав} = 0,3E_H = 0,3 \cdot 300 = 90 \text{ лк,}$$

$$m_{ав} = \frac{m\Phi_{л}E_{H,ав}}{\Phi_{л1}E_H} = \frac{40 \cdot 32\,000 \cdot 90}{24\,969 \cdot 300} = 15,379 \text{ шт.}$$

Таким образом, для реализации требований к уровню освещенности при резервном освещении достаточно 15 светодиодных светильников типа RSL-Industrial-64WxTRIO со световым потоком $\Phi_{л1} = 24\,969$ лм разместить равномерно по площади помещения между светильниками рабочего освещения.

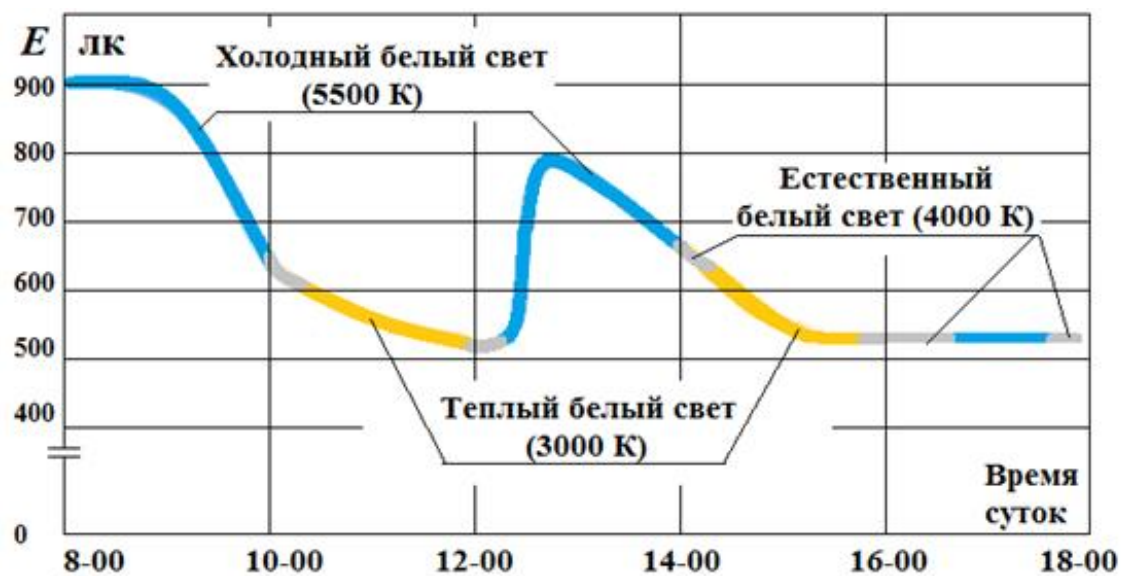
2.7. Биодинамическое освещение как функция управления состоянием человека

Биодинамическое освещение как функция управления состоянием человека – это интеллектуальная система освещения, которая в отличие от обычной системы освещения автоматически изменяет цветовую температуру (индекса цветопередачи) в зависимости от времени суток и сезона с целью корректировки циркадных ритмов человека.

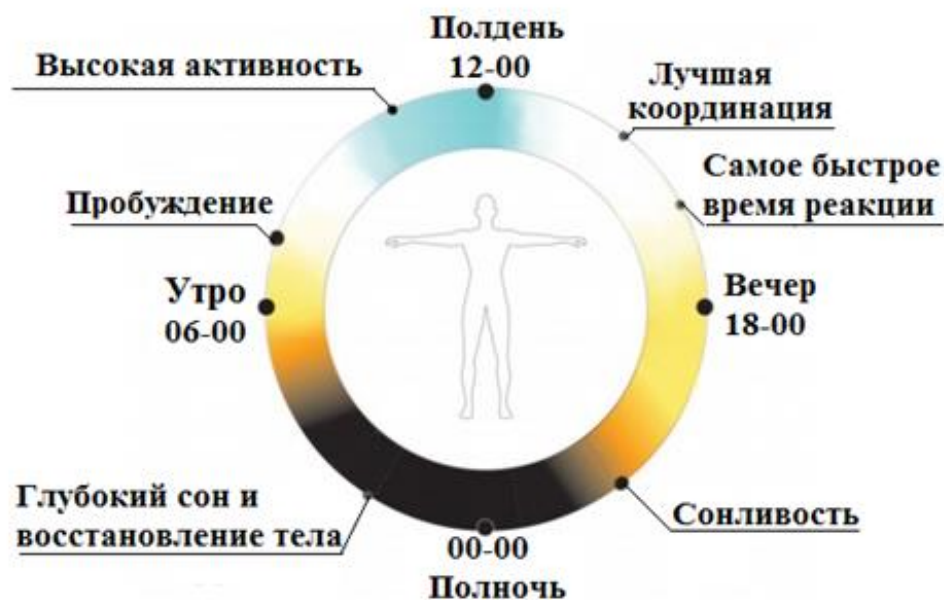
Влияние цветовой температуры излучения Солнца (спектральный состав солнечного излучения) на состояние и работоспособность человека замечена давно, и это обстоятельство использовали дизайнеры в своих цветовых решениях. Поэтому наряду с отслеживанием изменения магнитного поля Земли, зависящего от излучения Солнца, и его влияния на человеческий организм важен также спектр излучения приборов искусственного освещения, поскольку при нем современный человек проводит большую часть суток. Образ жизни современного человека, по сути, игнорирует естественный цикл дня и ночи, циркадные (суточные) ритмы наших организмов сбиваются, нарушая эволюционный 24-часовой физиологический ритм.

Циркадным ритмам (циркадный – от лат. «почти суточный») (рис. 18), подчиняются фазы бодрствования и сна, а также максимальной работоспособности человека. Однако точность биологических часов организма человека, сформированных в процессе эволюции под

влиянием солнечного излучения, недостаточна для поддержания циркадного ритма на протяжении хотя бы нескольких недель. Поэтому для подстройки циркадного ритма необходимо либо солнечное (естественное) излучение, либо искусственное определенного спектра, желательно близкого к солнечному.



а)



б)

Рис. 18. Циркадный ритм человека: а – график изменения цветовой температуры в светлое время суток; б – активность человека в функции цветовой температуры

Энергия света (электромагнитного излучения с длиной волны от 380 до 780 нм), попадающего в глаза и на кожу человека, запускает в его организме биологические процессы. Спектральная плотность излучения (СПИ) определяет энергию света в диапазоне чувствительности зрения, разделяя его на ночное и дневное, характеризуемое спектральной чувствительностью приемника излучения.

Источники света в зависимости от используемых компонентов излучения отличаются цветовой температурой (индексом цветопередачи) и характеристикой спектральной плотности излучения. Выбирая тот или иной источник света для освещения рабочего места или места отдыха, можно обеспечить человеку наиболее комфортные условия и откорректировать его циркадный ритм. Так, например, холодный белый свет (цветовая температура 4000 – 5500 К) способствует концентрации внимания, повышению работоспособности, энергичности и бодрости, а теплый белый свет (цветовая температура 2500 – 3000 К) вызывает расслабление, дает возможность отдохнуть и способствует повышению выработки меланина (гормона сна). Поэтому рекомендованная цветовая температура источников света для офисов, образовательных и оздоровительных учреждений составляет примерно 4500 К. Однако для комфортного отдыха предпочтительнее источники теплого белого света, поэтому возникает вопрос либо проектирования источников света с регулируемой цветовой температурой, либо создания соответствующих осветительных систем.

Для проектирования источников света с регулируемой цветовой температурой и осветительных установок на их основе в настоящее время проводят исследования по изучению влияния света на суточный ритм человека и определяют возможности его корректировки. Освоение технологии производства новых энергосберегающих и с высокой световой отдачей (светотехнический КПД, лм/Вт) источников света, таких как светодиодные, плазменные и индукционные лампы, позволяет в полной мере решить эту проблему. Отметим, что для регулировки спектра излучения по алгоритму циркадных ритмов в большей степени пригодны светодиоды и светильники на их основе.

С точки зрения соответствия циркадным ритмам светодиодное освещение вызывает некоторые вопросы. Современные мощные свето-

диоды белого света имеют мощную синюю составляющую спектра, которая действует на человека стимулирующим образом в утренние часы или в тех случаях, когда ему требуется высокая степень сосредоточенности. Однако то же действие синяя составляющая излучения ночных светильников оказывает на человека в ночные часы во время сна, что вызывает серьезные проблемы со здоровьем и становится причиной заболеваний, поскольку синий свет подавляет выработку мелатонина – гормона, который способствует засыпанию.

Сотни исследований доказали, что из-за синего излучения в неподходящее время на 65 % повышается риск заболевания раком груди и на 37 % – диабетом, а также значительно растет вероятность осложнения сердечно-сосудистых и многих других заболеваний. С учетом вышеизложенного появляется настоятельная необходимость замены синих (ночных) светильников в лечебных учреждениях желтыми.

Для расслабления человеку наиболее необходимы желтые (к которым человек обладает максимальной чувствительностью) и красные составляющие света. Поэтому для учета циркадного ритма человека целесообразно создавать такие осветительные системы, спектр излучения которых будет адаптирован с циркадным ритмом. По мере совершенствования технологии светодиодного освещения эти задачи успешно решаются.

В настоящее время разрабатывают системы, в которых реализуется основное требование к биодинамическому освещению: синяя составляющая спектра излучения – стимулирующего воздействия, а желтая – успокаивающего. Как правило, эти системы регулируют цветовую коррелированную температуру. Например, для стимулирующего эффекта цветовая температура освещения устанавливается равной 5000 – 6000 К (холодный белый свет), а в часы отдыха она составляет 2700 К (желтый свет).

Для решения подобной задачи в светильниках устанавливают две группы светодиодов: с низкой цветовой температурой (1800 – 2400 К) и высокой цветовой температурой (6500 – 8000 К). Световой поток каждой группы светодиодов независимо плавно регулируется (диммируется), и после смешения в оптической системе светильника получают нужную (заданную) цветовую температуру излучения и желаемый уро-

вень освещенности. Разработанный интеллектуальный датчик самочувствия V. E. G. Pure Colour Wellness Detector позволяет автоматически управлять освещением и учитывать такие параметры, как уровень естественного (дневного) света и цветовая температура. Эта уникальная технология позволяет влиять на качество освещения, благотворно воздействовать на самочувствие людей, экономить потребление электроэнергии и улучшать энергоэффективность осветительных установок.

Однако не все создатели систем биодинамического освещения считают определяющим фактором цветовую температуру и на первое место ставят СПИ. Например, разработчики системы биодинамического освещения Американского сообщества дизайнеров интерьеров (American Society of Interior Designers – ASID) реализовали такую осветительную систему в своей вашингтонской штаб-квартире. Но при реализации проекта необходимо определить правильный уровень спектральной плотности излучения с учетом многих факторов, в том числе среднего возраста сотрудников компании, их пола, показателя массы тела, общего состояния здоровья и даже репродуктивных способностей, а также географического местоположения каждого конкретного здания, стороны света, на которую выходят окна, высоты рабочих столов в офисе, времени восхода и заката и пр.

С учетом вышеизложенного можно сделать вывод, что для создания качественного освещения необходимо, чтобы биодинамическая осветительная система в полной мере учитывала поведенческую или биологическую реакцию. Для этого недостаточно того, чтобы цветовая температура освещения составляла 4000 или 3500 К и индекс цветопередачи превышал 90 ед., необходимо обеспечить требуемую СПИ, что фактически свидетельствует о необходимости максимальной имитации естественного света с характеристиками натурального дневного освещения. Под эти требования попадают помещения офисных учреждений, образовательных, учреждений здравоохранения и так далее, в которых люди находятся в течение всего рабочего дня. Изложенное в большей степени относится и к ЖКХ.

Систему освещения с регулируемым спектром реализует компания Circadian Light с помощью источников фиолетового свечения, которое оказывает большее стимулирующее воздействие, чем синий

свет, но без вредных последствий. Компания Circadian Light изготавливает комплекты офисной светотехники, в том числе потолочные лампы, световые полосы и подвесные светильники, которые устраняют вредоносное биоактивное синее излучение в ночные часы. Циркадная светотехника на основе светодиодов от компании Plessey обеспечивает регулируемое освещение и изменяет его биоактивную синюю составляющую в автономном режиме.

Более совершенная система биодинамического освещения – продукция компании Luma, выпускающей настольные лампы с датчиками касания, которые работают на основе запатентованной технологии Hue от Philips для ZigBee-управления светодиодными лампами, что дает возможность менять цветовую температуру освещения и его цвет по собственному усмотрению. Отметим, что в этом случае возможно резкое различие цветовых температур соседних помещений, что приносит дискомфорт посетителям.

Перспективный вариант биодинамического освещения – привязка изменения параметров освещения к месту и времени, что предполагает наличие в системе встроенного GPS-датчика. В этом случае освещенность и цветовая температура меняются по определенному алгоритму, зависящему от продолжительности светового дня в конкретное время и в определенном месте. Отметим, что при этом не обязательно копировать внешнее естественное освещение, поскольку продолжительность рабочего дня не всегда совпадает с продолжительностью светового дня, но в определенные часы можно увеличить синюю составляющую излучения, чтобы взбодрить человека, а далее просто имитировать продолжение светового дня. Подобные решения реализованы в блоке управления SunLync производства американской компании Healthe, снабженном встроенным GPS-датчиком и предусматривающим возможность выбора одной из пяти программ в зависимости от психофизиологических особенностей и рода занятий пользователя.

Существующие на светотехническом рынке простейшие блоки управления биодинамическим освещением, подобные Healthe, представляют собой контроллеры с проприетарным программным обеспечением. Более сложные системы управления биодинамическим освещением представляют собой компьютеры, работающие под управлением специальной версии операционной системы Linux, например,

блок управления офисного торшера EzyLux Prana, что значительно расширяет их функциональные возможности. Еще более привлекательный вариант реализации биодинамического освещения – использование контроллера Pure Colour с интерфейсом DALI, который устанавливают в систему офисного освещения как датчик DALI, что позволяет использовать его с самыми разными светильниками.

С учетом вышеизложенного можно сделать вывод, что поскольку биодинамическое освещение позволяет повысить производительность труда и улучшить состояние здоровья работников, то компании будут внедрять эту технологию на всех уровнях управления и производства, чтобы привлечь квалифицированные кадры. Однако существует опасность, что алгоритмы интенсификации повышенной производительности труда приведут к снижению последней или принесут вред здоровью сотрудников, поэтому необходима нормативная база биодинамического освещения.

Биодинамическое освещение позволяет повысить производительность труда и улучшить состояние здоровья работников. По мере роста конкурентной борьбы как за рынки, так и за квалифицированные кадры компании будут внедрять у себя такие системы сначала для топ-менеджеров (этот процесс уже идет полным ходом), а потом и для рядовых сотрудников. Тем не менее, как и любая новая технология, биодинамическое освещение таит в себе опасности. Например, недобросовестный работодатель ради повышения производительности труда любой ценой может записать алгоритм, который будет излишне бодрить сотрудников в ущерб их здоровью. Или же нанятые конкурентами хакеры снизят производительность труда, настроив систему таким образом, что она будет, наоборот, максимально расслаблять сотрудников. Впрочем, все эти проблемы решаемы с введением соответствующих норм, аналогичных имеющимся для обычного освещения.

ГЛАВА 3. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ПРОЕКТА ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

3.1. Расчетные осветительные нагрузки

При проектировании электрической части ОУ рассматривают и решают следующие основные вопросы:

- выявление электрических нагрузок ОУ;
- определение уровней и постоянства напряжения в осветительных сетях;
- установление источников и схем питания;
- установление надежности и бесперебойности электроснабжения;
- определение способов управления освещением;
- проведение расчета, защита и выполнение осветительных систем;
- соблюдение электробезопасности при эксплуатации ОУ;
- электрооборудование, используемое в ОУ.

Для выявления мощности трансформаторов, осуществляющих питание электрического освещения промышленных предприятий, а также для расчета отдельных звеньев осветительных сетей и выбора параметров электрооборудования необходимо определять расчетные осветительные нагрузки. Их, как правило, подсчитывают исходя из суммарной установленной мощности осветительных приборов, полученной в результате светотехнического расчета или фактически имеющейся в данной ОУ.

Установленную мощность определяют суммированием мощности источников света стационарных осветительных приборов напряжением 42 В и выше, а также номинальной мощности стационарных понижающих трансформаторов с номинальным вторичным напряжением $12 \div 42$ В. В ОУ с газоразрядными лампами в установленную мощность включают потери мощности в пускорегулирующих аппаратах (ПРА).

В случае необходимости установленную мощность можно определить без светотехнического расчета по средним значениям удельной мощности освещения ($\text{Вт}/\text{м}^2$), выявленным ранее для аналогичных объектов, и размерам освещаемой площади.

Расчетную нагрузку определяют умножением установленной мощности на коэффициент спроса K_c , равный отношению расчетной

длительной нагрузки (30-минутный максимум) к установленной мощности. Значение K_c для групповой сети рабочего освещения производственных и общественных зданий, а также НО промышленных предприятий принимают равным единице ($K_c = 1$). Для производственных зданий значения K_c принимают равными:

1,00 – для мелких производственных зданий и линий, питающих отдельные групповые щитки;

0,95 – для зданий, состоящих из отдельных крупных пролетов;

0,85 – для зданий, состоящих из многих отдельных помещений;

0,80 – для административно-бытовых и лабораторных зданий промышленных предприятий;

0,60 – для складских зданий, состоящих из многих отдельных помещений, электрических подстанций.

Отметим, что на большинстве промышленных предприятий осветительная нагрузка колеблется в пределах 8 ÷ 20 процентов от общей по предприятию. В общественных зданиях в зависимости от их назначения и степени оснащения инженерными системами осветительная нагрузка составляет 40 ÷ 60 процентов от общей, а в отдельных случаях доходит до 80 %.

С учетом вышеизложенного можно записать выражение для определения расчетной осветительной нагрузки производственных зданий

$$P_{\text{расч}} = P_{\text{уст}} K_c K_{\text{ПРА}},$$

где $K_{\text{ПРА}}$ – коэффициент, учитывающий потери мощности в ПРА, значения которого выбирают из следующих условий:

1,1 – для ламп ДРЛ, ДРИ, ДНаТ;

1,2 – для ЛЛ в стартерных схемах включения;

1,30 ÷ 1,35 – для ЛЛ в бесстартерных схемах включения.

Коэффициенты спроса рабочего освещения питающей сети и вводов общественных зданий зависят от установленной мощности рабочего освещения. В качестве примера в табл. 16 приведены значения K_c для осветительной сети общественных зданий мощностью до 50 кВт.

Коэффициенты спроса для расчета групповой сети рабочего освещения, распределительных и групповых сетей эвакуационного и аварийного освещения зданий, освещения витрин и световой рекламы следует принимать равными единице.

Коэффициенты спроса в зависимости от мощности осветительной установки

| Организация, предприятие или учреждение | K _c в зависимости от установленной мощности рабочего освещения, кВт | | | | |
|--|--|------|------|------|------|
| | До 5 | 10 | 15 | 25 | 50 |
| Организации и учреждения управления, учреждения финансирования, кредитования и государственного страхования; общеобразовательные школы; специальные учебные заведения; учебные здания профтехучилищ; предприятия бытового обслуживания, торговли; парикмахерские | 1,00 | 0,95 | 0,90 | 0,85 | 0,80 |
| Проектные, конструкторские организации, научно-исследовательские институты | 1,00 | 1,00 | 0,95 | 0,90 | 0,85 |
| Актовые залы, конференц-залы, спортзалы | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |

3.2. Напряжение осветительных сетей и его уровни

Для питания ОП общего освещения следует применять напряжение не выше 380/220 В переменного тока при заземленной нейтрали и не выше 220 В переменного тока при изолированной нейтрали и при постоянном токе. Для питания отдельных ламп следует применять, как правило, напряжение не выше 220 В. Указанные выше напряжения допускаются для всех стационарных ОП в помещениях без повышенной опасности независимо от высоты их установки. Разрешается использовать напряжение 380 В, в том числе фазное напряжение системы 660/380 В, для питания ламп, рассчитанных на это напряжение (металлогалогенных, натриевых высокого давления, типа ДКсТ и др.), при соблюдении следующих условий:

- 1) при вводе в ОП и ПРА медного провода или кабеля на напряжение ≥ 660 В;
- 2) одновременном отключении всех фазных проводов;
- 3) нанесении на ОП для помещений с повышенной опасностью и особо опасных хорошо различимых отличительных знаков с указанием применяемого напряжения (380 В);
- 4) вводе в ОП двух или трех проводов разных фаз системы напряжения 660/380 В запрещается;

5) для питания ламп накаливания ОП местного освещения должны применяться напряжения:

а) 220 В и меньше в помещениях без повышенной опасности;

б) не выше 42 В в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных;

в) 127 – 220 В допускается применять для питания ОП с люминесцентными лампами местного стационарного освещения.

Напряжение в ОУ всех назначений с любыми видами ламп должно быть не ниже 95 и не выше 105 процентов от номинального значения. Для обеспечения надежной работы газоразрядных ламп напряжение на них даже в аварийном режиме не должно быть ниже 90 процентов от номинального.

3.3. Схема питания ОУ различного назначения

Схемы электрических сетей следует строить исходя из требований нормативных документов, предъявляемых к электробезопасности, электроснабжению и надежности электроснабжения электроприемников промышленных и общественных зданий и сооружений. При наличии в общественном здании электроприемников, требующих первой категории надежности электроснабжения, рекомендуется [1] осуществлять питание всего здания от двух независимых источников с устройством автоматического включения резерва (АВР) независимо от требуемой степени обеспечения надежности электроснабжения других электроприемников. Питание аварийного освещения должно быть независимым от питания рабочего освещения и в нормальном режиме обеспечиваться электроэнергией от ввода, который не применяется для питания рабочего освещения.

Сети внутреннего освещения (ВО) разделяют на питающие и групповые. К *питающим* сетям относят линии от трансформаторных подстанций или других точек питания до групповых щитков; к *групповым* сетям – линии от групповых щитков до ОП и штепсельных розеток (рис. 19). **Сети наружного освещения (НО)** по функциональному назначению делят на питающие и распределительные. *Распределительная* сеть – это электрическая сеть, питающая ОП наружного освещения.

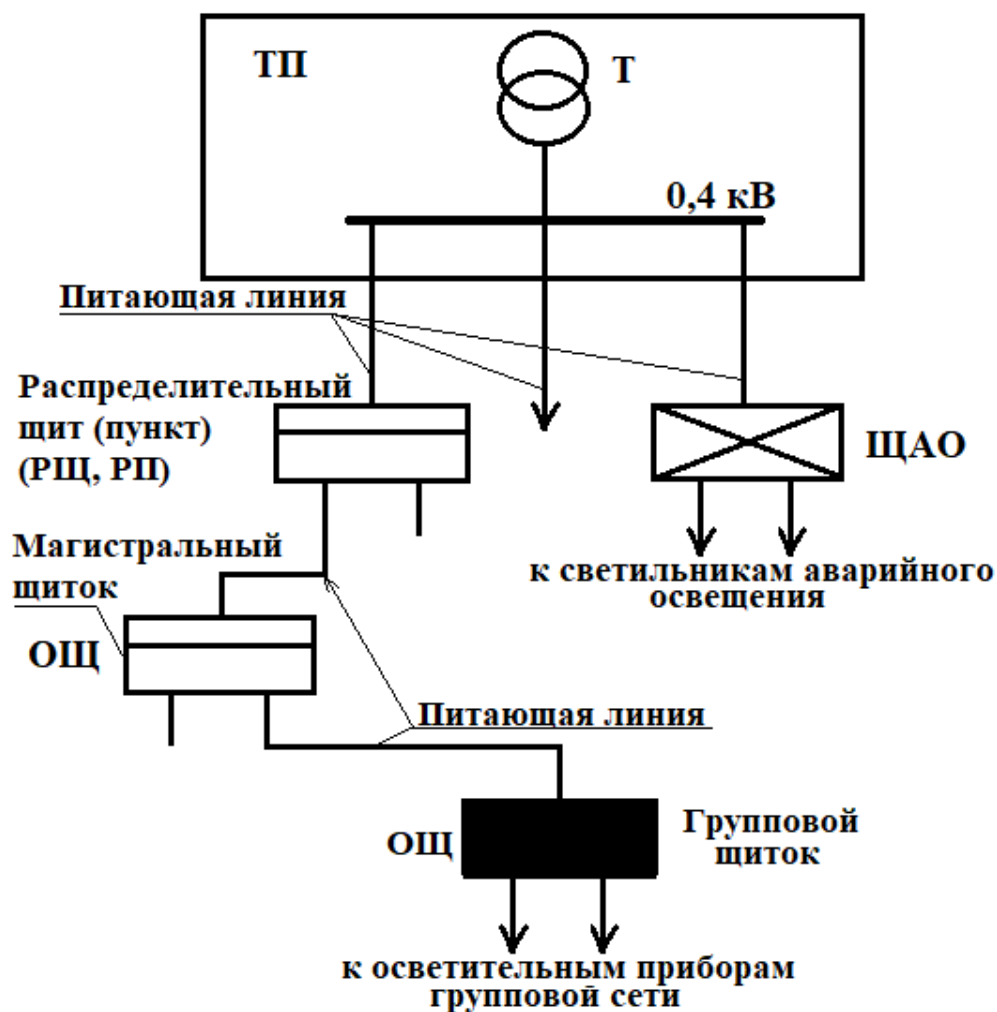


Рис. 19. Элементы осветительной сети

Схемы питания внутреннего и наружного освещения должны обеспечивать:

- необходимую степень надежности питания;
- безопасность в отношении пожара, взрыва, поражения электрическим током;
- использование монтажных изделий заводского изготовления, возможность предварительной заготовки элементов сети на заводах;
- экономию стальных и полиэтиленовых труб, меди, свинца;
- регламентированные уровни и постоянство напряжения;
- простоту и удобство эксплуатации;
- требования к управлению освещением;
- экономичность ОУ;
- требования эстетики и в ряде случаев гигиены.

Питающие сети для ОУ и силового электрооборудования рекомендуется выполнять, как правило, отдельными от общей шины питающей подстанции. В начале каждой питающей линии устанавливают аппараты защиты и отключения. В начале групповой линии обязательно аппарат защиты на всех фазных проводниках (предохранитель или автоматический выключатель), а отключающий аппарат можно не устанавливать при наличии таких аппаратов по длине линии или когда управление освещением осуществляют аппаратами, установленными в линиях питающей сети.

Групповые линии общественных зданий могут быть одно-, двух- и трехфазными в зависимости от их протяженности и количества светильников осветительной установки. Отметим, что в двух- и трехфазных групповых линиях запрещается применение предохранителей и однополюсных автоматических выключателей. Однофазные групповые линии следует выполнять трехпроводными, двухфазные – четырехпроводными, а трехфазные – пятипроводными с отдельными *N*- и *PE*-проводниками. Запрещается объединять *N*- и *PE*-проводники разных групповых линий [1].

Линии питающей сети рабочего освещения, освещения безопасности и эвакуационного освещения должны иметь в распределительных устройствах, от которых эти линии отходят, самостоятельные аппараты защиты и управления для каждой линии. Допускается устанавливать общий аппарат управления для нескольких линий одного вида освещения или установок, отходящих от распределительного устройства.

При питании внутреннего освещения от встроенных и пристроенных ТП или КТП вблизи них устанавливают магистральные щитки с автоматическими выключателями, от которых питаются групповые щитки. Причем, если от одной линии питаются четыре и более групповых щитков, на вводе в каждый щиток рекомендуется устанавливать отключающий аппарат.

Питающие линии могут быть радиальными, радиально-магистральными или магистральными (рис. 20). Характерные схемы питания осветительных установок приведены в прил. 3.

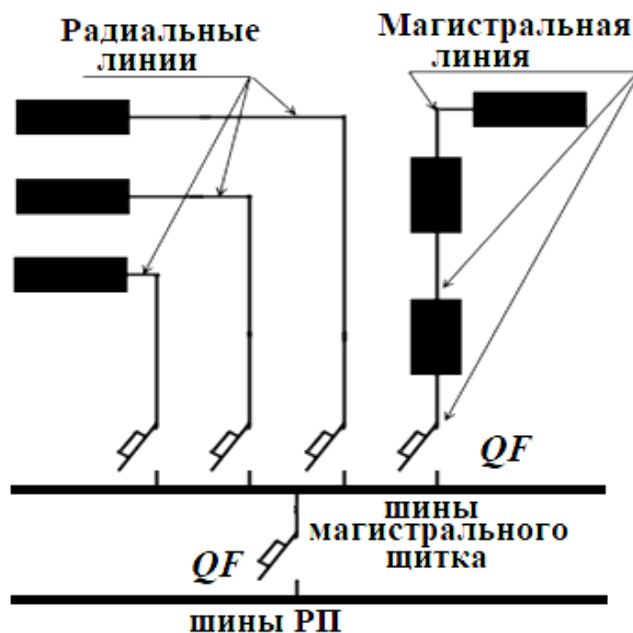


Рис. 20. Питающие линии осветительных установок

3.4. Выбор типа и расположение магистральных и групповых щитков, компоновка сети и ее выполнение

Распределительные щитки, применяемые в осветительных и силовых установках производственных и общественных зданий для приема и распределения электрической энергии при напряжении 400/230 и 690/400 В трехфазного переменного тока частотой 50 – 60 Гц, с системами заземления TN-S, TN-C, TN-C-S, TT по ГОСТ 30331.2 для нечастого включения и отключения линий групповых цепей, а также их защиты при перегрузках и коротких замыканиях должны соответствовать ГОСТ 32397-2013.

Предельно допустимые уровни напряженности электромагнитных полей промышленной частоты, создаваемые распределительными щитками осветительных установок при различных режимах их функционирования, не должны превышать на наружных сторонах оболочки щитков, устанавливаемых внутри общественных зданий:

- 0,5 кВ/м для напряженности электрического поля (E);
- 4 А/м для напряженности магнитного поля (H) или 5 мкТл – магнитной индукции (B).

Щитки ОУ, как правило, устанавливают в местах, доступных при эксплуатации неквалифицированному персоналу для выполнения коммутационных операций.

Магистральный распределительный пункт (щиток) располагают в начале питающей линии (см. рис. 19) и, как правило, вблизи встроеной или пристроеной ТП и комплектуется трехполюсными автоматическими выключателями. Групповые щитки, расположенные на стыке питающих и групповых линий, предназначены для установки аппаратов защиты и управления электрическими осветительными сетями. При выборе типов щитков учитывают условия среды в помещении, способы установки в них аппаратов, коммутируемые осветительные нагрузки, токи и т. д. Располагать щитки следует по возможности ближе к центру нагрузки в местах, доступных и удобных для обслуживания. При выборе мест расположения щитков учитывают рекомендации стандарта ГОСТ 32397-2013 [4] и ПУЭ [19].

Основные параметры распределительных щитков ОУ должны соответствовать требованиям ГОСТ 32397-2013 и приводиться в технических условиях на конкретные типы щитков согласно табл. 17.

Таблица 17

Основные параметры щитков

| № | Наименование параметра | Значение параметра |
|---|--|--|
| 1 | Номинальное напряжение на вводе щитка, В | 400/230, 690/400 |
| 2 | Номинальная частота переменного тока, Гц | 50, 60 |
| 3 | Номинальный ток вводного аппарата или зажимов, А | 40, 63, 100, 125, 160, 250 |
| 4 | Номинальный отключающий дифференциальный ток УЗО на вводе щитка, мА | 30, 100, 300 |
| 5 | Номинальный ток щитка и номинальные рабочие токи защитных аппаратов групповых цепей, А | Устанавливают в технических условиях на щитки конкретных типов при верхнем значении рабочей температуры окружающего воздуха для соответствующего климатического исполнения |
| 6 | Максимальное число защитных аппаратов, устанавливаемых в щитке для линий групповых цепей в однополюсном исчислении: – автоматических выключателей и УЗО; – резьбовых предохранителей | 6, 12, 18, 24, 30 6, 9, 12 |
| 7 | Номинальный ток автоматического выключателя и/или УЗО групповой цепи, А | 10, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63 |

Окончание табл. 17

| № | Наименование параметра | Значение параметра |
|----|--|--------------------|
| 8 | Номинальный отключающий дифференциальный ток УЗО групповой цепи, мА | 10, 30 |
| 9 | Номинальный ток предохранителя групповой цепи, А | 6, 10, 16, 25 |
| 10 | Номинальный кратковременно выдерживаемый ток короткого замыкания (действующее значение) на вводе щитков и сборных шинах с номинальными токами вводных аппаратов на 160 и 250 А, кА | 12 |

Номинальный рабочий ток вводного аппарата (номинальный ток щитка) предварительно определяют по сумме заданных номинальных токов защитных аппаратов групповых цепей, умноженный на коэффициент одновременности, приведенный в табл. 18.

Информация по параметрам некоторых щитков приведена в табл. 18 и 19.

Таблица 18

Параметры щитков

| Количество защитных аппаратов линий групповых цепей | Коэффициент одновременности |
|---|-----------------------------|
| 2 и 3 | 0,8 |
| 4 и 5 | 0,7 |
| От 6 до 9 включительно | 0,6 |
| 10 и более | 0,5 |

Таблица 19

Пункты распределительные и щиты освещения

| № | Наименование | Тип и количество выключателей | | |
|---|--------------|--|--------------|--------------|
| | | Трехполюсных | Двухполюсных | Однополюсных |
| 1 | ПР 8503-1001 | ВА630/2 × 100; 50; 20; 16 А | — | — |
| 2 | ПР 8503-1005 | ВА320/3 × 200; 1 × 60 А | — | — |
| 3 | ПР 8503-1011 | ВА57-31/1 × 31,5; 3 × 40; 1 × 50; 1 × 63 А | — | — |
| 4 | ПР 8503-1015 | ВА57Ф35/1 × 25; 1 × 50; 1 × 63; 1 × 125 А | — | — |
| 5 | ПР 8503-1051 | ВА400/2 × 80; 2 × 63; 2 × 25; 6 × 80 А | — | — |
| | | | | |

Окончание табл. 19

| № | Наименование | Тип и количество выключателей | | |
|----|--------------|---|--------------|----------------------------|
| | | Трехполюсных | Двухполюсных | Однополюсных |
| 6 | ПР 8503-1052 | ВА630/2 × 100; 2 × 80; 4 × 63 (8 × 100) А | – | – |
| 7 | ПР 8503-1053 | ВА400/2 × 100; 2 × 63; 3 × 25; 3 × 10 А | – | – |
| 8 | ПР 8503-1058 | ВА630/2 × 250; 2 × 160; 2 × 100 А | – | – |
| 9 | ПР 8503-1161 | ВА250/1 × 100; 1 × 80; 2 × 40; 4 × 16 А | – | – |
| 10 | ОЩВ-6 | Ввод – автомат 3ф | – | 100 А + 6x16 А (25 А) |
| 11 | ОЩВ-6 | Ввод – выключатель нагрузки 3ф | – | 100 А + 6x16 А (25 А) |
| 12 | ОЩВ-12 | – | – | 63 А + 12x16 А (25 А) |
| 13 | ОЩВ-12 | Ввод – автомат 3ф | – | 100 А + 12x16 А (25 А) |
| 14 | ОЩВ-12 | Ввод – выключатель нагрузки 3ф | – | 100 А + 12x16 А (25 А) |
| 15 | УОЩВ 1-6 | – | – | 1-6 63 А; 6x16 А (25 А) |
| 16 | УОЩВ 1-9 | – | – | 1-9 63 А; 9x16 А (25 А) |
| 17 | УОЩВ 1-12 | – | – | 1-12 12x16 А (без. ав.) |
| 18 | УОЩВ 1-12 | – | – | 1-12 16x25 А |

Информация о пунктах распределительных серии ПР11 приведена в табл. 20.

Таблица 20

Пункты распределительные серии ПР11

| Типоисполнение | Номинально допустимый ток пункта, А | Длительно допустимый ток пункта, А | Наличие вводного выключателя | Количество выключателей на фидерах | |
|---|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|------------------------------------|--------------|
| | | | | Однополюсных | Трехполюсных |
| ПР 11-3003-21У3; ПР 11-3003-54У1 | 20 | 18; 17 | + | 2 | – |
| ПР 11-3004-21У3; ПР 11-3004-54У1 | 10 | 9; 8; 5 | + | 2 | – |
| ПР 11-1011-21У3; ПР 11-3011-21У3; ПР 11-3011-54У1 | 40 | 36; 36; 34 | + | 3 | 1 |
| | | | | | |

| Типоисполнение | Номинально допустимый ток пункта, А | Длительно допустимый ток пункта, А | Наличие вводного выключателя | Количество выключателей на фидерах | |
|--|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|------------------------------------|--------------|
| | | | | Однополюсных | Трёхполюсных |
| ПР11-1020-21У3; ПР11-3020-21У3; ПР11-3020-54У1 | 63 | 57; 57; 54 | + | 3 | 1 |
| ПР11-1031-21У3; ПР11-3031-21У3; ПР11-3031-54У1 | 100 | 90; 90; 85 | + | 6 | 1 |

Примеры присоединения распределительных щитков к питающим сетям с системами заземления различных типов при наличии счетчика на входе и УЗО на отходящих линиях показаны на рис. 20 и 21, а способ соединения коммутирующих аппаратов и УЗО в распределительном щитке – на рис. 22.

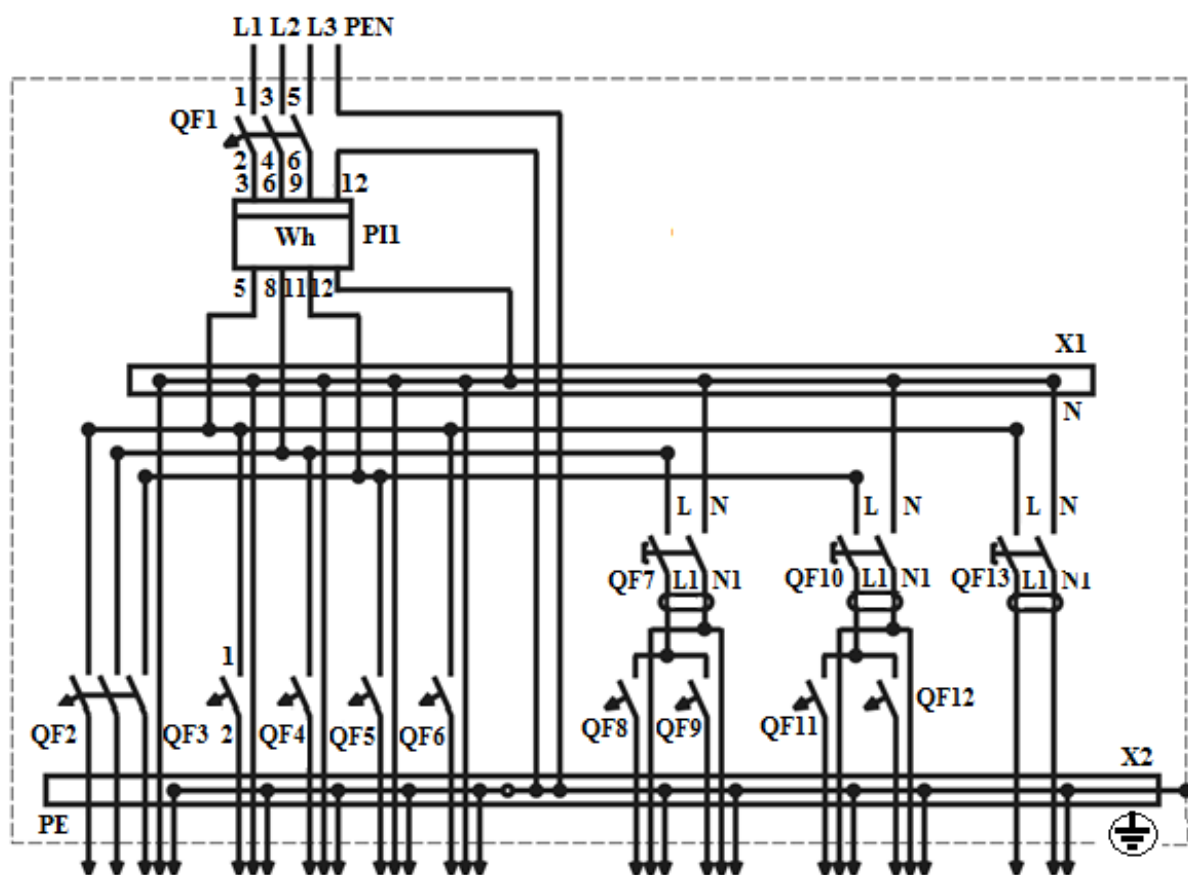


Рис. 20. Схема щитка с автоматическим выключателем и счетчиком на вводе, присоединенном к питающим четырехпроводным сетям

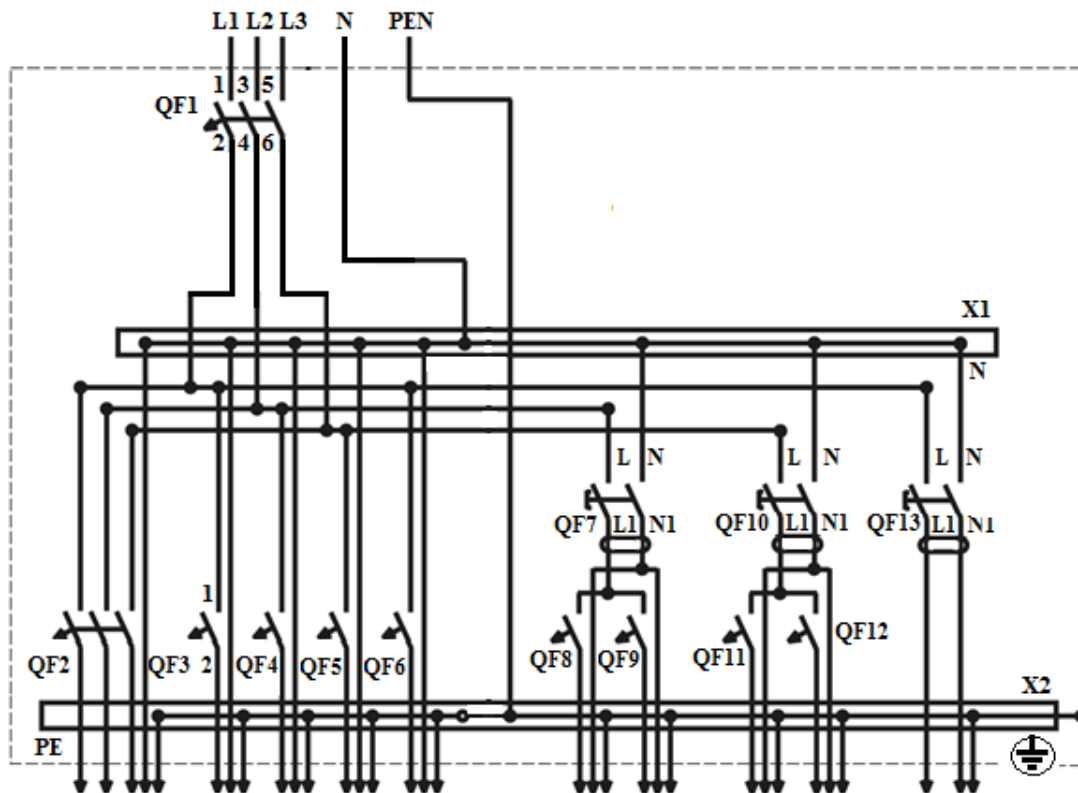


Рис. 21. Схема щитка с автоматическим выключателем на вводе и УЗО на отходящих линиях, присоединенном к питающим пятипроводным сетям

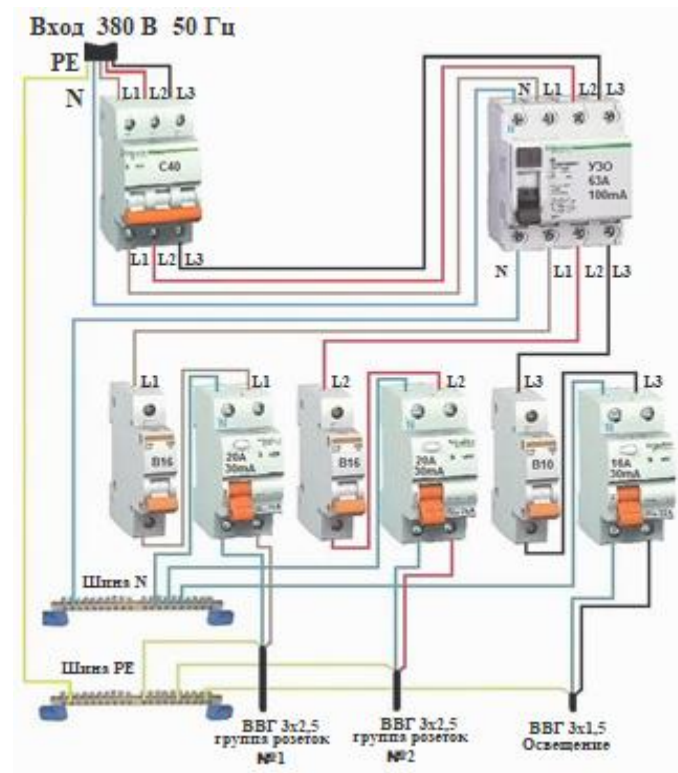


Рис. 22. Пример соединения коммутирующих аппаратов и УЗО в распределительном щитке

Осветительные сети должны быть выполнены в соответствии с требованиями ПУЭ [19, гл. 2.1 – 2.4; 6.2 – 6.4 и 7.1 – 7.4]. В зависимости от характеристики помещения и условий окружающей среды выполнение электрических осветительных сетей возможно проводами с медными или алюминиевыми жилами, кабелями, как правило, с алюминиевыми жилами и осветительными шинопроводами (ШОС).

Силовые кабели выбирают по расчетному току, номинальному напряжению, способу прокладки, условиям окружающей среды и проверяют на термическую устойчивость при коротком замыкании путем расчета минимальной площади сечения токоведущей жилы по формуле

$$F_{т.у} = I_{\infty} \frac{\sqrt{t_{пр}}}{C},$$

где $F_{т.у}$ – минимальная площадь сечения токоведущей жилы кабеля, мм²;

I_{∞} – установившийся ток короткого замыкания (КЗ), А;

$t_{пр}$ – приведенное время КЗ, в течение которого установившийся ток I_{∞} выделяет такое же количество теплоты, что и изменяющийся ток КЗ за действительное время, с;

C – термический коэффициент, соответствующий разности значений теплоты, выделенной в проводнике до и после КЗ, значения которого для кабелей с медными жилами принимают равными $C = 141$, с алюминиевыми – $C = 85$.

После расчета минимальной площади сечения токоведущей жилы по термической устойчивости уточняют сечение токоведущих жил силовых кабелей с учетом установленной мощности электроприемников и проверяют его по допустимым потерям напряжения, термической стойкости к воздействию токов КЗ и на *невозгорание* при протекании токов КЗ.

Проверку силовых кабелей на невозгорание при протекании тока КЗ осуществляют из предположения, что максимальный ток, протекающий в кабеле, равен действующему значению тока короткого замыкания в начале линии.

Проверку силовых кабелей на нагрев при протекании тока КЗ производят в соответствии с циркуляром Ц02-98 (Э) «О проверке кабелей на невозгорание при протекании тока короткого замыкания». Проверку производят для каждого выбранного сечения кабелей, при этом для проверки выбирают кабельную линию с наиболее «тяжелыми» условиями, т. е. с максимальным значением тока КЗ в начале линии.

Температуру жилы силового кабеля при протекании тока КЗ определяют по формуле

$$\vartheta_k = \vartheta_n e^k + a(e^k - 1),$$

где ϑ_n – максимальная температура жилы до КЗ;

$a = 228 \text{ }^\circ\text{C}$ – величина, обратная температурному коэффициенту электрического сопротивления при $0 \text{ }^\circ\text{C}$;

$$\vartheta_n = \vartheta_0 + (\vartheta_{\text{дд}} - \vartheta_{\text{окр}}) \left[\frac{I_{\text{раб}}}{I_{\text{дд}}} \right]^2,$$

где ϑ_n – фактическая температура окружающей среды, $^\circ\text{C}$;

$\vartheta_{\text{дд}}$ – длительно допустимая температура токопроводящих жил кабеля, $^\circ\text{C}$;

$\vartheta_{\text{окр}}$ – температура окружающей среды:

– для кабелей в земле $15 \text{ }^\circ\text{C}$;

– для кабелей на воздухе $25 \text{ }^\circ\text{C}$;

$I_{\text{раб}}$ – рабочий ток, А;

$I_{\text{дд}}$ – длительно допустимый ток нагрузки кабеля, А;

$$k = \frac{b(I_k)t}{S^2},$$

где b – постоянная, характеризующая теплофизические характеристики материала токопроводящей жилы:

– для меди $b = 19,58 \text{ мм}^4 / (\text{кА}^2 \cdot \text{с})$;

– для алюминия $b = 45,65 \text{ мм}^4 / (\text{кА}^2 \cdot \text{с})$;

$(I_k)t$ – суммарный тепловой импульс;

I_k – действующее значение тока КЗ, кА;

t – длительность тока КЗ (время срабатывания резервной защиты вышестоящего АВ), с;

S – сечение токоведущей жилы кабеля, мм^2 .

Термическая стойкость проводника обеспечивается, если площадь сечения S , мм^2 , удовлетворяет неравенству $S \geq S_{\text{тер min}}$, где $S \geq S_{\text{тер min}}$ – минимальное сечение проводника по условию термической стойкости, мм^2 , которое следует определять по формуле

$$S_{\text{тер min}} = \frac{\sqrt{B_k}}{C_{\text{тер}}},$$

где $B_k = (I_k^{(3)})^2 t_{\text{откл}}$ – интеграл Джоуля, $\text{kA}^2 \cdot \text{с}$;

$t_{\text{откл}}$ – время срабатывания защиты, зависящее от уровня напряжения (регламентированное время отключения тока КЗ), например, для сетей 220 кВ обычно принимается равным 0,1 с;

$C_{\text{тер}}$, $\text{A} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{мм}^2$ – параметр, принимаемый по табл. 8 стандарта ГОСТ Р 52736-2007 «Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета электродинамического и термического действия токов короткого замыкания».

Отметим, что температура жилы силового кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена не должна превышать 350 °С.

Токопроводы с медными жилами применяют ограниченно, например, для взрывоопасных помещений классов В-I и В-Ia. Сортамент линий и технические данные проводов и кабелей приведены в справочнике [14, табл. 11.1 – 11.5]. Из существующего сортамента шинопроводов в ОУ наиболее широко используют:

– в питающих сетях – шинопроводы ШРА-73 на токи 250, 400 и 630 А;

– в групповых сетях – шинопроводы ШОС-67 на ток 25 А и шинопроводы ШОС-73 на ток 63 А (при алюминиевых шинах) или 100 А (при медных шинах).

В сетях внутреннего освещения наиболее часто используют следующие марки проводов и кабелей:

– изолированные провода АПВ, ПВ-1 (универсальное использование);

– АППВ, ППВ – скрытая несменяемая проводка;

– АПРТО, ПРТО с резиновой изоляцией – прокладка в трубах;

– тросовые провода: АВТ, АВТУ, АВТВ, АВТВУ с ПВХ изоляцией, содержащие в своей конструкции несущий трос;

– кабели АВВГ, ВВГ с изоляцией и оболочкой из ПВХ;

– кабели АВРГ и ВРГ с оболочкой из ПВХ и резиновой изоляцией;

– кабели АНРГ и НРГ с резиновой изоляцией и резиновой (наиритовой) оболочкой;

– провода ПСУ-155 и ПСУ-180 нагревостойкие с медной жилой;

– провода ПРКА для зарядки осветительных приборов.

Выбор типа проводки (открытая, скрытая, сменяемая и т. п.) производят на основании рекомендаций ПУЭ [19]. Однако необходимо отметить, что электропроводки осветительных сетей промышленных предприятий выполняют открытыми, а административных и жилых зданий – скрытыми и по возможности сменяемыми.

3.5. Выбор сечений проводников по механической прочности

Сечения проводников осветительной сети должны обеспечить:

- достаточную механическую прочность сети;
- прохождение тока нагрузки без перегрева сверхдопустимых температур;
- необходимые уровни напряжения источников света;
- срабатывания защитных аппаратов при коротких замыканиях.

При выборе проводников осветительной сети по механической прочности достаточно выполнить все требования ПУЭ [19] по минимальному сечению проводников и расстоянию между точками их крепления.

Для определения напряжений в материале провода при разных климатических условиях используют уравнение состояния провода

$$\sigma_p - \frac{\gamma_p^2 l_p^2 E}{24\sigma_p^2} = \sigma_{и} - \frac{\gamma_{и}^2 l_p^2 E}{24\sigma_{и}^2} - \alpha E (t_p - t_{и}),$$

где $\sigma_{и}$, $\gamma_{и}$, $t_{и}$ – напряжение в проводе, удельная нагрузка и температура в исходном режиме соответственно;

σ_p , γ_p , t_p – то же в рассчитываемом режиме;

l – расчетная длина пролета, м;

E и α – модуль упругости и температурный коэффициент линейного удлинения материала провода соответственно.

В уравнение состояния провода подставляют параметры исходного режима – режима наибольшей нагрузки – и значения температуры и нагрузки, отвечающие каждому из режимов. Затем выполняют расчет напряжений в режимах низшей температуры, среднегодовой температуры и максимальной нагрузки. Обычно расчет производят итерационным методом касательных.

После подстановки значений в уравнение состояния провода получают кубическое уравнение, которое решают по следующему алгоритму:

- 1) задаются нулевым приближением напряжения в проводе σ_0 ;
- 2) определяют поправку путем деления самой функции на ее первую производную

$$\Delta_0 = \frac{\sigma_{i-1}^3 \pm B\sigma_{i-1}^2 - D}{3\sigma_{i-1}^2 \pm 2B\sigma_{i-1}};$$

- 3) находят новое значение напряжения

$$\sigma_i = \sigma_{i-1} - \Delta_{i-1};$$

- 4) выполняют проверку окончания итерационного процесса по условию $|\Delta| \leq \varepsilon$. Если условие выполняется, то расчет необходимо прекратить, если нет, то значение σ_i принимают в качестве нового приближения и расчеты повторяют.

Далее выполняют расчеты для перечисленных ниже режимов с указанием выбора значения расчетного напряжения в проводе:

- режим низшей температуры $\sigma_p = \sigma_{t \min}$;
- режим среднегодовой температуры $\sigma_p = \sigma_{t \text{ ср}}$;
- режим наибольшей нагрузки $\sigma_p = \sigma_{\gamma \max}$.

Проверка условий прочности провода для режимов низшей и среднегодовой температур и режима наибольшей нагрузки

$$\sigma_{t \min} \leq [\sigma_{t \min}], \quad \sigma_{t \text{ ср}} \leq [\sigma_{t \text{ ср}}], \quad \sigma_{\gamma \max} \leq [\sigma_{\gamma \max}].$$

Выполнение расчетных условий свидетельствует о том, что механическая прочность проводов будет достаточной для условий проектируемой линии наружного освещения.

Наименьшие допустимые сечения проводников по механической прочности указаны в справочнике [14, табл. 12.1] и [19]. При тросовых проводках в зависимости от нагрузки стальные тросы следует принимать диаметром 1,95 ÷ 6,50 мм, катанку – диаметром 5,5 ÷ 8,0 мм.

3.6. Выбор сечений проводников по нагреву

Нагрев проводников осветительной сети вызывается прохождением по ним тока I , А, значение которого определяют по следующим формулам:

- для трехфазной сети, с нулем и без нуля, при равномерной нагрузке фаз

$$I = \frac{P_3}{\sqrt{3}U_{\text{л}} \cos \varphi};$$

– для двухфазной сети с нулем при равномерной загрузке фаз

$$I = \frac{P_2}{2U_\phi \cos \varphi};$$

– для двухпроводной сети

$$I = \frac{P_1}{U_H \cos \varphi};$$

– для каждой из фаз двух- или трехпроводной сети с нулем при любой, в том числе и неравномерной, нагрузке

$$I = \frac{P_1}{U_H \cos \varphi},$$

где P_i – активная расчетная мощность одной, двух или трех фаз, Вт;
 $\cos \varphi$ – коэффициент мощности нагрузки;

U_L, U_ϕ, U_H – линейное, фазное и номинальное напряжения сети, В, соответственно.

При равномерной загрузке фаз ток в нулевом проводе трехфазных сетей, питающих лампы накаливания, равен нулю; ток же сетей, питающих газоразрядные лампы, может достигать величины фазного тока.

Нелинейность ПРА и вольтамперных характеристик газоразрядных ламп ведет к искажению синусоидальной формулы тока и появлению высших гармоник, причем последние, в основном третья, приводят к наличию тока в нулевых рабочих проводах трехфазных линий. Стандарты ограничивают величину тока в нулевом проводе трехфазных линий на уровне фазного при компенсированных ПРА и половины фазного тока – при индуктивных ПРА.

В двухфазных трехпроводных сетях при равномерной загрузке фаз ток в нулевом проводе равен фазному току при питании ламп накаливания, однако может быть несколько больше фазного тока при питании газоразрядных ламп.

При неравномерной нагрузке фаз линейные токи будут неодинаковы, и при небольшой неравномерности выбор сечения проводов следует вести как для линии с равномерной нагрузкой фаз, приняв в качестве расчетной утроенную нагрузку наиболее загруженной фазы. При существенной неравномерности нагрузки (например, при мощных ксеноновых светильниках) необходимо определить токи и сечения проводников

отдельно для каждой фазы. Для трехфазных линий с включением нагрузок на линейное напряжение значение линейных токов I_A, I_B, I_C зависит от порядка следования фаз ($A - B - C$ или $C - B - A$).

При прямом порядке следования фаз значения линейных токов определяют по формулам

$$I_A = \sqrt{I_{ab}^2 + I_{ca}^2 + 2I_{ab}I_{ca} \sin(\varphi_{ab} - \varphi_{ca} + 30^\circ)},$$

$$I_B = \sqrt{I_{bc}^2 + I_{ab}^2 + 2I_{bc}I_{ab} \sin(\varphi_{bc} - \varphi_{ab} + 30^\circ)},$$

$$I_C = \sqrt{I_{ca}^2 + I_{bc}^2 + 2I_{ca}I_{bc} \sin(\varphi_{ca} - \varphi_{bc} + 30^\circ)}.$$

При обратном порядке следования фаз в каждой из формул необходимо поменять местами индексы углов (ab и ca , bc и cb , bc и ca). Так как порядок следования фаз при проектировании неизвестен и может меняться в процессе эксплуатации, необходимо определять линейные токи для обоих вариантов следования фаз.

Ток нагрузки, протекая по проводнику, нагревает его. Наибольшие допустимые температуры нагрева жил проводов установлены нормами, и исходя из этого определены длительно допустимые токовые нагрузки для проводов и кабелей в зависимости от материала их изоляции и оболочки и условий прокладки [19]. Значения токов приняты для температуры окружающего воздуха $+25^\circ\text{C}$ и земли $+15^\circ\text{C}$. В случае, если предусматривается длительная эксплуатация провода в среде с температурой, отличной от нормативной, допустимую токовую нагрузку (в амперах) определяют по формуле

$$I = I_n \sqrt{\tau_\phi / \tau_n},$$

где I_n – нормативная токовая нагрузка, А [19];

τ_ϕ и τ_n – допустимое превышение температуры провода над фактической и нормативной температурой среды, $^\circ\text{C}$, соответственно.

Расчет значения тока в линиях производят по формуле

$$I = P_p K_T,$$

где P_p – расчетная нагрузка, кВт;

$K_T = f(U, \cos \varphi)$ – коэффициент, значения которого приведены в табл. 21.

Таблица 21

Потери напряжения в трансформаторах

| Мощность трансформатора, кВ · А | Потеря напряжения ΔU_T , %, при коэффициенте мощности нагрузки, равном | | | | | |
|---------------------------------|--|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 1,0 | 0,9 | 0,8 | 0,7 | 0,6 | 0,5 |
| 160 | 1,7 | 3,3 | 3,8 | 4,1 | 4,3 | 4,4 |
| 250 | 1,5 | 3,2 | 3,7 | 4,1 | 4,3 | 4,4 |
| 400 | 1,4 | 3,1 | 3,7 | 4,0 | 4,2 | 4,4 |
| 630 | 1,2 | 3,4 | 4,1 | 4,6 | 4,9 | 5,2 |
| 1000 | 1,1 | 3,3 | 4,1 | 4,6 | 5,0 | 5,2 |
| 1600 – 2500 | 1,0 | 3,3 | 4,1 | 4,5 | 4,9 | 5,2 |

3.7. Расчет осветительной сети по потере напряжения

Значение располагаемых потерь напряжения в сети определяют по формуле

$$\Delta U_D = U_{xx} - U_{\min} - \Delta U_T,$$

где ΔU_D – располагаемая потеря напряжения в сети, %;

U_{xx} – номинальное напряжение при холостом ходе трансформатора (105 %);

U_{\min} – допускаемое напряжение у наиболее удаленных ламп [14, § 10.1];

ΔU_T – потеря напряжения в трансформаторе, приведенная ко вторичному напряжению, %.

Отметим, что значения напряжений U_{xx} , U_{\min} , ΔU_T указаны в процентах.

Допустимые потери напряжения в осветительной сети ΔU , %, в зависимости от полной мощности трансформатора S_n , коэффициента его загрузки β и $\cos \varphi$ нагрузки приведены в справочнике [14, табл. 12.6]. Эти потери рассчитаны для значения напряжения U_{\min} , равного 97,5 %, и при иных значениях должны быть соответственно изменены.

Потеря напряжения в трансформаторе ΔU_T зависит от мощности трансформатора, его нагрузки, учитываемой коэффициентом загрузки трансформатора, коэффициента мощности питаемых электроприемников; и определяется с достаточным для практических расчетов приближением по формуле

$$\Delta U_T = \beta(U_{a.T} \cos \varphi + U_{p.T} \sin \varphi),$$

где $U_{a.T}$ и $U_{p.T}$ – активная и реактивная составляющая напряжения короткого замыкания трансформатора, определяемого по формулам

$$U_{a.T} = \frac{P_K}{S_H} 100 \%,$$

$$U_{p.T} = \sqrt{U_K^2 \% - U_{a.T}^2 \%},$$

где P_K – потери короткого замыкания, кВт;
 S_H – номинальная полная мощность трансформатора, кВ · А;
 U_K – напряжение короткого замыкания, %.

В общем случае потерю напряжения в сети определяют по формулам

– в сетях без индуктивности $\Delta U = IR$;

– в сетях с индуктивностью

$$\Delta U = I(R \cos \varphi + X \sin \varphi),$$

где I – расчетный ток линии, А;

R и X – активное и реактивное сопротивления линии, Ом;

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности нагрузки.

Если выразить потерю напряжения ΔU в процентах от номинального напряжения U_H , а ток нагрузки – через мощность (в киловаттах), то получим расчетные формулы потери напряжения в осветительной сети через момент нагрузки M :

– для двухпроводной сети (однофазной, двухфазной без нуля или постоянного тока)

$$\Delta U = \frac{2 \cdot 10^{11}}{\gamma S U_H^2} M;$$

– для четырехпроводной трехфазной с нулем и трехфазной трехпроводной без нуля сети

$$\Delta U = \frac{10^{11}}{\gamma S U_H^2} M;$$

– для трехпроводной двухфазной с нулем в сети

$$\Delta U = \frac{2,25 \cdot 10^{11}}{\gamma S U_H^2} M;$$

где γ – удельная проводимость проводника, См/м;

S – сечение проводника, мм²;

U_n – номинальное напряжение сети (линейное напряжение для трех- и двухфазных сетей), В;

M – момент нагрузки, равный произведению мощности нагрузки, кВт, на длину линии l , м, и определяемый по схемам рис. 23.

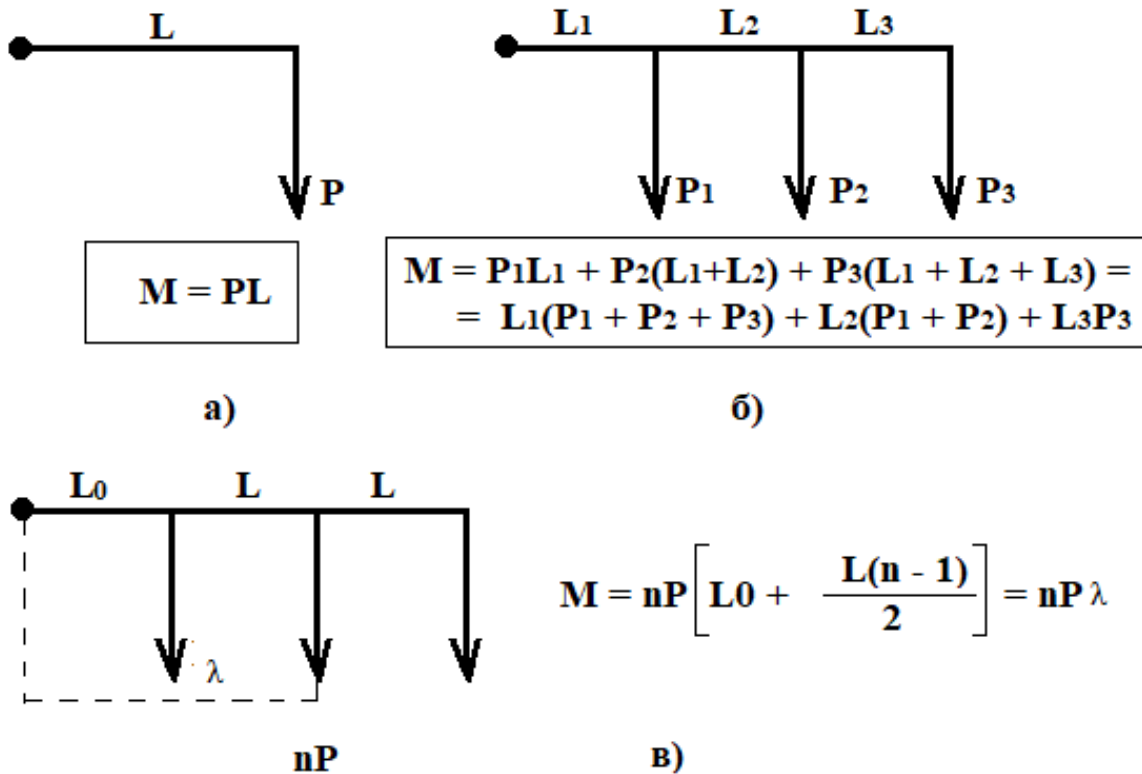


Рис. 23. Иллюстрации к определению моментов нагрузки

При заданных номинальном напряжении сети и материале проводника формула для расчета потери напряжения ΔU , %, в осветительной сети через момент нагрузки принимает вид

$$\Delta U = \frac{M}{CS} \text{ или для сечения } S = \frac{M}{C\lambda U}$$

$$\lambda = L_0 + \frac{L(n-1)}{2},$$

где C – коэффициент, зависящий от напряжения сети и материала проводника (табл. 22);

λ – приведенная длина до центра нагрузки, м;

n – количество одинаковых нагрузок в фазе сети.

Потери напряжения на всех участках сети (от шин низшего напряжения трансформатора до самого удаленного светильника) суммируют и сравнивают с величиной допустимой потери напряжения $\Delta U_{\text{д}}$. В табл. 21 приведены значения ΔU_{T} для коэффициента загрузки трансформатора $\beta = 1$. Для определения истинного значения ΔU_{T} значение, найденное по табл. 21, следует умножить на фактическое значение коэффициента загрузки β .

При расчете разветвленной питающей сети и при одновременном расчете питающей и групповой сетей распределение потери напряжения между участками сети целесообразно производить по условиям минимизации общего расхода проводникового металла (выбор минимально целесообразного сечения провода на конкретном участке по механической прочности и допустимой температуре), что в большинстве случаев позволяет минимизировать затраты на осветительную установку. Однако при минимизации общего расхода проводникового металла необходимо выполнять условия по минимизации потерь напряжения на каждом участке питающих и групповых сетей.

В этом случае для определения сечения провода каждого участка по располагаемому значению потери напряжения рассчитывают значение приведенного момента по формуле

$$M_{\text{п}} = \sum M + \alpha \sum m,$$

где $\sum M$ – сумма моментов нагрузок данного участка и всех последующих по направлению участков с тем же числом проводов в линии, что и на данном участке;

$\sum m$ – сумма моментов нагрузок питаемых через данный участок линий с иным числом проводов, чем на данном участке;

α – коэффициент приведения моментов (табл. 22).

При раздельном расчете значений потерь напряжения на участках питающей и групповой сети происходит наиболее целесообразное распределение значений потерь напряжения между ними. Потери определяют приближенно, исходя из предварительного соотношения моментов и с учетом значения коэффициента α из табл. 23.

Таблица 22

Значения коэффициентов K_T и C

| Напряжение сети, В | Система сети, род тока | Коэффициент K_T для | | | | Коэффициент C проводов | |
|--------------------|--|-----------------------|-------------------------------------|-------|--------|--------------------------|---------------|
| | | ЛН | ГЛ при соэф комплекта «Лампа – ПРА» | | | Мед-ных | Алю-миние-вых |
| | | | 0,90 | 0,50 | 0,35 | | |
| 660/380 | Трехфазная с нулевым рабочим проводником | 0,875 | 0,972 | 1,75 | 2,50 | 218,0 | 133,0 |
| 380/220 | | 1,520 | 1,690 | 3,04 | 4,34 | 72,2 | 44,0 |
| 220/127 | | 2,630 | 2,920 | 5,26 | 7,52 | 24,2 | 14,8 |
| 380 | Трехфазная без нуля | 1,52 | 1,69 | 3,04 | 4,34 | 72,200 | 44,000 |
| 220 | | 2,63 | 2,52 | 5,26 | 7,52 | 24,200 | 14,800 |
| 40 | | 14,40 | 16,00 | 28,90 | 41,20 | 0,800 | 0,488 |
| 36 | | 16,00 | 17,80 | 32,10 | 45,80 | 0,648 | 0,395 |
| 12 | | 48,10 | 53,50 | 96,10 | 137,00 | 0,072 | 0,044 |
| 660/380 | Двухфазная с нулевым рабочим проводником | 1,32 | 1,46 | 2,63 | 3,76 | 96,8 | 59,00 |
| 380/220 | | 2,27 | 2,52 | 4,54 | 6,49 | 32,1 | 19,60 |
| 220/127 | | 3,94 | 4,37 | 7,87 | 11,20 | 10,7 | 6,56 |
| 660/380 | Однофазная с нулевым рабочим проводником | 2,63 | 2,92 | 5,26 | 7,52 | 36,1 | 22,00 |
| 220 | | 4,54 | 5,05 | 9,09 | 13,00 | 12,1 | 7,38 |
| 127 | Двухпроводная переменного и постоянного тока | 7,87 | 8,75 | 15,7 | 22,5 | 4,030 | 2,460 |
| 40 | | 25,00 | 27,80 | 50,0 | 71,4 | 0,400 | 0,244 |
| 36 | | 27,80 | 30,90 | 55,5 | 79,4 | 0,324 | 0,198 |
| 12 | | 83,30 | 92,60 | 167,0 | 238,0 | 0,036 | 0,022 |

Таблица 23

Значения коэффициента приведения моментов, α

| Линия | Ответвление | Коэффициент приведения моментов, α |
|--|--|---|
| Трехфазная с нулевым рабочим проводником | Однофазное | 1,85 |
| Трехфазная с нулевым рабочим проводником | Двухфазное с нулевым рабочим проводником | 1,39 |
| Трехфазная с нулевым рабочим проводником | Однофазное | 1,33 |
| Трехфазная с нулевым рабочим проводником | Двухпроводное | 1,15 |

При нормальном режиме работы даже приблизительное равенство моментов нагрузки отдельных фаз позволяет считать их симметричными, и в этом случае достаточно обеспечить среднее значение потери напряжения.

Групповые двух-, и трехфазные линии с местными выключателями при отключении с щитка на части площади освещаемого помещения рассчитывают как однофазные группы с общим нулевым проводом.

Значение потери напряжения для любой из фаз несимметричных четырехпроводных линий может быть определено по формуле, где первое слагаемое дает потерю напряжения в фазном, второе – в нулевом проводе

$$\Delta U = \frac{M_A}{2Cs_A} + \frac{M_A - 0,5(M_B - M_C)}{2Cs_0},$$

где M_A – момент нагрузки любой данной фазы;

M_B, M_C – моменты нагрузки двух других фаз;

s_A – сечение провода данной фазы;

s_0 – сечение нулевого провода;

C – коэффициент, определяемый по табл. 22 для двухпроводных линий.

Потерю напряжения в трехфазных несимметричных сетях при питании ламп линейным напряжением при прямом порядке следования фаз и при одинаковых активных сопротивлениях всех проводов определяют по формуле

$$\Delta U_{AB} = [2I_{AB} \cos \varphi_{AB} - I_{CA} \cos(\varphi_{CA} - 120^\circ) - I_{BC} \cos(\varphi_{BC} + 120^\circ)]R + [2I_{AB} \sin \varphi_{AB} - I_{CA} \sin(\varphi_{CA} - 120^\circ) - I_{BC} \sin(\varphi_{BC} + 120^\circ)]X,$$

где ΔU_{AB} – потеря напряжения, %;

I_{AB}, I_{CA}, I_{BC} – фазные токи нагрузки, А;

R и X – активное и индуктивное сопротивление линий, Ом.

Аналогично рассчитывают потери напряжения ΔU_{BC} , ΔU_{CA} .

Коэффициент мощности нагрузки при обратном порядке чередования фаз может оказаться выше, поэтому для этого случая проводят дополнительную проверку потери напряжения. Поскольку при этом необходимо поменять знаки углов под знаками синуса и косинуса, то выражение для расчета потери напряжения приобретает вид

$$\Delta U_{AB} = [2I_{AB} \cos \varphi_{AB} - I_{CA} \cos(\varphi_{CA} + 120^\circ) - I_{BC} \cos(\varphi_{BC} - 120^\circ)]R + [2I_{AB} \sin \varphi_{AB} - I_{CA} \sin(\varphi_{CA} + 120^\circ) - I_{BC} \sin(\varphi_{BC} - 120^\circ)]X.$$

3.8. Компенсация реактивной мощности в осветительных сетях

Компенсация реактивной мощности в основном необходима для осветительных и силовых электрических сетей промышленных предприятий. Для потребителей электроэнергии общественных зданий компенсации реактивной мощности, как правило, не требуется. При этом отметим, что применение светильников с люминесцентными лампами с некомпенсированными ПРА в общественных зданиях не допускается, кроме одноламповых светильников мощностью до 30 Вт с коэффициентом мощности 0,5.

Осветительные сети с газоразрядными лампами и электромагнитными ПРА характеризуются низким значением коэффициента мощности $\cos \varphi = 0,35 \div 0,60$. При совместном питании линией разрядных ламп и ламп накаливания коэффициент мощности определяют с учетом суммарных активных и реактивных нагрузок.

Для повышения значения коэффициента мощности до уровня $0,90 \div 0,95$ используют, как правило, статические конденсаторы. Компенсация реактивной мощности может быть индивидуальной (конденсаторы устанавливают у каждого светильника) и групповой (конденсаторы присоединяют к началу каждой групповой линии, или к питающим линиям, или к шинам подстанции).

Реактивную мощность конденсаторов Q_k , кВАр, необходимую для повышения значения $\cos \varphi_1$ до значения $\cos \varphi_2$, определяют по формуле

$$Q_k = P(\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2),$$

где P – активная мощность ламп с учетом потерь в ПРА, кВт.

В промышленности выпускаются регулируемые комплектные конденсаторные установки низкого напряжения на мощности $50 \div 550$ кВАр типа УКМ70 и низкого напряжения с фильтрацией высших гармоник типа УКМФ-71 на мощности от 25 до 300 кВАр. Эти установки снабжены электронными (микропроцессорными) регуляторами мощности, что позволяет поддерживать требуемое значение коэффициента мощности ($\cos \varphi$) в широком диапазоне компенсируемых мощно-

стей. Технические характеристики комплектных конденсаторных установок приведены в табл. 24.

Таблица 24

Технические характеристики комплектных конденсаторных установок

| Тип | Мощность, кВАр | Количество ступеней переключения | Мощность ступеней | Ток, А | Сечение медного кабеля для ввода, мм ² | Масса, кг |
|---------------------|----------------|----------------------------------|-------------------|--------|---|-----------|
| УКМ 70-0,4-30-5-У3 | 20,0 | 6 | 6 × 5 | 56 | 3 × 10 | 30 |
| УКМ 70-0,4-50-10-У3 | 50,0 | 5 | 1 × 10 + 2 × 20 | 72 | 3 × 50 | 170 |
| -75-15-У3 | 75,0 | 5 | 1 × 15 + 2 × 30 | 108 | 3 × 100 | 175 |
| -100-20-У3 | 100,0 | 5 | 1 × 20 + 2 × 40 | 144 | 3 × 100 | 210 |
| -112,5-12,5-У3 | 112,5 | 9 | 1 × 12,5 + 4 × 25 | 161 | 3 × 100 | 215 |
| -150-25-У3 | 150,0 | 6 | 2 × 25 + 2 × 50 | 216 | 3 × 150 | 235 |
| -200-25-У3 | 200,0 | 8 | 2 × 25 + 2 × 50 | 289 | 2 × (3 × 185) | 280 |
| -225-25-У3 | 225,0 | 9 | 2 × 35 + 3 × 50 | 325 | 2 × (3 × 185) | 300 |
| -250-25-У3 | 250,0 | 10 | 1 × 25 + 4 × 50 | 361 | 2 × (3 × 240) | 330 |
| -275-25-У3 | 275,0 | 11 | 2 × 25 + 4 × 50 | 398 | 2 × (3 × 240) | 340 |
| -300-25-У3 | 300,0 | 12 | 2 × 25 + 6 × 50 | 433 | 2 × (3 × 240) | 350 |
| -350-25-У3 | 350 | 14 | 2 × 25 + 6 × 50 | 498 | 2 × (3 × 150) | 370 |
| -400-50-У3 | 400 | 8 | 2 × 25 + 7 × 50 | 579 | 2 × (3 × 185) | 430 |
| -500-50-У3 | 500 | 10 | 2 × 25 + 9 × 50 | 755 | 2 × (3 × 240) | 550 |
| -550-50-У3 | 550 | 11 | 2 × 25 + 10 × 50 | 810 | 2 × (3 × 240) | 580 |
| УКМФ-71-04-25-25-У3 | 25 | 1 | 1 × 25 | 36 | 3 × 16 | 160 |
| -50-25-У3 | 50 | 2 | 2 × 25 | 72 | 3 × 50 | 200 |
| -75-25-У3 | 75 | 3 | 1 × 25 + 1 × 50 | 108 | 3 × 70 | 250 |
| -100-25-У3 | 100 | 4 | 2 × 25 + 1 × 50 | 144 | 3 × 120 | 280 |
| -125-25-У3 | 125 | 5 | 1 × 25 + 2 × 50 | 180 | 3 × 185 | 315 |
| -150-25-У3 | 150 | 6 | 2 × 25 + 2 × 50 | 217 | 3 × 240 | 340 |
| -175-25-У3 | 175 | 7 | 1 × 25 + 3 × 50 | 253 | 2 × (3 × 95) | 380 |
| -200-25-У3 | 200 | 8 | 2 × 25 + 3 × 50 | 289 | 2 × (3 × 120) | 400 |
| -250-25-У3 | 250 | 5 | 2 × 25 + 4 × 50 | 361 | 2 × (3 × 185) | 460 |
| -300-25-У3 | 300 | 6 | 2 × 25 + 5 × 50 | 433 | 2 × (3 × 240) | 520 |

Номинальное напряжение питания комплектных конденсаторных установок 400 В, частота 50 Гц, коэффициент несинусоидальности напряжения 3,6, температура окружающего воздуха от –10 до +45 °С; степень защиты IP21, IP54; силовые конденсаторы типа КПС.

В случае несоответствия синусоидальной формы напряжения сети требованиям ГОСТ 32144 в части высших гармоник по причине значительного значения мощности гармонических искажений потребителя следует использовать в осветительных сетях комплектные конденсаторные установки типа УКМФ-71 (см. табл. 24).

Компенсирующие конденсаторы рекомендуется подключать к специальным зажимам, например типа У734М, характеризующимся малым переходным сопротивлением (рис. 24), с целью снижения тепловыделения в местах соединения проводников для подключения ламп и компенсирующих силовых конденсаторов.

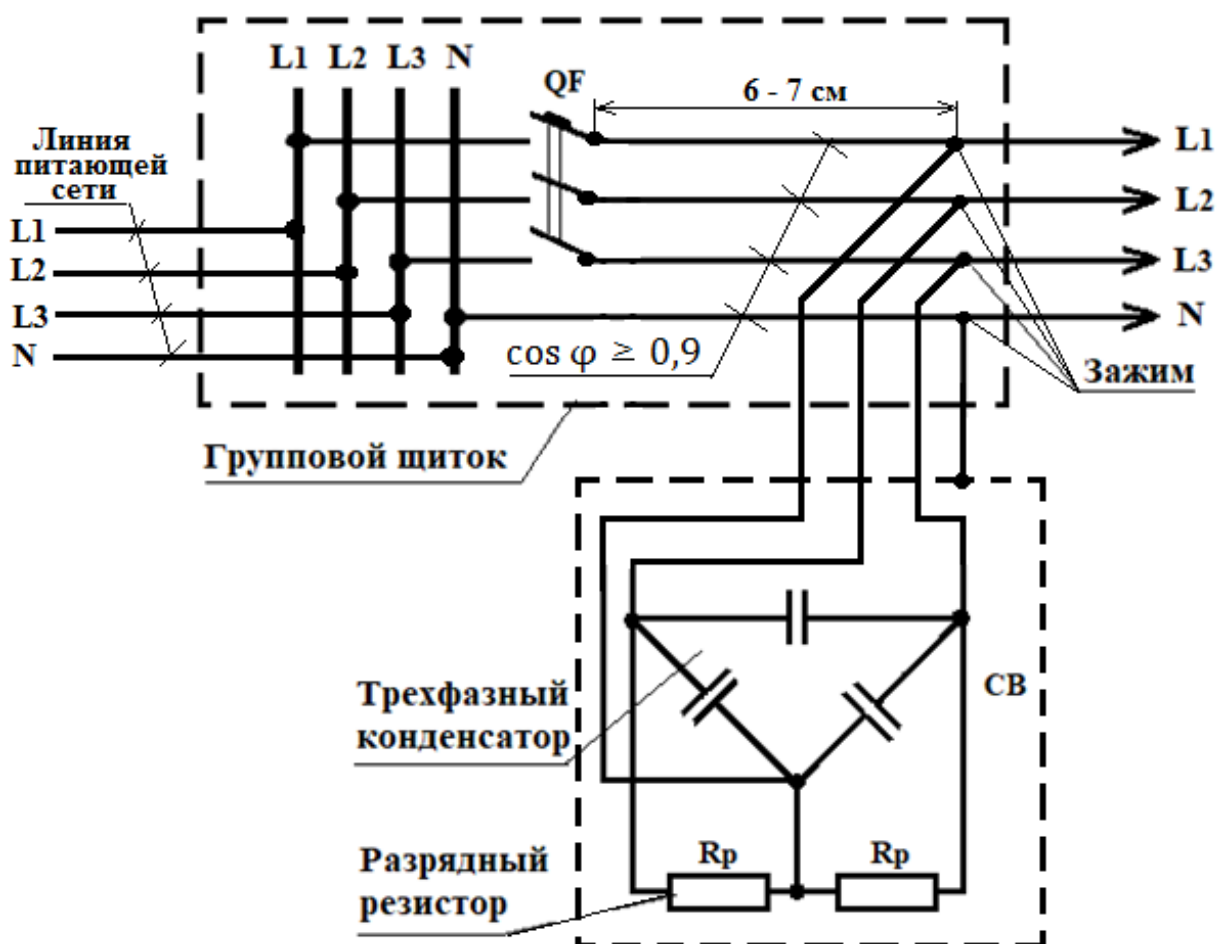


Рис. 24. Схема присоединения проводов к щитку при питании дуговых ламп с групповой компенсацией при токе нагрузки, близком к номинальному току выключателя

Известно, что для повышения коэффициента мощности осветительной установки с 0,5 или 0,32 (установка с дуговыми лампами) до значения 0,9 и более на каждый киловатт активной мощности ламп светильников и потерь в ПРА необходима реактивная мощность трехфазного конденсатора 1,2 и 2,5 кВАр соответственно. Следовательно, комплектные конденсаторные установки типа УКМ-70 применимы в сетях с активной мощностью до 200 кВт, а комплектные конденсаторные установки типа УКМФ-71 – до 100 кВт.

Емкость конденсатора C , мкф, малой мощности при индивидуальной компенсации реактивной мощности светильника определяют по формуле

$$C = \frac{Q_k}{2\pi f U^2 10^{-3}},$$

где U – напряжение на зажимах конденсатора, кВ;

f – частота питающей сети, Гц;

Q_k – реактивная мощность конденсатора, кВАр.

Контрольные вопросы

1. В чем различие понятий установленной и расчетной мощностей?
2. Какую информацию сообщают проектировщику значения коэффициентов спроса и коэффициент ПРА?
3. Состав осветительной сети и назначение ее основных элементов.
4. Особенности электрического расчета осветительных сетей.
5. Назначение, типы и расположение магистральных и групповых щитков.
6. Выбор силового кабеля при выполнении осветительных сетей.
7. В чем смысл проверки силового кабеля осветительной сети на возгорание?
8. Условия термической стойкости проводника.
9. Провода, кабели и шинопроводы, применяемые в осветительных сетях.

10. Как осуществляют выбор проводников осветительной сети по механической прочности?
11. Как осуществляют выбор проводников осветительной сети по нагреву?
12. Учет неравномерной нагрузки фаз питающей сети при выборе проводников осветительной сети по нагреву.
13. Потеря напряжения в линиях осветительной сети и методики ее расчета.
14. Момент нагрузки и потеря напряжения.
15. Расчет потери напряжения в линиях осветительной сети при неравномерной нагрузке.
16. Назначение и типы устройств компенсации реактивной мощности в осветительных сетях.
17. Схемы включения устройств компенсации реактивной мощности в осветительных сетях.
18. Учет пусковых токов ламп при выборе установок электрических аппаратов в осветительных сетях.
19. Технические средства ограничения и стабилизации напряжения в осветительных установках и их основные характеристики и области применения.

Примеры решения задач

Задача 12. Рассчитать потерю напряжения в линии с лампами накаливания мощностью 1 кВт каждая на напряжение 380/220 В с рабочим нулевым проводником, выполненную алюминиевыми проводами по схеме на рис. 25. Сравнить результаты расчета при выполнении этой же осветительной установки медными проводами.

Решение

С учетом схемы подключения нагрузки к проводам различных фаз и расстояний, изображенной на рис. 25, моменты нагрузок по фазам можно определить по формуле

$$M_i = nP_i \left[L_0 + \frac{L_i(n-1)}{2} \right] = n\lambda P_i,$$

где L_i – расстояние между нагрузками одной фазы.

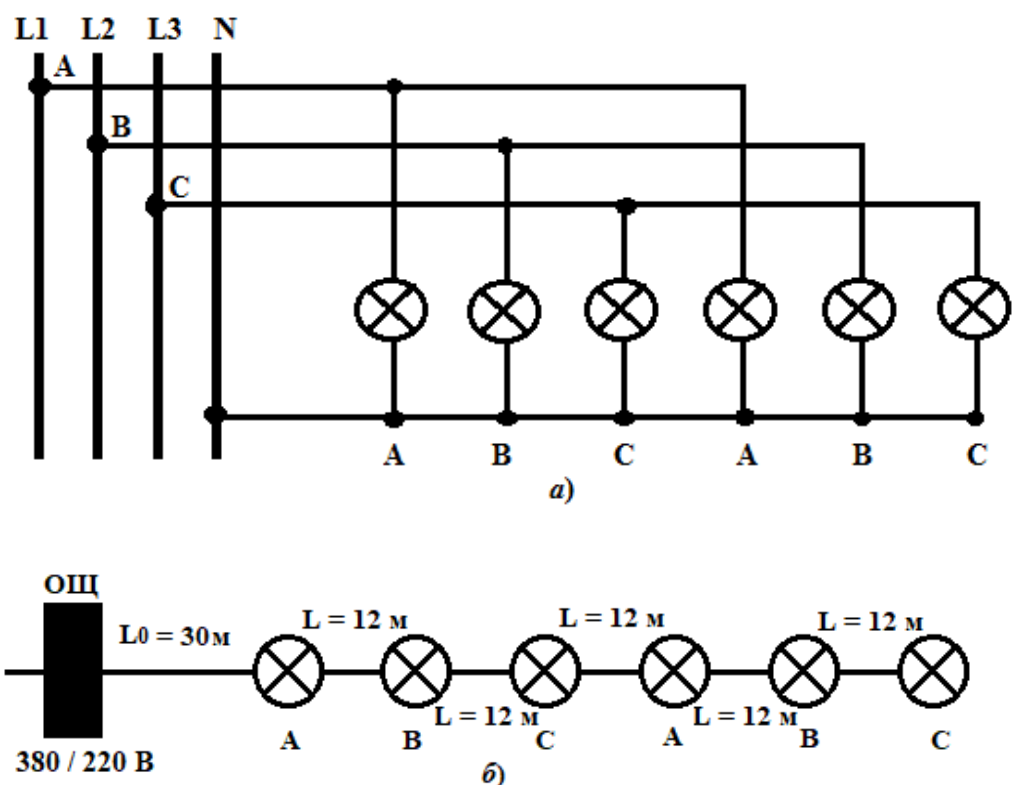


Рис. 25. К примеру расчета четырехпроводных несимметричных сетей на потерю напряжения: а – полнофазная схема подключения нагрузок; б – однолинейная схема с указанием расстояний от щитка и между лампами

Поскольку расстояния от шин щитка до первой и последней ламп в фазах линии разные, то и значения приведенной длины до центра нагрузки фаз будут отличаться, поэтому значение λ , м, целесообразно определять для каждой фазы по формуле

$$\lambda_i = L_0 + \frac{L_i(n-1)}{2}.$$

По условию $n = 2$ (по две лампы одинаковой мощности в каждой фазе) и расстояние между ними $L_i = 3L = 3 \cdot 12 = 36$ м, тогда для фазы А (по рис. 25, б)

$$\lambda_A = L_0 + \frac{L_i(n-1)}{2} = 30 + \frac{36(2-1)}{2} = 48 \text{ м.}$$

Для фаз В и С

$$\lambda_B = L_0 + L + \frac{L_i(n-1)}{2} = 30 + 12 + \frac{36(2-1)}{2} = 60 \text{ м.}$$

$$\lambda_C = L_0 + 2L + \frac{L_i(n-1)}{2} = 30 + 2 \cdot 12 + \frac{36(2-1)}{2} = 72 \text{ м.}$$

При вычислении потери напряжения, например в фазе C , моменты нагрузок фаз составят

$$M_A = n\lambda_A P_A = 2 \cdot 48 \cdot 1 = 96 \text{ кВт} \cdot \text{м},$$

$$M_B = n\lambda_B P_B = 2 \cdot 60 \cdot 1 = 120 \text{ кВт} \cdot \text{м},$$

$$M_C = n\lambda_C P_C = 2 \cdot 72 \cdot 1 = 144 \text{ кВт} \cdot \text{м}.$$

Нагрузка в фазах активная и одинаковой мощности, поэтому действующие значения токов в фазных проводах равны по значению и определяются по простой формуле

$$I_i = \frac{P_i}{U_\phi} = \frac{2000}{220} = 9,0909 \text{ А.}$$

Для рассчитанного значения тока по таблицам ПУЭ выбираем сечение фазного провода s_A по значению длительно допустимого тока для алюминиевого провода в поливинилхлоридной изоляции, прокладываемых четырех одножильных проводов в одной трубе с сечением, равным 2 мм^2 . Поскольку режим работы линии несимметричный, то сечение нулевого проводника s_0 целесообразно принять равным сечению фазного провода. Тогда при условии равенства сечений проводов $s_A = s_0 = 2 \text{ мм}^2$ потеря напряжения в двухпроводной линии фазный – нулевой проводник, например, для фазы A , составит

$$\begin{aligned} \Delta U_A &= \frac{M_A}{2Cs_A} + \frac{M_A - 0,5(M_B - M_C)}{2Cs_0} = \frac{2M_A - 0,5(M_B - M_C)}{2Cs_A} = \\ &= \frac{2 \cdot 96 - 0,5(120 - 144)}{2 \cdot 7,4 \cdot 2} = 6,8918 \%. \end{aligned}$$

Потери в нулевом проводе для фазы A

$$\Delta U_0 = \frac{M_A - 0,5(M_B - M_C)}{2Cs_0} = \frac{96 - 0,5(120 - 144)}{2 \cdot 7,4 \cdot 2} = 2,8378 \%.$$

Для фазы B

$$\begin{aligned} \Delta U_B &= \frac{M_B}{2Cs_B} + \frac{M_B - 0,5(M_C - M_A)}{2Cs_0} = \frac{2M_B - 0,5(M_C - M_A)}{2Cs_B} = \\ &= \frac{2 \cdot 120 - 0,5(144 - 96)}{2 \cdot 7,4 \cdot 2} = 7,297 \%. \end{aligned}$$

Потери в нулевом проводе для фазы B

$$\Delta U_0 = \frac{M_B - 0,5(M_C - M_A)}{2Cs_0} = \frac{120 - 0,5(144 - 96)}{2 \cdot 7,4 \cdot 2} = 3,243 \%$$

Для фазы C

$$\begin{aligned} \Delta U_C &= \frac{M_C}{2Cs_C} + \frac{M_C - 0,5(M_A - M_B)}{2Cs_0} = \frac{2M_C - 0,5(M_A - M_B)}{2Cs_C} = \\ &= \frac{2 \cdot 144 - 0,5(96 - 120)}{2 \cdot 7,4 \cdot 2} = 10,135 \%. \end{aligned}$$

Потери в нулевом проводе для фазы C

$$\Delta U_0 = \frac{M_C - 0,5(M_A - M_B)}{2Cs_0} = \frac{144 - 0,5(96 - 120)}{2 \cdot 7,4 \cdot 2} = 5,27 \%$$

Расчетные значения потерь напряжения в двухпроводной линии фазный – нулевой проводник явно больше располагаемых потерь, поэтому при неизвестных потерях в трансформаторе целесообразно решить обратную задачу и определить сечение фазных проводов при заданном значении потери напряжения. Проведем расчет при заданном значении потерь напряжения в фазах линии $\Delta U_i = 2 \%$.

Сечение фазных проводов определяют по формуле

$$s_i = \frac{M_i}{2C\Delta U_i}$$

Тогда

$$s_A = \frac{M_A}{2C\Delta U_A} = \frac{96}{2 \cdot 7,4 \cdot 2} = 3,243 \text{ мм}^2.$$

Для фаз B и C значения сечений $s_B = 4,054 \text{ мм}^2$; $s_C = 4,8648 \text{ мм}^2$.

По справочным таблицам ПУЭ выбираем ближайшие, в сторону увеличения, сечения фазных проводов, выполненных из алюминия: $s_A = s_B = s_C = 5,0 \text{ мм}^2$. Сечение нулевого провода принимаем равным фазному $s_0 = s_A = 5,0 \text{ мм}^2$.

Выполняем тот же расчет для проводов с поливинилхлоридной изоляцией с медными жилами сечением 1 мм^2 и 2 мм^2 . Значение коэффициента C в этом случае равно $12,1$ (табл. 22).

Значения потерь напряжения в фазных проводах $\Delta U_{\phi i}$ и нулевом ΔU_0 проводе определяют по формулам

$$\Delta U_{\phi i} = \frac{M_i}{2C S_i}.$$

Потери напряжения в нулевом проводе:

– для фазы *A*

$$\Delta U_{0A} = \frac{M_A - 0,5(M_B - M_C)}{2C S_0};$$

– для фазы *B*

$$\Delta U_{0B} = \frac{M_B - 0,5(M_C - M_A)}{2C S_0};$$

– для фазы *C*

$$\Delta U_{0C} = \frac{M_C - 0,5(M_A - M_B)}{2C S_0}.$$

Результаты расчета потерь напряжения в фазных и нулевом проводах для алюминия и меди при различных сечениях приведены в табл. 25.

Таблица 25

Потери напряжения в фазных и нулевом проводах

| Материал провода | Сечение, мм ² | Потери напряжения, % | | | | | |
|---------------------|-----------------------------|----------------------|--------------|---------------------|--------------|---------------------|--------------|
| | | Фаза <i>A</i> | | Фаза <i>B</i> | | Фаза <i>C</i> | |
| | | $\Delta U_{\phi A}$ | ΔU_0 | $\Delta U_{\phi B}$ | ΔU_0 | $\Delta U_{\phi C}$ | ΔU_0 |
| Алюминий | 2,0 | 3,2432 | 3,6486 | 4,0540 | 3,2432 | 4,8600 | 5,2700 |
| | 5,0 | 1,2970 | 1,4594 | 1,6216 | 1,2972 | 1,9459 | 2,1081 |
| Медь | 1,0 | 3,9669 | 4,4628 | 4,9586 | 3,9669 | 5,9504 | 6,4462 |
| | 2,0 | 1,9830 | 2,2331 | 2,4793 | 1,9834 | 2,9752 | 3,2231 |
| | 2,5 | 1,5867 | 1,7851 | 1,9834 | 1,5867 | 2,3801 | 2,5785 |

Из результатов расчета примера в табл. 25 можно сделать вывод, что при несимметричной нагрузке линий осветительной сети сечение фазного провода, выбранного по длительно допустимому току, необходимо увеличить практически в два раза при реализации заданного значения потери напряжения. Сечение нулевого провода целесообразно принимать равным сечению фазного провода. С точки зрения энергосбережения и энергоэффективности предпочтительнее увеличение сечения провода, чем экономия металла для проводов.

Задача 13. Определить потери напряжения в трехфазной линии напряжением 380 В протяженностью $L = 200$ м, выполненной кабелем марки АВБШВ-1 ($3 \times 35 + 1 \times 16$) и питающей две ксеноновые лампы наружного освещения (рис. 26) мощностью 20 кВт каждая при $\cos \varphi = 0,9$.

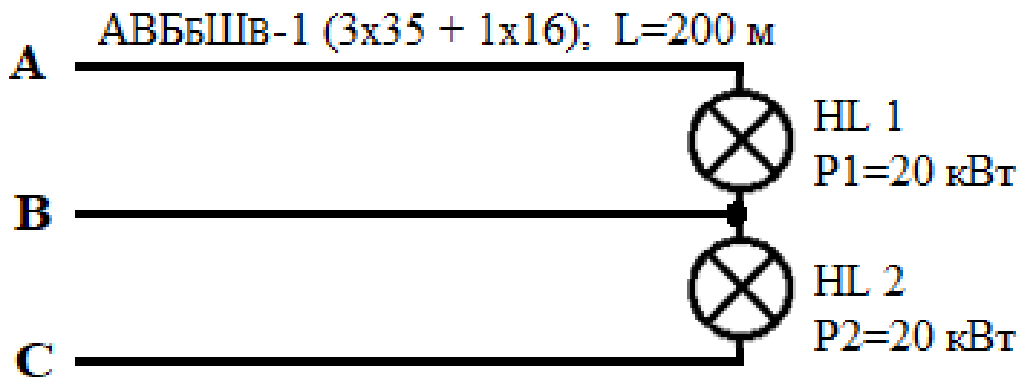


Рис. 25. Схема включения ламп задачи 12

Решение

По справочным данным погонное активное сопротивление кабеля с алюминиевыми жилами сечением 35 мм^2 равно $r = 0,95 \text{ Ом/км}$, погонное реактивное сопротивление $x = 0,075 \text{ Ом/км}$.

Определяем активное и реактивное сопротивления линии

$$R = rL = 0,95 \cdot 0,2 = 0,190 \text{ Ом},$$

$$X = xL = 0,075 \cdot 0,2 = 0,015 \text{ Ом}.$$

Фазный ток (ток лампы) определяем по формуле

$$I_{\phi} = \frac{P_{\text{л}}}{U_{\text{н}} \cos \varphi} = \frac{20\,000}{380 \cdot 0,9} = 60 \text{ А}.$$

Вычисляем потерю напряжения

$$\begin{aligned} \Delta U_{AB} &= [2I_{AB} \cos \varphi_{AB} - I_{BC} \cos(\varphi_{BC} - 120^\circ)]R + \\ &+ [2I_{AB} \sin \varphi_{AB} - I_{BC} \sin(\varphi_{BC} - 120^\circ)]X = \\ &= [2 \cdot 60 \cdot 0,9 - 60 \cos(26^\circ - 120^\circ)]0,19 + \\ &+ [2 \cdot 60 \cdot 0,44 - 60 \sin(26^\circ - 120^\circ)]0,015 = 21,0 + 1,7 = 22,7 \text{ В}. \end{aligned}$$

Потеря напряжения при протекании фазного тока I_{AB} составила 6 процентов от номинального напряжения ($\Delta U_{AB} = 0,06U_{\text{н}}$). Потеря

напряжения при протекании фазного тока I_{CB} также составит 6 процентов от номинального напряжения в соответствии со схемой рис. 26, т. е. выполняется равенство $\Delta U_{AB} = \Delta U_{CB}$.

Задача 14. Определить допустимую потерю напряжения в групповой линии, если осветительная установка питается от подстанции, на которой установлен силовой трансформатор мощностью $S_T = 1000 \text{ кВ} \cdot \text{А}$, коэффициент загрузки которого равен $\beta = 0,7$; питающая трехфазная четырехпроводная линия имеет длину $l = 30 \text{ м}$; активная мощность нагрузки $P = 80 \text{ кВт}$; $\cos \varphi_{\text{нагр}} = 0,95$; напряжение питающей сети $U = 380/220 \text{ В}$.

Решение

Вычисляем расчетное значение тока в питающей линии

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}U_{\text{л}} \cos \varphi} = \frac{80}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,95} = 127,944 \text{ А.}$$

Исходя из условия, что длительно допустимый ток, проходящий через проводник $I_{\text{дд}}$, должен превышать расчетное значение тока, т. е. $I_{\text{дд}} \geq I$, принимаем по табл. 12.2 справочника [14] или таблицам ПУЭ [19] ближайшее значение тока $I = 140 \text{ А}$ к расчетному току $I = 127,944 \text{ А}$ для четырехжильного кабеля АПВ-4 (4×70) с прокладкой в стальных трубах.

Определяем момент нагрузки в питающей линии

$$M = Pl = 80 \cdot 30 = 2400 \text{ кВт} \cdot \text{м.}$$

По известному сечению питающей линии и моменту нагрузки по табл. 12.11 справочника [14] определяем допустимую потерю напряжения в питающей линии

$$\Delta U_{\text{пит}} = 0,8 \text{ \%}.$$

По заданным значениям $S_T = 1000 \text{ кВ} \cdot \text{А}$; $\cos \varphi_{\text{нагр}} = 0,95$; $\beta = 0,7$ по табл. 12.6 справочника [14] определяем полную допустимую потерю напряжения от шин подстанции до самого удаленного светильника: $\Delta U_{\text{гр}} = \Delta U_{\text{доп}} - \Delta U_{\text{пит}} = 5,5 - 0,8 = 4,7 \text{ \%}$.

Задача 15. Определить реактивную мощность компенсирующего конденсатора Q_K для повышения коэффициента мощности осветительной установки до значения 0,95; ток автоматического выключателя I_a

на осветительном щитке; сечения (по току) фазовых S_ϕ и нулевого S_0 проводов групповой сети; ток линии I_Π осветительной сети общей мощностью $P = 18$ кВт, в том числе лампы накаливания $P_H = 3$ кВт, $\cos \varphi = 1$ и лампы ДРЛ мощностью $P_D = 15$ кВт (с учетом потерь в ПРА), $\cos \varphi = 0,5$, $\operatorname{tg} \varphi = 1,73$. Питание освещения осуществляет трехфазная четырехпроводная линия, выполненная кабелем АНРГ. Загрузка фаз равномерная. Фазное напряжение $U_\phi = 220$ В.

Решение

Реактивная Q_1 и полная S_1 мощности, а также ток групповой линии I_Π некомпенсированной осветительной сети равны

$$Q_1 = P_D \operatorname{tg} \varphi_1 = 15 \cdot 1,73 = 26 \text{ кВар};$$

$$S_1 = \sqrt{P^2 + Q_1^2} = \sqrt{18^2 + 26^2} = 31,6 \text{ кВ} \cdot \text{А};$$

$$I_\Pi = \frac{S_1}{\sqrt{3}U_\Pi} = \frac{31,6}{\sqrt{3} \cdot 0,22 \cdot \sqrt{3}} = 47,878 \text{ А}.$$

Коэффициент мощности некомпенсированной установки

$$\cos \varphi_1 = P/S_1 = 18/31,6 = 0,57.$$

Необходимая расчетная реактивная мощность конденсатора, установленного в начале групповой линии для повышения коэффициента мощности от значения исходного некомпенсированной установки, $\cos \varphi_1 = 0,57$, $\operatorname{tg} \varphi_1 = 1,43$ до заданного значения $\cos \varphi_2 = 0,95$, $\operatorname{tg} \varphi_2 = 0,33$

$$Q_K = P(\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2) = 18(1,43 - 0,33) = 19,8 \text{ кВар}.$$

По табл. 24 выбираем комплексную конденсаторную установку типа УКМ-70-04-30 с частичной мощностью $Q'_K = 20$ кВар при включении четырех ступеней регулирования. Тогда при исправленном коэффициенте мощности $\cos \varphi_2$ суммарная реактивная мощность электрической цепи после выключателя будет равна

$$Q_2 = Q_1 - Q'_K = 26 - 20 = 6 \text{ кВар}.$$

Полная мощность электрической цепи после выключателя

$$S_2 = \sqrt{P^2 + Q_2^2} = \sqrt{18^2 + 6^2} = 18,973 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Коэффициент мощности

$$\cos \varphi_2 = P/S_2 = 18/18,973 = 0,9487.$$

По таблицам ПУЭ [19] определяем, что кабелю типа АРНГ с алюминиевыми токоведущими жилами значению линейного тока $I_{л} = 48$ А соответствует сечение фазной токоведущей жилы $S_{\phi} = 16$ мм².

После подключения компенсирующих конденсаторов ток, протекающий через контакты выключателя, определится геометрической суммой тока ламп и реактивного тока конденсаторов. Ток автоматического выключателя в этом случае определяют по формуле

$$I_a = \frac{S_2 K_{п}}{\sqrt{3} U_{л}} = \frac{18,973 \cdot 1,4}{1,73 \cdot 0,38} = 40,405 \text{ А},$$

где $K_{п} = 1,4$ – коэффициент на пусковые токи [14, табл. 10.2].

По расчетному значению тока автоматического выключателя $I_a = 40,405$ А с учетом компенсации выбираем по стандартному ряду, в сторону увеличения, трехполюсный выключатель с номинальным током, равным 50 А, например типа ВА47-29М 3Р 50А.

Ввиду отсутствия компенсации реактивной мощности на участке «автоматический выключатель – лампы» увеличения сечения нулевой жилы S_0 до сечения фазной S_{ϕ} не требуется: в этом случае принимаем $S_0 = 10$ мм².

3.9. Системы управления освещением

В зависимости от сложности и назначения осветительной установки, а также оптимизации ее работы в части энергосбережения и энергоэффективности выбирают либо дискретное функциональное управление (отключение светильников полное или частичное), либо автоматическое (плавное изменение мощности осветительных устройств всей осветительной установки или индивидуальное по части светильников). Для простейших осветительных приборов обычно используют ручное управление при помощи выключателей, схемы управления с которыми показаны на рис. 27, а. При освещении длинных коридоров общественных зданий применяют двухстороннее управление с применением однополюсных переключателей на два положения

по схеме рис. 27, б. Схемы управления освещением с транзитной фазой и магнитным пускателем в трехфазной сети показаны на рис. 28.

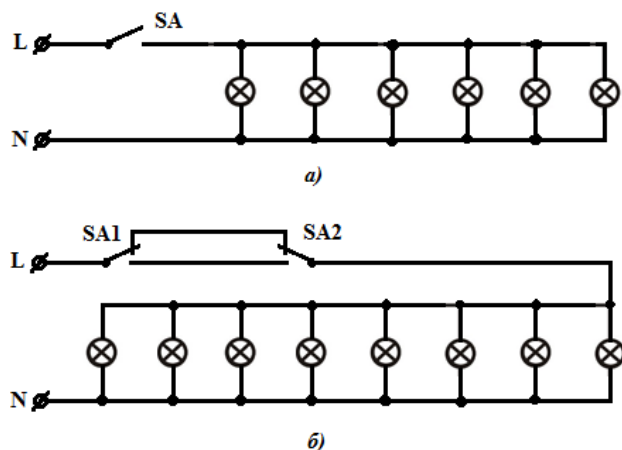


Рис. 27. Схемы управления освещением: а – помещением небольшой площади; б – коридорная для двух входов с однополюсными переключателями на два положения

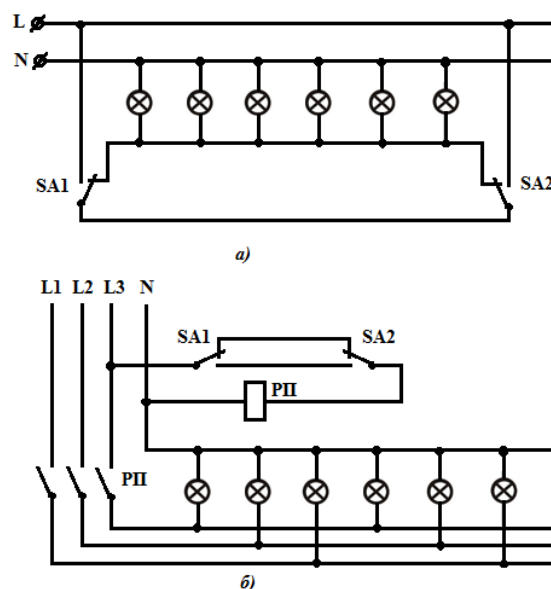


Рис. 28. Схемы управления освещением: а – с транзитной фазой; б – трехфазная сеть с магнитным пускателем

Управление освещением – это воздействие на управляющий элемент с целью включения либо выключения исполнительного устройства.

Управляющий элемент – это клавиша выключателя, кнопка, датчик движения, реле времени и другое, но на программном уровне: это может быть виртуальная кнопка на экране компьютера, планшета, телефона, сенсорной панели управления и т. д.

Исполнительное устройство – это в частном случае обычный светильник, люстра, бра, LED-лента. Одно или несколько устройств, объединенных в одну группу.

Системы управления освещением условно делят на две основные группы: локальные и централизованные. *Локальные системы* – это управление лишь одной группой светильников или управление освещением помещений, а *централизованные* – подключение большого числа автономно управляемых групп светильников микропроцессорными устройствами, которые обеспечивают возможность одновременного управления большим числом устройств.

Локальные системы управления освещением строят преимущественно на различных датчиках и таймерах, подключаемых непосредственно к источнику света или к нескольким устройствам, работой которых необходимо управлять. Такие приборы не требуют отдельных каналов связи, не интегрируются в общую систему, полностью могут использоваться для самостоятельной работы.

Для учебных классов, спортивных и актовых залов, конструкторских бюро, рабочих кабинетов поликлиник и других учреждений здравоохранения следует предусматривать отключение светильников: либо рядами, либо параллельно световым проемам, либо плавно, либо ступенчато; а также в зависимости от естественной освещенности.

Для освещения лестниц, холлов, коридоров общественных зданий следует организовывать автоматическое или дистанционное управление с дополнительным применением датчиков присутствия или движения, позволяющее сокращать освещенность неиспользуемых пространств в ночное время суток.

Датчики движения чаще устанавливаются для управления уличным освещением либо в домах для ночной подсветки. При обнаружении движения в секторе детектора датчика движения его контакты замыкают и подают питание на светильник. Когда движение прекращается, реле размыкается и светильник гаснет. По похожей схеме работают сумеречные реле и астротаймеры, только с той разницей, что управляющим элементом является реле. Возможны схемы с возможностью ручного управления, когда надо принудительно включить либо, наоборот, отключить освещение.

При применении программируемого логического контроллера (ПЛК), который по написанной программе обрабатывает сигналы со входов и передает полученный результат на выход ПЛК, датчики движения, астротаймеры и так далее удобно вписывать в общие сценарии управления освещением.

Еще один способ управления освещением – это диммирование. *Диммер* – это светорегулятор освещения, который регулирует яркость свечения. Диммеры бывают разных типов, они предназначены для регулирования яркости ламп накаливания (сейчас практически не применяются), LED-светильников и RGB-лент.

Автоматизированные системы управления освещением обеспечивают:

- поддержание освещения в помещении на запрограммированном уровне;
- учет естественного освещения внутри помещения;
- учет времени суток и определенного дня (отключение освещения в определенный период суток или в праздничные/выходные дни);
- реагирование на присутствие людей в помещении;
- дистанционное управление освещением.

Таким образом, системы управления освещением на объекте могут относиться к следующим классам:

- система управления освещением осветительного прибора;
- система управления освещением отдельного помещения;
- система управления освещением строения, территории, объекта.

При дистанционном управлении осветительной установкой или ее частью управление осуществляют по отдельной линии, параметры которой рассчитывают с учетом потери напряжения в линии (не более 15 %), значения пусковых токов исполнительных устройств (катушек реле, магнитных пускателей, контакторов) на переменном и постоянном токе, а также активного и индуктивного сопротивления катушек, которые могут быть сопоставимы с сопротивлениями линии.

Сечение токоведущих жил линии с малым индуктивным сопротивлением s , мм², определяют по формуле

$$s = \frac{2LI_{\text{п}}\rho \cdot 10^9}{U_{\text{н}}\sqrt{1,4 - \sin^2\varphi_{\text{п}} - \cos^2\varphi_{\text{п}}}},$$

где L – длина линии управления от пункта управления до исполнительного устройства, км;

$I_{\text{п}}$ – пусковой ток катушки управляемого аппарата, А;

ρ – удельное сопротивление проводника, Ом · м;

$U_{\text{н}}$ – номинальное напряжение сети управления, В;

$\varphi_{\text{п}}$ – угол сдвига фаз между $I_{\text{п}}$ и $U_{\text{н}}$.

В случае выполнения линии управления воздушной линией или электропроводкой на изоляторах на переменном токе потерю напряжения (в процентах) при номинальном токе $I_{\text{н}}$ определяют соотношением

$$\Delta U = 100 \left(1 - \frac{Z_{\text{к}}}{Z'} \right),$$

где $Z_{\text{к}} = U_{\text{н}}/I_{\text{н}}$ – полное сопротивление катушки, Ом;

Z' – полное сопротивление цепи с учетом сопротивления проводников и катушки, Ом;

$$Z' = \sqrt{(R_{\text{л}} + R_{\text{к}})^2 + (X_{\text{л}} + X_{\text{к}})^2},$$

где $R_{\text{л}} = \frac{2\rho L \cdot 10^9}{s},$

$$R_{\text{к}} = Z_{\text{к}} \cos \varphi_{\text{п}} = \frac{U_{\text{н}}}{I_{\text{н}}} \cos \varphi_{\text{п}},$$

$$X_{\text{л}} = 2xL,$$

$$R_{\text{к}} = Z_{\text{к}} \sin \varphi_{\text{п}} = \frac{U_{\text{н}}}{I_{\text{н}}} \sin \varphi_{\text{п}},$$

где x – погонное индуктивное сопротивление линии, Ом/км.

На постоянном токе для определения потери напряжения ΔU в линии управления по значению расчетного тока катушки $I_{\text{р}}$ используют формулу

$$\Delta U = \frac{0,85 I_{\text{р}} R_{\text{л}}}{U_{\text{н}}} 100 \text{ \%}.$$

Если в качестве линии управления используют телефонную линию со стандартным диаметром жилы 0,5 мм и погонным активным сопротивлением, равным 95 Ом/км, то формула расчета потери напряжения принимает вид

$$\Delta U = \frac{161,5 I_{\text{р}} L}{U_{\text{н}}} 100 \text{ \%}.$$

В настоящее время осуществляется переход от аналоговых систем управления освещением, основой которых является, как правило, контроллер, к которому с одной стороны подключены различные датчики, а с другой – исполнительные механизмы. Основное назначение таких устройств – эффективное управление энергопотреблением. Введение в эксплуатацию и настройка таких систем достаточно сложны, особенно если в систему входят несколько таких аналоговых контроллеров управления освещением. Указанные недостатки преодолены в **цифровых системах управления освещением**. Основное преимущество цифровых систем по сравнению с аналоговыми – это коммуникация, связь между отдельными устройствами, объединенными в систему.

В цифровых системах для связи не требуются отдельные провода, а для передачи информации можно использовать силовые кабели. Одна из последних разработок в области управления светотехническими устройствами – стандарт управления освещением *DALI (Digitally Addressable Lighting Interface)* – *цифровой адресуемый интерфейс освещения*.

На физическом уровне DALI представляет собой двухпроводную шину (рис. 29), которую благодаря высокой помехоустойчивости цифровых систем можно прокладывать вместе с силовыми линиями, в том числе внутри одного кабеля; например, можно использовать стандартный пятижильный кабель марки NYM в неметаллической оплетке. Шину DALI можно прокладывать обычным кабелем для электропроводки в составе одного четырех- или пятижильного кабеля вместе с силовой линией («фаза», «ноль», «защитный проводник», «DA+», «DA-»).

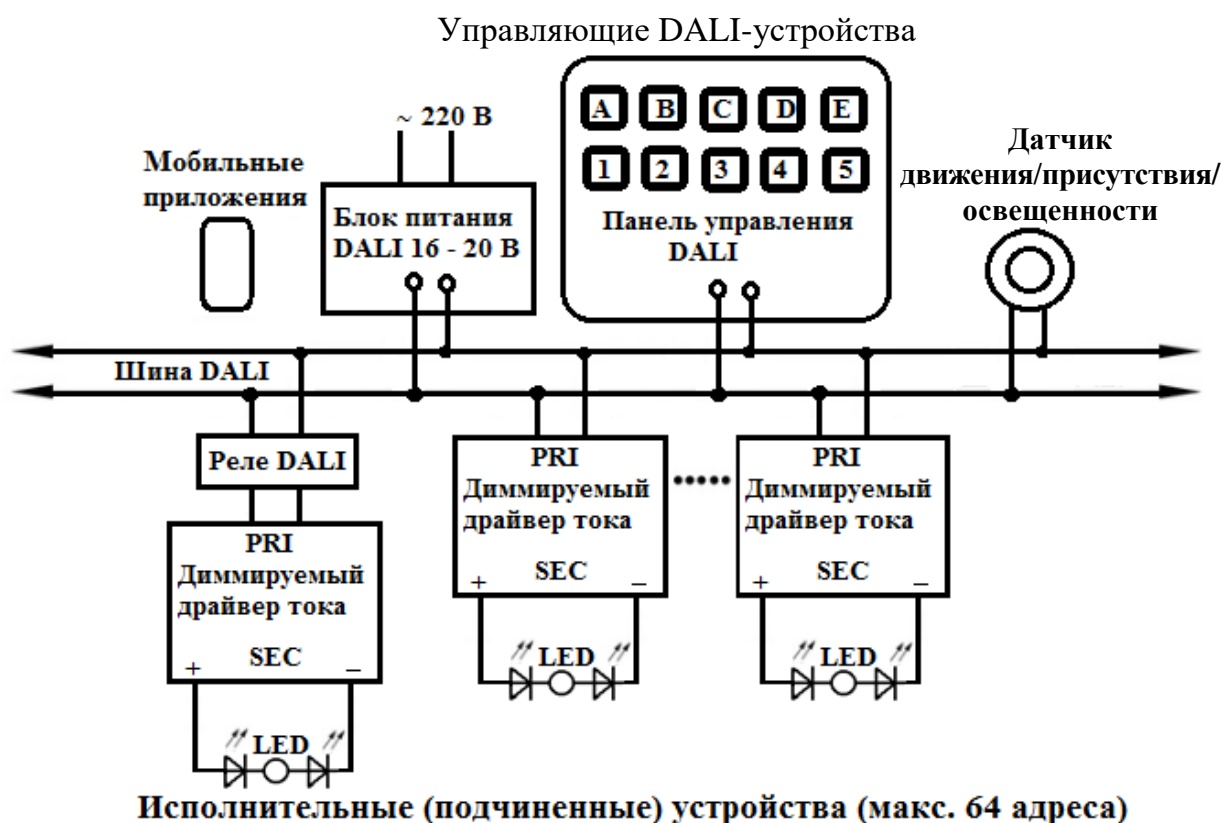


Рис. 29. Шина DALI

Рабочее напряжение шины лежит в диапазоне от 9,5 до 22,5 В (обычно 16 В), ток не должен превышать 250 мА. Шина DALI требует

подключения к источнику питания 16 В постоянного тока. При подключении устройств DALI нет необходимости соблюдать полярность. Допускается любая смешанная топология сети, за исключением кольцевой.

Скорость передачи данных по шине – 1200 бит/сек. Длина кабеля зависит от падения напряжения вдоль линии DALI, которое не должно превышать 2 В. Максимальная длина кабеля – 300 м при площади сечения 1,5 мм², 100 – 150 м при площади 0,75 мм², до 100 м при площади сечения 0,5 мм².

Стандарт DALI (рис. 30) предоставляет возможность индивидуальной адресации и настройки отдельных светильников на общей шине. Кроме того, устройства DALI могут быть запрограммированы для группового использования. Таким образом, обеспечивается превосходная гибкость управления системами освещения, которые могут конфигурироваться по установленной программе, не требуя проводных переключений. Используемые функции освещения в отдельных помещениях могут быть заархивированы в программах управления, чтобы можно было быстро настроить и оптимизировать освещение в другом помещении.

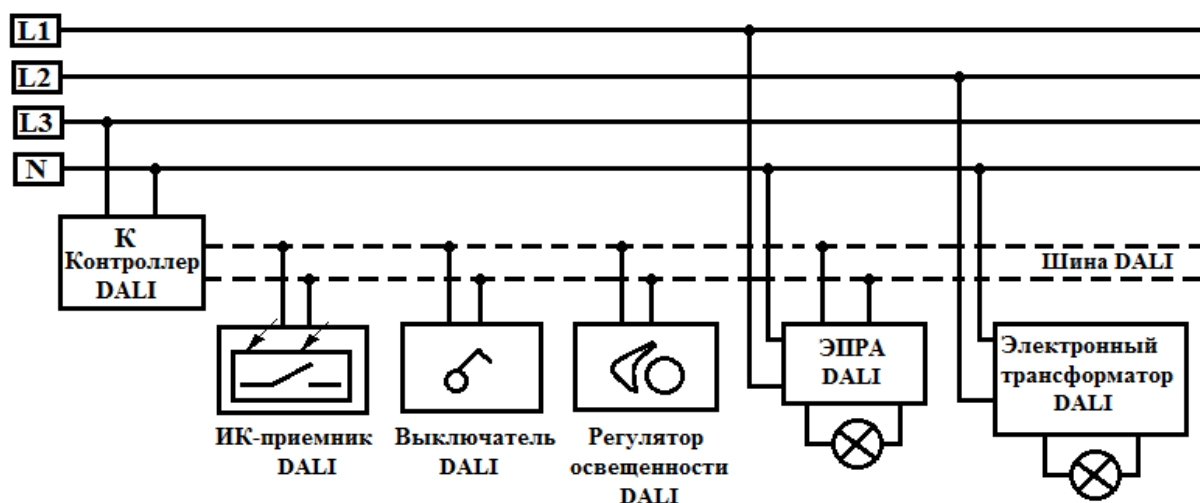


Рис. 30. Управление освещением по протоколу DALI

Система управления освещением DALI позволяет организовать глубокую разветвленную сеть автоматизации работы источников света практически любых масштабов, а также интегрироваться с помощью

различных шлюзов с системами, которые работают по другим протоколам, например KNX. Таким образом, этот протокол практически полностью удовлетворяет современным требованиям конечных потребителей, и его можно использовать как в «умном доме», так и в торговых центрах, выставочных залах и на предприятиях.

3.10. Измерение освещенности рабочих мест внутри зданий

Измерение освещенности при рабочем освещении внутри зданий следует проводить, в соответствии с положениями ГОСТ Р 55710-2013 и ГОСТ 24940-96, в темное время суток, когда отношение естественной освещенности к искусственной составляет не более 0,1. В начале и в конце измерений следует определить напряжение на щитках распределительных сетей освещения. Измерения освещенности следует проводить после стабилизации светового потока осветительной установки. Освещенность на рабочем месте определяют прямыми измерениями на рабочей поверхности, указанной в нормативных документах.

При измерении освещенности люксметром датчик должен располагаться на незатемненной неметаллической и немагнитной рабочей поверхности (горизонтальной, вертикальной, наклонной). При наличии комбинированного освещения рабочих мест сначала измеряют суммарную освещенность от светильников общего и местного освещения. Затем светильники местного освещения отключают и измеряют освещенность только от светильников общего освещения.

Контрольные точки измерения минимальной освещенности от рабочего и резервного освещения размещают в центре помещения под светильниками, между светильниками и их рядами, у стен на расстоянии от 0,15 до 0,25 расстояния между рядами светильников, но не более 1 м от стены. При измерении минимальной освещенности от эвакуационного освещения контрольные точки следует намечать на полу по пути эвакуации людей из помещения.

При измерении средней освещенности помещений контрольные точки размещают в центре квадратов, на которые разбивают план помещения. Количество контрольных точек зависит от индекса помещения и расчетной высоты установки светильников, минимальное количество контрольных точек приведено в табл. 26.

Минимальное количество контрольных точек измерения

| Индекс помещения | Количество точек измерения |
|------------------------|----------------------------|
| Менее 1 | 4 |
| От 1 до 2 включительно | 9 |
| От 2 до 3 включительно | 16 |
| Свыше 3 | 25 |

Минимальное количество точек измерения средней освещенности N в помещении прямоугольной формы определяют по формуле

$$N = N_1 \frac{S_{\text{п}}}{S_{\text{к}}},$$

где $S_{\text{п}}$ – площадь помещения, м²;

$S_{\text{к}}$ – площадь наибольшего квадрата, м²;

N_1 – число точек измерения в квадрате наибольшей площади в неквадратном помещении в соответствии с табл. 26.

Сетка контрольных точек на плане помещения не должна совпадать с сеткой размещения светильников. В случае совпадения сеток количество контрольных точек на плане помещения следует увеличить. При наличии в помещении крупногабаритного оборудования контрольные точки не должны располагаться на оборудовании. В противном случае сетку контрольных точек делают более частой и исключают точки, попадающие на оборудование.

Контрольные точки измерения цилиндрической освещенности (количеством не менее пяти) следует размещать равномерно по помещению под светильниками, между светильниками и на центральной продольной оси помещения на высоте 1,5 м над полом и на расстоянии не менее 1,0 м от стены.

При измерении минимальной освещенности в местах производства работ вне зданий контрольные точки (количеством не менее пяти) размещают на рабочих местах по пути движения работающих. На освещаемой площади, ограниченной опорами, контрольные точки выбирают в центрах между опорами. При охранном освещении контрольные точки располагают по периметру освещаемой территории (рис. 31, 32).

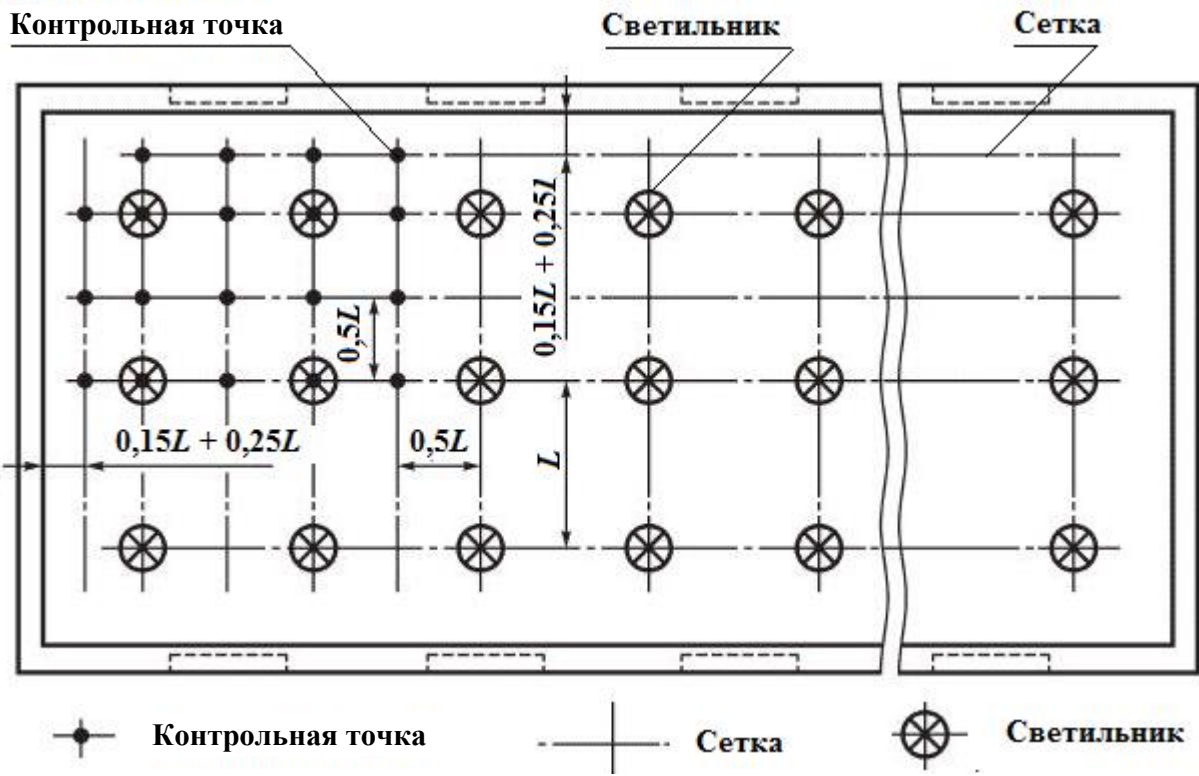


Рис. 31. Расположение контрольных точек при измерении минимальной освещенности помещения от светильников, принимаемых за точечные излучатели

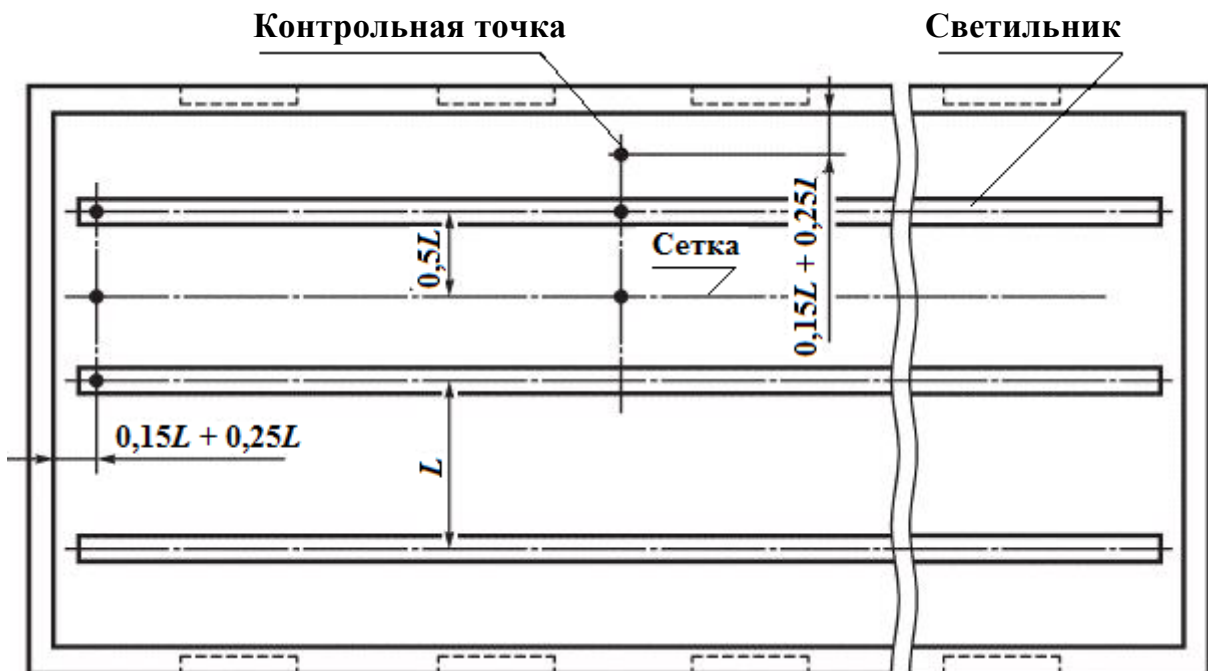


Рис. 32. Расположение контрольных точек при измерении минимальной освещенности помещения от светящей линии

Минимальную освещенность E_{\min} , лк, в помещениях и вне зданий определяют как минимальные измеренные значения освещенности из последовательности их значений в контрольных точках E_i , а среднюю $E_{\text{ср}}$, лк (в том числе среднюю освещенность улиц, дорог, площадей), – как среднеарифметическое значение по формулам соответственно

$$E_{\min} = \min\{E_i\},$$

$$E_{\text{ср}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N E_i,$$

где E_i – измеренные значения освещенности в контрольных точках, лк;

N – количество точек измерения.

Цилиндрическую освещенность $E_{\text{ц}}$, лк, в контрольной точке определяют как среднеарифметическое значение освещенностей, измеренных в четырех взаимно перпендикулярных вертикальных плоскостях по формуле

$$E_{\text{ц}} = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^{i=4} E_{\text{Ви}},$$

где $E_{\text{Ви}}$ – измеренные значения освещенности во взаимно перпендикулярных вертикальных плоскостях, лк.

При отклонении напряжения сети от номинального значения более чем на 5 % фактическое значение освещенности $E_{\text{ф}}$, лк, определяют по формуле

$$E_{\text{ф}} = E \frac{U_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}} - K(U_{\text{ном}} - U_{\text{ср}})},$$

где E – минимальная средняя цилиндрическая освещенности, лк;

$U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение сети, В;

$K = 0$ – для светодиодов с импульсными блоками питания;

$K = 1$ – для люминесцентных ламп при использовании емкостного балластного сопротивления и электронных пускорегулирующих аппаратов;

$K = 2$ – для люминесцентных ламп при использовании индуктивного балластного сопротивления и дуговых ртутных ламп (ДРЛ);

$K = 3$ – для металлогалогенных ламп (МГЛ), дуговых ртутных ламп с излучающими добавками (ДРИ), натриевых ламп высокого давления (ДНаТ);

$K = 4$ – для ламп накаливания и светодиодов с мостовыми схемами включения.

При измерении вертикальной освещенности окон зданий контрольные точки размещают на внешней поверхности окна в количестве не менее пяти для каждого измеряемого окна. Пример расположения контрольных точек приведен на рис. 33.

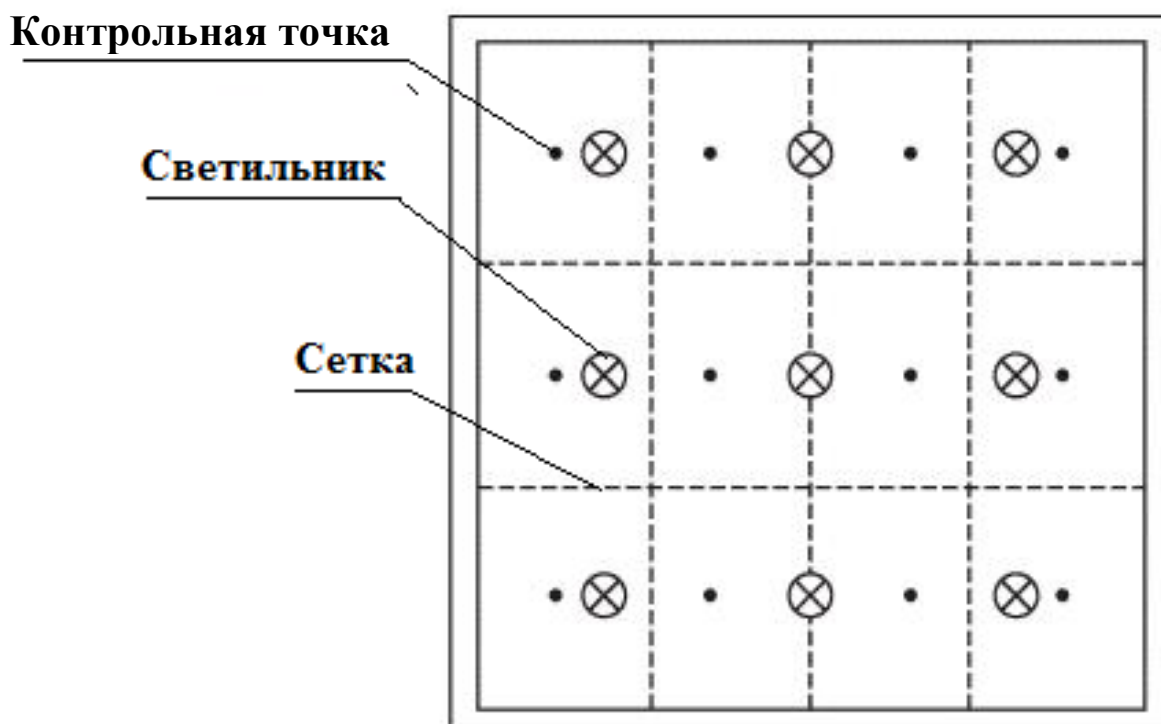


Рис. 33. Расположение контрольных точек при измерении средней освещенности в помещении

Измерение вертикальной освещенности на окнах зданий при за- светке (рис. 34) всеми видами установок наружного освещения про- водят люксметром, измерительную головку которого размещают вертикально с внешней стороны окна на остеклении или импостах окна при отключенном на время проведения измерений искусствен- ном освещении.

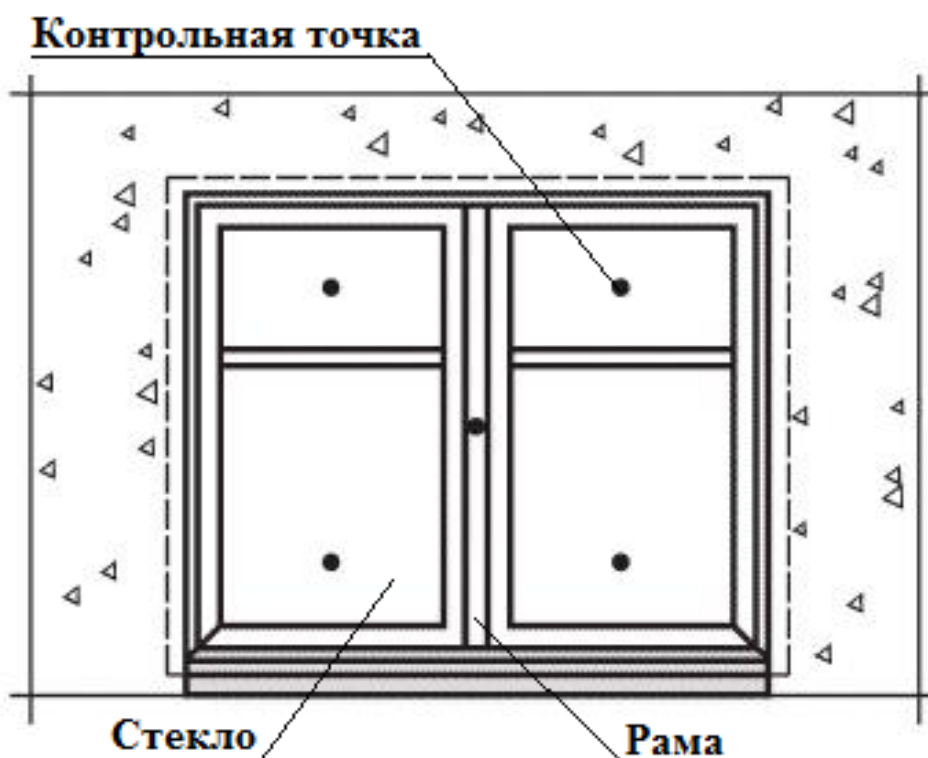


Рис. 34. Расположение контрольных точек на внешней поверхности окна при измерении вертикальной освещенности (уровня засветки окон)

Оценку результатов измерений искусственной освещенности про- изводственных помещений и общественных зданий следует проводить в соответствии с табл. 27.

Результаты измерений искусственной освещенности

| Вид контроля | Соотношение между измеренными и нормируемыми значениями освещенности | | | Оценка результатов измерений |
|--|--|------------------------------------|--------------------|------------------------------|
| | Система общего освещения | Система комбинированного освещения | | |
| | | Общее | Общее плюс местное | |
| Приемка осветительной установки в эксплуатацию | $E \geq 0,9K_3E_n$ | $E \geq 0,9K_3E_{но}$ | $E \geq E_n$ | Соответствует нормам |
| | $E < 0,9K_3E_n$ | $E < 0,9K_3E_{но}$ | $E < E_n$ | Не соответствует нормам |
| Инспекторский контроль | $E \geq E_n$ | $E \geq E_{но}$ | $E \geq E_n$ | Соответствует нормам |
| | $E < E_n$ | $E < E_{но}$ | $E < E_n$ | Не соответствует нормам |

Примечания

- E_n – нормируемая освещенность (минимальная, средняя, цилиндрическая);
 $E_{но}$ – нормируемая освещенность от общего освещения в системе комбинированного освещения;
 K_3 – коэффициент запаса.

Контрольные вопросы

1. Различие между локальными и централизованными системами управления освещением.
2. Простейшие схемы управления осветительными установками.
3. Структура автоматизированной системы управления освещением.
4. Дистанционное управление осветительной установкой.
5. Потеря напряжения в линиях дистанционного управления осветительными установками.
6. Цифровые системы управления освещением. Стандарт DALI.
7. Выбор мест расположения контрольных точек при измерении освещенности при рабочем освещении.
8. Выбор мест расположения контрольных точек при измерении освещенности при аварийном и эвакуационном освещении.
9. Выбор мест расположения контрольных точек при измерении цилиндрической освещенности.

10. Выбор мест расположения контрольных точек при измерении освещенности рабочих мест вне зданий.

11. Определение значений средней и цилиндрической освещенности по результатам измерений.

12. Условия измерения фактического значения освещенности.

13. Условия измерения вертикальной освещенности.

14. Оценка результатов измерения освещенности.

15. Условия измерения минимальной и средней освещенности.

16. Назначение контроллера в системе управления освещением DALI.

3.11. Основные требования к содержанию технического проекта осветительной установки внутреннего освещения

В состав технического проекта осветительной установки внутреннего освещения необходимо включить следующие материалы:

1) пояснительную записку с подробными расчетами и необходимыми комментариями по светотехническому и электротехническому расчетам;

2) таблицы с основными светотехническими и электротехническими показателями;

3) план-схему внутренней питающей сети.

В таблицах основных технических показателей должны содержаться следующие графы:

- наименование объекта;
- освещаемая площадь, м²;
- преимущественная (нормируемая) освещенность участков объекта, лк;

- расчетная освещенность участков объекта, лк;
- преимущественный тип осветительных приборов общего освещения;

- удельная мощность общего освещения, Вт/м²;

- количество светоточек;

- преимущественный вид проводки групповой сети.

План-схему внутренней питающей сети необходимо выполнить в соответствии с требованиями ЕСКД с использованием условных обозначений и надписей для светотехнических проектов по ГОСТ 21.608-2014

«Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации внутреннего электрического освещения».

В качестве примера на рис. 35 приведена план-схема осветительной сети учебной лаборатории. Показано расположение магистральных (РП) и групповых (ЩО) щитков. Указаны марка провода и его длина. Управление светильниками осуществляется как с щитка (ЩО3) так и многоклавишными выключателями. В каждом помещении отмечены нормативная освещенность, количество светильников и их тип.

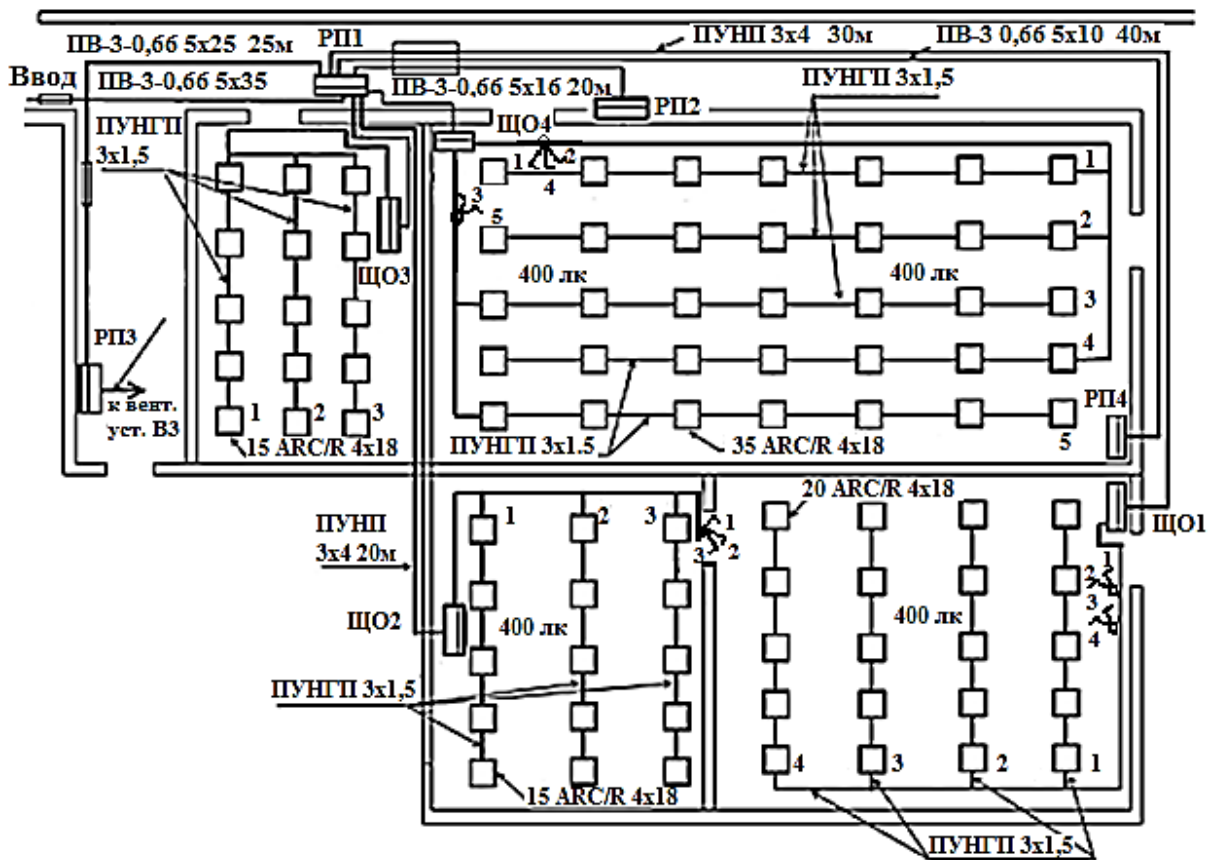


Рис. 35. План-схема осветительной сети учебной лаборатории

План-схему наружной питающей сети необходимо выполнить в соответствии с требованиями ЕСКД с использованием условных обозначений и надписей для светотехнических проектов по ГОСТ 21.607-2014 «Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации наружного электрического освещения».

ГЛАВА 4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

4.1. Светотехническая часть. Нормы наружного освещения

При проектировании осветительных установок НО промышленных предприятий ОП рассматривают как точечные источники света и рассчитывают только прямую составляющую освещенности без учета затеняющих объектов. Расчетные поверхности дорог на рассматриваемом участке (территории) принимают горизонтальными, прямолинейными, с однородными отражающими свойствами, а коэффициент эксплуатации MF принимают равным 0,67 при условии, что ОП чистят не менее двух раз в год.

Нормы освещенности в установках НО в зависимости от назначения регламентируют стандарты ГОСТ 55706-2013, ГОСТ 55708-2013 и др.

Основная задача НО промышленных предприятий – обеспечение безопасности движения по территории предприятия механизированного транспорта и пешеходов в темное время суток. Установки стандартного НО должны создавать необходимые условия зрительной работы водителей механизированного транспорта и пешеходов, обеспечивающие своевременное обнаружение препятствий. При этом водитель механизированного транспорта должен иметь возможность обнаружить препятствие на пути движения машин с расстояния в несколько десятков метров, а пешеход – различить неровности тротуара и мостовой, увидеть ограждения и распознать встречных людей с расстояния в несколько метров.

Яркость дорожного покрытия – фотометрическая характеристика, определяющая уровень видимости объектов. Для усовершенствованных дорожных покрытий (например, асфальт, бетон) она в значительной мере зависит от углов падения света, состояния поверхности и других факторов. В связи с этим понятия яркости и освещенности покрытия не связаны прямой зависимостью, что не позволяет осуществлять прямое нормирование. Однако в случае простейших покрытий (например, грунт, щебень), имеющих диффузионный характер отражения, может быть применен метод нормирования по освещенности.

Проезжие части магистралей промышленных предприятий, в частности, являются продолжением улиц населенных пунктов, поэтому их наружное освещение проектируют исходя из условия обеспечения средней яркости дорожного покрытия. Категории и классы по освещению объектов улично-дорожной сети, предназначенных для движения транспорта, приведены в табл. 28, а нормы освещения проезжей части в зависимости от категории и класса объектов улично-дорожной сети – в табл. 29 и 30. Значения средней освещенности \bar{E}_h и ее равномерности U_0 на дорожном покрытии улиц, дорог, проездов и площадей сельских поселений, на подъездах к местам заправки транспорта, а также на открытых автостоянках приведены в табл. 31.

Таблица 28

Категории и классы по освещению объектов улично-дорожной сети, предназначенных для движения транспорта

| Категория объекта по освещению | | Класс объекта по освещению | Основное назначение объекта | Транспортная характеристика | Расчетная скорость движения, км/ч | Число полос движения | Пропускная способность, тыс. ед/ч |
|--------------------------------|----------------------------|----------------------------|---|---|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|
| А | За пределами центра города | А1 | Автомагистрали, федеральные и транзитные трассы, основные магистрали города | Все виды транспорта, движение непрерывное, пересечения в разных уровнях | 100 | 6 – 8 | Свыше 10 |
| | | А2 | Прочие федеральные дороги и основные улицы | Все виды транспорта, движение непрерывное и регулируемое, пересечение с магистралями в одном или разных уровнях | 80 – 100 | 6 – 8 | 7 – 9 |
| | | | | | | | |

Продолжение табл. 28

| Категория объекта по освещению | | Класс объекта по освещению | Основное назначение объекта | Транспортная характеристика | Расчетная скорость движения, км/ч | Число полос движения | Пропускная способность, тыс. ед/ч |
|--------------------------------|----------------------------|----------------------------|---|---|--|----------------------|-----------------------------------|
| А | В центре города | А3 | Центральные магистрали, связующие улицы с выходом на магистрали класса А1 | Все виды транспорта, кроме грузового, не связанного с обслуживанием центра. Интенсивное пешеходное движение, движение регулируемое, пересечение с магистралями в одном уровне | 90 | 6 – 8 | 4 – 7 |
| | | А4 | Основные исторические проезды центра, внутренние транспортные связи центра города | Все виды транспорта, кроме грузового. Интенсивное пешеходное движение, движение регулируемое | 80 | 4 – 6 | 3 – 5 |
| Б | За пределами центра города | Б1 | Основные дороги и улицы города районного значения | Основные дороги и улицы города районного значения | Все виды транспорта, движение регулируемое, пересечения в одном уровне | 60 – 70 | 4 – 6 |
| | | | | | | | |

| Категория объекта по освещению | | Класс объекта по освещению | Основное назначение объекта | Транспортная характеристика | Расчетная скорость движения, км/ч | Число полос движения | Пропускная способность, тыс. ед/ч |
|-------------------------------------|--|----------------------------|--|---|---|----------------------|-----------------------------------|
| | В центре города | Б2 | | | Все виды транспорта, кроме грузового, не связанного с обслуживанием центра, движение регулируемое | 60 | 3 – 6 |
| В Улицы местного значения | Жилая застройка за пределами центра города | В1 | Транспортные и пешеходные связи в пределах жилых районов и выход на магистрали, кроме улиц с непрерывным движением | Легковой, специальный и обслуживающий грузовой транспорт, иногда общественный пассажирский, движение регулируемое, пересечения в одном уровне | 60 | 2 – 4 | 1,5 – 3,0 |
| | Жилая застройка в центре города | В2 | Транспортные и пешеходные связи в жилых микрорайонах, выход на магистрали | Легковой, специальный и обслуживающий грузовой транспорт, движение регулируемое, пересечения в одном уровне | 60 | 2 – 4 | 1,5 – 3,0 |
| | В городских промышленных зонах | В3 | Транспортные связи в пределах производственных и коммунально-складских зон | Все виды транспорта, движение регулируемое, пересечения в одном уровне | 60 | 2 – 4 | 0,5 – 2,0 |

**Классы по освещению пешеходных пространств и нормы
освещения пешеходных пространств**

| Класс объекта по освещению | Характеристика объекта | \bar{E}_h , лк (не менее) | U_h (не менее) |
|----------------------------|---|--------------------------------|---------------------|
| П1 | Площадки перед входами культурно-массовых, спортивных, развлекательных и торговых объектов | 20 | 0,3 |
| П2 | Главные пешеходные улицы исторической части города и основных общественных центров административных округов, непроезжие и предзаводские площади, площадки посадочные, детские и для отдыха | 10 | 0,3 |
| П3 | Пешеходные улицы; главные и вспомогательные входы городских парков, санаториев, выставок и стадионов | 6 | 0,2 |
| П4 | Тротуары, отделенные от проезжей части дорог и улиц; основные проезды микрорайонов, подъезды, подходы и центральные аллеи детских, учебных и лечебно-оздоровительных учреждений | 4 | 0,2 |
| П5 | Второстепенные проезды и проходы на территориях микрорайонов, хозяйственные площадки на территориях микрорайонов, боковые аллеи и вспомогательные входы общегородских парков, центральные аллеи парков административных округов | 2 | 0,1 |
| П6 | Боковые аллеи и вспомогательные входы парков административных округов | 1 | 0,1 |

Таблица 30

Нормы освещения проезжей части в зависимости от категории и класса объектов улично-дорожной сети для городских поселений

| Категория объекта | Класс объекта по освещению | Средняя яркость, \bar{L} , кд/м ² (не менее) | U_0 (не менее) | U_1 (не менее) | TI , % (не более) | \bar{E}_h , лк (не менее) | U_h (не менее) |
|-------------------|----------------------------|---|------------------|------------------|---------------------|-----------------------------|------------------|
| А | А1 | 2,0 | 0,40 | 0,7 | 10 | 30 | 0,35 |
| | А2 | 1,6 | | | | 20 | |
| | А3 | 1,4 | | | | | |
| | А4 | 1,2 | | | | | |
| Б | Б1 | 1,0 | | 0,6 | 15 | 15 | 0,25 |
| | Б2 | 1,0 | | | | | |
| В | В1 | 0,8 | | 0,5 | | 15 | |
| | В2 | 0,6 | | 0,35 | 0,4 | | 6 |
| | В3 | 0,4 | | | | | |

Таблица 31

Значения средней освещенности \bar{E}_h и ее равномерности U_1 на дорожном покрытии улиц, дорог, проездов и площадей сельских поселений и на подъездах к местам заправки транспорта, а также на открытых автостоянках

| Освещаемые объекты | \bar{E}_h , лк (не менее) | U_1 (не менее) |
|---|-----------------------------|------------------|
| Главные улицы, площади общественных и торговых центров | 10 | 0,25 |
| Улицы в жилой застройке: | – | – |
| – основные; | 6 | – |
| – второстепенные (переулки) | 4 | – |
| Поселковые дороги, проезды на территории садовых товариществ и дачных кооперативов | 2 | 0,10 |
| Подъездные пути к местам заправки транспорта с улиц и дорог: | | |
| – категорий А и Б; | 15 | – |
| – категории В | 10 | – |
| Места заправки и слива нефтепродуктов | 20 | – |
| Остальная территория, имеющая проезжую часть | 10 | – |
| Открытые стоянки на улицах всех категорий, а также платные вне улиц, открытые стоянки в микрорайонах, проезды между рядами гаражей боксового типа | 6 | – |

Для обозначения зоны пешеходного перехода применяют источники света с цветностью, контрастной по отношению к цветности источников света основного освещения улицы, что позволяет обеспечивать пешеходам безопасное пересечение проезжей части и возможность видеть препятствия и дефекты дорожного покрытия. На пешеходных переходах, находящихся на одном уровне с проезжей частью улиц и дорог категорий А и Б, норма средней освещенности \bar{E}_h должна быть в 1,5 раза выше, чем на пересекаемой проезжей части, что достигается уменьшением шага опор, установкой дополнительных или более мощных осветительных приборов. При размещении ОП их ориентация относительно наземного пешеходного перехода и светораспределение должны обеспечивать контраст пешехода с фоном (проезжей частью) и не вызывать ослепления водителей, что достигается применением светильников с асимметричным светораспределением (кососветы) и размещением ОП перед переходом по отношению к приближающемуся транспорту. При этом свет должен быть направлен на пешехода со стороны водителя с учетом полос и направления движения.

Отметим, что нормы средней горизонтальной освещенности (см. табл. 29) утверждены только для населенных пунктов Заполярья, поэтому данные по расчету средней освещенности справедливы для центрального региона России только с октября по апрель (период сохранения снежного покрова).

Яркость дорожного покрытия L_k , кд/м², в направлении наблюдателя от единичного круглосимметричного осветительного прибора в заданной расчетной точке P определяют по формуле

$$L_k = \frac{I_\gamma \Phi MF \cdot 10^{-4}}{H^2},$$

где I_γ – сила света в направлении расчетной точки (определяют по типу КСС светового прибора в зависимости от значения меридионального угла γ), кд;

Φ – световой поток осветительного прибора, лм;

MF – коэффициент эксплуатации, который принимают равным 0,67 по условиям количества чисток светильников или равным единице при вычислении средней яркости расчетного поля;

H – высота светового центра ОП над дорогой, м.

Геометрические размеры расчетного поля яркости и расположение расчетных точек на расчетном поле определяют в зависимости от транспортной характеристики дороги и расположения осветительных приборов в соответствии с ГОСТ 55707-2013. Пример расположения расчетных точек при определении яркости дорожного покрытия двухполосной дороги с односторонним движением и шахматным расположением осветительных приборов показан на рис. 36.

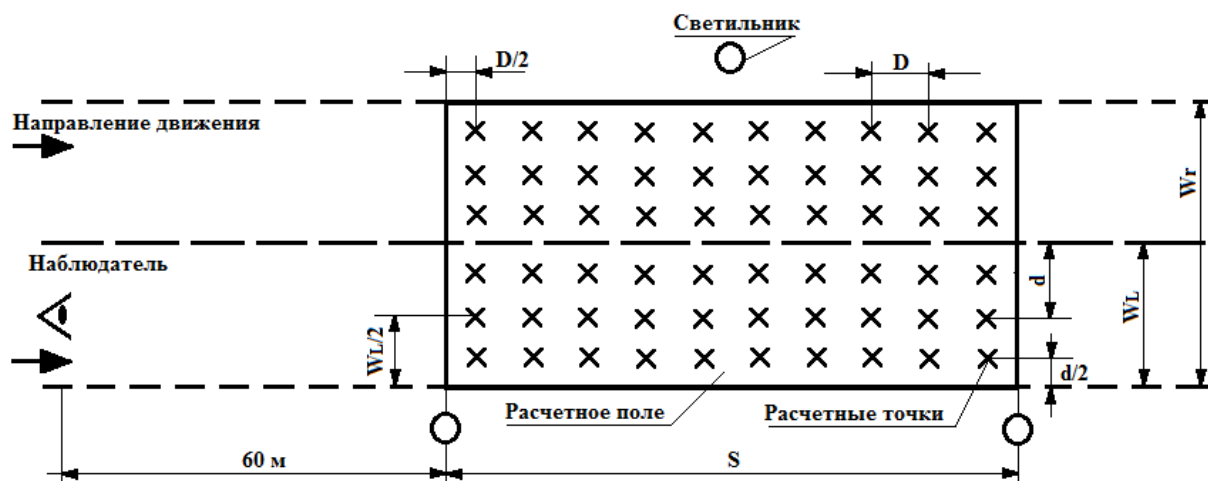


Рис. 36. Пример расположения расчетных точек в расчетном поле при определении яркости дорожного покрытия двухполосной дороги с односторонним движением

Наблюдатель при определении яркости дорожного покрытия находится на расстоянии 60 м от ближней поперечной (по ходу движения) границы расчетного поля. При этом высоту расположения глаз наблюдателя принимают равной 1,5 м над уровнем дорожного покрытия.

Шаг расчетных точек в продольном направлении расчетного поля зависит от расстояния между опорами и числа расчетных точек

$$D = \frac{S}{N},$$

где S – расстояние между светильниками, м;

N – число расчетных точек в ряду в продольном направлении расчетного поля.

Если расстояние между светильниками (опорами) менее 30 м, то число расчетных точек в продольном ряду равно десяти ($N = 10$),

а в случае $S > 30$ м значение N принимают за наименьшее целое число, при котором $S/N \leq 3$ м.

Крайние ряды расчетных точек отстоят от поперечных границ расчетного поля на расстоянии $D/2$.

Шаг расчетных точек в поперечном направлении d , м,

$$d = \frac{W_L}{3}.$$

Крайние продольные ряды расчетных точек отстоят от продольных границ расчетного поля на расстоянии $d/2$.

Суммарную яркость L_P , кд/м², в расчетной точке P дорожного покрытия в направлении наблюдателя от ОП числом m , включаемую в расчет по значению предельного угла γ , определяют по формуле

$$L_P = \sum_{k=1}^m L_k,$$

где L_k – яркость в точке P от k -го ОП;

m – число осветительных приборов, включаемых в расчет по значению предельного угла γ .

Среднюю яркость \bar{L} , кд/м², в направлении наблюдателя, находящегося в заданной точке (заданной полосе движения), определяют как среднее арифметическое значений яркости в точках расчетного поля

$$\bar{L} = \frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^{N_0} L_{pi},$$

где L_{pi} – яркость в i -й расчетной точке, кд/м²;

N_0 – общее число расчетных точек расчетного поля.

Общую равномерность яркости U_0 , кд/м², и продольную равномерность яркости U_1 , кд/м², в направлении наблюдателя, находящегося на заданной полосе движения, определяют по формулам

$$U_0 = \frac{L_{\min}}{\bar{L}},$$

$$U_1 = \frac{L_{\min}}{L_{\max}},$$

где L_{\min} и L_{\max} – наименьшее и наибольшее значения яркости среди точек расчетного поля, лежащих на центральной линии этой полосы движения, кд/м², соответственно.

Расчет средней яркости дорожного покрытия при использовании некруглосимметричных светильников выполняют по методу коэффициента использования светильника по яркости, значения которого приведены в СН 541-82 (ВСН 22-75), а для устаревших типов светильников – в РКУ-400 и др. Для светильников, однотипных с ЖКУ 01-400-002, можно использовать в практических расчетах данные справочника [8], которые при установке продольной оси некруглосимметричного светильника под углом φ к горизонту имеют значения, показанные в табл. 29 (для гладкого мелкозернистого асфальтобетонного покрытия).

Отметим, что при освещении больших площадей и транспортных развязок на нескольких уровнях осветительные приборы, установленные на опорах высотой 20 м и более, должны обеспечивать направление максимума силы света под углом не более 65° от вертикали. Сила света под углами 80°, 85°, 90° в рабочем положении ОП не должна превышать соответственно 50, 30 и 10 кд на 1 клм светового потока ОП. Высота расположения ОП над дорожным покрытием проезжей части верхнего уровня транспортного пересечения должна быть не менее 10 м.

Для участков улиц, дорог и площадей со стандартной геометрией и асфальтобетонным покрытием нормируют среднюю яркость дорожного покрытия \bar{L} , общую U_0 и продольную U_1 равномерности яркости и пороговое приращение яркости TI .

Нормы средней освещенности \bar{E}_h на дорожном покрытии, ее равномерности U_h и предельного значения силы света ОП $I_{\text{пред}}$ в зоне слепимости применяют при проектировании освещения улиц, дорог и площадей на участках с нестандартной геометрией, с покрытием, отличным от асфальтобетонного (брусчатка, бетонные плиты и другие материалы) и в поселениях, расположенных в северной климатической зоне азиатской части России и севернее 66° с. ш. европейской части России.

Значение средней освещенности \bar{E}_h на покрытии тротуара, примыкающего к проезжей части улицы или дороги, должно быть не менее половины средней освещенности на покрытии ближайшей к тротуару полосы движения, а осветительные приборы, установленные на

территориях автозаправочных станций и автостоянок, прилегающих к улицам и дорогам, должны иметь силу света \bar{E}_h в направлении глаза водителя транспортного средства не более 30 кд на 1 клм светового потока ОП.

Для магистралей категорий А и Б (см. табл. 30) регламентируемый показатель ослепленности ОУ не должен превышать 150. Для ОУ улиц и дорог категории В, а также для ОУ, нормируемых по средней освещенности, минимальную высоту расположения ОП определяют исходя из показателя ослепленности.

Значения коэффициентов использования по освещенности и яркости для ОП типа ЖКУ 01-400-002 приведены в табл. 32.

Таблица 32

Значения коэффициентов использования по освещенности и яркости для ОП типа ЖКУ 01-400-002

| φ, град. | β, град. | Значения U_E и U_L при отношении ширины расчетной полосы к высоте установки осветительного прибора b/h | | | | | | |
|---|----------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 4,0 |
| Значения коэффициента использования по освещенности U_E | | | | | | | | |
| 0 | 0; 180 | 0,21 | 0,31 | 0,35 | 0,36 | 0,37 | 0,37 | 0,38 |
| 10 | 0 | 0,22 | 0,34 | 0,39 | 0,41 | 0,43 | 0,43 | 0,44 |
| 10 | 180 | 0,16 | 0,22 | 0,25 | 0,26 | 0,26 | 0,27 | 0,27 |
| 20 | 0 | 0,20 | 0,34 | 0,40 | 0,44 | 0,45 | 0,46 | 0,46 |
| 20 | 180 | 0,15 | 0,19 | 0,20 | 0,21 | 0,21 | 0,21 | 0,21 |
| 30 | 0 | 0,16 | 0,27 | 0,39 | 0,43 | 0,46 | 0,47 | 0,48 |
| 30 | 180 | 0,09 | 0,12 | 0,14 | 0,15 | 0,15 | 0,16 | 0,10 |
| Значения коэффициента использования по яркости U_L | | | | | | | | |
| 0 | 0; 180 | 0,050 | 0,069 | 0,076 | 0,079 | 0,081 | 0,082 | 0,082 |
| 10 | 0 | 0,049 | 0,072 | 0,081 | 0,085 | 0,087 | 0,088 | 0,088 |
| 10 | 180 | 0,038 | 0,052 | 0,056 | 0,057 | 0,058 | — | — |
| 20 | 0 | 0,046 | 0,070 | 0,083 | 0,087 | 0,090 | 0,092 | 0,092 |
| 20 | 180 | 0,032 | 0,040 | 0,046 | 0,048 | — | — | — |
| 30 | 0 | 0,040 | 0,067 | 0,079 | 0,085 | 0,089 | 0,090 | 0,090 |
| 30 | 180 | 0,024 | 0,029 | 0,030 | — | — | — | — |

4.2. Расчет параметров освещенности дорожного покрытия и пешеходной зоны

Расчетные значения нормируемых параметров \bar{E}_h , U_h , \bar{E}_{ic} и $E_{ic.min}$, $E_{ic.max}$ определяют по значениям освещенности в точках расчетного поля от ближних осветительных приборов в зависимости от

значения коэффициента эксплуатации MF . Шаг расчетных точек на расчетном поле в продольном направлении выбирают так же, как и при определении яркости дорожного покрытия, а в поперечном направлении – по формуле

$$d = \frac{W_r}{n}$$

при условии, что если ширина проезжей части дороги $W_r \leq 4,5$ м, то $n = 3$, а если $W_r > 4,5$ м, то значение n выбирают как наименьшее целое число, при котором $W_r/n \leq 1,5$ м.

Для участка дороги непрямоугольной формы (развилка дорог) разметку расчетных точек выполняют наложением прямоугольной сетки расчетных точек на весь непрямоугольный участок дороги.

Значение освещенности E_h в расчетной точке от единичного светильника определяют как E_{hk} по формуле

$$E_{hk} = \frac{I \cos^3 \varepsilon \Phi MF}{H^2},$$

где ε – угол падения света, град.;

I – сила света в направлении расчетной точки (определяется по типу КСС светового прибора);

Φ – световой поток осветительного прибора, лм;

MF – коэффициент эксплуатации (величина, обратная коэффициенту запаса);

H – высота светового центра ОП над дорогой, м.

Значение суммарной освещенности E_p в расчетной точке P от ближних светильников числом m равно

$$E_{hp} = \sum_{k=1}^m E_{hk}.$$

Среднее значение освещенности на дорожном покрытии \bar{E}_h определяют как среднее арифметическое значений освещенности \bar{E}_{hi} в i -точках общим числом N_0 расчетного поля согласно формуле

$$\bar{E}_h = \frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^{N_0} E_{hi},$$

где $E_{hi} = \frac{I \cos^3 \epsilon \Phi MF}{H^2}$.

Равномерность освещенности на дорожном покрытии определяют по соотношению

$$U_h = \frac{E_{h \min}}{E_h},$$

где $E_{h \min}$ – минимальная освещенность среди всех точек расчетного поля.

4.3. Выбор, расположение и способ установки светильников

В установках наружного освещения при средней яркости покрытия значением $0,4 \text{ кд/м}^2$ и выше и средней освещенности 4 лк и выше следует преимущественно применять светодиодные светильники или светильники с газоразрядными источниками с полушироким или широким светораспределением. Не допускается применение прожекторов, а также открытых ламп без осветительной арматуры. Схемы расположения светильников (фонарей) на магистралях промышленных предприятий должны соответствовать приведенным на рис. 37.

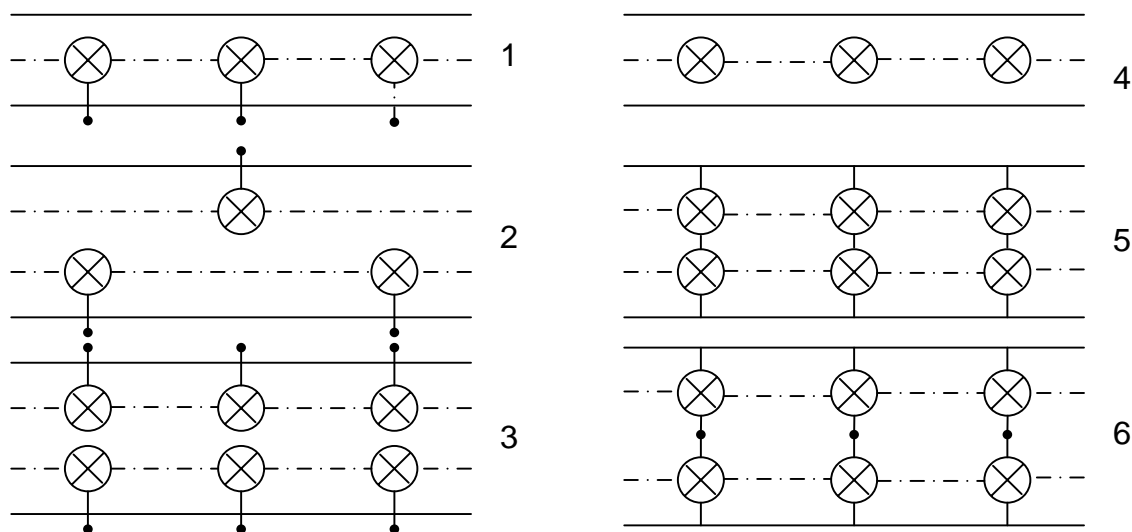


Рис. 37. Схема светильников в ОУ улиц и дорог: 1 – односторонняя; 2 – двухрядная в шахматном порядке; 3 – двухрядная прямоугольная; 4 – осевая; 5 – двухрядная прямоугольная по осям движения; 6 – двухрядная прямоугольная по оси улицы

На закруглениях улиц с радиусом кривых в плане по оси проезжей части $60 - 125$ м светильники при их одностороннем расположении должны размещаться по внешней стороне улицы в соответствии с рис. 38, а, освещение пересечений на одном уровне следует осуществлять в соответствии с рис. 38, б, в.

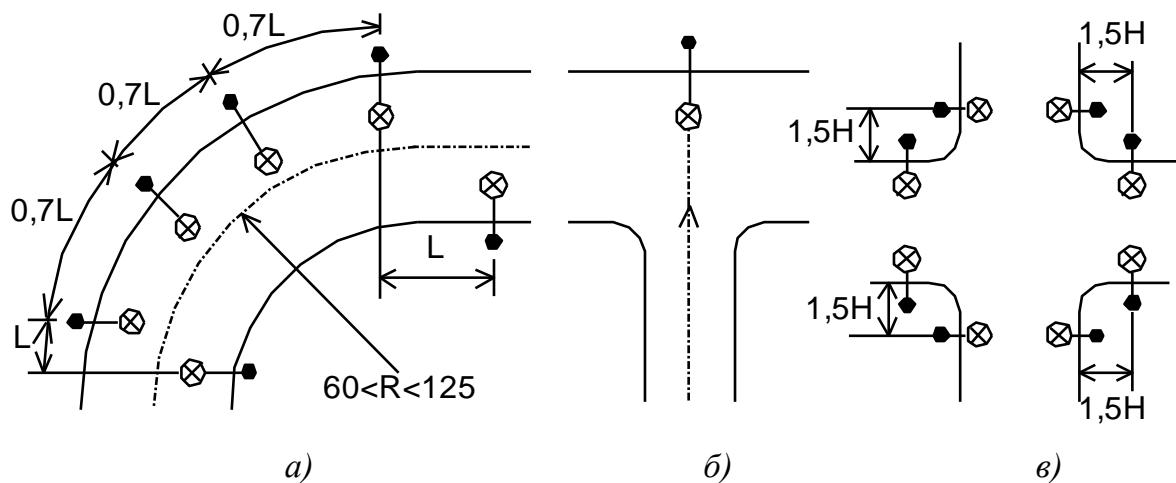


Рис. 38. Схема расположения светильников: а – на закруглении; б – на примыкании; в – на пересечении; H – высота установки светильников

Типы опор наружного освещения необходимо выбирать в соответствии с техническими правилами по экономному расходованию основных строительных материалов, а минимально допустимая высота установки светильников в зависимости от их светораспределения должна соответствовать значениям, приведенным в табл. 33.

Подвес светильников на улицах с воздушной электрической сетью общего назначения следует устанавливать на опорах этой сети. При этом светильники должны располагаться ниже проводов этой сети или по другую сторону опоры; допускается устанавливать консольные светильники выше проводов указанной сети при условии, что расстояние на плане от края светильника до ближайшего провода будет не менее $0,6$ м.

Консольные светильники устанавливают, как правило, под углом 15° к горизонту. Опоры необходимо располагать на расстоянии не менее $0,6$ м от лицевой грани бортового камня до наружной поверхности цоколя опоры и не ближе $1,5$ м от различного рода въездов.

**Минимально допустимая высота установки светильников
в зависимости от их светораспределения**

| Кривая силы света по ГОСТ 17677-82 | Наибольший световой поток источников света в ОП, установок на одной опоре, лк | Наименьшая высота установки ОП, м, при | |
|------------------------------------|---|--|------|
| | | ЛН | ГЛ |
| Полуширокая | Менее 5000 | 6,5 | 7,0 |
| | От 5000 до 1000 | 7,0 | 7,5 |
| | Более 10 000 до 20 000 | 7,5 | 8,0 |
| | Более 20 000 до 30 000 | – | 9,0 |
| | Более 30 000 до 40 000 | – | 10,0 |
| | Более 40 000 | – | 11,5 |
| Широкая | Менее 5000 | 7 | 7,5 |
| | От 5000 до 10 000 | 8 | 8,5 |
| | Более 1000 до 20 000 | 9 | 9,5 |
| | Более 20 000 до 30 000 | – | 10,5 |
| | Более 30 000 до 40 000 | – | 11,5 |
| | Более 40 000 | – | 13,0 |

**4.4. Расчет шага фонарей или отдельных светильников
при нормировании средней яркости**

Схема расположения светильников или фонарей (фонарь образуется несколькими светильниками, размещенными на одном кронштейне опоры) на закруглениях или пересечениях на одном уровне с учетом шага светильников, показанная на рис. 37, не учитывает прямые участки магистралей, для которых шаг фонарей или отдельных светильников рассчитывают по формуле (СН 541-82)

$$L = \frac{1}{\pi B_n b K_3} \sum_{i=1}^M \eta_{B_i} F_{ли} m_i,$$

где L – шаг фонарей (светильников), м;

B_n – нормируемая средняя яркость, кд/м²;

K_3 – коэффициент запаса;

B – ширина проезжей части улицы или дороги, м;

M – количество рядов светильников вдоль освещаемой полосы (каждый ряд должен состоять из однотипных светильников);

η_{B_i} – коэффициент использования светильника по яркости i -го ряда;

$F_{ли}$ – световой поток ламп светильника i -го ряда;
 m_i – число светильников фонаря, относящихся к i -му ряду.

4.5. Расчет шага фонарей или отдельных светильников при нормировании средней освещенности

Инструкция СН 541-82 регламентирует при нормированной средней освещенности шаг фонарей (расстояние между опорами L) или отдельных светильников рассчитывать по формуле

$$L = \frac{1}{\pi E_n b K_3} \sum_{i=1}^M \eta_{E_i} F_{ли} m_i,$$

где E_n – нормируемая освещенность, лк;

η_{E_i} – коэффициент использования по освещенности светильников i -го ряда.

Коэффициенты использования типовых светильников по их освещенности при направлении углов $\beta = 0^\circ$ и $\beta = 180^\circ$ приведены в таблицах справочников [8; 14]. Шаг фонарей или светильников в районе пешеходного перехода и железнодорожного переезда принимают равным $1,5H$ со сдвигом по $0,75H$ в обе стороны относительно осевой линии перехода (переезда), где H – высота установки светильника над уровнем проезжей части, м.

4.6. Расчет показателя ослепленности

Показатель ослепительности P – это критерий оценки слепящего действия осветительной установки, значение которого определяют по формуле

$$P = 570 a C_B \frac{\beta_\Sigma}{K_3 B_n},$$

где a – коэффициент неэквивалентности, равный: для ЛН – 1; для ЛЛ и ДРЛ – 1,3; для ДРИ – 1,1; для ламп ДНаТ – 0,9;

K_3 – коэффициент запаса;

B_n – нормируемая средняя яркость, кд/м²;

C_B – постоянный коэффициент, зависящий от яркости фона, который определяют по графику на рис. 39;

M – число светильников;

β_i – яркость вуалирующей пелены, создаваемой i -м рядом светильников;

β_Σ – суммарная яркость вуалирующей пелены, кд/м²,

$$\beta_\Sigma = \sum_{i=1}^M \beta_i.$$

График зависимости коэффициента C_B от яркости фона B_H представлен на рис. 39.

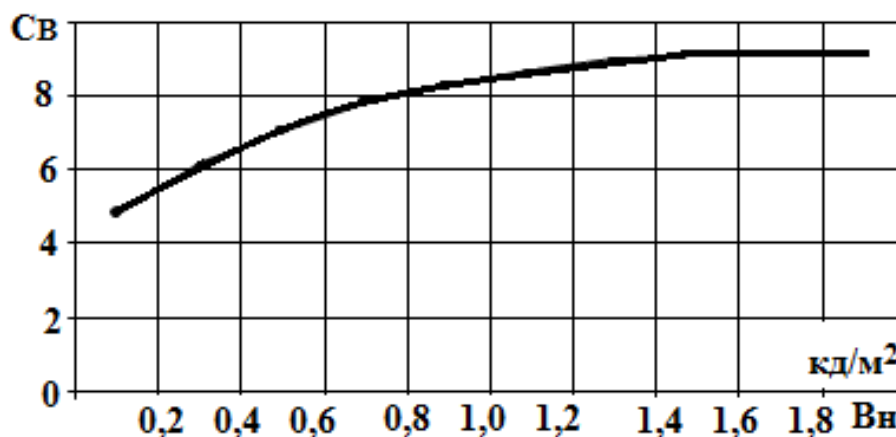


Рис. 39. График зависимости постоянного коэффициента C_B для расчета показателя ослепленности от яркости фона B_H

Яркость вуалирующей пелены от каждого ряда светильников определяют для наблюдателя, находящегося на продольной линии посередине проезжей части данного направления движения, и рассчитывают по формуле

$$\beta_i = \frac{m}{3300[(H - h)^2 + \Delta b_i^2]} \times [0,88(I_{75^\circ})_i + 0,82(I_{80^\circ})_i + 2,1(I_{85^\circ})_i + 1,55(I_{90^\circ})_i],$$

где H – высота установки светильников, м;

h – высота глаз наблюдателя над уровнем проезжей части, принимается равной 1,5 м;

Δb_i – расстояние между линией i -го ряда светильников и средней продольной линией проезжей части данного направления движения;

m – число светильников фонаря, относящихся к i -му ряду;

$(I_{75^\circ})_i, (I_{80^\circ})_i, (I_{85^\circ})_i, (I_{90^\circ})_i$ – значение силы света светильников i -го ряда в плоскости $\beta = 90^\circ$ под углами $\alpha = 75^\circ, 80^\circ, 85^\circ, 90^\circ$, кд, соответственно.

4.7. Измерение средней освещенности улиц, дорог, площадей

Измерение средней освещенности улиц, дорог, площадей выполняют в соответствии с положениями и рекомендациями межгосударственного стандарта ГОСТ 24940-2016. Для выполнения измерения на освещаемом объекте определяют расчетное поле или контрольный участок в виде части прямолинейного горизонтального полотна дороги, ширина которого равна ширине всей проезжей части W_r (при проезде в одну сторону), а длина – шагу S между осветительными приборами, расположенными по одной стороне дороги или по центру, при установке осветительных приборов по осевой линии. Контрольные точки для измерения средней освещенности улиц, дорог и площадей в количестве не менее десяти следует располагать равномерно на участке дорожного покрытия, ограниченном шагом светильников, на расстоянии $D = S/N$, где N – количество контрольных точек. Примеры расположения контрольных точек при различном расположении светильников вдоль улиц, а также в местах закругления и пересечения дорог приведены на рис. 40 – 42.

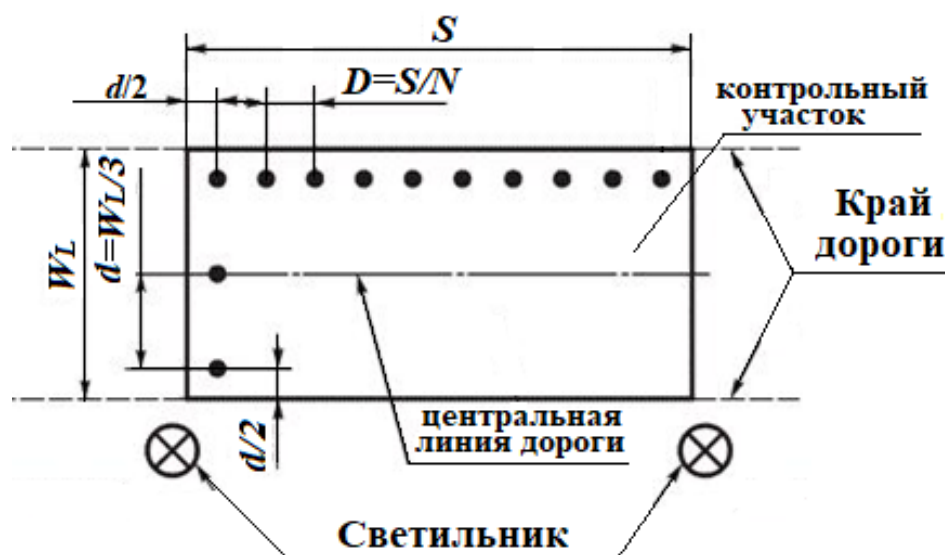


Рис. 40. Расположение контрольных точек на участке при измерении средней освещенности улиц

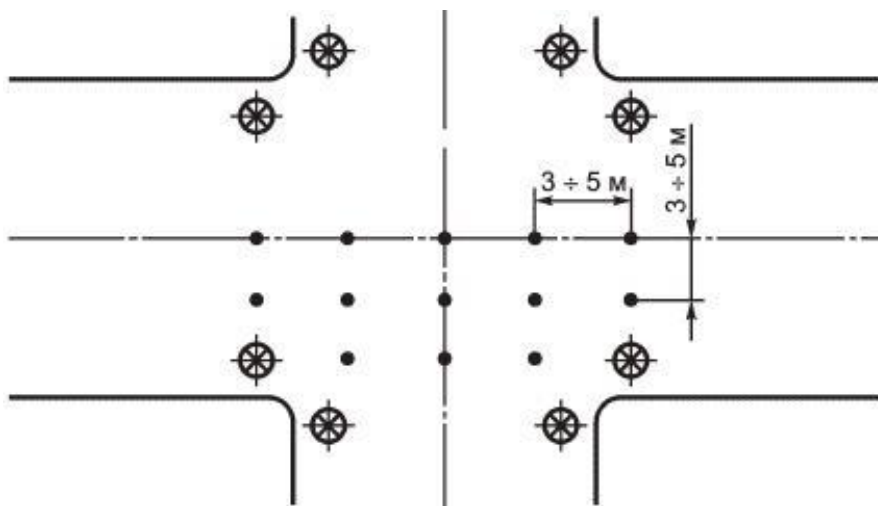


Рис. 41. Расположение контрольных точек при измерении средней освещенности улиц на перекрестке

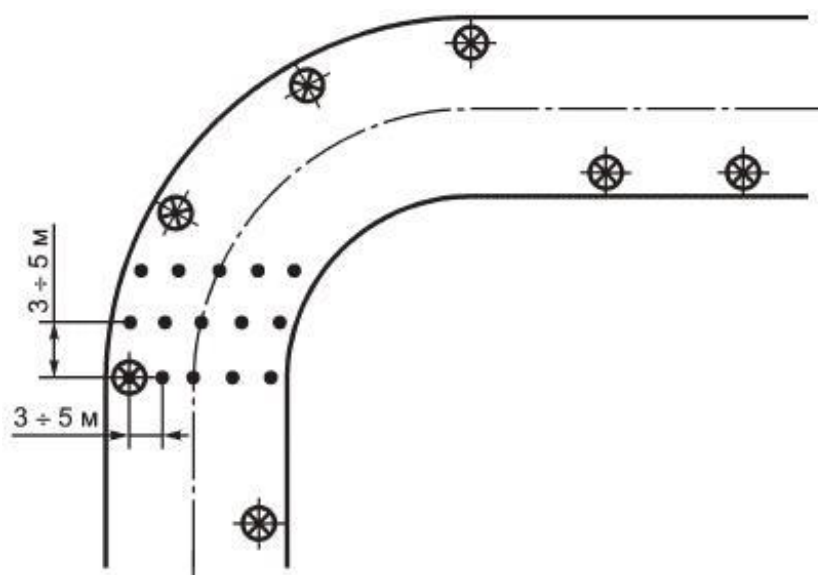


Рис. 42. Расположение контрольных точек при измерении средней освещенности улиц в местах закругления

4.8. Электрическая часть. Расчет сетей наружного освещения по потере напряжения

Значение расчетных потерь напряжения в осветительной сети наружного освещения при питании от трансформаторов различной мощности без учета равномерности нагрузки (общий случай) приведено в табл. 34. При определении расчетных потерь считают, что снижение напряжения у наиболее удаленных ламп равно 5 процентам от номинального напряжения ламп, а коэффициент загрузки трансформатора равен 0,9.

Расчетные потери напряжения в осветительной сети

| Мощность трансформатора, кВ · А | Расчетные потери в сети при коэффициенте мощности суммарной нагрузки, % | | | | |
|---------------------------------|---|-----|-----|-----|-----|
| | 0,9 | 0,8 | 0,7 | 0,6 | |
| 1 | 2,0 | 3,0 | 4,0 | 5,0 | |
| 20 | 6,0 | 5,5 | 5,5 | 5,5 | |
| 35 | 0,5 | | | | |
| 60 | | 6,0 | | | |
| 100 | | | | | |
| 20 | 6,0 | 5,5 | | | |
| 35 | 0,5 | | | | |
| 60 | | 6,0 | | | |
| 100 | | | | | |
| 160 | 0,8 | 6,2 | | | 5,7 |
| 250 | | | | | |
| 400 | | | 7,0 | 6,5 | 6,0 |
| 630 и выше | | | | | |

4.8.1. Расчет осветительной сети при равномерной нагрузке фаз

Расчет сечения проводов осветительной сети наружного освещения по заданным значениям потери напряжения производят по следующим формулам:

а) для однофазных и двухфазных линий, а также трехфазных линий с отдельным нулевым проводом

$$S = \frac{\Sigma M}{C \Delta U};$$

б) для трехфазных линий с использованием нулевого провода сети общего назначения

$$S = \frac{\Sigma M}{C \Delta U} \left(1 + \frac{aK}{\sqrt{P_{\text{н.осв}}}} \right),$$

где S – сечение провода, мм²;

ΣM – сумма моментов нагрузки, кВт · м;

ΔU – расчетная потеря напряжения, %;

C и a – коэффициенты, зависящие от напряжения сети, сечения нулевого провода и соотношения нагрузки общего пользования и наружного освещения;

K – отношение значений нагрузок сети наружного освещения и сети общего пользования;

$P_{н.осв}$ – нагрузка сети наружного освещения, кВт.

Значения коэффициентов C , a и K приведены в табл. 35 и 36.

Таблица 35

Значение коэффициента C

| Напряжение сети, В | Количество фаз в линии | Значение коэффициента C для медных и алюминиевых проводов | | | |
|--------------------|------------------------|---|------|---|------|
| | | При отдельном нулевом проводе | | При использовании нулевого провода сети общего назначения | |
| | | Алюминий | Медь | Алюминий | Медь |
| 380/220 | 3 | 46,0 | 77,0 | 46,0 | 77,0 |
| | 2 | 20,0 | 34,0 | 30,0 | 51,0 |
| | 1 | 7,7 | 12,8 | 15,3 | 25,6 |

Таблица 36

Значение коэффициента a

| Соотношение нагрузок сети наружного освещения и сети общего пользования (K) | Значение коэффициента a при соотношении сопротивлений нулевого и фазного проводов в сети 380/220 В | |
|---|--|------|
| | 1:1 | 2:1 |
| 0,05 | 9,5 | 18,2 |
| 0,10 | 6,7 | 13,0 |
| 0,20 | 4,6 | 9,1 |
| 0,30 | 3,8 | 7,4 |
| 0,40 | 3,3 | 6,5 |
| 0,50 | 2,9 | – |
| 0,60 | 2,7 | – |
| 0,70 | 2,5 | – |
| 0,80 | 2,3 | – |
| 0,90 | 2,2 | – |
| 1,00 | 2,1 | – |

Приведенные в табл. 35 значения коэффициента C определены без учета потери напряжения в общем нулевом проводе. Эти коэффициенты следует применять только в случае симметрии нагрузки по фазам в общей системе (нагрузки наружного освещения и сети общего пользования), а также при отдельном расчете сетей наружного освещения и для систем с отдельным нулевым проводом, если сечение нулевого провода сети общего пользования равно сечению фазовых проводов сети наружного освещения.

При сечениях нулевого провода, отличных от фазного, следует подставлять в формулу расчетный коэффициент C' , определяемый как произведение коэффициента C , найденного при отдельном нулевом проводе, на коэффициент l , находимый из кривых рис. 43 в функции отношения сопротивления нулевого провода к сопротивлению фазного r_0/r_ϕ .

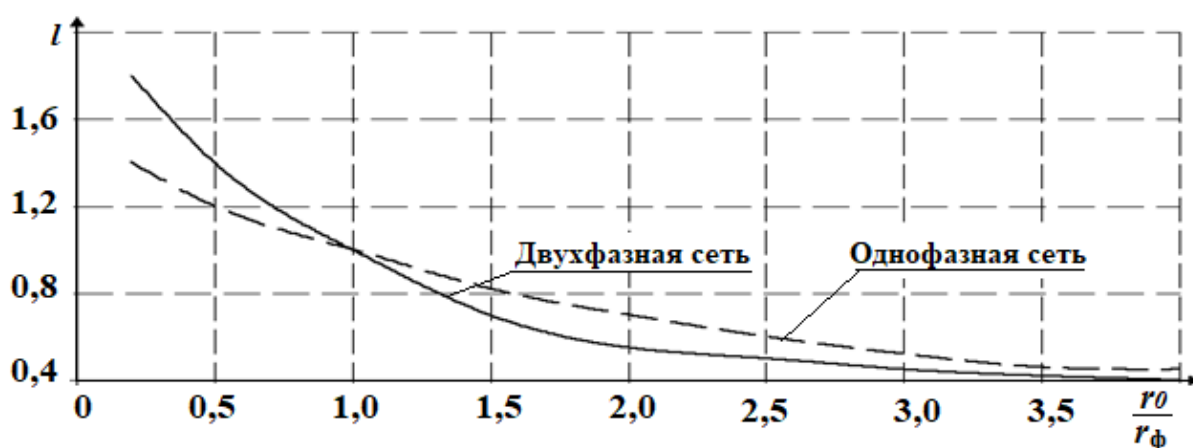


Рис. 43. График для определения значения поправки l , учитывающей отличие сечения нулевого провода от сечения фазных проводов сети уличного освещения

4.8.2. Расчет сети при неравномерной нагрузке фаз

Расчет сечений фазных проводов с включением ламп на фазное напряжение производят по следующим формулам:

а) для трехфазной схемы с отдельным нулевым проводом (3 фазы + нуль)

$$S = \frac{3M}{C\Delta U} (1 + K_{нс} mb);$$

б) для двухфазной схемы (2 фазы + нуль)

$$S = \frac{3M}{C\Delta U} (1 + K_{\text{нс}} mb);$$

в) для трехфазной схемы с использованием нулевого провода сети общего пользования (3 фазы + общий нулевой провод)

$$S = \frac{3M}{C\Delta U} \left(1 + \frac{aK_3}{\sqrt{P_{\text{н.осв}}}} + K_{\text{нс}} mb \right);$$

где S – сечение фазного провода наружного освещения, мм²;

M – сумма моментов нагрузок в максимально нагруженной фазе линии наружного освещения кВт · м;

m – соотношение значений сопротивлений нулевого и фазного проводов;

$P_{\text{н.осв}}$ – нагрузка сети наружного освещения, кВт;

$K_{\text{нс}}$ – коэффициент несимметрии фазных нагрузок, определяемый из графика рис. 44;

b – коэффициент, зависящий от соотношения фазных нагрузок, определяемый по табл. 37.

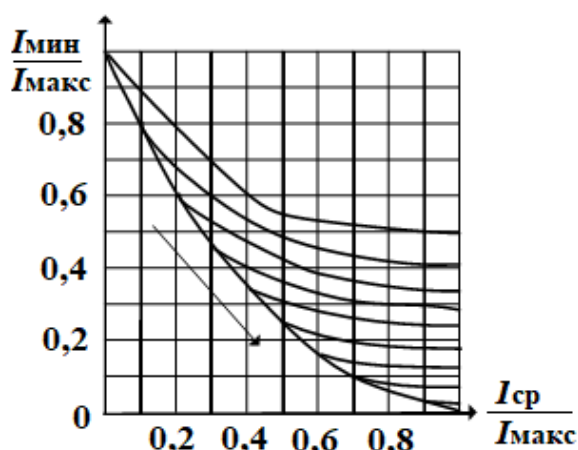


Рис. 44. Графики для определения коэффициента несимметрии фазных нагрузок;

$K_{\text{нс}}$: $I_{\text{нс}}$; $I_{\text{мин}}$; $I_{\text{макс}}$; $I_{\text{ср}}$ – токи наименее, наиболее и средне нагруженной фазы

Таблица 37

Соотношения фазных нагрузок

| Количество фаз в линии с напряжением 380/220 В | Соотношение нагрузок в фазах, % | | | Коэффициент b |
|--|---------------------------------|----|-----|-----------------|
| | А | В | С | |
| 3 | 100 | 0 | 0 | 1,0 |
| | 100 | 0 | 25 | 1,2 |
| | 100 | 0 | 50 | 1,3 |
| | 100 | 0 | 75 | 1,4 |
| | 100 | 0 | 100 | 1,0 |
| | 100 | 25 | 25 | 1,5 |
| | 100 | 25 | 50 | 1,6 |

| Количество фаз в линии с напряжением 380/220 В | Соотношение нагрузок в фазах, % | | | Коэффициент b |
|---|---------------------------------|-----|-----|-----------------|
| | А | В | С | |
| 3 | 100 | 25 | 75 | 1,7 |
| | 100 | 25 | 100 | 1,1 |
| | 100 | 50 | 50 | 2,0 |
| | 100 | 50 | 75 | 1,9 |
| | 100 | 50 | 100 | 1,2 |
| | 100 | 75 | 75 | 2,5 |
| | 100 | 75 | 100 | 1,3 |
| 2 | 100 | 0 | – | 1,0 |
| | 100 | 25 | – | 1,2 |
| | 100 | 50 | – | 1,3 |
| | 100 | 75 | – | 1,4 |
| | 100 | 100 | – | 1,0 |

4.9. Расчет сетей с газоразрядными лампами по потере напряжения

Расчет при отсутствии индивидуальной компенсации реактивной мощности следует производить с учетом реактивного сопротивления для воздушных линий при сечении провода 16 мм² и выше и для кабельных линий при сечении 50 мм² и выше. Расчеты следует производить по формулам раздела 3.7, но в расчетных выражениях вместо допустимой потери напряжения в процентах (ΔU , %) следует принимать допустимую величину падения напряжения в процентах ($\Delta U'$, %), учитывающую реактивные нагрузки и сопротивления и рассчитываемую по формуле

$$\Delta U' = \gamma \Delta U,$$

где γ – коэффициент снижения допустимого значения потерь напряжения, учитывающий реактивные нагрузки и сопротивления, определяемые из графиков рис. 45.

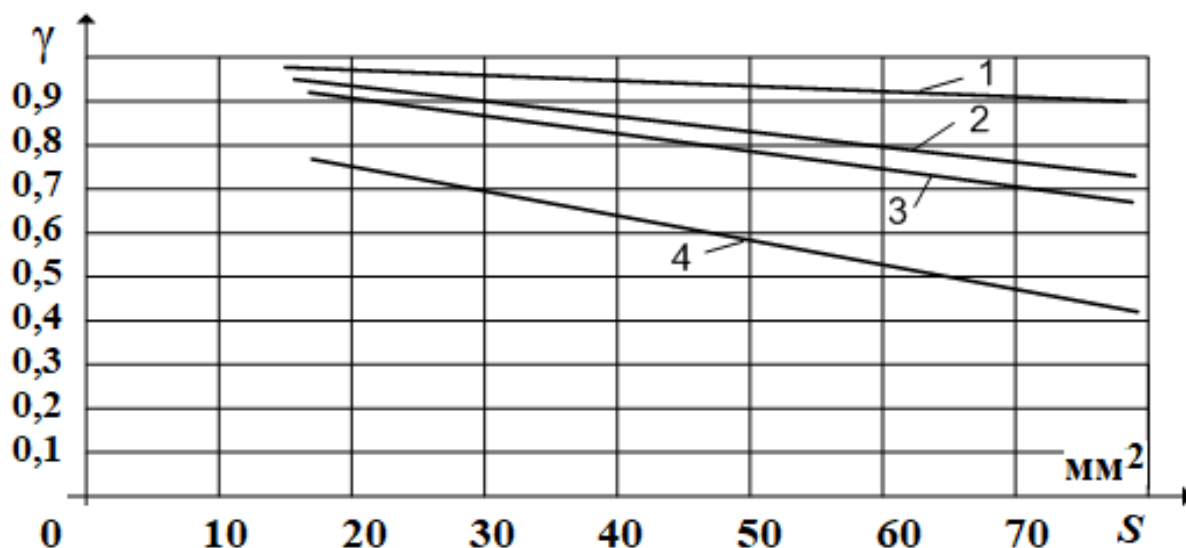


Рис. 45. Графики зависимости коэффициента снижения допустимого значения потерь напряжения $\gamma = f(S)$:

- 1 – кабельная линия, $\cos \varphi = 0,9$; 2 – воздушная линия, $\cos \varphi = 0,9$;
 3 – кабельная линия, $\cos \varphi = 0,5$; 4 – воздушная линия, $\cos \varphi = 0,5$

4.10. Энергосбережение в системах наружного освещения

Решение вопросов энергосбережения в системах наружного освещения при жесткой регламентации норм горизонтальной освещенности пешеходных переходов, тротуаров, площадей и яркости дорожного покрытия проезжих частей магистралей связано с правильным выбором методики светотехнического расчета и оправданным выбором осветительных установок (светильников) с соответствующими источниками излучения (лампами). Расчет средней горизонтальной освещенности наружного освещения выполняют, как правило, точечным методом, поскольку методы удельной мощности неэффективны в экономическом смысле, так как дают завышенные результаты по мощности ламп светильников. Следует отметить также, что расчет освещенности точечным методом следует разделить на две независимые задачи:

- а) поверочный, или рекомендательный, расчет для существующей системы наружного освещения с целью ее оптимизации по энер-

гетическим и экономическим параметрам (использование современных ламп с большей световой отдачей и меньшей мощностью; переход на новый тип современных светильников, например, герметизированных с плоским стеклом и ударопрочным корпусом из композитных материалов типа ЖКУ 001-250);

б) определение высоты установки светильников и расстояния между ними при выбранных типах ламп и светильников для вновь проектируемых или реконструируемых систем наружного освещения.

Расчетная формула точечного метода для прямой составляющей горизонтальной освещенности имеет вид

$$E = \frac{\Phi_{\text{л}} \sum \varepsilon}{1000 K_3 H^2},$$

где $\Phi_{\text{л}}$ – световой поток выбранной лампы светильника, лм;

K_3 – коэффициент запаса (по СНиП-23-05-95 для газоразрядных ламп равен 1,5);

H – высота установки светильника, м;

$\sum \varepsilon$ – суммарная относительная освещенность, лк, определяемая по формуле

$$\sum \varepsilon = \sum_{i=1}^n I_{\alpha i} \cos^3 \left(\arctg \frac{d_i}{H} \right) \frac{H}{H_{li}},$$

где $I_{\alpha i}$ – сила света i -светильника в направлении угла α , кд, которая определяется либо по формулам приближенной аналитической аппроксимации для выбранного типа светильника из табл. 38, либо по известной типовой КСС для вычисленного значения

$$\alpha_i = \arctg \frac{d_i}{H},$$

где H_{li} – условная расчетная высота установки консольного светильника на опоре, м.

Точки минимальной освещенности в осветительной установке наружного освещения в зависимости от расстановки опор вдоль проезжей части дороги показаны на рис. 46.

Аналитические выражения КСС светильников с натриевыми лампами

| № | Обозначение | Аналитическое выражение КСС |
|---|--|---|
| 1 | ЖКУ-001-250 | $I_\alpha = \frac{260 \cos \alpha}{\cos[75^\circ \sin^{1,5}(1,2\alpha)]}$ |
| 2 | ЖКУ-01-400-002-У1 | $I_\alpha = \frac{180 \cos \alpha}{\cos[75^\circ \sin^{1,5}(1,2\alpha)]}$ |
| 3 | ЖКУ-02-400-001-У1; РКУ-02-2.50-001-У1 | $I_\alpha = \frac{150 \cos \alpha}{\cos[85^\circ \sin^{1,5}(1,2\alpha)]}$ |
| 4 | РКУ-01-250-009-У1; РКУ-01-400-010-У1 | $I_\alpha = \frac{200 \cos \alpha}{\cos[75^\circ \sin^{1,5}(1,2\alpha)]}$ |

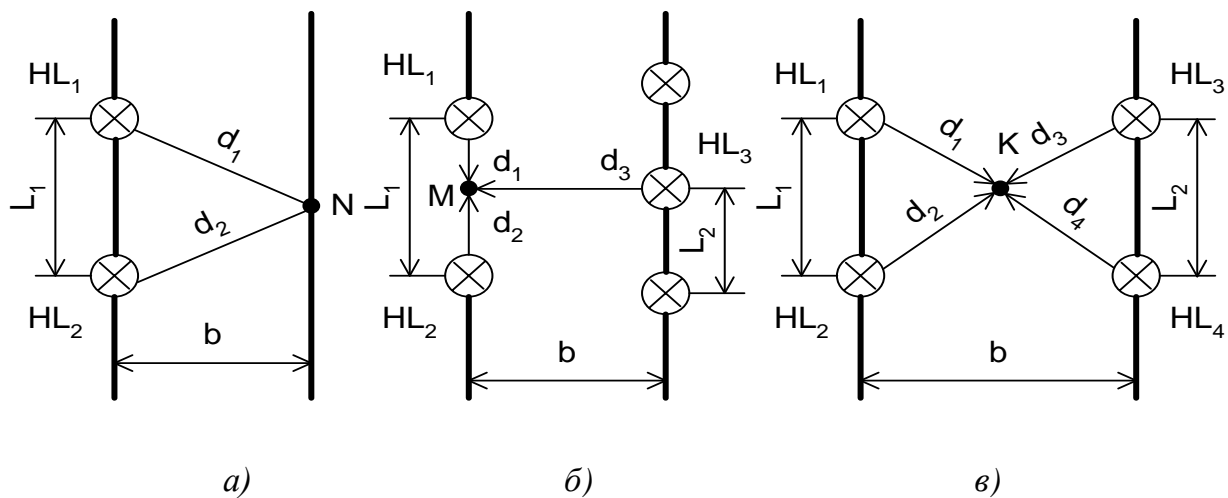


Рис. 46. Точки минимальной освещенности в осветительной установке наружного освещения: а – расстояние между светильниками, установленными с одной стороны магистрали; б – расстояние между светильниками, установленными с двух сторон магистрали; в – расстояние между светильниками, установленными с двух сторон магистрали с опорой в центре

На рис. 46 приняты следующие обозначения: d_i – расстояние по горизонтали в метрах от проекции i -светильника до контрольной точки (в общем случае не равно геометрическому расстоянию из-за возможного наклона оптической оси светильника); L_1 и L_2 – расстояния между

светильниками с одной и другой стороны магистрали соответственно, m ; N, M, K – точки минимальной освещенности магистрали.

Обычно расчет начинают с вычисления кратчайшего расстояния от проекции i – условного светильника d_i – до контрольной точки и условной высоты установки светильника H_{li} над плоскостью, повернутой на угол θ .

Для пояснения сути вопроса рассмотрим геометрические фигуры на рис. 47, где консольный светильник расположен в точке M на высоте H над поверхностью магистрали с отклонением оптической оси светильника от вертикали на угол θ . Для расчета освещенности в точке A через данную точку проводим наклонную плоскость под углом θ к горизонту. Условную расчетную высоту (рис. 47, а) обозначим отрезком CM – нормалью к наклонной плоскости, а расстояние d_i можно выразить, используя рис. 47, б, и рис. 47, в, через отрезки CB и AB .

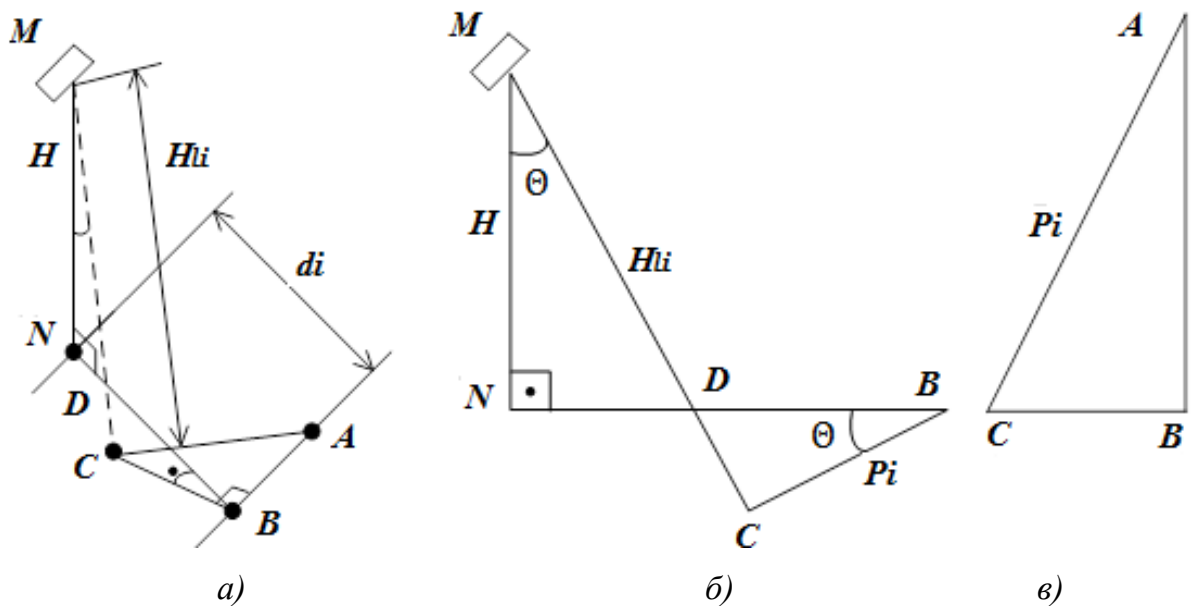


Рис. 47. К определению освещенности от консольного светильника

Из рис. 47, б можно получить выражения для определения вспомогательных параметров P_i и H_{li} для каждого конкретного светильника

$$H_{li} = b_1^{(i)} \sin \theta + H \cos \theta,$$

$$CB = P_i = b_1^{(i)} \sin \theta - H \cos \theta,$$

где $b_1^{(1)} = b$; $b_1^{(2)} = \frac{b}{2}$; $b_1^{(3)} = 0$; $b_1^{(4)} = b$ соответственно при рас-

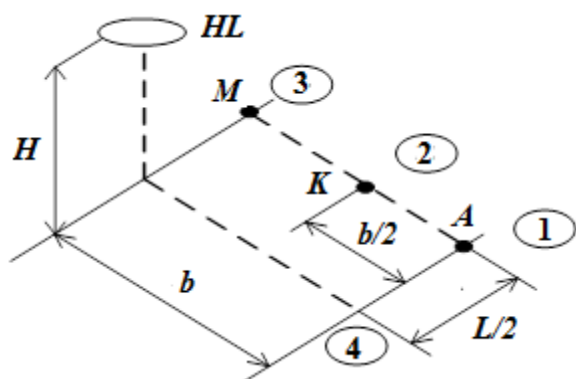


Рис. 48. Иллюстрация к определению координат контрольных точек

положении контрольной точки по периметру прямоугольника, как это показано на рис. 48.

Из рассмотрения геометрических фигур на рис. 47 следует, что расстояние равно

$$d_i = \sqrt{AB^2 + P_i^2}, \text{ или}$$

$$d_i = \sqrt{(b_2)^2 + P_i^2},$$

где $b_2 = 0$, если за контрольную точку принята (4) на рис. 48, и

$b_2 = L/2$ во всех остальных случаях расположения контрольных точек на рис. 46 и рис. 48.

Значение относительной освещенности ε_i каждого i -го светильника для известных отношений длины проекции к высоте светильника над уровнем проезжей части дороги

$$\frac{d_i}{H} \text{ и } \frac{H}{H_{li}}$$

определяют по формуле

$$\varepsilon_i = I_{\alpha i} \cos^3 \left(\arctg \frac{d_i}{H} \right) \frac{H}{H_{li}},$$

где $I_{\alpha i}$ – сила света i -светильника в направлении угла α , кд, которую определяют либо по формулам приближенной аналитической аппроксимации для выбранного типа светильника из табл. 38, либо по известной типовой КСС для вычисленного значения

$$\alpha_i = \arctg \frac{d_i}{H}.$$

После этого вычисляют суммарную относительную освещенность всех учитываемых светильников для конкретной контрольной точки

$$\Sigma \varepsilon = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i,$$

где n – число учитываемых светильников ($n = 2$ для схемы рис. 4б, а; $n = 3$ для схемы рис. 4б, б, и $n = 4$ для схемы рис. 4б, в).

С учетом полученных результатов прямую составляющую горизонтальной освещенности в контрольной точке определяют по формуле

$$E = \frac{\Phi_{\text{л}} \Sigma \varepsilon}{1000 K_3 H^2},$$

где $\Phi_{\text{л}}$ – световой поток выбранной лампы, лм;

K_3 – коэффициент запаса (по ВСН и СНиП для газоразрядных ламп принимают равным 1,5).

Полученные значения освещенности E необходимо сравнить с нормированным значением $E_{\text{н}}$, и если $E < E_{\text{н}}$, то следует уточнить световой поток лампы. По результатам расчета выбирают лампу, значение светового потока которой близко к расчетному в пределах от -10 до $+20$ %.

Контрольные вопросы

1. Задачи НО промышленного предприятия.
2. Особенности расчета яркости дорожного покрытия.
3. Поле яркости и расположение контрольных точек на расчетном поле.
4. Шаг расчетных точек и требование к их количеству.
5. Суммарная и средняя яркость дорожного покрытия в направлении наблюдателя.
6. Общая и продольная равномерность яркости.
7. Категории и классы по освещению объектов улично-дорожной сети.
8. Выбор шага контрольных точек в поперечном направлении дорожного покрытия.
9. Расчет средней освещенности дорожного покрытия в контрольной точке от единичного светильника.
10. Расчет средней освещенности дорожного покрытия в контрольной точке от ближних m светильников.
11. Среднее значение освещенности дорожного покрытия и ее равномерность.
12. Основные схемы расположения светильников в ОУ улиц и дорог.
13. Зависимость шага фонарей от нормируемых параметров.

14. Показатель ослепленности и его расчет.
 15. Понятие яркости вуалирующей пелены.
 16. Расположение контрольных точек на участке при измерении средней освещенности улиц.
 17. Особенности расчета электрических сетей наружного освещения в зависимости от нагрузки фаз.
 18. Расчет электрических сетей наружного освещения с газоразрядными лампами по потере напряжения.

Примеры решения задач

Задача 16. Рассчитать прямую составляющую горизонтальной освещенности дорожного покрытия консольными светильниками, установленными под углом $\theta = 15^\circ$ к горизонту на высоте $H = 10$ м над уровнем дорожного покрытия. Ширина проезжей части дороги $b = 12$ м, расстояние между светильниками $L = 30$ м. Светильник типа ЖКУ-001-250 с лампой SON-E-250 (номинальный поток $\Phi_{л} = 28\,000$ лм), коэффициент запаса $K_з = 1,5$. КСС светильника аппроксимируется выражением

$$I_\alpha = \frac{260 \cos \alpha}{\cos[75^\circ \sin^{1,5}(1,2\alpha)]}$$

где $\alpha_i = \arctg \frac{d_i}{H}$.

Ниже приведен расчет для типовых схем расположения светильников вдоль проезжей части дороги, показанных на рис. 46.

Решение

1. Для схемы расположения светильников по рис. 46, а:

– вспомогательные параметры

$$P_{1,2} = b \cos \theta - H \sin \theta = 12 \cos 15^\circ - 10 \sin 15^\circ = 9,00292 \text{ м};$$

– высота установки светильника

$$H_{1,2} = b \sin \theta + H \cos \theta = 12 \sin 15^\circ + 10 \cos 15^\circ = 12,765087 \text{ м};$$

– кратчайшее расстояние d_i от проекции i – условного светильника до контрольной точки

$$d_i = \sqrt{\left(\frac{L}{2}\right)^2 + P_i^2} = \sqrt{15^2 + 9,00292^2} = 17,494358 \text{ м};$$

– значение относительной освещенности ε_i каждого i -го светильника

$$\begin{aligned}\varepsilon_1 = \varepsilon_2 &= I_{2i} \cos^3 \left(\operatorname{arctg} \frac{d_i}{H} \right) \frac{H}{H_{1,2}} = \\ &= I_{40^\circ} \cos^3 \left(\operatorname{arctg} \frac{17,494358}{10} \right) \frac{10}{12,765087} = \\ &= 310 \cos^3 (\operatorname{arctg} 1,7494358) 0,78338 = 29,68 \text{ лк};\end{aligned}$$

– суммарная относительная освещенность всех учитываемых светильников для конкретной контрольной точки

$$\Sigma \varepsilon = \sum_{i=1}^2 \varepsilon_i = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 = 29,68 + 29,68 = 59,36 \text{ лк};$$

– значение прямой составляющей горизонтальной освещенности в контрольной точке

$$E = \frac{\Phi_{\text{л}} \Sigma \varepsilon}{1000 K_3 H^2} = \frac{28\,000 \cdot 59,36}{1000 \cdot 1,5 \cdot 100} = 11,08 \text{ лк}.$$

2. Для схемы расположения светильников по рис. 46, б:

– вспомогательные параметры и высота

$$P_{1,2} = H \sin \theta = -10 \sin 15^\circ = -2,588 \text{ м},$$

$$P_3 = b \cos \theta - H \sin \theta = 12 \cos 15^\circ - 10 \sin 15^\circ = 9,00292 \text{ м},$$

$$H_3 = b \sin \theta + H \cos \theta = 12 \sin 15^\circ + 10 \cos 15^\circ = 12,765087 \text{ м},$$

$$H_{1,2} = H \cos \theta = 10 \cos 15^\circ = 9,659 \text{ м};$$

– кратчайшие расстояния d_i от проекции i – условного светильника до контрольной точки

$$d_{1,2} = \sqrt{\left(\frac{L}{2}\right)^2 + P_{1,2}^2} = \sqrt{15^2 + (-2,588)^2} = 15,221 \text{ м},$$

$$d_3 = \sqrt{(b_2)^2 + P_3^2} = \sqrt{(12/2)^2 + 9,00292^2} = 10,83 \text{ м};$$

– значение угла $\alpha_{1,2}$ для направлений $d_{1,2}$

$$\alpha_{1,2} = \operatorname{arctg} \frac{d_{1,2}}{H} = \operatorname{arctg} \frac{15,221}{10} = 56,69^\circ;$$

– сила света в направлении угла $\alpha_{1,2}$

$$I_\alpha = \frac{260 \cos \alpha}{\cos[75^\circ \sin^{1,5}(1,2\alpha)]} = \frac{260 \cos 56,69^\circ}{\cos[75^\circ \sin^{1,5}(1,2 \cdot 56,69^\circ)]} =$$

$$= 335 \text{ кд};$$

– значение относительной освещенности ε_i каждого i -го светильника

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 = \varepsilon_2 &= I_{2i} \cos^3 \left(\operatorname{arctg} \frac{d_i}{H} \right) \frac{H}{H_{1,2}} = \\ &= I_{57^\circ} \cos^3 \left(\operatorname{arctg} \frac{15,221}{10} \right) \frac{10}{9,659} = 57,3969 \text{ лк}; \end{aligned}$$

– значение угла α_3 для направлений $d_{1,2}$

$$\alpha_3 = \operatorname{arctg} \frac{d_3}{H} = \operatorname{arctg} \frac{10,83}{10} = 47^\circ;$$

– сила света в направлении угла α_3

$$I_{47^\circ} = \frac{260 \cos \alpha}{\cos[75^\circ \sin^{1,5}(1,2\alpha)]} = \frac{260 \cos 45^\circ}{\cos[75^\circ \sin^{1,5}(1,2 \cdot 45^\circ)]} =$$

$$= 279,3 \text{ кд};$$

– значение относительной освещенности ε_3 от третьего светильника

$$\begin{aligned} \varepsilon_3 &= I_{47^\circ} \cos^3 \left(\operatorname{tg}^{-1} \frac{d_3}{H} \right) \frac{H}{H_3} = 279,3 \cos^3 (\operatorname{tg}^{-1} 1,083) \frac{10}{12,76} = \\ &= 153,8 \text{ лк}; \end{aligned}$$

– суммарная относительная освещенность всех учитываемых светильников для конкретной контрольной точки

$$\Sigma \varepsilon = \sum_{i=1}^3 \varepsilon_i = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = 57,39 + 57,39 + 153,8 = 211,245 \text{ лк};$$

– значение прямой составляющей горизонтальной освещенности в контрольной точке

$$E = \frac{\Phi_{л\Sigma\varepsilon}}{1000K_3H^2} = \frac{28\,000 \cdot 211,245}{1000 \cdot 1,5 \cdot 100} = 39,43 \text{ лк.}$$

3. Для схемы расположения светильников по рис. 46, в:

– расстояния, вспомогательные параметры и высота

$$P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = \frac{b}{2} \cos \theta - H \sin \theta =$$

$$= \frac{12}{2} \cos 15^\circ - 10 \sin 15^\circ = 3,207 \text{ м,}$$

$$d_1 = d_2 = d_3 = d_4 = \sqrt{\left(\frac{L}{2}\right)^2 + P_1^2} = \sqrt{(30/2)^2 + 3,2^2} = 15,339 \text{ м,}$$

$$H_1 = H_2 = H_3 = H_4 = \frac{b}{2} \sin \theta + H \cos \theta =$$

$$= \frac{12}{2} \sin 15^\circ + 10 \cos 15^\circ = 11,212 \text{ м;}$$

– значение угла α_i для направлений $d_{1,2,3,4}$

$$\alpha_i = \operatorname{arctg} \frac{d_i}{H} = \operatorname{arctg} \frac{15,339}{10} = 63,22^\circ;$$

– сила света в направлении угла α_i

$$I_{63^\circ} = \frac{260 \cos \alpha}{\cos[75^\circ \sin^{1,5}(1,2\alpha)]} = \frac{260 \cos 63,22^\circ}{\cos[75^\circ \sin^{1,5}(1,2 \cdot 63,22^\circ)]} =$$

$$= 450,2 \text{ кд;}$$

– значение относительной освещенности ε_3 от четырех светильников

$$\varepsilon_{1-4} = I_{63^\circ} \cos^3 \left(\operatorname{tg}^{-1} \frac{d_3}{H} \right) \frac{H}{H_3} =$$

$$= 450,2 \cos^3(\operatorname{tg}^{-1} 1,5339) \frac{10}{11,212} = 36,72 \text{ лк;}$$

– суммарная относительная освещенность всех учитываемых светильников

$$\Sigma \varepsilon = \sum_{i=1}^4 \varepsilon_i = 4\varepsilon_{1-4} = 4 \cdot 36,72 = 146,91 \text{ лк};$$

– значение прямой составляющей горизонтальной освещенности в контрольной точке

$$E = \frac{\Phi_{\text{л}} \Sigma \varepsilon}{1000 K_3 H^2} = \frac{28\,000 \cdot 146,91}{1000 \cdot 1,5 \cdot 100} = 27,42 \text{ лк}.$$

В случае отличия полученного значения прямой составляющей горизонтальной освещенности E от нормированной освещенности $E_{\text{н}}$ следует уточнить световой поток лампы и выбрать подходящую по мощности и световому потоку лампу. После этого следует уточнить расчетное значение освещенности по известной формуле

$$E = \frac{\Phi_{\text{л}} \Sigma \varepsilon}{1000 K_3 H^2}.$$

При известных значениях коэффициентов использования светильника по яркости U_L и освещенности U_E , типа покрытия и отношения ширины проезжей части улицы (b) к высоте подвеса светильника (H) значение средней яркости покрытия $L_{\text{ср}}$, кд/м², может быть получено умножением значения средней освещенности в контрольной точке на коэффициент пересчета $K_{\text{п}}$

$$L_{\text{ср}} = E_{\text{ср}} K_{\text{п}} = E_{\text{ср}} \frac{U_L}{\pi U_E},$$

где $K_{\text{п}} = \frac{U_L}{\pi U_E}$.

Поскольку выше определялась минимальная освещенность E_{min} , то по ее значению можно вычислить минимальную яркость покрытия L_{min} , кд/м², с учетом коэффициента пересчета по формуле

$$L_{\text{min}} = E_{\text{min}} \frac{U_L}{\pi U_E}.$$

Отметим, что коэффициенты использования консольного светильника U_L и U_E должны учитывать угол наклона светильника к горизонту.

ГЛАВА 5. РАСЧЕТ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

5.1. Коэффициенты пульсации светового потока и освещенности

Коэффициент пульсации освещенности $K_{п}$, %, – критерий оценки относительной глубины колебаний освещенности в результате изменения во времени светового потока источников света в осветительных установках при питании их переменным током. Количественно коэффициент пульсации освещенности оценивают отношением изменения светового потока, или освещенности, за период переменного тока к среднему значению этих величин.

Коэффициенты пульсации светового потока источников света $K_{п.и}$ и освещенности $K_{п}$ на рабочих местах в соответствии с ГОСТ Р 54945 рассчитывают по формулам

$$K_{п.и} = \frac{\Phi_{\max} - \Phi_{\min}}{2\Phi_{\text{ср}}} 100 \%,$$

$$K_{п} = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{2E_{\text{ср}}} 100 \%,$$

где Φ_{\max} , Φ_{\min} , $\Phi_{\text{ср}}$ – максимальное, минимальное и среднее значение светового потока источника света за период колебания, лм, соответственно;

E_{\max} , E_{\min} , $E_{\text{ср}}$ – максимальное, минимальное и среднее значение освещенности на рабочей поверхности за период колебания, лк, соответственно.

Удвоение средних значений светового потока источников света и освещенности рабочей поверхности в приведенных выше формулах обусловлено неодинаковыми значениями положительных и отрицательных отклонений светового потока у газоразрядных ламп.

Ограничение значений $K_{п.и}$ и $K_{п}$ может быть достигнуто применением специальных схем включения источников света в светильнике или расфазированием светильников в осветительной установке. Зависимость $K_{п.и}$ и $K_{п}$ от упомянутых факторов приведена в табл. 39 и 40.

Ограничение коэффициента пульсации освещенности $K_{п}$ на рабочих местах достигается:

1) в двух- и четырехламповых светильниках с ЛЛ применением компенсированных пускорегулирующих аппаратов (ПРА), когда питание одной половины ламп в светильнике осуществляется отстающим током, а другой половины – опережающим (светильники с расщепленной фазой);

2) поочередным присоединением соседних светильников в ряду или соседних рядов к различным фазам сети;

3) установкой в одной световой точке двух или трех светильников с ГЛВД типов ДРЛ, ДРИ, ДНаТ, присоединенных к разным фазам сети;

4) питанием различных ламп в многоламповых светильниках с ЛЛ от разных фаз сети.

Таблица 39

Зависимость коэффициентов пульсации светового потока источников света $K_{п.и}$ и освещенности $K_{п}$ от разных факторов

| Тип ГЛВД | Количество светильников в световой точке, подключенных к разным фазам | Нормированное значение $K_{п}$, % (не более) | | | |
|---------------------------|---|---|----|----|----|
| | | 10 | 15 | 20 | 30 |
| ДРЛ | 2 | – | – | – | + |
| | 3 | + | + | + | + |
| ДРЛ (двухкомпонентные) | 2 | – | – | – | + |
| | 3 | + | + | + | + |
| ДНаТ | 2 | – | – | – | – |
| | 3 | + | + | + | + |

Примечание. Условия, при которых соблюдаются нормированные значения коэффициента пульсации освещенности, отмечены в табл. 39 знаком «плюс».

Зависимость нормированного значения коэффициента пульсации светового потока источников света $K_{п.и}$ от количества светильников в световой точке, подключенных к разным фазам, приведена в табл. 40.

Значения коэффициента пульсации светового потока источников света $K_{п.и}$

| Тип лампы (ЛЛ и ГЛВД) | Значения $K_{п.и}$, процент от | | | |
|---------------------------|---------------------------------|---|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | одной лампы | установленных в одной световой точке | | |
| | | двух ламп при схеме питания отстающим и опережающим током | двух ламп, питаемых от разных фаз | трех ламп, питаемых от разных фаз |
| ЛБ, ЛТБ | 25 | 10,5 | 10,0 | 2,2 |
| ЛХБ | 35 | 15,0 | 15,0 | 3,1 |
| ЛДЦ | 40 | 17,0 | 17,0 | 3,5 |
| ЛД | 55 | 23,0 | 23,0 | 5,0 |
| ДРЛ | 65 | – | 32,0 | 5,2 |
| ДРИ (двухкомпонентные) | 45 | – | 23,0 | 3,5 |
| ДНаТ | 80 | – | 39,5 | 6,3 |
| ДКаТ | 130 | – | 65,0 | 5,0 |

Для вычисления $K_{п}$ в той точке расположения рабочих мест, где упомянутый коэффициент пульсации освещенности имеет максимальное значение, сначала отдельно определяют относительные освещенности, создаваемые светильниками, питаемые от каждой из трех фаз. Наибольшее из полученных значений принимают за 100 %, а остальные выражают в долях от него. Соответственно полученным долям по табл. 41 и 42, для осветительных установок с люминесцентными лампами (ОУ с ЛЛ) и осветительных установок с газоразрядными лампами высокого давления (ОУ с ГЛВД) соответственно определяют значение коэффициента $K_{п.табл}$, которое представляет собой пульсацию освещенности в ОУ, если лампы имеют условный $K_{п.и} = 100$ %.

Коэффициент пульсации в ОУ с источником света, реальная пульсация светового потока которого $K_{п.и} \neq 100$ %, определяют по формуле

$$K_{п} = \frac{K_{п.и} K_{п.табл}}{100 \%}$$

Таблица 41

Значение $K_{п.табл}$ в ОУ с ЛЛ

| Освещенность от лампы третьей фазы, % | Значение $K_{п.табл}$ в ОУ с ЛЛ при освещенности от ламп второй фазы, % | | | | | | | | | | |
|---|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| | 100 | 90 | 80 | 70 | 60 | 50 | 40 | 30 | 20 | 10 | 0 |
| 0 | 42,3 | 45 | 48,0 | 51,2 | 54,5 | 59,9 | 64,9 | 71,5 | 79,3 | 88,5 | 100 |
| 10 | 37,4 | 39,4 | 41,8 | 44,9 | 47,8 | 52,3 | 56,9 | 62,6 | 69,0 | 77,1 | – |
| 20 | 32,3 | 34,4 | 36,8 | 39,4 | 41,5 | 45,2 | 49,5 | 54,8 | 68,8 | – | – |
| 30 | 27,8 | 30,0 | 32,3 | 34,8 | 36,9 | 40,2 | 44,2 | 48,8 | – | – | – |
| 40 | 23,4 | 25,9 | 27,9 | 30,2 | 32,6 | 35,4 | 39,2 | – | – | – | – |
| 50 | 19,8 | 23,2 | 24,2 | 26,3 | 28,5 | 31,4 | – | – | – | – | – |
| 60 | 17,2 | 19,2 | 21,2 | 23,4 | 25,7 | – | – | – | – | – | – |
| 70 | 14,8 | 16,6 | 18,4 | 20,9 | – | – | – | – | – | – | – |
| 80 | 12,4 | 14,2 | 16,9 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| 90 | 10,4 | 12,3 | – | – | – | – | – | – | – | – | – |
| 100 | 8,9 | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – |

Таблица 42

Значение коэффициента $K_{п.табл}$ в ОУ с ГЛВД

| Освещенность от лампы третьей фазы, % | Значение $K_{п.табл}$ в ОУ с ГЛВД при освещенности от ламп второй фазы, % | | | | | | | | | | |
|---|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| | 100 | 90 | 80 | 70 | 60 | 50 | 40 | 30 | 20 | 10 | 0 |
| 0 | 49,9 | 50,3 | 50,9 | 52,4 | 53,9 | 56,5 | 61,0 | 67,1 | 74,2 | 88,5 | 100 |
| 10 | 40,0 | 40,5 | 41,0 | 41,5 | 43,0 | 46,0 | 51,0 | 56,0 | 62,5 | 69,9 | – |
| 20 | 33,3 | 33,5 | 34,0 | 35,3 | 37,1 | 39,5 | 43,1 | 48,4 | 55,5 | – | – |
| 30 | 28,1 | 28,3 | 28,6 | 29,2 | 30,4 | 31,9 | 35,4 | 41,6 | – | – | – |
| 40 | 22,8 | 23,0 | 23,5 | 24,5 | 26,0 | 28,1 | 31,0 | – | – | – | – |
| 50 | 18,0 | 18,4 | 19,4 | 20,5 | 22,4 | 24,5 | – | – | – | – | – |
| 60 | 15,0 | 15,2 | 15,5 | 16,5 | 19,6 | – | – | – | – | – | – |
| 70 | 11,6 | 12,0 | 12,6 | 13,7 | – | – | – | – | – | – | – |
| 80 | 9,3 | 9,7 | 10,6 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| 90 | 8,8 | 9,0 | – | – | – | – | – | – | – | – | – |
| 100 | 7,9 | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – |

5.2. Цилиндрическая освещенность

Цилиндрическая освещенность $E_{ц}$, характеризующая насыщенность помещения светом, определяется как средняя плотность светового потока на боковой поверхности вертикально расположенного в помещении цилиндра, радиус и высота которого стремятся к нулю. При расчете цилиндрической освещенности инженерными методами значение $E_{ц}$ определяют на расстоянии 1 м от торцевой стены на центральной продольной оси помещения на высоте 1,5 м от пола. Измерение цилиндрической освещенности проводят в контрольных точках (в количестве не менее пяти), расположенных равномерно по помещению под светильниками, между светильниками и на центральной продольной оси помещения, на высоте 1,5 м над полом и на расстоянии не менее 1,0 м от стены.

При расчете цилиндрической освещенности принимают следующие допущения.

1. Ограждающие поверхности помещения (пол, потолок, стены) принимают диффузными, равномерными по всей поверхности.

2. Светильники заменяют равномерной поверхностью, каждый элемент которой имеет светораспределение, соответствующее светораспределению светильника.

3. Светораспределение светильника аппроксимируется формулой

$$I_{\alpha} = I_0 \cos^m \alpha,$$

где I_0 – сила света в направлении вертикали, кд;

I_{α} – сила света под углом α с вертикалью, кд.

Значение показателя степени m определяют по формуле

$$m = \frac{2\pi I_0}{\Phi_{\downarrow}} - 1,$$

где Φ_{\downarrow} – световой поток светильника в нижнюю полусферу, равный для светильников прямого света 1000 лм.

Цилиндрическую освещенность $E_{ц}$, лк, в контрольной точке вычисляют как среднее арифметическое значение освещенностей, измеренных в четырех взаимно перпендикулярных вертикальных плоскостях, по формуле

$$E_{ц} = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^{i=4} E_{Bi},$$

где E_{vi} – измеренные значения освещенности во взаимно перпендикулярных вертикальных плоскостях, лк.

Характеристику насыщенности светом пространства и тенеобразующего эффекта для наблюдателя, движущегося по улице параллельно ее оси, дает полуцилиндрическая освещенность, определяемая как средняя плотность светового потока на поверхности вертикально расположенного на продольной линии улицы на высоте 1,5 м полуцилиндра, радиус и высота которого стремятся к нулю.

Полуцилиндрическую освещенность $E_{\text{пц}}, \text{лк}$, рассчитывают по формуле

$$E_{\text{пц}} = 0,5E_{v1} + 0,25(E_{v2} + E_{v3}),$$

где E_{v1}, E_{v2}, E_{v3} – измеренные значения вертикальной освещенности (лк), люксметром со специальной насадкой в контрольной точке путем проведения трех измерений вертикальной освещенности во взаимно перпендикулярных плоскостях: одно измерение E_{v1} по направлению преимущественного движения и два измерения E_{v2} и E_{v3} в плоскости, перпендикулярной плоскости движения. При этом центр фотометрической головки люксметра должен быть расположен на высоте 1,5 м над уровнем дорожного покрытия в плоскости основания вертикально ориентированного полуцилиндра.

В инженерных методах расчета цилиндрической освещенности с достаточной для практики точностью можно использовать графики зависимости отношения средней горизонтальной освещенности $E_{\text{г}}$ к цилиндрической освещенности $E_{\text{ц}}$ от индекса помещения $i_{\text{п}}$, построенные для светильников с различным светораспределением преимущественно в нижнюю полусферу. При этом индекс помещения определяют по расчетной высоте светильника, т. е. по высоте расположения светильника над расчетной поверхностью, на которой нормирована горизонтальная освещенность. Графики для расчета цилиндрической освещенности показаны на рис. 49 для различных сочетаний коэффициентов отражения стен и пола помещения и с учетом коэффициента запаса.

Отметим, что инженерный метод расчета цилиндрической освещенности справедлив для случаев, когда световой поток в верхнюю полусферу составляет менее 15 процентов от потока в нижнюю полусферу, т. е. применим только для светильников со светоизлучением преимущественно в нижнюю полусферу.

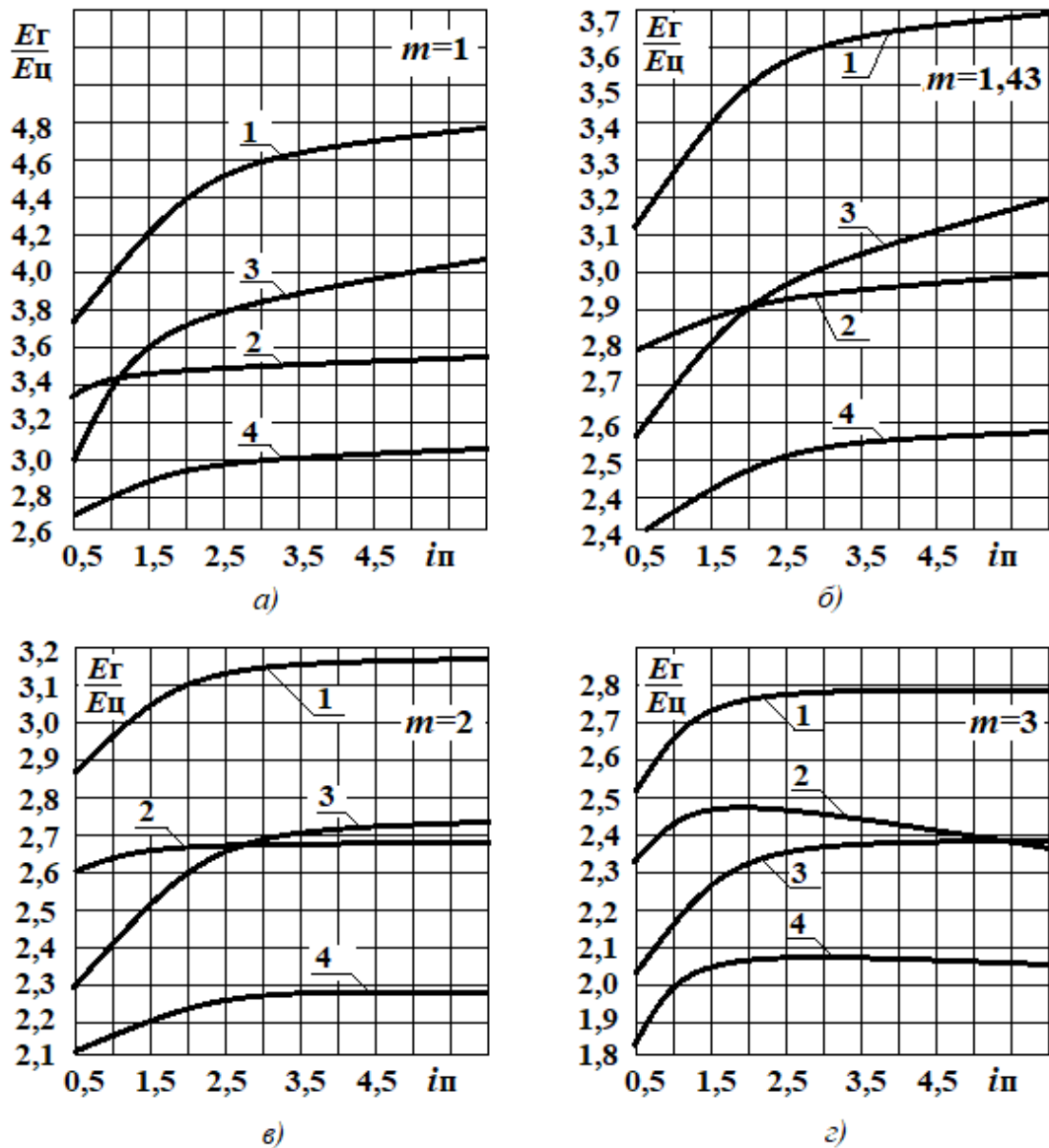


Рис. 49. Графики для расчета цилиндрической освещенности:
 а – $m = 1$; б – $m = 1,43$; в – $m = 2$; з – $m = 3$

На всех графиках рис. 49:

- кривая 1 соответствует значениям коэффициентов отражения $\rho_{ст} = 0,3$; $\rho_p = 0,1$;
- кривая 2 соответствует значениям коэффициентов отражения $\rho_{ст} = 0,3$; $\rho_p = 0,3$;
- кривая 3 соответствует значениям коэффициентов отражения $\rho_{ст} = 0,5$; $\rho_p = 0,1$;
- кривая 4 соответствует значениям коэффициентов отражения $\rho_{ст} = 0,5$; $\rho_p = 0,3$.

Контрольные вопросы

1. Физическое обоснование пульсаций светового потока газоразрядных источников света.
2. Зависимость светового потока газоразрядных источников света от смены полярности питающего напряжения.
3. Способы ограничения пульсаций светового потока на рабочих поверхностях.
4. Методика расчета пульсаций светового потока на рабочих поверхностях.
5. Понятие цилиндрической освещенности.
6. Условия определения цилиндрической освещенности.
7. Характеристика полуцилиндрической освещенности.
8. Инженерные методы расчета цилиндрической освещенности.

Примеры решения задач

Задача 17. Помещение освещается одноламповыми светильниками с ГЛВД типа ДНаТ, включенными поочередно в три фазы ($K_{п.и} = 80\%$ по табл. 40). Определить коэффициент пульсаций светового потока K_p в расчетной точке ОУ, если лампы, включенные в разные фазы питающей сети, создают в этой точке освещенности 3000, 1200 и 600 лк соответственно.

Решение

Принимая наибольшее значение (3000 лк) за 100 %, выразим остальные освещенности в процентах от наибольшего, что составит 100, 40 и 20 %. По табл. 42 находим для источников света с $K_{п.и} = 40\%$ (от второй фазы), 20 % (от третьей фазы) значение $K_{п.табл} = 43,1\%$. Тогда коэффициент пульсации освещенности в ОУ с ГЛВД типа ДНаТ находим из соотношения

$$K_p = \frac{K_{п.табл} K_{п.и}}{100\%} = \frac{80\% \cdot 43,1\%}{100\%} = 34,48\%.$$

Полученное значение коэффициента пульсаций освещенности значительно превышает нормативные показатели, поэтому следует

выбрать светильники с другим типом ламп, например двухламповые с лампами типа ДРИ, для которых $K_{п.и} = 23 \%$. Тогда при тех же условиях получим

$$K_{п} = \frac{K_{п.табл} K_{п.и}}{100 \%} = \frac{23 \% \cdot 43,1 \%}{100 \%} = 9,913 \%$$

Задача 18. В помещении размером 32×20 м и высотой 3,4 м на потолке установлены люминесцентные светильники прямого света, имеющие КПД 78 % и силу света в вертикальном направлении $I_0 = 270$ кд. Определить, на какую горизонтальную освещенность должно быть рассчитано освещение помещения, чтобы получить цилиндрическую освещенность $E_{ц} = 150$ лк. Коэффициенты отражения стен и пола равны $\rho_{ст} = 0,5$; $\rho_{п} = 0,3$ соответственно.

Для данного светильника значение коэффициентов m и индекса помещения i равно

$$m = \frac{2\pi I_0}{\Phi_{\bar{U}}} - 1 = \frac{2\pi I_0}{1000\eta_{св}} - 1 = \frac{2\pi 270}{1000 \cdot 0,78} - 1 = 1,175,$$

$$i = \frac{AB}{h(A+B)} = \frac{32 \cdot 20}{3,4(32+20)} = 3,62.$$

Далее из графиков рис. 49, а, при составлении которых учтен коэффициент запаса, определяем значение отношения $E_{г}/E_{ц} = 3,0$.

Следовательно, этому условию должно удовлетворять значение горизонтальной освещенности

$$E_{г} = 3,0E_{ц} = 3,0 \cdot 150 = 450 \text{ лк.}$$

Полученное значение горизонтальной освещенности при реализации заданного значения цилиндрической освещенности практически выполняется для помещений читальных залов библиотек, рабочих помещений административных зданий, учебных аудиторий, лабораторий учебных заведений, для которых $E_{н} = 400 \div 500$ лк.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На новом витке электрификации и в период бурного развития светотехнического рынка в России и во всем мире остро ощущается недостаток квалифицированных специалистов-светотехников. Кроме того, появление и постоянное обновление ассортимента высококачественных ламп и светильников иностранного производства выдвигает новые требования к проектированию и эксплуатации осветительных установок, принципиально отличающихся от принятых ранее. Поэтому изложенные в учебном пособии принципы проектирования светотехнических установок – основа для овладения более высокими технологиями светотехнического проектирования.

РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 256.1325800.2016. Свод правил. Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа. – Введ. 2017-03-02. – М. : Стандартинформ, 2017. – 80 с.

2. ГОСТ Р 55710-2013. Национальный стандарт Российской Федерации. Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений. – Введ. 2014-07-01. – М. : Стандартинформ, 2014. – 17 с.

3. ГОСТ 24940-2016. Межгосударственный стандарт. Здания и сооружения. Методы измерения освещенности. – Введ. 2017-04-01. Переизд. 2019-03. – М. : Стандартинформ, 2019. – 20 с.

4. ГОСТ 32397-2013. Межгосударственный стандарт. Щитки распределительные для производственных и общественных зданий. Общие технические условия. – Введ. 2015-01-01. – М. : Стандартинформ, 2014. – 28 с.

5. ГОСТ Р 55708-2013. Национальный стандарт Российской Федерации. Освещение наружное утилитарное. Методы расчета нормируемых параметров. – Введ. 2014-07-01. – М. : Стандартинформ, 2015. – 24 с.

6. ГОСТ Р 55706-2013. Национальный стандарт Российской Федерации. Освещение наружное утилитарное. Классификация и нормы. – Введ. 2014-07-01. – М. : Стандартинформ, 2014. – 10 с.

7. Электротехнический справочник. В 3 т. Т. 1 / под ред. И. Н. Орлова [и др.]. – М. : Энергоиздат, 1982. – 560 с. – (Раздел: Электрическое освещение).

8. Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю. Б. Айзенберга. – М. : Энергоатомиздат, 1995. – 545 с.

9. Лебедева, С. И. Инженерные методы расчета светотехнических параметров осветительных установок / С. И. Лебедева, А. В. Матвеев, В. И. Петров. – М. : Моск. энергет. ин-т, 1984. – 180 с.

10. Гуторов, М. М. Основы светотехники и источники света : учеб. пособие для вузов / М. М. Гуторов. – 2-е изд., доп. и перераб. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 384 с.

11. Кнорринг, Г. М. Осветительные установки / Г. М. Кнорринг. – Л. : Энергоиздат, Ленингр. отд-ние, 1981. – 288 с.

12. Освещение открытых пространств / Н. В. Велоцкий [и др.]. – Л. : Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1981. – 232 с.
13. Кнорринг, Г. М. Светотехнические расчеты в установках искусственного освещения / Г. М. Кнорринг. – Л. : Энергия, 1973. – 200 с.
14. Справочная книга для проектирования электрического освещения / под ред. Г. М. Кнорринга. – М. : Энергия, 1976. – 384 с.
15. СНиП 23-05-95. Строительные нормы и правила Российской Федерации. Естественное и искусственное освещение. – Введ. 1996-01-01. – М. : ГУП ЦПП, 2003. – 54 с.
16. ВСН 59-88. Электрооборудование жилых и общественных зданий. Нормы проектирования / Госкомархитектуры. – М. : Стройиздат, 1990. – 88 с.
17. Электрическое освещение : метод. указания к расчетно-лаборатор. работам / сост.: Г. П. Колесник, О. Д. Бухарова ; Владим. гос. ун-т. – Владимир, 2002. – 45 с.
18. Колесник, Г. П. Электрическое освещение : учеб. пособие / Г. П. Колесник ; Владим. гос. ун-т. – Владимир, 2002. – 100 с. – ISBN 5-89368-341-2.
19. Правила устройства электроустановок. – Введ. 2003-01-01. – Изд. 6-е, доп., испр. – М. : Госэнергонадзор, 2000. – 640 с.
20. Фугенфиров, М. И. Электрические схемы с газоразрядными лампами / М. И. Фугенфиров. – М. : Энергия, 1974. – 368 с.
21. Электрические кабели, провода и шнуры : справ. / Н. И. Белоруссов [и др.] ; под ред. Н. И. Белоруссова. – 5 изд., перераб. и доп. – М. : Энергоиздат, 1988. – 536 с.
22. СН 541-82. Инструкция по проектированию наружного освещения городов, поселков городского типа и сельских населенных пунктов. – Введ. 1982-07-01. – М. : Стройиздат, 1982. – 32 с.
23. Кнорринг, Г. М. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Г. М. Кнорринг, Н. М. Фадин, В. Н. Сидоров. – СПб. : Энергоиздат, 1992. – 384 с.
24. Пособие к МГСН 2.06-99. Расчет и проектирование освещения помещений общественных зданий. – М. : Москомархитектура, 1999. – 86 с.

25. Васильев, А. Биодинамическое освещение: долой усталость и бессонницу [Электронный ресурс] / А. Васильев. – URL: <https://www.elec.ru/publications/osveschenie/5574/> (дата обращения: 18.07.2021).

26. Колесник, Г. П. Электрическое освещение: основы проектирования : учеб. пособие / Г. П. Колесник ; Владим. гос. ун-т. – Владимир, 2006. – 128 с.

27. Кабельные и воздушные линии электропередачи : учеб. пособие / Н. П. Бадалян [и др.] ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2019. – 260 с. – ISBN 978-5-9984-0973-8.

28. СП 52.13330.2011. Свод правил. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*. – Введ. 2011-05-20. – М. : Минрегион России, 2010. – 70 с.

29. Федеральный закон «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» от 30.12.2009 № 384-ФЗ [Электронный ресурс]. – URL: <https://base.garant.ru/12172032/> (дата обращения: 18.07.2021).

30. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» (утв. Глав. гос. санитар. врачом РФ 30 мая 2003 г.). – Введ. 30-06-2003. – М. : Минздрав России, 2003. – 54 с. – ISBN 5-7508-0425-9.

31. Бадалян, Н. П. Технологическое оборудование электроэнергетических систем : учеб. пособие / Н. П. Бадалян, Г. П. Колесник ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2020. – 232 с. – ISBN 978-5-9984-1149-6.

32. СП 439.1325800.2018. Свод правил. Здания и сооружения. Правила проектирования аварийного освещения. – Введ. 2019-05-27. – М. : Стандартинформ, 2019. – 35 с.

33. ГОСТ 21.608-2014. Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации внутреннего электрического освещения. – Введ. 2015-07-01. – М. : Стандартинформ, 2015. – 18 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

1. НОРМЫ ОСВЕЩЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЛОЩАДОК И УЧАСТКОВ РАБОТ

1.1. Для строительных площадок и участков работ необходимо предусматривать общее равномерное освещение. При этом освещенность должна составлять не менее 2 лк независимо от применяемых источников света, за исключением автодорог, освещенность которых должна быть не менее указанной в табл. П1-1.

Таблица П1-1

Нормы освещенности строительных площадок и участков работ

| Участок строительных площадок и работ | Наименьшая освещенность, лк | Плоскость, в которой нормируется освещенность | Уровень поверхности, на которой нормируется освещенность |
|--|-----------------------------|---|--|
| 1. Автомобильные дороги на строительной площадке | 2 | Горизонтальная | На уровне проезжей части |
| 2. Железнодорожные пути на строительных площадках | 0,5 | Горизонтальная | На поверхности головки рельсов |
| 3. Подъезды к мостам и железнодорожным переездам | 10 | Горизонтальная | На поверхности головки рельсов |
| 4. Дорожные работы: – укладка оснований под дорожные покрытия; – устройство дорожных покрытий; укладка железнодорожных и подкрановых путей | 10 | Горизонтальная | На уровне земли |
| | 30 | То же | То же |
| 5. Сборка и монтаж строительных и грузоподъемных механизмов: сборка с пригонкой частей (валов, вкладышей, подшипников), разные виды регулировки, смена деталей и т. д. | 50 | Горизонтальная | По всей высоте сборки |
| | | | |

Продолжение табл. П1-1

| Участок строительных площадок и работ | Наименьшая освещенность, лк | Плоскость, в которой нормируется освещенность | Уровень поверхности, на которой нормируется освещенность |
|---|-----------------------------|---|--|
| 6. Работы внутри технологического оборудования, емкостей, резервуаров, бункеров, аппаратов колонного типа и др. | 30 | Вертикальная | На всех уровнях производства работы |
| 7. Испытание технологического оборудования | 50 | Вертикальная | На рабочих местах |
| 8. Земляные работы, производимые сухим способом землеройными и другими механизмами, кроме устройства траншей и планировки | 10 | Вертикальная | По всей высоте забоя и по всей высоте разгрузки (со стороны машиниста) |
| | 5 | Горизонтальная | То же |
| 9. Устройство траншей для фундаментов, коммуникаций и т. д. | 10 | Горизонтальная | На уровне дна траншеи |
| 10. Монтаж конструкций стальных, железобетонных и деревянных (каркасы зданий, мосты, эстакады, фермы, балки и т. д.) | 30 | Горизонтальная | По всей высоте сборки |
| | 30 | Вертикальная | То же |
| 11. Стационарные сварочные аппараты, механические ножницы, гибочные станки для заготовки арматуры | 50 | Горизонтальная | На уровне рабочих поверхностей |
| 12. Установка опалубки, лесов и ограждений | 30 | Горизонтальная | На всех уровнях опалубки, лесов и ограждений |
| 13. Бетонирование: колонн, балок, плит покрытий, мостовых конструкций и других крупных массивов (откосов земляных плотин и т. д.) | 30 | Горизонтальная | На поверхности бетона |
| | 10 | То же | То же |
| 14. Кладка из крупных бетонных блоков, природных камней; кирпичная кладка, монтаж сборных фундаментов | 10 | Горизонтальная | На уровне кладки |
| | 10 | Вертикальная | В плоскости стены |
| | | | |

Продолжение табл. П1-1

| Участок строительных площадок и работ | Наименьшая освещенность, лк | Плоскость, в которой нормируется освещенность | Уровень поверхности, на которой нормируется освещенность |
|--|-----------------------------|---|--|
| 15. Подходы к рабочим местам (лестницы, леса и т. д.) | 5 | Горизонтальная | На опалубках, площадках и подходах |
| 16. Работы по устройству полов: устройство песчаных, щебеночных, гравийных, глинобетонных, бетонных и асфальтобетонных подстилающих слоев | 30 | Горизонтальная | На уровне пола в зоне работ |
| 17. Работы по гидроизоляции и теплоизоляции: – на строительных площадках; – предприятий различных отраслей промышленности | 30 | Горизонтальная | На уровне рабочей поверхности |
| | 30 | Вертикальная | То же |
| 18. Монтаж трубопроводов и разводка сетей к приборам и оборудованию; установка санитарно-технического оборудования (ванн, раковин и т. д.), установка вентиляторов, кондиционеров, монтаж вентиляционных коробов | 30 | Вертикальная | На всех уровнях рабочей поверхности |
| 19. Установка контрольно-измерительных приборов | 50 | Вертикальная | На приборах |
| 20. Подготовка к монтажу (разметка, пробивка проходов) и монтаж электропроводки | 30 | Вертикальная | На всех уровнях выполнения работ |
| 21. Разделка низковольтных и высоковольтных кабелей, монтаж воронок и муфт, монтаж высоковольтного оборудования и схем вторичной коммутации | 100 | Горизонтальная | При монтаже электрооборудования на открытых пространствах освещенность может быть снижена до 50 лк |
| | 100 | Вертикальная | То же |
| 22. Установка электрических приборов, осветительной арматуры и так далее в зданиях под открытым небом | 50 | Вертикальная | По всей высоте устанавливаемого оборудования |
| | 30 | То же | То же |
| | | | |

| Участок строительных площадок и работ | Наименьшая освещенность, лк | Плоскость, в которой нормируется освещенность | Уровень поверхности, на которой нормируется освещенность |
|---|-----------------------------|---|---|
| 23. Монтаж и сборка технологического оборудования: – станочного оборудования, конвейеров, мостовых кранов и т. д.; | 50 | Горизонтальная | На всех уровнях, где выполняются работы. |
| | 30 | То же | Необходимы дополнительные переносные или передвижные осветительные средства |
| 24. Монтаж и сборка энергетического оборудования (паровых турбин, высоковольтного оборудования, автоматических телефонных станций, гидротурбин, мотор-генераторов, электрооборудования) | 50 | Горизонтальная | На всех уровнях, где выполняются работы |
| 25. Лесобиржи или склады леса | 5 | Горизонтальная | На уровне земли |

Для участков работ, где нормируемые уровни освещенности должны быть более 2 лк, в дополнение к общему равномерному освещению следует предусматривать общее локализованное освещение.

Для тех участков, на которых возможно только временное пребывание людей, уровни освещенности должны быть снижены до 0,5 лк.

1.2. Освещенность, создаваемая осветительными установками общего освещения на строительных площадках и участках работ внутри зданий, должна быть не менее нормируемой E_n , приведенной в табл. П1-1, вне зависимости от применяемых источников света.

1.3. При проектировании осветительных установок следует вводить в расчет коэффициент запаса по табл. П1-2 при сроке чистки светильников два раза в год.

Коэффициенты запаса при проектировании осветительных установок

| Осветительные приборы | Коэффициент запаса при | |
|---|------------------------|--------------------------------|
| | лампах накаливания | газоразрядных источниках света |
| Прожекторы и другие световые приборы с пятикратным и более усилением силы света | 1,5 | 1,7 |
| Светильники | 1,3 | 1,5 |

2. КОНТРОЛЬ УРОВНЯ ОСВЕЩЕННОСТИ

2.1. На строительных площадках и местах производства строительных и монтажных работ внутри зданий должен быть обеспечен контроль освещенности.

2.2. Измерения освещенности производят в соответствии к ГОСТ Р 54944-2012 на участках производства работ, на которых уровень освещенности является определяющим в обеспечении условий безопасности или качества работ. Эти участки определяют при разработке проектов производства работ и технологических карт.

2.3. При контроле освещенности на строительных площадках контрольные точки для измерения освещенности следует размечать под световыми приборами и между ними. Расстояние между контрольными точками вне зданий должно быть не более 20 м. Выбор аппаратуры, проведение измерений и обработку результатов осуществляют в соответствии с ГОСТ Р 54944-2012. Параметры осветительных установок указаны в табл. П1-3 и П1-4.

Таблица П1-3

**Параметры осветительных установок общего равномерного
освещения при нормируемой освещенности $E_n = 2$ лк**

| Ширина освещаемой площади a , м | Высота прожекторных мачт H , м | Расстояние между мачтами b , м | Устанавливаемый прожектор | | | Параметры установки прожектора | | | Коэффициент неравномерности $z = \frac{E_{min}}{E_{cp}}$ | Удельная мощность, Вт/м ² | | |
|---|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------|------------|-------------------|--------------------------------|--|--|--|--------------------------------------|------|------|
| | | | Тип | Количество | Мощность ламп, Вт | Высота H , м | Угол наклона прожекторов Θ , град | Угол между оптическими осями прожекторов τ , град | | | | |
| Прожекторы с лампами ДРЛ | | | | | | | | | | | | |
| 75 | 15 | 160 | ПЗС-45 или ПСМ-50 | 3 | 700 | 15 | 20 | 60 | 0,30 | 0,35 | | |
| 100 | | | | 4 | | | | 40 | | | | |
| 150 | 20 | 150 | | 7 | | 20 | 20 | 0,25 | 0,45 | | | |
| 200 | 30 | 180 | | 10 | | 30 | 15 | 15 | 0,40 | 0,45 | | |
| 250 | | 200 | | 16 | | | | | | 15 | 0,45 | |
| 300 | | 140 | 16 | 10 | 0,55 | | | | | | | |
| Прожекторы с галогенными лампами типа КГ | | | | | | | | | | | | |
| 75 | 20 | 180 | ПКН-1500-2 | 3 | 1500 | 20 | 15 | 30 | 0,50 | 0,65 | | |
| 100 | | 160 | | | | | | | | 30 | 0,55 | |
| 150 | | 140 | | | | | | 20 | | 15 | 20 | 0,45 |
| 200 | | 175 | | | | | | | | | | |
| 150 | 30 | 230 | 5 | 30 | 30 | 0,65 | 0,35 | | | | | |
| 200 | | 210 | | | | | | 0,30 | | | | |
| 250 | | 190 | | | | | | 0,40 | | | | |
| 100 | 20 | 300 | ИСУ-01×2000/К-63-01 | 3 | 2000 | 20 | 50 | 0,56 | 0,38 | | | |
| 150 | | 200 | | | | | | | | 6 | 12 | 0,71 |
| 200 | | 160 | | | | | | | | | | |
| 250 | 30 | 280 | ИСУ-02×5000/К-03-12 | 3 | 5000 | 30 | 45 | 0,70 | 0,44 | | | |
| 300 | | 230 | | | | | | | 0,35 | | | |
| 200 | | 390 | | | | | | | 0,38 | | | |
| 250 | | 360 | | | | | | | 0,34 | | | |
| 300 | | 260 | | | | | | | 0,38 | | | |
| 350 | 210 | 0,41 | | | | | | | | | | |

| Ширина освещаемой площади a , м | Высота прожекторных мачт H , м | Расстояние между мачтами b , м | Устанавливаемый прожектор | | | Параметры установки прожектора | | | Коэффициент неравномерности $z = \frac{E_{\min}}{E_{\text{cp}}}$ | Удельная мощность, Вт/м ² |
|--|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------|------------|-------------------|--------------------------------|--|--|--|--------------------------------------|
| | | | Тип | Количество | Мощность ламп, Вт | Высота H , м | Угол наклона прожекторов Θ , град | Угол между оптическими осями прожекторов τ , град | | |
| Прожекторы с лампами типа ДРИ | | | | | | | | | | |
| 150 | 20 | 240 | ПЗС-35 или ПСМ-40 | 7 | 700 | 20 | 12 | 15 | 0,50 | 0,27 |
| 200 | | 200 | | | | | | | 0,60 | 0,25 |
| 250 | | 260 | | | | | | | 0,55 | 0,21 |
| 300 | 30 | 270 | ПСМ-40 | 10 | 30 | 30 | 10 | 0,75 | 0,18 | |
| 350 | | 220 | | | | | | 0,55 | 0,18 | |
| Светильники с ксеноновыми лампами | | | | | | | | | | |
| 200 | 30 | 180 | «Ар-вик» или ККУ | 2 | 20000 | 30 | 30 | 60 | 0,50 | 2,2 |
| 250 | 50 | 275 | | | | 1,5 | | | | |
| | | 250 | | | | 1,3 | | | | |
| | | 220 | | | | 1,2 | | | | |
| | | 175 | | | | 1,3 | | | | |
| 200 | 30 | 270 | ОУКсН | 2 | 20000 | 30 | 60 | 0,50 | 1,5 | |
| 250 | | 230 | | | | | | | 1,4 | |
| 300 | | 205 | | | | | | | 1,3 | |
| 350 | | 155 | | | | | | | 1,5 | |
| 200 | 50 | 320 | ОУКсН | 2 | 20000 | 50 | 15 | 0,50 | 1,25 | |
| 250 | | 310 | | | | | | | 1,05 | |
| 300 | | 300 | | | | | | | 0,9 | |
| 350 | | 290 | | | | | | | 0,9 | |
| 400 | | 275 | | | | | | | 0,75 | |

Примечание. Данные табл. П1-3 приведены для прямоугольного расположения световых приборов. При шахматном расположении световых приборов для площадок шириной до 200 м расстояние между опорами одного и того же ряда допускается уменьшить на 10 %.

Таблица П1-4

**Параметры осветительных установок общего равномерного
освещения при нормируемой освещенности $E_n = 0,5$ лк**

| Ширина освещаемой площади, a , м | Высота прожекторных мачт, H , м | Расстояние между мачтами, b , м | Устанавливаемый прожектор на мачте | | | Параметры установки прожектора | | | Коэффициент неравномерности z | Удельная мощность, Вт/м ² | |
|---|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------|-------------------|--------------------------------|--|--|---------------------------------|--------------------------------------|------|
| | | | Тип | Количество | Мощность ламп, Вт | Высота, H , м | Угол наклона прожекторов Θ , град | Угол между оптическими осями прожекторов τ , град | | | |
| Прожекторы с галогенными лампами типа КГ | | | | | | | | | | | |
| 100 | 20 | 450 | ИСУ-01 × × 2000/ К-63-01 | 2 | 2000 | 20 | 14 | 20 | 0,50 | 0,18 | |
| 150 | | 400 | | | | | | | | 0,13 | |
| 200 | 30 | 450 | ИСУ-02 × × 5000/ К-03-02 | 4 | 5000 | 30 | 10 | 10 | 0,55 | 0,18 | |
| 250 | | 400 | | | | | | 5 | | 0,16 | |
| 300 | | 450 | | | | | | 90 | | 0,18 | |
| 200 | | 480 | | | | | | 12 | | 0,21 | |
| 250 | 30 | 460 | ИСУ-02 × × 5000/ К-03-02 | 2 | 5000 | 30 | 12 | 90 | 0,40 | 0,18 | |
| 300 | | 440 | | | | | | | | 0,15 | |
| 350 | | 400 | | | | | | | | 0,15 | |
| Прожекторы с лампами типа ДРЛ | | | | | | | | | | | |
| 150 | 20 | 280 | ПЗС-45 или ПСМ-50 | 6 | 700 | 20 | 10 | 30 | 0,30 | 0,20 | |
| 200 | | 240 | | | | | | 0,40 | | | |
| 250 | 30 | 400 | ПЗС-45 или ПСМ-50 | 14 | 700 | 30 | 10 | 12 | 0,45 | 0,18 | |
| 300 | | 360 | | | | | | | | | 0,50 |
| 350 | | 310 | | | | | | | | | 0,50 |
| Прожекторы с лампами типа ДРИ | | | | | | | | | | | |
| 150 | 20 | 375 | ПЗС-45 или ПСМ-40 | 7 | 700 | 20 | 12 | 15 | 0,30 | 0,17 | |
| 200 | | 350 | | | | | | | 0,14 | | |
| 250 | 30 | 300 | ПЗС-45 или ПСМ-40 | 7 | 700 | 30 | 12 | 15 | 0,35 | 0,13 | |
| 300 | | 250 | | | | | | | 0,30 | | |
| 350 | | 250 | | | | | | | 0,40 | 0,11 | |

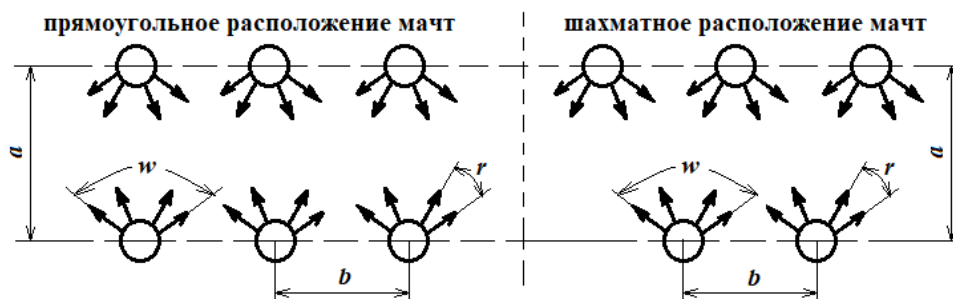
Продолжение табл. П1-4

| Ширина освещаемой площади, a , м | Высота прожекторных мачт, H , м | Расстояние между мачтами, b , м | Устанавливаемый прожектор на мачте | | | Параметры установки прожектора | | | Коэффициент неравномерности z | Удельная мощность, Вт/м ² | | | |
|--|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|---------------|-------------------|--------------------------------|--|--|---------------------------------|--------------------------------------|------|------|------|
| | | | Тип | Количество | Мощность ламп, Вт | Высота, H , м | Угол наклона прожекторов Θ , град | Угол между оптическими осями прожекторов τ , град | | | | | |
| Светильники с ксеноновыми лампами | | | | | | | | | | | | | |
| 200 | 30 | 840 | ОУКсН | 2 | 20 000 | 30 | 12 | 90 | 0,30 | 0,48 | | | |
| 250 | | 750 | | | | | 10 | | | 0,43 | | | |
| 300 | | 680 | | | | | 0,40 | | 0,39 | | | | |
| 350 | | 620 | | | | | | | 0,37 | | | | |
| 200 | 50 | 1200 | | | | ОУКсН | 2 | 20 000 | 50 | 12 | 60 | 0,65 | 0,33 |
| 250 | | 1150 | | | | | | | | 10 | | | 0,26 |
| 300 | | 1100 | | | | | | | | 0,60 | | 0,23 | |
| 350 | | 1050 | | | | | | | | | | 0,21 | |
| 200 | 30 | 750 | «Аревик» или ККУ | 2 | 20 000 | | | | 30 | 25 | 60 | 0,30 | 0,53 |
| 250 | | 600 | | | | | | | | | | | 0,25 |
| 300 | | 400 | | | | | | | | | | 0,60 | |
| 200 | | 900 | | | | | | | | | | | 50 |
| 250 | 800 | 0,42 | | | | 0,48 | | | | | | | |
| 300 | 650 | | | | | 0,41 | 0,42 | | | | | | |
| 350 | 550 | 0,41 | | | | | | | | | | | |
| 150 | 30 | 630 | | | | СКсН | 2 | 10 000 | 30 | 16 | 50 | 0,40 | 0,46 |
| 200 | | 600 | 14 | 0,45 | 0,35 | | | | | | | | |
| 250 | | 450 | 0,38 | | 0,38 | | | | | | | | |
| 150 | 50 | 800 | | 50 | 16 | | | | 0,50 | 0,50 | | | |
| 200 | | 700 | 14 | | 0,37 | | | | | 0,37 | | | |
| 250 | | 675 | | 8 | | | | | 0,30 | 0,30 | | | |
| 300 | | 600 | 14 | | 0,27 | | | | | 0,27 | | | |
| 350 | 550 | 0,24 | | 0,24 | | | | | | | | | |
| 100 | 15 | | 160 | СПКс-2-10 000 | 2 | 10 000 | 15 | 8 | 50 | 0,55 | 1,20 | | |
| 150 | | 180 | 14 | | | | | 0,83 | | | | | |
| 200 | | 150 | 8 | | | | | 0,80 | | | | | |
| 250 | | 200 | | | | | 0,79 | | | | | | |
| 300 | | 190 | | | | | 0,67 | | | | | | |
| 200 | | | 20 | | | | 1 | 0,45 | | | 0,70 | | |

| Ширина освещаемой площади, a , м | Высота прожекторных мачт, H , м | Расстояние между мачтами, b , м | Устанавливаемый прожектор на мачте | | | Параметры установки прожектора | | | Коэффициент неравномерности z | Удельная мощность, Вт/м ² | | |
|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------|-------------------|--------------------------------|--|--|---------------------------------|--------------------------------------|------|------|
| | | | Тип | Количество | Мощность ламп, Вт | Высота, H , м | Угол наклона прожекторов Θ , град | Угол между оптическими осями прожекторов τ , град | | | | |
| 250 | 20 | 180 | СПКс-2-10000 | 1 | 10 000 | 15 | 10 | 50 | 0,55 | 0,50 | | |
| 300 | | 2 | | 8 | | 0,50 | 0,40 | | | | | |
| 350 | | 2 | | 10 | | 0,50 | 0,50 | | | | | |
| 400 | | 3 | | 20 | | 8 | 30 | 0,40 | | 0,60 | | |
| 450 | | 4 | | | | | 50 | | | 0,65 | | |
| 500 | | 4 | | | | | 0 | | | 0,63 | | |
| 200 | 30 | 320 | СПКс-2-10000 | 2 | 30 | 8 | 60 | 0,40 | 0,50 | | | |
| 250 | | 2 | | | | | | | 0,45 | | | |
| 300 | | 2 | | | | | | | 0,43 | | | |
| 350 | | 3 | | 270 | | | | | 3 | 0 | 0,38 | |
| 400 | | | | 270 | | | | | | | | 0,40 |
| 450 | | | | 220 | | | | | | | | 0,40 |
| 500 | | | | 270 | | | | | | | | 0,44 |

Примечание. Данные табл. П1-4 приведены для прямоугольного расположения световых приборов. При шахматном расположении световых приборов для площадок до 200 м расстояние между опорами одного и того же ряда допускается уменьшить на 10 %.

СХЕМЫ РАСПОЛОЖЕНИЯ СВЕТОВЫХ ПРИБОРОВ ДЛЯ ОБЩЕГО РАВНОМЕРНОГО ОСВЕЩЕНИЯ



W – угол охвата, град.; r – угол между оптическими осями, град.;
 a и b – ширина освещаемой площади и расстояние между мачтами соответственно, м.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРОЖЕКТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Расчет прожекторной установки сводится к определению:

- количества прожекторов, подлежащих установке для создания заданной освещенности;
- мест установки прожекторных мачт и прожекторов;
- высоты установки прожекторов над освещаемой поверхностью;
- углов наклона прожекторов в вертикальной плоскости и угол разворота в горизонтальной плоскости.

Расчет производят на основе нормируемой освещенности в горизонтальной плоскости.

Ориентировочное количество прожекторов n , подлежащее установке для создания на площади S требуемой освещенности $E_p = K_3 E_n$ (K_3 – коэффициент запаса, E_n – нормируемая освещенность),

$$n = \frac{m E_p S}{P_l},$$

где m – коэффициент, учитывающий световую отдачу источников света, КПД прожекторов и коэффициент использования светового потока, принимают по таблице;

P_l – мощность лампы применяемых типов прожекторов, Вт.

Более точное определение количества прожекторов, необходимых для установки, производится путем компоновки шаблонов кривых изолукс на плане освещаемой территории или с применением графиков освещенности от групп прожекторов.

Ориентировочные значения коэффициента m в зависимости от типов источников света и прожекторов или светильников, а также ширины освещаемой площади приведены в табл. П2-1. Значения минимально допустимой высоты установки прожекторов и светильников прожекторного типа при нормируемой освещенности для конкретного типа лампы приведены в табл. П2-2.

Таблица П2-1

Ориентировочные значения коэффициента t

| Источник света | Тип прожектора или светильника | Ширина освещаемой площади, м | Значение t при расчетной освещенности, лк | |
|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|---|--------|
| | | | 0,5 – 1,5 | 2 – 30 |
| Галогенные ЛН | ПКН, ИСУ | 75 – 125 | 0,35 | 0,20 |
| | | 150 – 350 | 0,20 | 0,15 |
| Лампы типа ДРЛ | ПЗС, ПЗМ | 75 – 250 | 0,25 | 0,13 |
| | | 275 – 350 | 0,30 | 0,15 |
| Лампы типа ДРИ | ПЗС, ПСМ | 75 – 150 | 0,30 | 0,10 |
| | | 175 – 350 | 0,16 | 0,06 |
| Ксеноновая лампа ДКсТ-20000 | ОУКсН ($H = 30$ м) | 150 – 175 | 0,75 | 0,50 |
| | | 200 – 350 | 0,50 | 0,40 |
| | «Аревик» ($H = 30$ м) | 150 – 175 | 0,90 | 0,70 |
| | | 200 – 250 | 0,70 | 0,50 |
| Ксеноновая лампа ДКсТ-10 000 | СКсН ($H = 20-30$ м) | 100 – 150 | 0,55 | 0,45 |
| | | 175 – 250 | 0,40 | 0,35 |

Таблица П2-2

Минимально допустимая высота установки прожекторов и светильников прожекторного типа

| Тип прожектора | Тип лампы | Максимальная сила света, ккд | Минимально допустимая высота установки прожекторов, м, при нормируемой освещенности, лк | | | | | | | |
|----------------|-------------|------------------------------|---|-----|-----|-----|-----|------|------|------|
| | | | 0,5 | 1,0 | 2,0 | 3,0 | 5,0 | 10,0 | 30,0 | 50,0 |
| ПСМ-50-1 | Г220-1000 | 120 | 35 | 28 | 22 | 20 | 17 | 13 | 7 | 6 |
| ПСМ-50-1 | ДРЛ-700 | 52 | 23 | 19 | 14 | 13 | 11 | 8 | 5 | 4 |
| ПСМ-50-1 | ДРЛ-400 | 19,5 | 14 | 11 | 9 | 8 | 7 | 5 | 3 | 3 |
| ПСМ-50-2 | ПЖП220-1000 | 640 | 60 | 50 | 40 | 35 | 30 | 25 | 17 | 13 |
| ПСМ-40-1 | Г220-500 | 70 | 25 | 21 | 17 | 15 | 13 | 10 | 5 | 4 |
| ПСМ-40-2 | ПЖ220-500 | 280 | 35 | 35 | 30 | 25 | 20 | 15 | 11 | 9 |
| ПСМ-30-1 | Г220-200 | 33 | 18 | 15 | 11 | 10 | 9 | 7 | 4 | 3 |
| | | | | | | | | | | |

Окончание табл. П2-2

| Тип прожектора | Тип лампы | Максимальная сила света, ккд | Минимально допустимая высота установки прожекторов, м, при нормируемой освещенности, лк | | | | | | | |
|-----------------------|--------------|------------------------------|---|-----|-----|-----|-----|------|------|------|
| | | | 0,5 | 1,0 | 2,0 | 3,0 | 5,0 | 10,0 | 30,0 | 50,0 |
| ПЗР-400 | ДРЛ-400 | 19 | 14 | 11 | 8 | 8 | 7 | 5 | 3 | 3 |
| ПЗР-250 | ДРЛ-250 | 11 | 10 | 8 | 6 | 6 | 5 | 4 | 3 | 3 |
| ПЗС-45 | Г220-1000 | 130 | 35 | 29 | 22 | 20 | 18 | 13 | 7 | 6 |
| ПЗС-45 | ДРЛ-700 | 30 | 17 | 14 | 11 | 10 | 8 | 6 | 4 | 3 |
| ПЗС-45 | ДРЛ-400 | 14 | 12 | 10 | 7 | 7 | 5 | 4 | 3 | 3 |
| ПЗС-45 | ДРИ-700 | 600 | – | 65 | 50 | 45 | 40 | 30 | 16 | 13 |
| ПЗС-35 | Г220-500 | 50 | 22 | 18 | 14 | 13 | 11 | 8 | 5 | 4 |
| ПЗС-25 | Г220-200 | 16 | 13 | 10 | 8 | 7 | 6 | 5 | 3 | 3 |
| ПЗМ-35 | Г220-500 | 40 | 20 | 16 | 12 | 11 | 10 | 7 | 4 | 4 |
| ПЗМ-25 | Г220-200 | 10 | 10 | 8 | 6 | 6 | 5 | 4 | 3 | 3 |
| ПКН-1500-1 | КГ220-1500 | 90 | 23 | 20 | 18 | 15 | 13 | 11 | 6 | 5 |
| ПКН-1500-2 | КГ220-1500 | 45 | 18 | 15 | 13 | 12 | 10 | 8 | 5 | 4 |
| ПКН-1000-1 | КГ220-1000-5 | 52 | 20 | 17 | 14 | 13 | 11 | 8 | 5 | 4 |
| ПКН-1000-2 | КГ220-1000-5 | 30 | 17 | 14 | 11 | 10 | 8 | 6 | 4 | 3 |
| ИСУ 02 × 5000/К-03-02 | КГ220-5000-1 | 200 | 35 | 30 | 25 | 22 | 20 | 17 | 10 | 8 |
| ИСУ 01 × 2000/К-63-01 | КГ220-2000-4 | 71 | 20 | 19 | 15 | 12 | 10 | 9 | 6 | 5 |
| ОУКсН-50 000 | ДКсТ-50 000 | 1300 | 70 | 50 | 45 | 40 | 35 | 30 | 30 | 30 |
| ОУКсН-20 000 | ДКсТ-20 000 | 650 | 50 | 42 | 38 | 33 | 30 | 20 | 15 | 10 |
| СКсН-10 000 | ДКсТ-10 000 | 165 | 35 | 30 | 25 | 22 | 20 | 15 | 15 | 15 |
| ККУ1 × 20 000/Н00-01 | ДКсТ-20 000 | 120 | 35 | 28 | 21 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| ККУ1 × 10 000/Н00-01 | ДКсТ-10 000 | 105 | 27 | 23 | 17 | 15 | 12 | 8 | 6 | 6 |

ТРЕБОВАНИЯ И ПРИМЕРЫ ОФОРМЛЕНИЯ ПЛАНОВ РАСПОЛОЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ПРОКЛАДКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Рабочую документацию внутреннего электрического освещения помещений зданий и сооружений выполняют в соответствии с требованиями ГОСТ 21. 608-2014, ГОСТ 21.101 и других взаимосвязанных стандартов Системы проектной документации для строительства (СПДС). В состав основного комплекта рабочих чертежей марки электрическое оборудование (ЭО) включают:

- общие данные по рабочим чертежам;
- планы расположения электрического оборудования и прокладки электрических сетей;
- принципиальные схемы питающей и распределительной сети (при необходимости);
- принципиальные схемы магистральных и групповых щитков освещения;
- принципиальные схемы дистанционного управления освещением;
- схемы подключения комплектных распределительных устройств напряжением до 1000 В;
- кабельный журнал для питающей и распределительной сети (при необходимости);
- чертежи узлов установки осветительных приборов и электрооборудования (при отсутствии типовых).

На планах расположения наносят и указывают:

- а) координационные оси здания (сооружения) и расстояния между ними;

б) строительные конструкции (в виде упрощенных контурных очертаний сплошными тонкими линиями); технологическое оборудование (в виде условных графических изображений сплошными толстыми линиями);

в) наименования помещений (при необходимости), кроме помещений жилых домов;

г) привязочные размеры для светильников или рядов светильников к элементам строительных конструкций или координационным осям здания (сооружения). Привязочные размеры допускается не проставлять, если места установки светильников понятны без указания привязочных размеров или если привязочные размеры приведены на чертежах интерьеров. В этом случае следует дать ссылку на соответствующие чертежи;

д) комплектные распределительные устройства на напряжение до 1000 В, относящиеся к сети внутреннего освещения (распределительные щиты, щиты станций управления, распределительные пункты, ящики и шкафы управления, вводно-распределительные устройства), и их обозначения;

е) групповые щитки и их обозначения;

ж) понижающие трансформаторы;

и) выключатели, штепсельные розетки (в жилых домах – включая розетки для электроплит и других бытовых электроприемников);

к) линии питающей, распределительной, групповой сетей и сети управления освещением (в жилых домах – включая линии для электроплит и других бытовых электроприемников), их обозначения, сечение и, при необходимости, марку и способ прокладки;

л) другое электрическое оборудование, относящееся к внутреннему освещению.

Примеры оформления планов расположения электрического оборудования и прокладки электрических сетей показаны на рис. ПЗ-1 и ПЗ-2.

При этом принципиальные схемы питающей и распределительной сетей, магистральных и групповых щитков освещения выполняют в однолинейном изображении согласно требованиям стандартов ЕСКД

на правила выполнения электротехнических схем и в соответствии с требованиями стандарта ГОСТ 21. 608-2014.

Принципиальные схемы дистанционного управления внутренним и наружным освещением и схемы подключения комплектных распределительных устройств на напряжение до 1000 В выполняют с учетом требований стандартов ЕСКД на правила выполнения электротехнических схем.

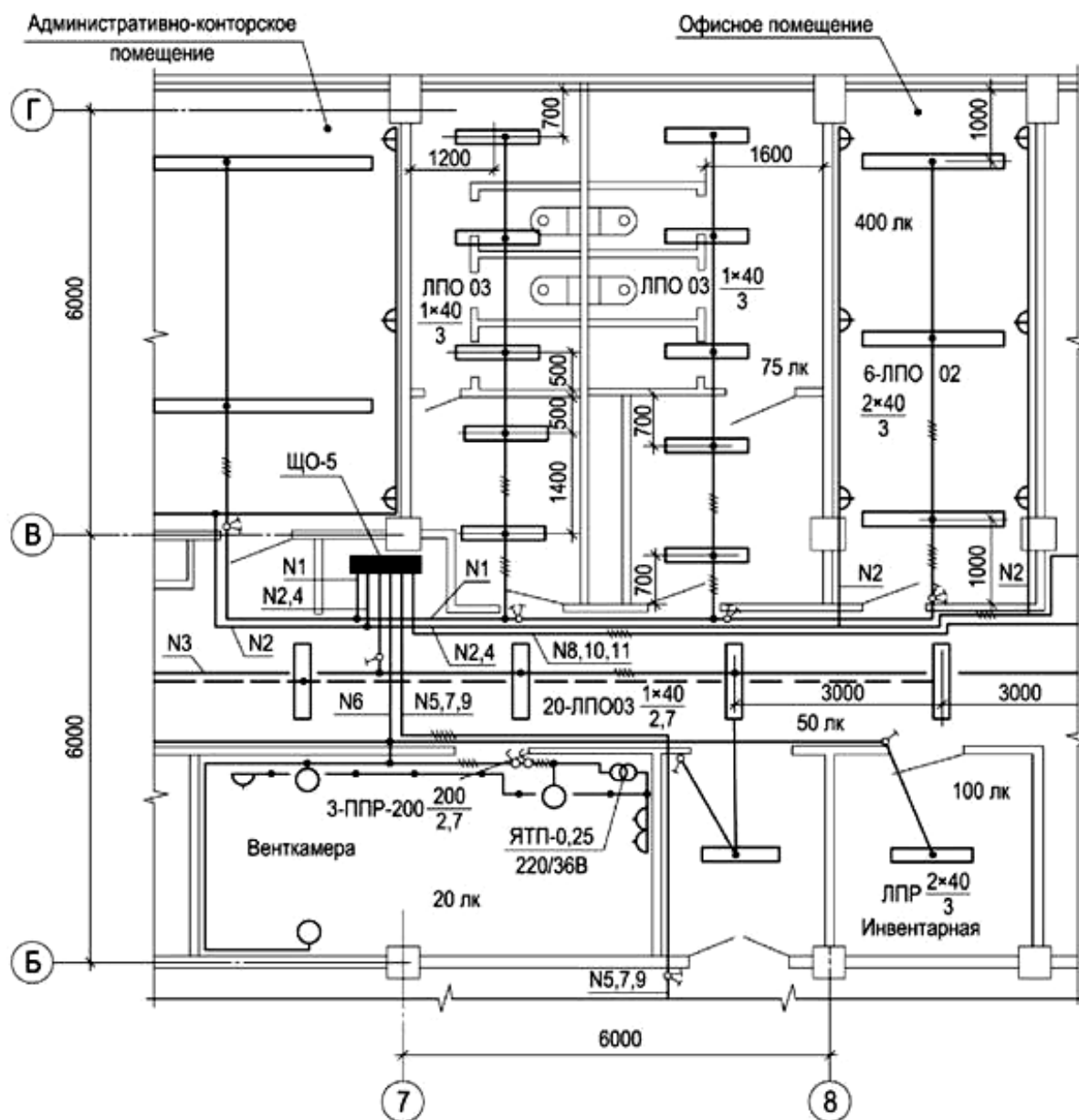


Рис. ПЗ-1. Пример оформления плана расположения электрического оборудования и прокладки электрических сетей для общественного здания

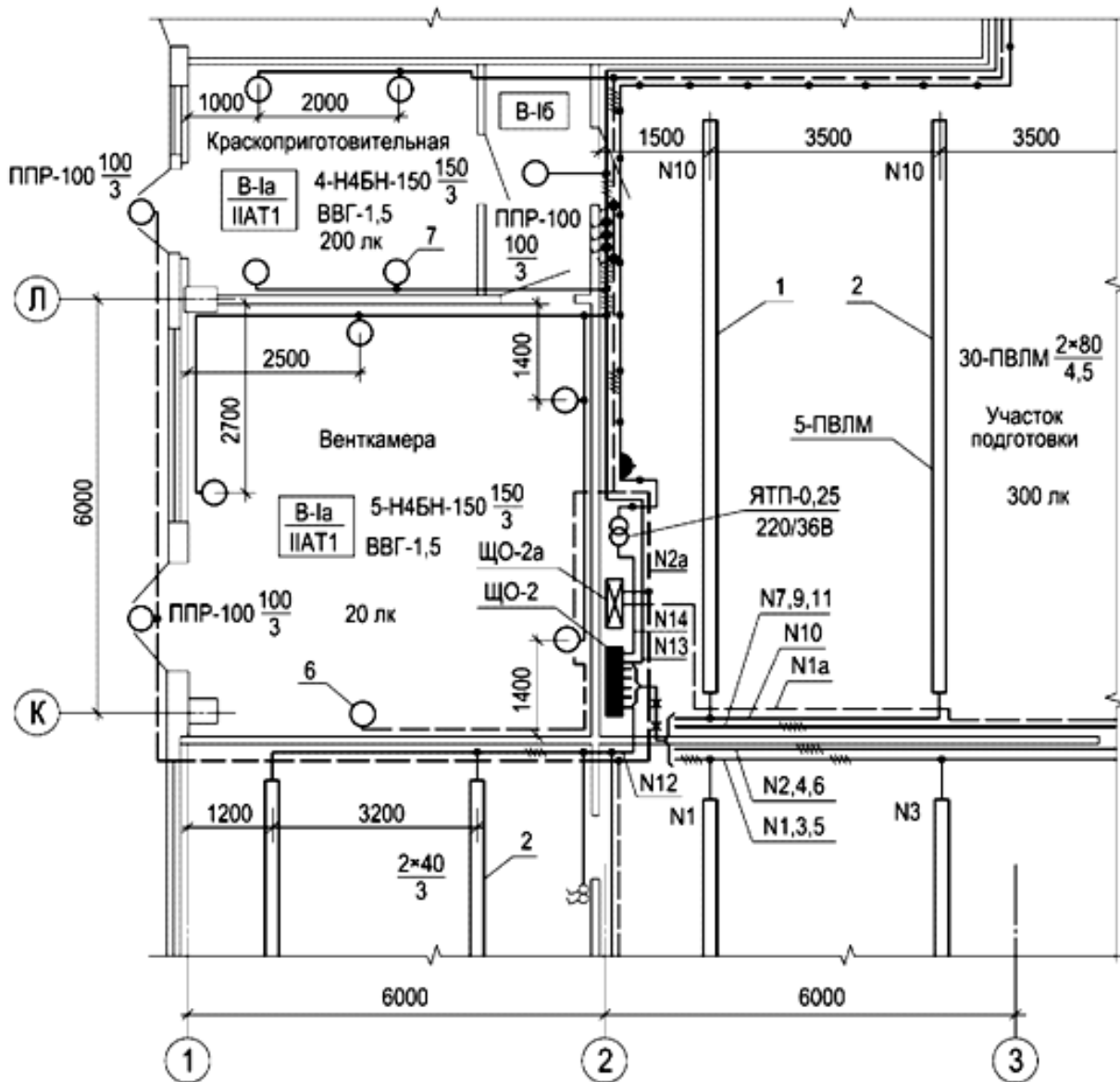


Рис. ПЗ-2. Пример оформления плана расположения электрического оборудования и прокладки электрических сетей для производственного здания

Примеры оформления расчетной электрической сети наружного освещения, расчетной электрической сети внутреннего освещения, питающей и распределительной сетей многоэтажного здания показаны на рис. ПЗ-3 – ПЗ-6.

Поясняющие надписи на рис. ПЗ-1 – ПЗ-6:

1) у комплектных распределительных устройств на напряжение до 1000 В:

– $P_{уст}$ – установленная мощность, кВт;

– $P_{расч}$ – расчетная нагрузка, кВт;

2) у групповых щитков:

$$A \frac{P_{уст}}{\Delta U},$$

где A – номер по плану расположения;

ΔU – потеря напряжения до щитка, %.

Например, ЩО – 9 $\frac{5,6}{2,0}$;

3) на линиях питающей и распределительной сетей с расчетными данными с указанием конкретных величин

$$\frac{a P_{расч} \cos \varphi I_{расч} l}{P_{расч} l \Delta U q \sigma},$$

где a – маркировка линии;

$I_{расч}$ – расчетный ток, А;

l – длина участка питающей (распределительной) сети, м;

q – марка проводника, сечение, мм²;

σ – способ прокладки (т... – в трубе указанного диаметра);

$P_{расч} l = M$ – момент нагрузки, кВт · м.

Пример обозначения

$$\frac{\text{№1}_1,4_0,85_2,5_97}{136_1,6_ВВГнг1(5 \times 2,5)_т25};$$

4) на линиях питающей и распределительной сетей без расчетных данных: $I_q_σ$;

5) пример

40_ВВГнг1(5 × 6)_т40.

| Сеть наружного освещения | | Питающий пункт номер по плану - тип | | | |
|--------------------------|-----------------------------|--|---------------------------------------|--------------------------|---------------|
| Назначение линии | Установленная мощность, кВт | Маркировка - расчетная нагрузка, кВт - коэффициент мощности - расчетный ток, А | Пускатель магнитный | Пускатель автоматический | Аппарат ввода |
| | | Длина участка, м - марка и сечение проводника | Тип - ток нагревательного элемента, А | Тип - ток расцепителя | |
| Открытый склад | 1 - 15,0 - 1,0 - 22,5 | 120 - ААШв 1(3 x 10 + 1 x 6) | 1 - ЯУ5116 - 13А2Г | | |
| Дороги | 2 - 7,5 - 0,5 - 22,7 | 50 - ААШв 1(3 x 16 + 1 x 6) | ПАЕ - 312 25 | АП50 - 3МТ 40 | |
| Охранное освещение | 3 - 6,0 - 1,0 - 9,0 | 40 - ААШв 1(3 x 6 + 1 x 4) | 2 - ЯУ5112 - 03Б2Г | | |
| | | | ПАЕ - 312 10 | АП50 - 3МТ 16 | |

118

Рис. ПЗ-3. Пример оформления расчетной электрической сети наружного освещения

| Источник питания | 380 / 220 В 14 КТП | | | | |
|---|--|---|---|--|----------------------------------|
| маркировка..... момент нагрузки..... | с 12 - 93 - 0,95 - 148 - 15 1400 - 0,6 - АПВ 4(1 x 95 - 170) | | | | |
| Распределительный пункт: номер; тип; установленная и расчетная мощность, кВт; аппарат на вводе: тип; ток, А | РП - 4 ПР9252 - 408 А3144 К 600 Руст = 104 кВт; Ррасч = 93 кВт | | | | |
| Выключатель автоматический или предохранитель: тип; ток расцепителя или плавкой вставки, А | А3124 К 60 ПАЕ - 412 50 | | | | |
| Пускатель магнитный: тип; ток нагревательного элемента, А | ЯУ5140 - 13Б2В | | | | |
| маркировка - расчетная нагрузка, кВт - коэффициент мощности - расчетный ток, А - длина участка, м момент нагрузки, кВт*м - потеря напряжения, % - марка, сечение проводника - способ прокладки | с 103 - 68 - 0,9 - 115 - 20 1380 - 0,4 - АШв - 4(1 x 50) Г 50 | с 104 - 50 - 0,9 - 84 - 26 2100 - 1,4 - АВВГ 3 x 35 + 1 x 16 | с 105 - 16 - 0,9 - 27 - 40 1080 - 0,7 - АВВГ 3 x 35 + 1 x 16 | с 106 9 - 0,9 - 15,2 - 25 225 - 0,15 - АВВГ 3 x 35 + 1 x 16 | с 107 - 2 - АВВГ 3 x 16 + 1 x 10 |
| Щиток групповой: аппарат на вводе: тип; номинальный ток, А | А3124 К 100 | А3134 К 200 | А3124 К 100 | А3124 К 100 | А3124 К 60 |
| Номер по схеме расположения на плане | ЩО - 5 | ЩО - 6 | ЩО - 7 | ЩО - 8 | ЩО - 12 |
| Установленная мощность, кВт | 20 | 37 | 8 | 10 | 29 |
| Потеря напряжения до щитка, % | 1,0 | 2,4 | 3,1 | 3,25 | 1,8 |

Рис. ПЗ-4. Пример оформления расчетной электрической сети внутреннего освещения

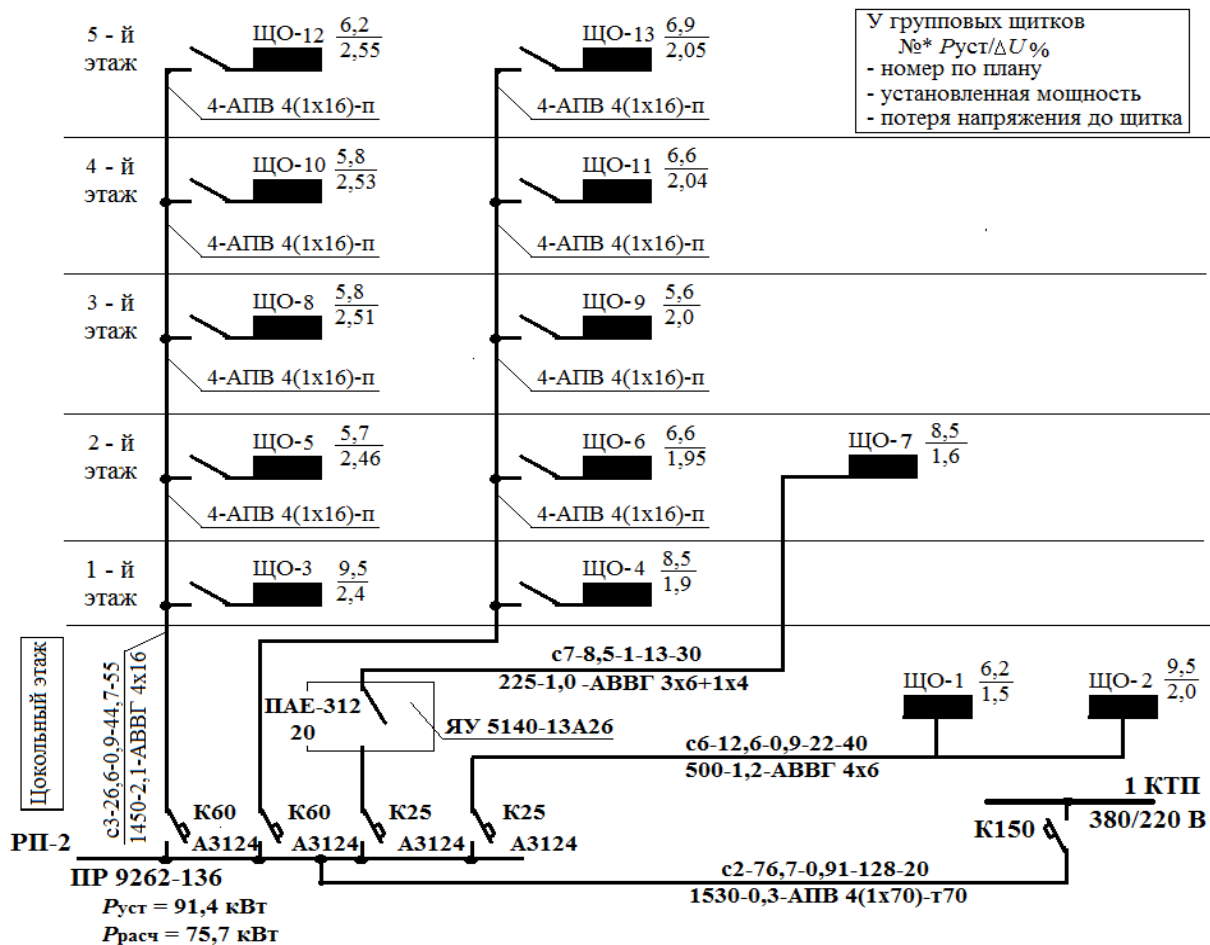


Рис. ПЗ-5. Пример оформления принципиальной схемы питающей и распределительной сетей многоэтажного здания

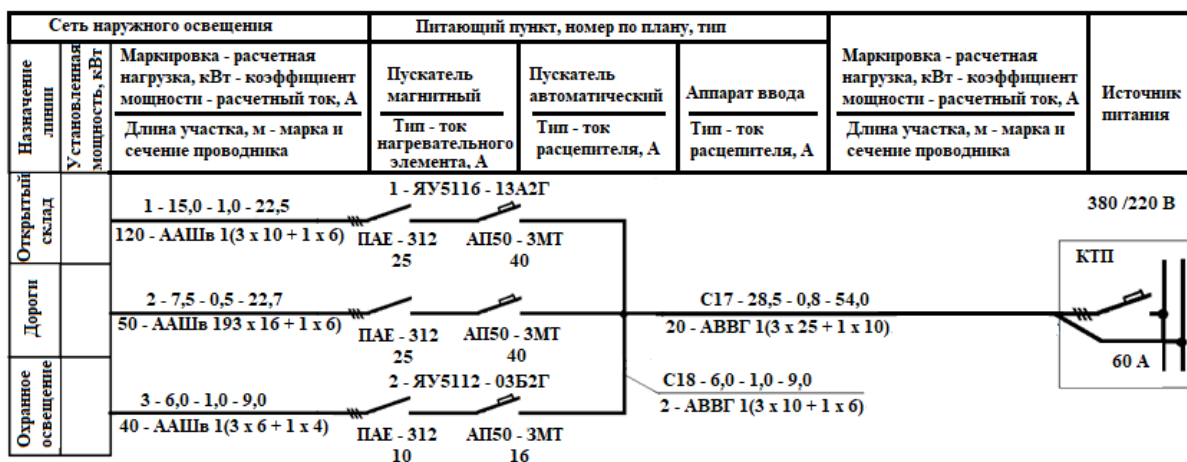


Рис. ПЗ-6. Пример оформления принципиальной схемы питающей и распределительной сетей наружного освещения

СВЕТОВОЙ ПОТОК И СВЕТОВАЯ ЭНЕРГИЯ

Световой поток Φ – мощность световой энергии Q , т. е. видимого излучения, оцениваемого по световому ощущению, которое оно производит на средний человеческий глаз. Эффективная величина светового потока измеряется в люменах (лм)

$$\Phi = \frac{dQ}{dt}.$$

Согласно стандартам Международной комиссии по освещению (МКО) световой поток определяется действием на селективный приемник, спектральная чувствительность которого нормализована функциями относительной спектральной световой эффективности излучения (монохроматического): $V(\lambda)$ – для дневного зрения (в условиях яркости и адаптации $L \geq 10$ кд/м²) и $V^1(\lambda)$ – для ночного зрения ($L \leq 0,01$ кд/м²).

Один люмен (лм) численно равен световому потоку, излучаемому в единичном телесном угле (стерадиан) равноинтенсивным (равномерным) точечным источником с силой света в одну канделу (кд).

Мера телесного угла с вершиной в центре сферы – отношение площади сферической поверхности dA , на которую он опирается, к квадрату радиуса сферы r . За единицу телесного угла – стерадиан (ср) – принят центральный телесный угол, вырезающий участок сферы, площадь которого равна квадрату его радиуса.

Установлено, что 1 Вт потока монохроматического излучения с длиной волны $\lambda = 0,555$ мкм равен 680 лм светового потока. Следовательно, максимальное значение спектральной световой эффективности численно равно $(K_\lambda)_{\max} = 680 \text{ лм/Вт}$.

Таким образом, световой поток сложного излучения

$$\Phi = 680 \int_{\lambda_1=0,38 \text{ мкм}}^{\lambda_2=0,78 \text{ мкм}} \varphi_e(\lambda) V(\lambda) d\lambda;$$

– световой поток монохроматического излучения

$$\Phi = 680 \sum_{i=1}^n V_{\lambda i} \Phi_{e\lambda i},$$

где n – число линий в спектре;

$V(\lambda)$ – относительная световая эффективность монохроматического излучения;

$680\varphi_e(\lambda)V(\lambda)d\lambda$ и $680\Phi_e(\lambda)V(\lambda)d\lambda$ – световой поток монохроматического излучения с длиной волны λ .

Световую эффективность K излучения (лм/Вт) с заданным спектральным составом $\varphi_e(\lambda)$ определяют как отношение светового потока к соответствующему потоку излучения

$$K = \frac{\Phi}{\Phi_e} = \frac{\int_{\lambda_1=0,38 \text{ мкм}}^{\lambda_2=0,78 \text{ мкм}} \varphi_e(\lambda)V(\lambda)d\lambda}{\int_{\lambda_i}^{\lambda_j} \varphi_e(\lambda)d\lambda}.$$

Относительная световая эффективность V сложного излучения равна

$$V = \frac{K}{(K_\lambda)_{\max}} = \frac{\int \varphi_e(\lambda)V(\lambda)d\lambda}{\int \varphi_e(\lambda)d\lambda}.$$

Световую отдачу (лм/Вт) источника света определяют отношением светового потока и мощности источника света $\eta = \frac{\Phi}{P}$.

Световую энергию излучения определяют произведением светового потока на время его действия:

– при $\Phi = \text{const}$; $Q = \Phi(t)$;

– при $\Phi(t) = \text{var}$ $Q = \int_{t_1}^{t_2} \Phi(t)dt$,

где $\Phi(t)$ – мгновенное значение светового потока. Единица световой энергии – люмен на секунду (лм · с).

Применительно к импульсным источникам световую энергию называют *светосуммой*. Световую энергию импульсного источника излучения с переменным во времени световым потоком – светосилу (лм · с) – определяют за время вспышки t

$$Q = \int_0^t \Phi(t)dt.$$

Световую отдачу вспышки (лм/Вт) принято определять отношением световой энергии импульса к энергии, запасенной в конденсаторе,

$$\eta = \frac{\int_0^t \Phi(t) dt}{C V_0^2 / 2},$$

где C – емкость питающего конденсатора, мкФ;

V_0 – напряжение на конденсаторе в начале вспышки, В.

Сила света I – это пространственная плотность светового потока в заданном направлении:

а) для сложного излучения $I = \frac{d\Phi}{d\Omega}$,

б) для монохроматического $dI_\lambda = \frac{d^2\Phi_\lambda}{d\Omega}$,

где $d\Phi$ – световой поток, лм; $d\Omega$ – телесный угол, ср.

Единица силы света – кандела (кд) – сила света, излучаемого в перпендикулярном направлении $1/(6 \cdot 10^5) \text{ м}^2$ поверхности черного тела при температуре затвердевания платины ($T = 2045 \text{ К}$) и давлении $101 \cdot 325$ паскалей (Па), $1 \text{ кд} = 1 \text{ лм} \cdot \text{ср}^{-1}$.

Пространственная плотность светового потока, как правило, неодинакова по различным направлениям пространства, поэтому значения силы света определяют направлением потока. Для источников света с симметричным светораспределением все значения силы света в любом направлении угла α к оси симметрии источника одинаковы. Следовательно, так же, как силу излучения, силу света симметричного источника однозначно определяют и индексируют углом α . Силу света несимметричного источника света определяют углами α и β .

Распределение в пространстве потока излучения точечного источника однозначно определяется его *фотометрическим телом* – частью пространства, ограниченного поверхностью, проведенной через концы радиус-векторов $I(\alpha)$ силы излучения.

Светораспределение любого круглосимметричного светового прибора (СП) можно провести по одной меридиальной КСС, а для симметричных СП необходимо иметь семейство меридиальных КСС для

различных меридиальных плоскостей, число которых выбирают исходя из формы фотометрического тела.

Для СП с двумя плоскостями симметрии (для светильников с линейными лампами и прожекторов) обычно ограничиваются КСС только в двух главных плоскостях – продольной и поперечной (рис. П4-1). Однако часто необходимо знать КСС СП не только в нижней, но и в верхней полусфере пространства.

По светораспределению СП в зависимости от соотношения светового потока Φ_{\downarrow} , направляемого в нижнюю полусферу, и полного светового потока светильника $\Phi_{\text{св}}$ подразделяют на пять классов: П, Н, Р, В, О (табл. П4).

КСС СП указанных классов в зависимости от формы КСС подразделяют на несколько стандартных типов К, Г, Д, Л, Ш, М, С (рис. П4-1).

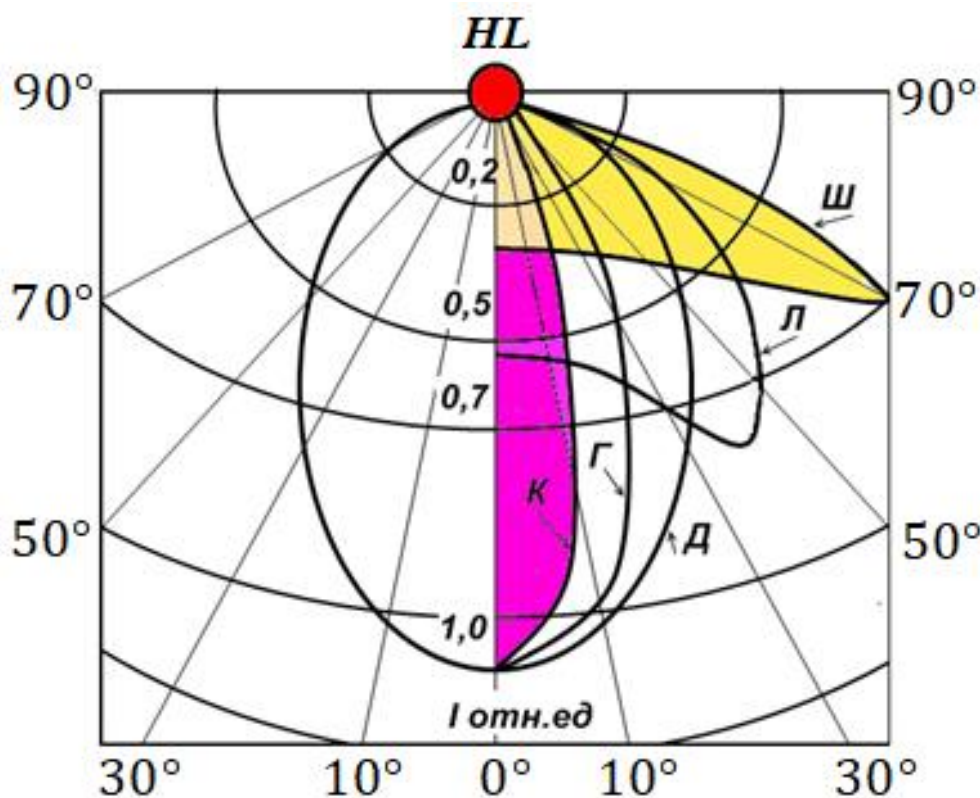


Рис. П4-1. Графики типовых КСС круглосимметричных светильников

Графики типовых КСС

| Класс светильника по светораспределению | Характер распределения света | $\Phi_{\bar{u}}/\Phi_{\text{св}}$, % |
|---|-----------------------------------|---------------------------------------|
| П | Прямого света | Свыше 80 |
| Н | Преимущественно прямого света | 60 – 80 |
| Р | Рассеянного света | 40 – 60 |
| В | Преимущественно отраженного света | 20 – 40 |
| О | Отраженного света | 20 |

Сечение фотометрического тела плоскостью, проходящей через начало координат (через точечный источник), определяет КСС источника излучения для данной плоскости сечения. Если фотометрическое тело имеет ось симметрии, источник излучения характеризуют КСС в продольной плоскости.

Световой поток источника света определяют по КСС, если фотометрическое тело имеет ось симметрии. Если КСС источника излучения $I(\alpha)$ задана графиком или таблицей, расчетную формулу светового потока источника определяют выражением

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

где $I_{\alpha i}$ – среднее значение силы света в заданном телесном угле, кд;
 $\Delta\Omega_{i,i+1} = 2\pi(\cos \alpha_i - \cos \alpha_{i+1})$.

Примерные графики КСС несимметричных источников света показаны на рис. П4-2 в полярной системе координат.

Примерные графики линейных изолукс круглосимметричного светильника показаны на рис. П4-3 в декартовой системе координат в функциональной зависимости расстояния в проекции на горизонтальную плоскость до контрольной точки d к расчетной высоте установки светильника h , что характеризует силу света источника излучения в заданном направлении.

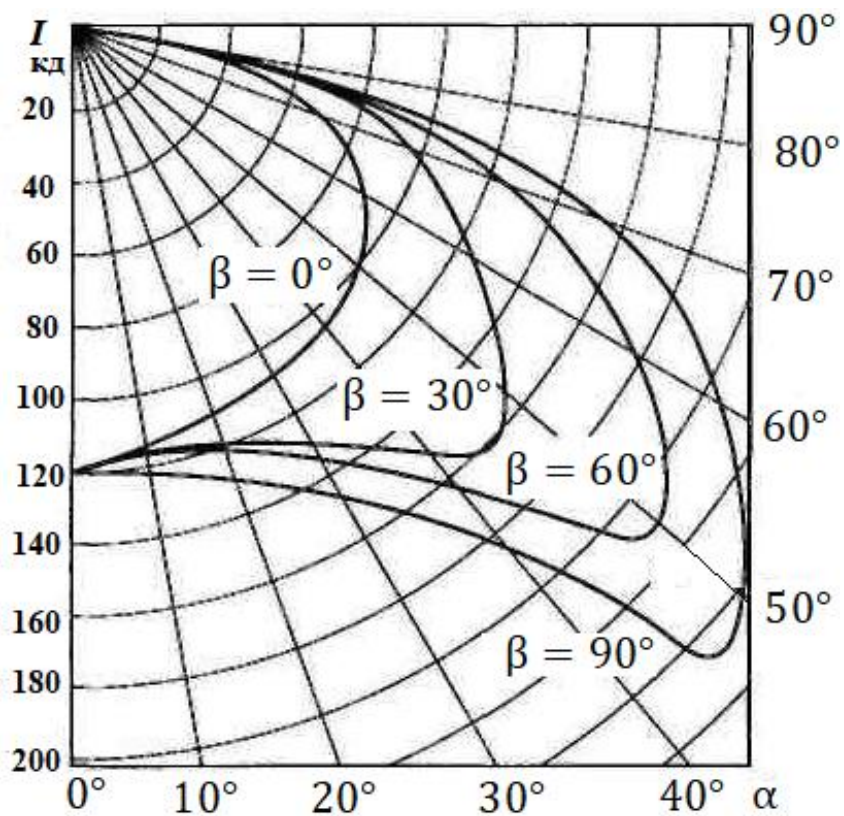


Рис. П4-2. Графики КСС несимметричных источников света

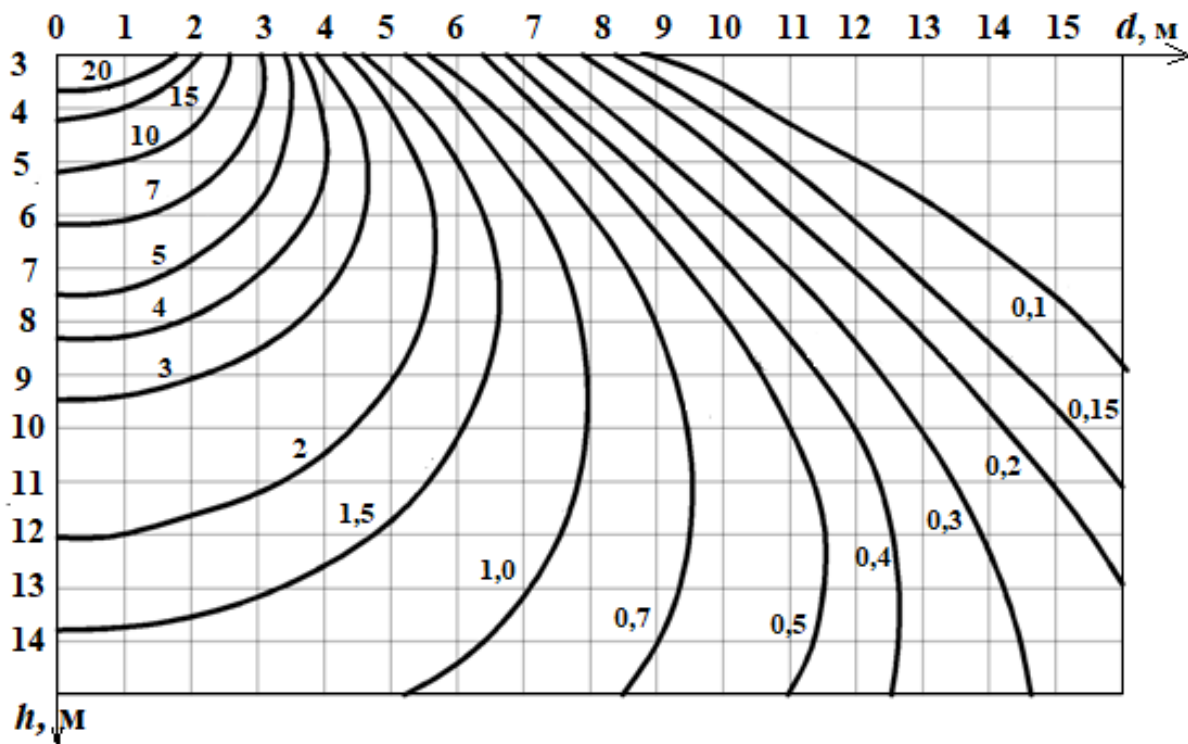


Рис. П4-3. Графики линейных изолукс круглосимметричного светильника

Освещенность – это плотность светового потока по освещаемой поверхности, определяемая в зависимости от вида излучения по следующим формулам:

а) для сложного излучения

$$E = \frac{d\Phi}{dA_0} \quad \text{или} \quad E = 680 \int_{0,38}^{0,78} l_e(\lambda)V(\lambda)d\lambda;$$

б) для монохроматического излучения

$$dE_\lambda = \frac{d^2\Phi_\lambda}{dA_0}, \quad \text{или} \quad dE_\lambda = 680l_{e\lambda}V_{e\lambda}d\lambda,$$

где $l_{e\lambda}$ – спектральная плотность облученности ($\text{Вт/м}^2 \cdot \text{мкм}^{-1}$);

dA_0 – площадь освещаемой поверхности, м^2 .

Единицей освещенности – *люкс* (лк) – принято считать освещенность, создаваемую световым потоком в 1 люмен (лм), равномерно распределенным по поверхности, площадь которой равна одному квадратному метру $1 \text{ лк} = 1 \text{ лм/м}^2$.

Световую энергию, упавшую на единицу площади поверхности освещаемого тела, называют *экспозицией* (количеством освещения) H и определяют путем интегрирования мгновенного значения освещенности

$$H = \int_{t_1}^{t_2} E(t) dt,$$

где $E(t)$ – мгновенное значение освещенности, лк · с.

В частном случае при $E(t) = \text{const}$ получим $H = Et$, лк · с.

Экспозицией определяют меру реакции приемника во всех фотохимических процессах, в которых число молекул, вступающих в реакцию, определяют не только плотностью эффективного потока по облучаемой поверхности, но также и длительностью процесса.

Яркость поверхности L выражают либо через силу света в заданном направлении, либо через световой поток

$$L_{\alpha\beta} = \frac{dI_{\alpha\beta}}{\cos \alpha dA} \quad \text{или} \quad L_{\alpha\beta} = \frac{d^2\Phi_{\alpha\beta}}{\cos \alpha dAd\Omega_{\alpha\beta}},$$

где $d\Phi_{\alpha\beta}$ – световой поток в пределах телесного угла $d\Omega_{\alpha\beta}$, излучаемый элементарным участком dA поверхности излучателя;

$\cos \alpha dA$ – площадь проекции элементарного излучателя dA на плоскость, перпендикулярную оси телесного угла $d\Omega_{\alpha\beta}$.

Из выражения для значения $L_{\alpha\beta}$ следует, что яркость любого элементарного участка световой поверхности определяют соотношением силы света $dI_{\alpha\beta}$ излучающего элемента dA к площади его проекции $\cos \alpha dA$ на плоскость, перпендикулярную заданному направлению α и β . Яркость объекта наблюдения определяет уровень зрительного ощущения.

Светимость поверхности M , лм/м², – это плотность излучаемого (отражаемого) светового потока по площади поверхности излучающего (отражающего) тела

$$M = \frac{d\Phi}{dA}, \quad \text{или} \quad M = \int L(\alpha, \beta) \cos \alpha d\Omega;$$

$$M = 680 \int m_e(\lambda) V(\lambda) d\lambda,$$

где $m_e(\lambda) = \frac{dm_{e\lambda}}{d\lambda}$ – спектральная плотность энергетической светимости излучающей поверхности;

$L(\alpha, \beta)$ – яркость излучающей (отражающей) поверхности;

α – угол между нормалью к площади излучающего элемента dA и осью телесного угла $d\Omega$.

Светимость можно также характеризовать плотностью светового потока, отраженного от диффузной поверхности и прошедшего через рассеивающие материалы (молочное и матированное стекло, пластмассы) в соответствии с выражениями:

а) для отраженного излучения

$$M_{\rho} = \frac{d\Phi_{\rho}}{dA} = \rho \frac{d\Phi}{dA} = \rho E;$$

б) для излучения, прошедшего через рассеивающие материалы,

$$M_{\tau} = \frac{d\Phi_{\tau}}{dA} = \tau \frac{d\Phi}{dA} = \tau E,$$

где ρ – коэффициент отражения;
 τ – коэффициент пропускания.

Двойственность световоспринимающего аппарата глаза, а также различие спектральной чувствительности палочек и колбочек приводят к изменению спектральной и интегральной чувствительности глаза в функции уровня яркости и спектра излучения, как это показано на рис. П4-4 и П4-5. Эти процессы называют яркостной и цветовой адаптацией.

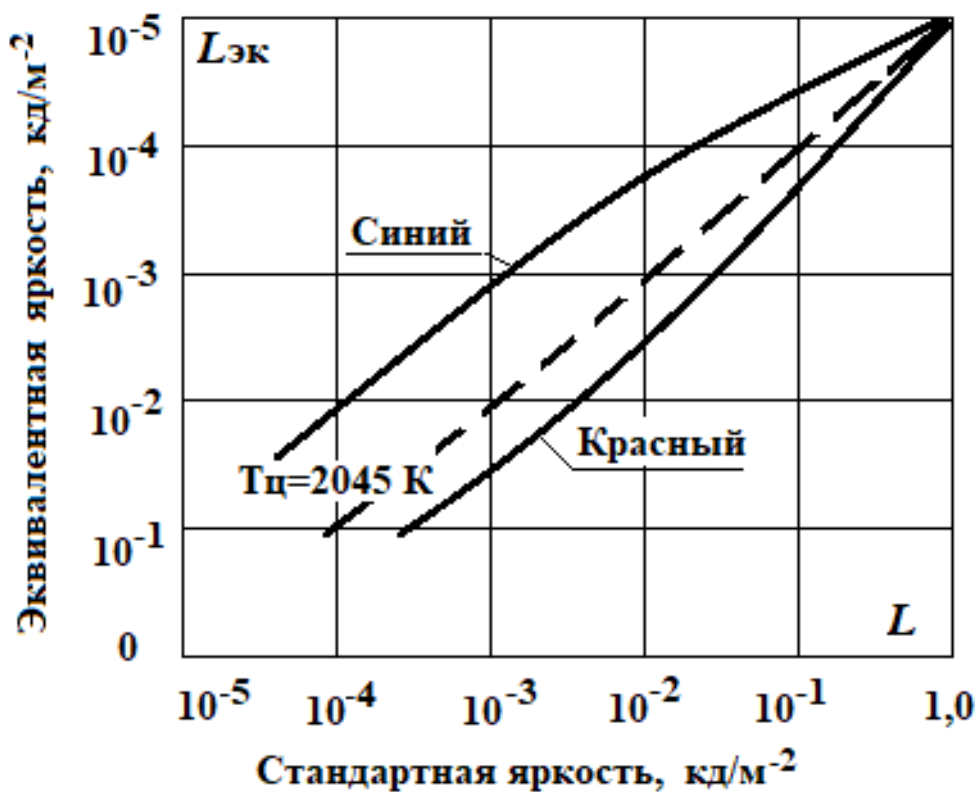


Рис. П4-4. Графики эквивалентной яркости

Адаптация – это приспособление зрительного аппарата к заданной яркости и цветности поля зрения путем регулирования концентрации молекул родопсина и иодопсина в палочках и колбочках, а также перестройка рецептивных полей и экранирование сетчатки пигментом при высоких яркостях.

Функции спектральной световой эффективности излучения $V(\lambda)$ для каждого уровня яркости на интервале $0,01 \leq L \leq 10$ кд/м² определяются уровнем адаптации глаза.

Наличие эффекта неодинакового зрительного ощущения разноспектральных излучений источников света при одинаковой их яркости $L \leq 10$ кд/м² привело к введению понятия *эквивалентной яркости излучения* заданного спектрального состава, определяемой как яркость равносветлого оптически сложного излучения условленного спектрального состава с цветовой температурой $T_{ц} = 2045$ К (см. рис. П4-4).

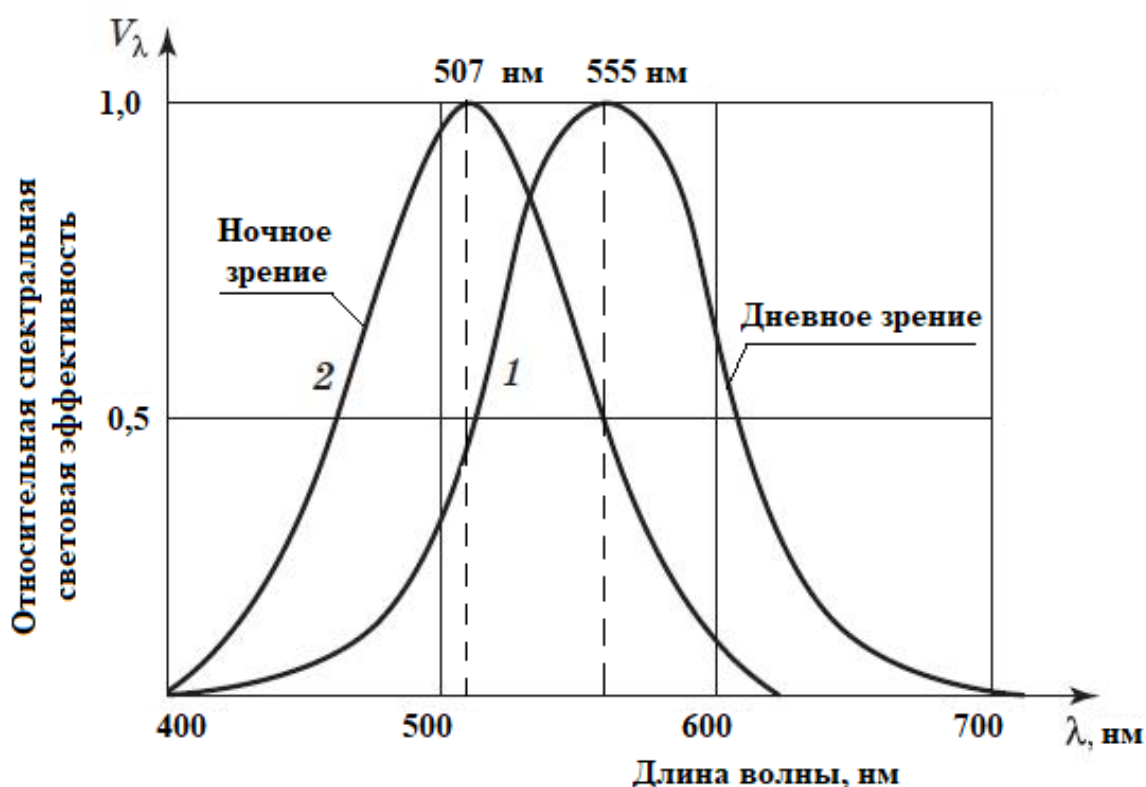


Рис. П4-5. Графики относительной спектральной световой эффективности по ГОСТ 8.332-2013

Из графиков рис. П4-4 видно, что при $L = 10^{-2}$ кд/м² эквивалентные яркости синего и красного излучений различаются более чем на порядок.

Эквивалентную яркость излучения $L_{\text{ЭК}}$ определяют по формуле

$$L_{\text{ЭК}} = k \int_{0,38}^{0,78} l_e(\lambda) V(\lambda, L_{\text{ЭК}}) d\lambda,$$

где $k = 680\psi(\lambda, L_{\text{ЭК}})$ – функция спектрального состава эталонного излучения и $L_{\text{ЭК}}$. В условиях дневного зрения $k = 680$; $l_e(\lambda)$ – спектральная плотность энергетической яркости исследуемого излучения.

Для определения $L_{\text{ЭК}}$ методом приближения сначала находят $L_{\text{ЭК}}$ по заданной яркости и спектральному составу излучения, а также различных соотношений долей потока излучения h_i в красной, зеленой и синей зонах видимого спектра и при различных значениях коэффициентов

$$h_c = \frac{\Delta\Phi_{ec}}{\Phi_e}, \quad h_z = \frac{\Delta\Phi_{ez}}{\Phi_e}, \quad h_k = \frac{\Delta\Phi_{ek}}{\Phi_e},$$

где $\Delta\Phi_{ec}$, $\Delta\Phi_{ez}$, $\Delta\Phi_{ek}$ – потоки излучений в синей, зеленой и красной зонах спектра заданного излучения соответственно.

Суммарный поток излучения определяют как сумму элементарных потоков

$$\Phi_e = \Delta\Phi_{ec} + \Delta\Phi_{ez} + \Delta\Phi_{ek}.$$

Номенклатура источников света

| Тип | Цоколь | Мощность, Вт | Световой поток, лм | Световая отдача, лм/Вт | $T_{ц}$, К | R_a | Средний срок службы, ч | Фирма-изготовитель, страна |
|--|--------|--------------|--------------------|------------------------|-------------|-------|------------------------|----------------------------|
| Лампы накаливания общего назначения (220 В) | | | | | | | | |
| Б 230-240-25 | E27 | 25 | 210 | 8,4 | 4500 | 80 | 1000 | ЛИСМА (Саранск, Россия) |
| Б 230-240-40 | | 40 | 430 | 10,1 | | | | |
| Б 230-240-60 | | 60 | 710 | 12,0 | | | | |
| Б 230-240-100 | | 100 | 1370 | 13,7 | | | | |
| ЛОН 25 | | 25 | 200 | 8,0 | | | | |
| ЛОН 40 | | 40 | 490 | 10,2 | | | | |
| ЛОН 60 | | 60 | 810 | 13,0 | | | | |
| ЛОН 100 | | 100 | 1540 | 15,4 | | | | |
| CLASSIK-OSRAM | E27 | 25 | 220 | 8,8 | - | - | 1000 | OSRAM (Германия) |
| CLAS A FR 25 | | 40 | 420 | 10,5 | | | | |
| CLAS A FR 40 | | 60 | 720 | 12,0 | | | | |
| CLAS A FR 60 | | 75 | 940 | 12,5 | | | | |
| CLAS A FR 75 | | 100 | 1360 | 13,6 | | | | |
| CLAS A FR 100 | | | | | | | | |

Продолжение табл. П5-1

| Тип | Цоколь | Мощность, Вт | Световой поток, лм | Световая отдача, лм/Вт | T_c , К | R_a | Средний срок службы, ч | Фирма-изготовитель, страна |
|--|--------|--------------------------------|--|--|-----------|---------|------------------------|----------------------------|
| Галогенные лампы сетевого напряжения | | | | | | | | |
| OSRAM HALOLUX*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 (Германия) |
| Низковольтные ЛН для светильников местного освещения (12, 24, 36 В) | | | | | | | | |
| MO 12-40 MO 24-40 MO 36-40 MO 36-60 MO 36-100 | E27 | 40 40 40 60 100 | 620 600 580 950 1550 | 15,5 15,0 14,5 15,8 15,5 | — | — | 1000 | Россия |
| Компактные люминесцентные лампы | | | | | | | | |
| OSRAM DULUX*LONGLIFE DULUX EL 5W/41-827 E27 DULUX EL 7W/41-827 E27 DULUX EL 11W/41-827 E27 DULUX EL 15W/41-827 E27 DULUX EL 20W/41-827 E27 DULUX EL 23W/41-827 E27 | E27 | 5 7 11 15 20 23 | 240 400 600 900 1200 1500 | 48,00 57,14 54,50 60,00 60,00 65,20 | 2700 | 80 – 89 | 18 000 | OSRAM (Германия) |
| | | | | | | | | |

Продолжение табл. П5-1

| Тип | Цоколь | Мощность, Вт | Световой поток, лм | Световая отдача, лм/Вт | $T_{ц}$, К | R_a | Средний срок службы, ч | Фирма-изготовитель, страна |
|--------------------------------------|--------|--------------|--------------------|------------------------|-------------|-------|------------------------|----------------------------|
| Линейные люминесцентные лампы | | | | | | | | |
| ЛБ-40-2 | G13 | 40 | 2800 | 70,0 | 3450 | 65/70 | 10 000 | Россия |
| ЛБ-65 | | 65 | 4600 | 70,8 | 3450 | | 12 000 | |
| ЛБ-80 | | 80 | 5200 | 65,0 | 6400 | | 12 000 | |
| ЛД-20-2 | | 20 | 880 | 44,0 | 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 | 53,0 | 6400 | | 12 000 | |
| Диаметр трубки 16 мм | G5 | | | | | 85 | 24 000 | Philips (Голландия) |
| MASTER TL5 HO 24ВТ/827 | | 24 | 1750 | 83 | 2700 | | | |
| MASTER TL5 HO 39ВТ/830 | | 39 | 3100 | 90 | 3000 | | | |
| MASTER TL5 HO 54ВТ/830 | | 54 | 4450 | 93 | 3000 | | | |
| MASTER TL5 HO 80ВТ/830 | | 80 | 6150 | 88 | 3000 | | | |
| MASTER TL5 HE 14ВТ/840 | | 14 | 1200 | 96 | 4000 | | | |
| MASTER TL5 HE 21ВТ/840 | | 21 | 1900 | 100 | 4000 | | | |
| MASTER TL5 HE 28ВТ/830 | | 28 | 2600 | 104 | 3000 | | | |
| MASTER TL5 HE 35ВТ/830 | 35 | 3300 | 104 | 3000 | | | | |
| Диаметр трубки 26 мм | G13 | | | | | 63 | 18 000 | |
| TL-D 14 ВТ/33 | | 14 | 750 | 53,5 | 2400 | | | |
| TL-D 15 ВТ/33 | | 15 | 960 | 64,0 | 2400 | | | |
| TL-D 18 ВТ/33 | | 18 | 1200 | 66,6 | 2400 | | | |
| TL-D 23ВТ/54 | | 23 | 1550 | 67,4 | 2800 | | | |
| TL-D 30ВТ/54 | | 30 | 1825 | 60,8 | 2800 | | | |
| TL-D 36 ВТ/54 | | 36 | 2500 | 69,4 | 2800 | | | |

Продолжение табл. П5-1

| Тип | Цоколь | Мощность, Вт | Световой поток, лм | Световая отдача, лм/Вт | $T_{ц}$, К | R_a | Средний срок службы, ч | Фирма-изготовитель, страна | | | |
|--|--------|--------------|--------------------|------------------------|-------------|-------|------------------------|----------------------------|--|--|--|
| Дуговые ртутные лампы высокого давления с люминофором (ДРЛ) | | | | | | | | | | | |
| HPL-N 50W | E27 | 50 | 1770 | 36,0 | 4200 | 49 | 15 000 | Philips (Голландия) | | | |
| HPL-N 80W | E27 | 80 | 3600 | 45,0 | 4300 | 48 | | | | | |
| HPL-N 125W | E27 | 125 | 6200 | 50,0 | 4100 | 46 | | | | | |
| HPL-N 125W | E40 | 125 | 6200 | 50,0 | 4100 | 46 | | | | | |
| HPL-N 250W | E40 | 250 | 12 700 | 51,0 | 4100 | 40 | | | | | |
| HPL-N 400W | E40 | 400 | 22 000 | 55,0 | 3900 | 40 | | | | | |
| HPL-N 700W | E40 | 700 | 38 500 | 55,0 | 3900 | 36 | | | | | |
| HPL-N 1000W | E40 | 1000 | 58 500 | 59,0 | 3900 | 33 | | | | | |
| HPLCOMFORT PRO 400W | E40 | 400 | 24 200 | 61,0 | 3500 | 47 | | | | | |
| Металлогалогенные лампы (типа ДРИ) | | | | | | | | | | | |
| ДРИ-250-5 | E40 | 250 | 19 000 | 76,0 | 4200 | 65 | 10 000 | Россия | | | |
| ДРИ-400-5 | | 400 | 36 000 | 76,0 | 4200 | | 10 000 | | | | |
| ДРИ-700-5 | | 700 | 60 000 | 76,0 | 4200 | | 10 000 | | | | |
| ДРИ-1000-5 | | 1000 | 103 000 | 90,0 | 4200 | | 10 000 | | | | |
| ДРИ-1000-6 | | 1000 | 103 000 | 85,7 | 4200 | | 9000 | | | | |
| ДРИ-2000-6 | | 2000 | 200 000 | 103,0 | 4200 | | 9000 | | | | |
| ДРИ-3500-6 | | 3500 | 350 000 | 100,0 | 4200 | | 3000 | | | | |
| HPI-T 250W | | 250 | 17 000 | 100,0 | 4600 | | 2000 | | | | |
| HPI-T-400W | | 400 | 30 500 | 100,0 | 4500 | | 1500 | | | | |
| HPI-T-1000W | | 1000 | 82 000 | 100,0 | 4300 | | 1500 | | | | |
| HPI-T-2000W 220V | | 2000 | 189 000 | 100,0 | 4900 | | 1500 | | | | |
| HPI-T-2000W 380V | | 2000 | 183 000 | 100,0 | 4300 | | 1500 | | | | |
| | | | | | | | | | | | |

Окончание табл. П5-1

| Тип | Цоколь | Мощность, Вт | Световой поток, лм | Световая отдача, лм/Вт | T_c , К | R_a | Средний срок службы, ч | Фирма-изготовитель, страна |
|--|--------|--------------|--------------------|------------------------|-----------|-------|------------------------|----------------------------|
| Натриевые лампы высокого давления (типа ДНаТ) | | | | | | | | |
| MASTER SON PIA 50 Вт | E27 | 50 | 3500 | 70 | 1950 | | | Philips (Голландия) |
| MASTER SON PIA 70 Вт | E27 | 70 | 5600 | 80 | 1950 | | | |
| MASTER SON PIA 150ВтHgf | E40 | 150 | 14 500 | 97 | 2150 | | | |
| MASTER SON PIA 250ВтHgf | E40 | 250 | 27 000 | 108 | 2150 | | | |
| MASTER SON PIA 400ВтHgf | E40 | 400 | 48 000 | 120 | 2150 | 23 | > 24 000 | |
| MASTER SON PIA 100 Вт | E40 | 100 | 10 000 | 100 | 1950 | | | |
| MASTER SON PIA 150 Вт | E40 | 150 | 16 000 | 107 | 1950 | | | |
| MASTER SON PIA 250 Вт | E40 | 250 | 30 000 | 120 | 1950 | | | |
| MASTER SON PIA 400 Вт | E40 | 400 | 54 000 | 135 | 1950 | | | |
| SPX ECO ARC 98 W | E27 | 98 | 7400 | 75,5 | | | | SILVANIA (Германия) |
| SPX ECO ARC 190 W | E40 | 190 | 17 000 | 89,5 | 2000 | 23 | > 24 000 | |
| SPX ECO ARC 295 W | E40 | 295 | 32 000 | 108,5 | | | | |

Таблица П5-2

Серия светодиодных светильников для освещения офисных помещений любого формата

| Название | Мощность, Вт | Световой поток, лм | Тип КСС | Защита корпуса | Цветовая температура, К | Коэффициент мощности | Производитель светодиодов |
|------------------------------------|--------------|--------------------|---------|----------------|-------------------------|----------------------|---------------------------|
| ФОТОН-ОФИС-72-УФ АНТИВИРУС | 37/18 | 4450 | Д | IP20 | 4000 | 0,96 | CREE, OSRAM |
| ФОТОН-ОФИС-18 микропризма | 10 | 1226 | | IP40 | | | |
| ФОТОН-ОФИС-36 микропризма | 18 | 2330 | | IP65 | | | |
| ФОТОН-ОФИС-176 PL IP65 микропризма | 37 | 3800 | | | | | |
| ФОТОН-ОФИС-176 PL IP65 опал | | 3500 | | | | | |
| ФОТОН-ОФИС-72 PL IP65 микропризма | | 4450 | | | | | |
| ФОТОН-ОФИС-72 PL IP65 опал | | 4220 | | | | | |
| ФОТОН-ОФИС-72 микропризма | | 4450 | | | | | |
| ФОТОН-ОФИС-72 опал | | 4220 | | | | | |
| ФОТОН-ОФИС-72 IP54 микропризма | | 4450 | | IP54 | | | |
| ФОТОН-ОФИС-72 IP54 опал | 4220 | IP40 | | | | | |
| ФОТОН-ОФИС-72L микропризма (узкий) | 4450 | | | | | | |
| ФОТОН-ОФИС-72L опал (узкий) | 4220 | | | | | | |
| ФОТОН-ОФИС-96 призма | 4550 | | | | | | |
| ФОТОН-ОФИС-96 опал | 4332 | | | | | | |
| ФОТОН-ОФИС-96L микропризма (узкий) | 4810 | | | | | | |
| ФОТОН-ОФИС-96L опал (узкий) | 4570 | | | | | | |
| ФОТОН-ОФИС-108 микропризма | 58 | | | 7110 | | | |
| ФОТОН-ОФИС-108 опал | | | | 6755 | | | |
| ФОТОН-ОФИС-108 L микропризма | | | | 7110 | | | |
| ФОТОН-ОФИС-108 L опал | | 6755 | | | | | |
| ФОТОН-ОФИС-96-45W микропризма | 45 | 5315 | | | | | |
| ФОТОН-ОФИС-96-45W опал | | 5050 | | | | | |

Таблица П5-3

**Серия светильников для освещения любого производственного помещения
или площадки под открытым небом**

| Название | Мощность, Вт | Световой поток, лм | Тип КСС | Защита корпуса | Цветовая температура, К | Коэффициент мощности | Производи- тель светоди- одов |
|----------------------------|-----------------|-----------------------|---------------|-------------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|
| ФОТОН-ПРОМ-24/05 ПС | 13 | 1638 | Д | IP65 | 4000 | 0,96 | Россия |
| ФОТОН-ПРОМ-48 ПС | 22 | 2772 | | | | | |
| ФОТОН-ПРОМ-96-S ПС | 40 | 4876 | | | | | |
| ФОТОН-ПРОМ-96 ПС | 40 | 4876 | | | | | |
| ФОТОН-ПРОМ-144 ПС | 65 | 8520 | | | | | |
| ФОТОН-ПРОМ-160 ПС | 82 | 9150 | | | | | |
| ФОТОН-ОМЕГА-55.05.112.Г60 | 53 | 7240 | Д, 30, 60, 90 | | 5000 | | |
| ФОТОН-ОМЕГА-80.05.168.Г60 | 80 | 11 200 | | | | | |
| ФОТОН-ОМЕГА-110.05.224.Г60 | 106 | 14 840 | | | | | |
| ФОТОН-ОМЕГА-160.05.336.Г60 | 160 | 22 260 | | | | | |
| ФОТОН-ОМЕГА-210.05.448.Г60 | 212 | 29 680 | | | | | |
| ФОТОН-ОМЕГА-30.05.60.Д | 30 | 3838 | Д | IP67 | | 0,98 | |
| ФОТОН-ОМЕГА-25.3.12.Г60 | 27 | 3306 | К25, Г60, Г90 | | | | |
| ФОТОН-ОМЕГА-60.05.120.Д | 60 | 7740 | Д | | | | |
| ФОТОН-ОМЕГА-50.3.24.Г60 | 54 | 6612 | К25, Г60, Г90 | | | | |
| | | | | | | | |

| | | | | | | | |
|---------------------------|-----|--------|---------------|------|------|------|--------|
| ФОТОН-ОМЕГА-90.05.180.Д | 90 | 11 577 | Д | IP67 | 5000 | 0,98 | Россия |
| ФОТОН-ОМЕГА-80.3.36.Г60 | 80 | 9918 | К25, Г60, Г90 | | | | |
| ФОТОН-ОМЕГА-120.05.240.Д | 120 | 15 480 | Д | | | | |
| ФОТОН-ОМЕГА-110.3.48.Г60 | 108 | 12 948 | К25, Г60, Г90 | | | | |
| ФОТОН-ОМЕГА-180.05.360.Д | 180 | 23 155 | Д | | | | |
| ФОТОН-ОМЕГА-160.3.72.Г60 | 162 | 19 560 | К25, Г60, Г90 | | | | |
| ФОТОН-ОМЕГА-240.05.480.Д | 240 | 30 894 | Д | | | | |
| ФОТОН-ОМЕГА-210.3.96.Г60 | 216 | 26 172 | К25, Г60, Г90 | | | | |
| ФОТОН-ОМЕГА-270.3.120.Г60 | 270 | 32 509 | | | | | |
| ФОТОН-ОМЕГА-270.05.540.Д | 270 | 34 796 | Д | | | | |
| ФОТОН-ОМЕГА-300.05.600.Д | 300 | 38 634 | | | | | |
| ФОТОН-ОМЕГА-360.05.720.Д | 360 | 46 373 | К25, Г60, Г90 | | | | |
| ФОТОН-ОМЕГА-320.3.144.Г60 | 323 | 39 121 | | | | | |
| ФОТОН-ОМЕГА-420.05.840.Д | 420 | 54 113 | Д | | | | |
| ФОТОН-ПРОМ-60/05/Д | 31 | 3906 | | IP65 | 0,96 | | |

Светодиодные лампы промышленного освещения

| Модель | Тип КСС | P, Вт | Световой поток, Лм | Марка светодиода |
|------------------------|-----------------------------|-------|--------------------|------------------|
| A-OFFICE-SLIM-18/1800 | Косинусная «Д» | 18 | 1800 | SAMSUNG |
| A-PROM-SLIM-35/3700 | | 35 | 3700 | |
| A-PROM-SLIM-40/4800 | | 40 | 4800 | |
| A-PROM-PLAST 35/3600 | | 35 | 3600 | |
| A-PROM-PLAST 50/4800 | | 50 | 4800 | |
| A-PROM-F 40/4700 | Глубокая (30°, 60°, 90°) | 40 | 4700 | CREE |
| A-PROM-F 60/7500 | | 60 | 7500 | |
| A-PROM-F 80/9600 | | 80 | 9600 | |
| A-PROM-F 100/12 000 | | 100 | 12 000 | |
| A-PROM-F 120/14 400 | | 120 | 14 400 | |
| A-PROM-F 165/18 150 | | 165 | 18 150 | |
| A-PROM 50/5500 | Косинусная «Д» | 50 | 5500 | SAMSUNG |
| A-PROM 35/3600 | | 35 | 3600 | |
| A-PROM HIGH-65/8100 | Ассиметричная 92° × 35° | 65 | 8100 | |
| A-PROM LINE-35/4000 | Косинусная «Д» | 35 | 4000 | |
| A-PROM LINE-50/6000 | | 50 | 6000 | |
| A-PROML-40/5000 | | 40 | 5000 | |
| A-PROML-50/6000 | | 50 | 6000 | |
| A-PROML-80/9600 | | 80 | 9600 | |
| A-PROM LINE-100/12 000 | | 100 | 12 000 | |
| A-PROM HIGH-130/16 200 | Ассиметричная 92° × 35° | 130 | 16 200 | |
| A-PROM LINE-200/23 000 | Косинусная «Д» | 200 | 23 000 | |
| A-PROM-100/12 000 | | 100 | 12 000 | |
| A-PROM-L-300/34 000 | | 300 | 34 000 | |
| | | | | |

Окончание табл. П5-4

| Модель | Тип КСС | Р, Вт | Световой поток, Лм | Марка светодиода |
|---------------------------------------|----------------|-------|--------------------|------------------|
| Офисное светодиодное освещение | | | | |
| A-OFFICE-32/3200 | Косинусная «Д» | 32 | 3200 | REFOND |
| A-OFFICE-35/3600 | | 35 | 3600 | SAMSUNG |
| A-OFFICE-50/4800 | | 50 | 4800 | |
| A-OFFICE-70/7000 | | 70 | 7000 | |
| A-OFFICE-SLIM-18/1800 | | 18 | 1800 | |
| A-OFFICE LINE-32/3200 | | 32 | 3200 | |
| A-OFFICE LINE-35/3600 | | 35 | 3600 | |
| A-OFFICE LINE-50/4800 | | 50 | 4800 | |
| A-OFFICE LINE-70/7000 | | 70 | 7000 | |
| A-GRILIATO-35/3600 | | 35 | 3600 | |
| A-GRILIATO-50/4800 | | 50 | 4800 | |

Требования к освещению помещений промышленных предприятий

| Характеристика зрительной работы | Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм | Разряд зрительной работы | Подразряд зрительной работы | Контраст объекта с фоном | Характеристика фона | Искусственное освещение | | | | | Естественное освещение | | Совмещенное освещение | |
|----------------------------------|--|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------------|-----------------------|------------------------------|--|-------------|---|-----------------------|---|-----------------------|
| | | | | | | Освещенность, лк | | | Показатель ослепленности P и коэффициент пульсации $K_{п}$ | | КЕО, % | | | |
| | | | | | | По системе комбинированного освещения | | При системе общего освещения | P | $K_{п}$, % | При верхнем или комбинированном освещении | При боковом освещении | При верхнем или комбинированном освещении | При боковом освещении |
| | | | | | | Всего | В том числе от общего | | | | | | | |
| Наивысшей точности | Менее 0,15 | I | а | Малый | Темный | 5000 4500 | 500 | – | 20 10 | 10 | – | – | 6,0 | 2,0 |
| | | | | Малый | Средний | 4000 | 400 | 1250 | 20 | 10 | | | | |
| | | | | Средний | Темный | 3500 | 400 | 1000 | 10 | 10 | | | | |
| | | | | Малый | Светлый | 2500 | 300 | 750 | 20 | 10 | | | | |
| | | | | Большой | Темный | 2000 | 200 | 600 | 10 | | | | | |
| | | | | Средний | Светлый | 1500 | 200 | 400 | 20 | 10 | | | | |
| | | | | Большой | Средний | 1250 | | 300 | | | 10 | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|--------------------|---------|------|---------|---------|--------------|-----|------------|----------|----|-----|-----|-----|-----|----|
| Очень высокой точности | От 0,15 до 0,30 | II | а | Малый | Темный | 4000 3500 | 400 | – – | 20 10 | 10 | – | – | 4,2 | 1,5 | |
| | | | б | Малый | Средний | 3000 | 300 | 750 | 20 | 10 | | | | | 10 |
| | | | | Средний | Темный | 2500 | | 600 | 10 | | | | | | |
| | | | в | Малый | Светлый | 2000 | 200 | 500 | 20 | 10 | | | | | |
| Средний Большой | Средний Темный | 1500 | | 400 | 10 | | | | | | | | | | |
| г | Средний | Светлый | 1000 | 200 | 300 | 20 | 10 | | | | | | | | |
| Большой | Средний | 750 | 200 | | 10 | | | | | | | | | | |
| Высокой точности | От 0,3 до 0,5 | III | а | Малый | Темный | 2000 1500 | 200 | 500 400 | 40 20 | 15 | – | – | 3,0 | 1,2 | |
| | | | б | Малый | Средний | 1000 | 200 | 300 | 40 | 15 | | | | | |
| | | | | Средний | Темный | 750 | | 200 | 20 | | | | | | |
| | | | в | Малый | Светлый | 750 | 200 | 300 | 40 | 15 | | | | | |
| Средний Большой | Средний Темный | 600 | | 200 | 20 | | | | | | | | | | |
| г | Средний | Светлый | 400 | 200 | 200 | 40 | 15 | | | | | | | | |
| Большой | Средний | 400 | 200 | | 20 | | | | | | | | | | |
| Средней точности | От 0,5 до 1,0 | IV | а | Малый | Темный | 750 | 200 | 300 | 40 | 20 | 4,0 | 1,5 | 2,4 | 0,9 | |
| | | | б | Малый | Средний | 500 | 200 | 200 | 40 | 20 | | | | | |
| | | | | Средний | Темный | | | 40 | | | | | | | |
| | | | в | Малый | Светлый | 400 | 200 | 200 | 40 | 20 | | | | | |
| Средний Большой | Средний Темный | 200 | | 40 | | | | | | | | | | | |
| г | Средний | Светлый | – | – | 200 | 40 | 20 | | | | | | | | |
| Большой | Средний | средний | – | | 20 | | | | | | | | | | |

Окончание табл. Пб-1

| Характеристика зрительной работы | Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм | Разряд зрительной работы | Подразряд зрительной работы | Контраст объекта с фоном | Характеристика фона | Искусственное освещение | | | | | Естественное освещение | Совмещенное освещение | | |
|---|--|--------------------------|-----------------------------|--|------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|------------------------------|--|-------------|---|-----------------------|---|-----------------------|
| | | | | | | Освещенность, лк | | | Показатель ослепленности P и коэффициент пульсации $K_{П}$ | | КЕО, % | | | |
| | | | | | | По системе комбинированного освещения | | При системе общего освещения | P | $K_{П}$, % | При верхнем или комбинированном освещении | При боковом освещении | При верхнем или комбинированном освещении | При боковом освещении |
| | | | | | | Всего | В том числе от общего | | | | | | | |
| Малой точности | От 1 до 5 | V | а | Малый | Темный | 400 | 200 | 300 | 40 | 20 | 3,0 | 1,0 | 1,8 | 0,6 |
| | | | б | Малый Средний | Средний Темный | – | – | 200 | 40 | 20 | | | | |
| | | | в | Малый Средний Большой | Светлый Средний Темный | – | – | 200 | 40 | 20 | | | | |
| | | | г | Средний Большой | Светлый средний | – | – | 200 | 40 | 20 | | | | |
| Грубая (очень малой точности) | Более 5 | VI | – | Независимо от характеристик фона и контраста объекта с фоном | | – | – | 200 | 40 | 20 | 3,0 | 1,0 | 1,8 | 0,6 |
| Работа со светящимися материалами и изделиями в горячих цехах | Более 0,5 | VII | – | То же | | – | – | 200 | 40 | 20 | 3,0 | 1,0 | 1,8 | 0,6 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|------|---|--|---|---|-----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| Общее наблюдение за ходом производственного процесса; постоянное, периодическое при постоянном пребывании людей в помещении, периодическое при периодическом, общее наблюдение за инженерными коммуникациями | - | VIII | а | Независимо от характеристик фона и контраста объекта с фоном | - | - | 200 | 40 | 20 | 3,0 | 1,0 | 1,8 | 0,6 |
| | | | б | То же | - | - | 75 | - | - | 1,0 | 0,3 | 0,7 | 0,2 |
| | | | в | То же | - | - | 50 | - | - | 0,7 | 0,2 | 0,5 | 0,2 |
| | | | г | То же | - | - | 20 | - | - | 0,3 | 0,1 | 0,2 | 0,1 |

Примечания

1. Для подразряда норм от I а до III в можно принимать один из наборов нормируемых показателей, приведенных для данного подразряда в графах «Искусственное освещение».

2. Наименьшие размеры объекта различения и соответствующие им раздели зрительной работы установлены при расположении объектов на расстоянии не более 0,5 м от глаз работающего. При увеличении этого расстояния разряд зрительной работы следует устанавливать в соответствии с прил. 2.

3. Освещенность при использовании ламп накаливания следует снижать по шкале освещенности:

а) на одну ступень при системе комбинированного освещения, если нормируемая освещенность составляет 750 лк и более;

б) на одну ступень при системе общего освещения для разрядов I – V, VI;

в) на две ступени при системе общего освещения для разрядов VI и VIII.

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

5. Показатель ослепленности регламентируется в графе «При системе общего освещения» (при любой системе освещения).

6. Коэффициент пульсации указан в той же графе для системы общего освещения или для светильников местного освещения при системе комбинированного освещения. $K_{п}$ от общего освещения в системе комбинированного не должен превышать 20 %.

7. Предусматривать систему общего освещения для разрядов I – III, IV а, IV б, IV в, V а допускается только при технической невозможности или экономической нецелесообразности применения системы комбинированного освещения, что конкретизируется в отраслевых нормах освещения, согласованных с Государственным комитетом санитарно-эпидемиологического надзора РФ.

8. В помещениях, специально предназначенных для работы или производственного обучения подростков, нормированное значение КЕО повышают на один разряд по графе «Разряд зрительной работы»; оно должно быть не менее 1 %.

Рекомендации по выбору коэффициента запаса

| Помещения и территории | Пример помещений | Искусственное освещение | | | Естественное освещение | | | |
|--|--|--|-----------------|-----------------|--|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | Коэффициент запаса K_z ; количество чисток светильников в год | | | | | | |
| | | Эксплуатационная группа светильников по ГОСТ Р 55392 | | | Угол наклона светопропуска- ющего материала к горизонту, град. | | | |
| | | 1 – 4 | 5 – 6 | 7 | 0 – 15 | 16 – 45 | 46 – 75 | 76 – 90 |
| 1. Производственные помещения с воздушной средой, содержащей в рабочей зоне | | | | | | | | |
| а) свыше 5 мг/м ³ пыли, дыма, копоти | Агломерационные фабрики, цементные заводы и обрубные отделения литейных цехов | <u>2,0</u> 18 | <u>1,7</u> 6 | <u>1,6</u> 4 | <u>2,0</u> 4 | <u>1,8</u> 4 | <u>1,7</u> 4 | <u>1,5</u> 4 |
| б) от 1 до 5 мг/м ³ пыли, дыма, копоти | Цеха кузнечные, литейные, сборного железобетона | <u>1,8</u> 6 | <u>1,6</u> 4 | <u>1,6</u> 2 | <u>1,8</u> 3 | <u>1,6</u> 3 | <u>1,5</u> 3 | <u>1,4</u> 3 |
| в) менее 1 мг/м ³ пыли, дыма, копоти | Цеха инструментальные, сборочные, механиче- ские, механосборочные, пошивочные | <u>1,5</u> 4 | <u>1,4</u> 2 | <u>1,4</u> 1 | <u>1,6</u> 2 | <u>1,6</u> 2 | <u>1,4</u> 2 | <u>1,3</u> 2 |

Продолжение табл. Пб-2

| Помещения и территории | Пример помещений | Искусственное освещение | | | Естественное освещение | | | |
|--|---|--|-----------------|-----------------|---|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | Коэффициент запаса K_z ; количество чисток светильников в год | | | | | | |
| | | Эксплуатационная группа светильников по ГОСТ Р 55392 | | | Угол наклона светопропускающего материала к горизонту, град. | | | |
| | | 1 – 4 | 5 – 6 | 7 | 0 – 15 | 16 – 45 | 46 – 75 | 76 – 90 |
| г) значительные концентрации паров, кислот, щелочей, газов, способных при соприкосновении с влагой образовывать слабые растворы кислот, щелочей, а также обладающих большой коррозийной способностью | Цеха химических заводов по выработке кислот, щелочей, едких химических реактивов, ядохимикатов, удобрений, цеха гальванических покрытий и различных отраслей промышленности с применением электролиза | $\frac{1,8}{6}$ | $\frac{1,6}{4}$ | $\frac{1,6}{2}$ | $\frac{2,0}{3}$ | $\frac{1,8}{3}$ | $\frac{1,7}{3}$ | $\frac{1,5}{3}$ |
| | | | | | | | | |

| Помещения и территории | Пример помещений | Искусственное освещение | | | Естественное освещение | | | |
|-----------------------------|---|--|-----------------|-----------------|--|---------|---------|---------|
| | | Коэффициент запаса K_z ; количество чисток светильников в год | | | | | | |
| | | Эксплуатационная группа светильников по ГОСТ Р 55392 | | | Угол наклона светопропуска- ющего материала к горизонту, град. | | | |
| | | 1 – 4 | 5 – 6 | 7 | 0 – 15 | 16 – 45 | 46 – 75 | 76 – 90 |
| 5. Населенные пункты | | | | | | | | |
| – | Улицы, площади, дороги, территории жилых районов, парки, бульвары, пешеходные тоннели, фасады зданий, памятники | $\frac{1,6}{2}$ | $\frac{1,5}{2}$ | $\frac{1,5}{1}$ | – | – | – | – |
| | Транспортные тоннели | – | $\frac{1,7}{2}$ | – | | | | |

Примечания

1. Значения коэффициента запаса для естественного освещения следует умножать на 1,1 при применении узорчатого стекла, стеклопластика, армопленки и матированного стекла и на 0,9 – при применении органического стекла.

2. Значения коэффициента запаса для искусственного освещения приведены для разрядных источников света. При использовании ламп накаливания их следует умножать на 0,85.

3. Значения коэффициента запаса, указанные для 1 – 4 эксплуатационной группы светильников следует снижать при односменной работе по позициям 1 б, 1 г – на 0,2, по позиции 1 а – на 0,1; при двухсменной работе по позициям 1 б, 1 г – на 0,15.

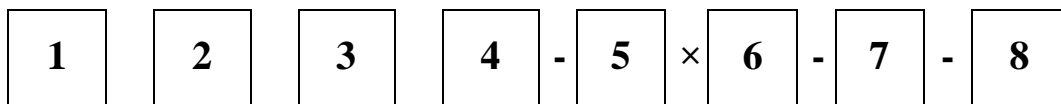
Требования к наружному освещению

| Категория объекта по освещению | Улицы, дороги и площади | Наибольшая интенсивность движения в обоих направлениях транспортных дорог | Средняя яркость покрытия, кг/м ² | Средняя горизонтальная освещенность покрытия, лк |
|--------------------------------|---|---|---|--|
| А | Магистральные дороги, магистральные улицы общегородского значения | Свыше 3000 | 1,6 | 20 |
| | | Свыше 1000 до 3000 | 1,2 | 20 |
| | | От 500 до 1000 | 0,8 | 15 |
| Б | Магистральные улицы районного значения | Свыше 3000 | 1,0 | 15 |
| | | Свыше 1000 до 3000 | 0,8 | 15 |
| | | От 500 до 1000 | 0,6 | 10 |
| | | Менее 500 | 0,4 | 10 |
| В | Улицы и дороги местного значения | 500 и более | 0,4 | 6 |
| | | Менее 500 | 0,3 | 4 |
| | | Одиночные автомобили | 0,2 | 4 |

УКАЗАНИЯ ПО ВЫБОРУ СВЕТИЛЬНИКОВ. КРИВАЯ СИЛЫ СВЕТА

1. Маркировка и светотехнические характеристики светильников

В соответствии с ГОСТ 13828-74 каждому светильнику, за исключением светильников специального назначения, присваивают шифр следующей структуры:



где **1** – буква, обозначающая источник света:

- Н – лампы накаливания общего применения;
- Р – ртутные лампы типа ДРЛ;
- Л – прямые трубчатые люминесцентные лампы;
- И – кварцевые галогенные лампы накаливания;
- Г – ртутные лампы типа ДРИ;
- Ж – натриевые лампы;
- К – ксеноновые трубчатые лампы и т. д.

2 – буква, обозначающая способ установки светильника:

- С – подвесные;
- П – потолочные;
- Б – настенные;
- В – встраиваемые и т. д.

3 – буква, обозначающая основное назначение светильника:

- П – для промышленных предприятий;
- О – для общественных зданий;
- У – для наружного освещения;
- Д – для рудников и шахт;
- Б – для бытовых помещений.

- 4 – двухзначное число (01 – 99), обозначающее номер серии;
- 5 – число, обозначающее количество ламп в светильнике (для одноламповых светильников число 1 не указывают и знак «×» не ставят, а мощность указывают непосредственно после тире);
- 6 – число, обозначающее мощность ламп в ваттах;
- 7 – трехзначное число (001 – 099), обозначающее номер модификации;
- 8 – обозначение климатического исполнения и категории размещения светильников.

ГОСТ 13828-74 классифицирует также светильники по степени защиты от пыли и воды. Обозначение степени защиты состоит из двух прописных букв латинского алфавита IP (англ. international protection) и двух цифр, первая из которых обозначает степень защиты от пыли, вторая – от воды. При наличии некоторых конструктивных особенностей в светильнике обозначение его степени не имеет букв IP, а у первой цифры, указывающей степень защиты от пыли, добавляется «штрих» (например, 5'4).

По степени защиты от пыли различают:

- светильники открытые (2);
- перекрытые с неуплотненной светопроницаемой оболочкой (2');
- пылезащитные, т. е. допускающие проникновение пыли в полость светильника только в безвредных количествах (5);
- с ограниченной зоной пылезащиты только в пределах расположения контактных частей (5');
- пыленепроницаемые (6);
- с ограниченной зоной пылепроницаемости (6').

По степени защиты от воды различают:

- светильники незащищенные (0);
- каплезащищенные (2);
- дождезащищенные (3);
- брызгозащищенные (4);
- струезащищенные (5) и др.

По климатическому исполнению:

- У – светильники для умеренного климата;
- Т – для тропиков и т. д.

Таблица П7-1

Общая характеристика сортамента светильников для освещения производственных зданий

| Тип светильников | Количество и мощность ламп, Вт | КПД, % | Тип КСС | Степень защиты | Климатическое исполнение | Характеристика помещения | Примечание |
|---|--|----------------------|--|---------------------------|--|-----------------------------|-------------------------------|
| НСП17-100-104 НСП17-200-103 НСП17-500-104 НСП17-1000-004 | 100 200 500 1000 | 75 | Д Л Г Г | 5'0 5'0 5'0 IP20 | УХЛ4 УХЛ4 УЗ УЗ | Сухое, чистое | — |
| РСР05-125-001 РСР05-250-001 РСР05-400-001 РСР05-700-001 РСР05-1000-001 | 125 250 400 700 1000 | 80 | Г | IP20 IP54 | УХЛ4 | Сухое, чистое | — |
| ЖСП01-400-007 ЖСП01-400-008 ГСП17-700-055 ГСП17-2000-055 | Днат-400-5 Днат-400-5 ДРИ-700-5 ДРИ-2000-5 | 75 75 78 78 | Г К К К | IP 20 | УЗ | Сухое, чистое | — |
| РСР48-250(400)-001 ЖСП48-250(400)-001 ГСП48-250(400)-001 ГПП06-(250-400)-001 РПП06-(250-400)-001 ЖПП06-(100-400)-001 | 250 (400) 250 (400) 250 (400) 250 (400) 250 (400) 100 (400) | 60 | Л ÷ К Л ÷ К Л ÷ К Л Л Л | IP54 | УХЛ4 УХЛ4 УХЛ4 УХЛ2 УХЛ2 УХЛ2 | Тяжелые условия среды | Индивидуальной компенсации |
| | | | | | | | |

| | | | | | | | |
|---|--|--|---|--|--|--------------------------|-------------------------------|
| РСП48-250(400)-001 ЖСП48-250(400)-001 ГСП48-250(400)-001 ГПП06-(250-400)-001 РПП06-(250-400)-001 ЖПП06-(100-400)-001 | 250 (400) 250 (400) 250 (400) 250 (400) 250 (400) 100 (400) | 60 | Л ÷ К Л ÷ К Л ÷ К Л Л Л | IP54 | УХЛ4 УХЛ4 УХЛ4 УХЛ2 УХЛ2 УХЛ2 | Тяжелые условия среды | Индивидуальной компенсации |
| РСП25-125(250) ВЗГ-200-АМС | 125 (250) 200 (лн) | | М | | | | |
| ЖКУ-150(250)001 ЖКУ-400-001 ЖКУ02-400-001 ГКУ02-250-001 РКУ02-400-002 РКУ02-250-001 РКУ01-125-008 РКУ01-250-007 РКУ01-400-006 | 150 (250) 400 400 250 400 250 125 250 400 | > 75 > 60 > 60 > 60 > 60 > 60 > 60 > 60 > 60 | Л Л Ш Ш Ш Ш Л Л Л | IP66 IP53 IP53 IP53 IP53 IP53 IP23 IP23 IP23 | У1 | Тяжелые условия среды | – |
| PCY05-250-001 ГCY05-250-001 ЖCY05-250-001 | 250 | > 60 | Ш | IP53 | | | |
| | | | | | | | |

Окончание табл. П7-1

| Тип светильников | Количество и мощность ламп, Вт | КПД, % | Тип КСС | Степень защиты | Климатическое исполнение | Характеристика помещения | Примечание |
|--|--|----------------------|-----------------------|----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| ЖКУ32-70,150(250)-001 ГКУ 32-150(250)-001 РКУ 45-80(125)-001 | 70, 150, 250 150, 250 80, 125 | > 60 | Л – Ш | IP66 | УХЛ1 | Тяжелые условия среды | Индивидуальной компенсации |
| ЛСП 18-18-002 ЛСП 18-36-002 ЛСП 18-58-002 | 18 36 58 | 75 | М | IP65 | УХЛ4,04 | Пыльное, влажное, сырое | – |
| ЛСП 18-65-002 ЛСП 18-40-002 ЛСП 18-36-002 | 65 40 36 | 88 88 73 | Специ- альная | 5'4 5'4 IP65 | УХЛ4,04 | Пыльное, влажное, сырое | – |
| ЛСП 22-65-001 ЛСП 22-2 × 65-001 ЛПП-24 2x × 18 6 ЛПП-24 2 × 36 6 | 65(ЛБР65) 2 × 65(ЛБР65) 2 × 18 2 × 36 | 92 85 90 90 | Д | 5'3 5'3 IP65 IP65 | УХЛ4 УХЛ4,04 УХЛ4 УХЛ4 | Сухое, чистое, пыльное, влажное | – |
| ЛСП 02-2 × 36-001 ЛСП 02-2 × 58-001 ЛСП 02-2 × 36-003 ЛСП 02-2 × 58-003 | 2 × 36 2 × 58 2 × 36 2 × 58 | 72 | Д | IP20 | УХЛ4 | Сухое, чистое | – |
| ЛСП 24-2 × 40-002 ЛСП 24-2 × 65-002 ЛСП 40-2 × 40-001 | 2 × 40 2 × 65 2 × 40 | 85 85 > 65 | Специ- альная М | 5'4 5'4 IP54 | УХЛ4 | Пыльное, влажное | – |
| ЛПО 50-36(40)-002 | 2 × 36 2 × 40 | 0,92 | М | IP20 | – | Сухое, чистое | – |

2. Кривая силы света некруглосимметричных светильников

При использовании светильников с несимметричными КСС, параметры которых задают двумя, тремя и более кривыми зависимости $I(\alpha)$ при разных значениях угла β , для определения $I(\alpha, \beta)$ при углах β , паспортные данные для которых не приводят, может быть использована интерполяция полиномами Лагранжа, если зависимость $I(\alpha, \beta)$ от углов β носит линейный характер. В случае нелинейной зависимости $I(\alpha, \beta) = f(\beta)$ используют нелинейные методы интерполяции.

При заданных в паспорте КСС $I = I(\alpha)$ для двух углов β_0 и β_1 искомые значения можно определить по формуле

$$I(\alpha, \beta) = \frac{(\beta - \beta_1)}{(\beta_0 - \beta_1)} I_1(\alpha) + \frac{(\beta - \beta_0)}{(\beta_1 - \beta_0)} I_2(\alpha).$$

При заданных в паспорте КСС $I = I(\alpha)$ для трех углов β : $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ искомые значения $I = I(\alpha)$ определяют по формуле

$$I(\alpha, \beta) = \frac{(\beta - \beta_1)(\beta - \beta_2)}{(\beta_0 - \beta_1)(\beta_0 - \beta_2)} I_1(\alpha) + \frac{(\beta - \beta_0)(\beta - \beta_2)}{(\beta_1 - \beta_0)(\beta_1 - \beta_2)} I_2(\alpha) + \frac{(\beta - \beta_0)(\beta - \beta_1)}{(\beta_2 - \beta_0)(\beta_2 - \beta_1)} I_3(\alpha),$$

где $I_1(\alpha), I_2(\alpha), I_3(\alpha)$ – значения силы света для искомого угла по паспортным графикам.

При наличии большого числа графических зависимостей $I = I(\alpha)$ для различных значений β в паспорте или каталоге на светильник используют формулы

$$I(\alpha, \beta) = \sum_{k=1}^N p_{nk}(\beta) I_k(\alpha),$$
$$p_{nk}(\beta) = \frac{(\beta - \beta_0) \dots (\beta - \beta_{k-1})(\beta - \beta_{k+1}) \dots (\beta - \beta_n)}{(\beta_k - \beta_0)(\beta_k - \beta_{k-1})(\beta_k - \beta_{k+1}) \dots (\beta_k - \beta_n)}.$$

Таблица П7-2

Типовые кривые силы света отечественных круглосимметричных светильников ($\Phi = 1000$ лм)

| Формула КСС | $I_\alpha = \text{const}$ | $I_\alpha = I_0 \cos(n\alpha); \alpha < 90^\circ/n$ | | | | | | | | | | | | $I_\alpha = I_0 \sin n\alpha$ | $I_\alpha = I_0 \frac{\cos \alpha}{\cos[\Theta \sin^m(n\alpha)]}$ | | |
|-----------------------|---------------------------|---|---------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------|-------------------------------|---|--|---|
| Коэффициент | $n = 1$ | $n = 0,7841$ | $n = 1$ | $n = 1,0374$ | $n = 1,1038$ | $n = 1,2928$ | $n = 1,5109$ | $n = 1,65$ | $n = 1,7582$ | $n = 2,0402$ | $n = 2,3683$ | $n = 2,7473$ | $n = 2,91$ | $n = 1$ | $\Theta = 70^\circ$ $m = 1,2$ $n = 1,66$ | $\Theta = 78,3^\circ$ $m = 1,4$ $n = 1,39$ | $\Theta = 84,4^\circ$ $m = 1,5$ $n = 1,2$ |
| Угол α , град. | 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 | 295,0 | 377,3 | 503,0 | 670,7 | 800,0 | 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 | 325,0 | 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 | 220,0 | 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 | 316,0 | 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 | 221,0 | 270,7 | 311,7 | 330,9 | 325,4 | 301,0 | 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 | 180,0 | 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 | 165,0 | 137,4 | 152,0 | 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 | 102,0 | 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 | 91,0 | 67,5 | 54,6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 197,1 | 79,4 | 139,0 | 225,0 |
| 75 | 159,2 | 121,0 | 85,4 | 62,3 | 47,4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 198,0 | 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 |
| 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 | 23,0 | 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 |

Индекс помещения i при отношении сторон помещения $A/B \leq 3$

| Площадь помещения S , м | Значение индекса помещения i при значении расчетной высоты h , м | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|--|-----|------|------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|-----|------|
| | 2,0 | 2,2 | 2,5 | 2,7 | 3,0 | 3,5 | 4,0 | 4,5 | 5,0 | 5,5 | 6,0 | 7,0 | 8,0 | 9,0 | 10,0 |
| 10 | 0,80 | 0,7 | 0,60 | 0,60 | 0,5 | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – |
| 15 | 0,90 | 0,8 | 0,76 | 0,76 | 0,5 | 0,5 | – | – | – | – | – | – | – | – | – |
| 17 | 1,00 | 0,9 | 0,80 | 0,70 | 0,7 | 0,6 | 0,5 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| 20 | 1,10 | 1,0 | 0,90 | 0,80 | 0,7 | 0,6 | 0,5 | 0,50 | – | – | – | – | – | – | – |
| 25 | 1,20 | 1,1 | 1,00 | 0,90 | 0,8 | 0,7 | 0,6 | 0,50 | 0,50 | – | – | – | – | – | – |
| 30 | 1,20 | 1,2 | 1,10 | 1,00 | 0,9 | 0,8 | 0,7 | 0,60 | 0,50 | 0,50 | – | – | – | – | – |
| 40 | 1,50 | 1,5 | 1,20 | 1,10 | 1,0 | 0,9 | 0,8 | 0,70 | 0,60 | 0,60 | 0,50 | – | – | – | – |
| 50 | 1,70 | 1,5 | 1,20 | 1,20 | 1,1 | 1,0 | 0,9 | 0,80 | 0,70 | 0,60 | 0,60 | 0,50 | – | – | – |
| 60 | 1,70 | 1,7 | 1,50 | 1,50 | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 0,90 | 0,80 | 0,70 | 0,60 | 0,50 | – | – | – |
| 70 | 2,00 | 1,7 | 1,50 | 1,50 | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 0,90 | 0,80 | 0,70 | 0,70 | 0,60 | 0,50 | – | – |
| 80 | 2,25 | 2,0 | 1,70 | 1,50 | 1,5 | 1,2 | 1,1 | 1,00 | 0,90 | 0,80 | 0,70 | 0,60 | 0,50 | – | – |
| 90 | 2,20 | 2,0 | 1,70 | 1,50 | 1,5 | 1,2 | 1,1 | 1,00 | 0,90 | 0,80 | 0,80 | 0,70 | 0,60 | 0,5 | – |
| 100 | 2,50 | 2,2 | 2,00 | 1,70 | 1,5 | 1,5 | 1,2 | 1,10 | 1,00 | 0,90 | 0,80 | 0,70 | 0,60 | 0,5 | – |
| 120 | 2,50 | 2,2 | 2,00 | 2,00 | 1,7 | 1,5 | 1,2 | 1,10 | 1,00 | 1,00 | 0,90 | 0,80 | 0,70 | 0,6 | 0,5 |
| 150 | 3,00 | 2,5 | 2,20 | 2,20 | 2,0 | 1,7 | 1,5 | 1,20 | 1,10 | 1,10 | 1,00 | 0,90 | 0,80 | 0,7 | 0,6 |
| 200 | 3,50 | 3,0 | 2,50 | 2,50 | 2,2 | 2,0 | 1,7 | 1,50 | 1,25 | 1,25 | 1,10 | 1,00 | 0,90 | 0,8 | 0,7 |
| 250 | 4,00 | 3,5 | 3,00 | 3,00 | 2,5 | 2,2 | 2,0 | 1,70 | 1,50 | 1,50 | 1,25 | 1,10 | 1,00 | 0,9 | 0,8 |
| 300 | 4,00 | 4,0 | 3,50 | 3,00 | 2,5 | 2,2 | 2,0 | 1,70 | 1,75 | 1,50 | 1,25 | 1,10 | 1,00 | 0,9 | 0,8 |
| 350 | 4,00 | 4,0 | 3,50 | 3,50 | 3,0 | 2,5 | 2,2 | 2,00 | 1,75 | 1,75 | 1,50 | 1,25 | 1,10 | 1,0 | 0,9 |
| 400 | 5,00 | 4,0 | 4,09 | 3,50 | 3,0 | 2,5 | 2,5 | 2,25 | 1,75 | 1,75 | 1,50 | 1,25 | 1,25 | 1,1 | 1,0 |

Индекс помещения i при отношении сторон помещения $A/B \geq 3$

| A/B | Значение индекса помещения i при значении расчетной высоты h , м | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,25 | 1,50 | 1,75 | 2,0 | 2,25 | 2,5 | 3,0 | 3,5 | 4,0 | 5,0 |
| 3 – 4 | – | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,25 | 1,50 | 1,75 | 2,00 | 2,25 | 2,50 | 3,00 | 3,50 | 4,00 |
| 5 – 6 | – | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0,9 | 1,10 | 1,25 | 1,50 | 1,75 | 2,00 | 2,25 | 2,50 | 3,00 | 4,00 |
| 7 – 9 | – | – | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,7 | 0,8 | 1,00 | 1,10 | 1,25 | 1,50 | 1,75 | 2,00 | 2,25 | 2,50 | 3,50 |
| 10 | – | – | – | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,90 | 1,10 | 1,25 | 1,25 | 1,50 | 1,75 | 2,00 | 2,50 | 3,00 |
| 15 | – | – | – | – | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,80 | 1,00 | 1,00 | 1,10 | 1,25 | 1,50 | 1,75 | 2,00 | 2,50 |
| 20 | – | – | – | – | – | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,70 | 0,80 | 0,90 | 1,00 | 1,10 | 1,25 | 1,50 | 1,75 | 2,25 |
| 30 | – | – | – | – | – | – | – | 0,5 | 0,60 | 0,60 | 0,70 | 0,80 | 0,90 | 1,10 | 1,25 | 1,50 | 1,75 |
| 40 – 50 | – | – | – | – | – | – | – | – | – | 0,50 | 0,60 | 0,70 | 0,80 | 0,90 | 1,10 | 1,25 | 1,50 |

Приблизительные значения коэффициентов отражения стен и потолка

| Отражающая поверхность | Коэффициент отражения, % |
|---|--------------------------|
| Побеленный потолок; побеленные стены с окнами, закрытыми белыми шторами (плоскость из материалов с высокой отражаемостью) | 80 |
| Побеленные стены при незанавешенных окнах; побеленный потолок в сырых помещениях; чистый бетонный и светлый деревянный потолок (плоскость с белой поверхностью) | 70 |
| Плоскость со светлой поверхностью | 50 |
| Бетонный потолок в грязных помещениях; деревянный потолок; бетонные стены с окнами; стены, оклеенные светлыми обоями (плоскость с серой поверхностью) | 30 |
| Плоскость с темно-серой поверхностью | 20 |
| Стены и потолки в помещениях с большим количеством темной пыли; сплошное остекление без штор; красный кирпич неоштукатуренный; стены с темными обоями (плоскость с темной поверхностью) | 10 |

Коэффициент использования светильников η с типовыми КСС

| Тип КСС | Значение η , % | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|--|------|------|------|------|------|--|------|------|------|------|------|--|------|------|------|------|------|--|------|------|------|------|------|
| | $\rho_n = 0,7; \rho_c = 0,5; \rho_p = 0,3$ и i , равным | | | | | | $\rho_n = 0,7; \rho_c = 0,5; \rho_p = 0,1$ и i , равным | | | | | | $\rho_n = 0,7; \rho_c = 0,3; \rho_p = 0,1$ и i , равным | | | | | | $\rho_n = 0,5; \rho_c = 0,5; \rho_p = 0,3$ и i , равным | | | | | |
| | 0,60 | 0,80 | 1,25 | 2,00 | 3,00 | 5,00 | 0,60 | 0,80 | 1,25 | 2,00 | 3,00 | 5,00 | 0,60 | 0,80 | 1,25 | 2,00 | 3,00 | 5,00 | 0,60 | 0,80 | 1,25 | 2,00 | 3,00 | 5,00 |
| М | 35 | 50 | 61 | 73 | 83 | 95 | 34 | 47 | 56 | 66 | 75 | 86 | 26 | 36 | 46 | 56 | 67 | 80 | 32 | 45 | 55 | 67 | 74 | 84 |
| Д-1 | 36 | 50 | 58 | 72 | 81 | 90 | 36 | 47 | 56 | 63 | 73 | 79 | 28 | 40 | 49 | 59 | 68 | 74 | 36 | 48 | 57 | 66 | 76 | 85 |
| Д-2 | 44 | 52 | 68 | 84 | 93 | 103 | 42 | 51 | 64 | 75 | 84 | 92 | 33 | 43 | 56 | 74 | 80 | 76 | 42 | 51 | 65 | 71 | 90 | 85 |
| Г-1 | 49 | 60 | 75 | 90 | 101 | 106 | 48 | 57 | 71 | 82 | 89 | 94 | 42 | 52 | 69 | 78 | 73 | 76 | 45 | 56 | 65 | 78 | 76 | 84 |
| Г-2 | 58 | 68 | 82 | 96 | 102 | 109 | 55 | 64 | 78 | 86 | 92 | 96 | 48 | 60 | 73 | 84 | 90 | 94 | 55 | 66 | 80 | 92 | 96 | 103 |
| Г-3 | 64 | 74 | 85 | 95 | 100 | 105 | 62 | 70 | 79 | 80 | 90 | 93 | 57 | 66 | 76 | 84 | 84 | 91 | 63 | 72 | 83 | 91 | 96 | 100 |
| К-1 | 74 | 83 | 90 | 96 | 100 | 106 | 69 | 76 | 83 | 88 | 91 | 92 | 65 | 73 | 81 | 86 | 89 | 90 | 70 | 78 | 86 | 92 | 96 | 100 |
| К-2 | 75 | 84 | 95 | 104 | 108 | 115 | 71 | 78 | 87 | 95 | 97 | 100 | 67 | 75 | 84 | 93 | 97 | 100 | 72 | 80 | 91 | 99 | 103 | 108 |
| К-3 | 76 | 85 | 96 | 106 | 110 | 116 | 73 | 80 | 90 | 99 | 99 | 102 | 68 | 77 | 86 | 95 | 98 | 101 | 74 | 83 | 93 | 101 | 106 | 170 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Д | 32 | 49 | 59 | 71 | 83 | 91 | 31 | 46 | 55 | 65 | 74 | 83 | 24 | 40 | 50 | 62 | 71 | 77 | 32 | 47 | 57 | 69 | 79 | 90 |
| М | 31 | 43 | 53 | 63 | 72 | 80 | 23 | 36 | 45 | 56 | 65 | 75 | 17 | 29 | 38 | 46 | 58 | 67 | 16 | 28 | 38 | 45 | 55 | 65 |
| Д-1 | 34 | 47 | 54 | 63 | 70 | 77 | 27 | 40 | 48 | 55 | 65 | 73 | 27 | 35 | 42 | 52 | 61 | 68 | 21 | 33 | 40 | 49 | 58 | 66 |
| Д-2 | 40 | 48 | 61 | 74 | 82 | 84 | 33 | 42 | 52 | 69 | 75 | 86 | 28 | 36 | 48 | 63 | 75 | 81 | 25 | 33 | 47 | 61 | 70 | 78 |
| Г-1 | 44 | 53 | 69 | 77 | 83 | 80 | 41 | 48 | 64 | 76 | 70 | 88 | 35 | 45 | 60 | 73 | 68 | 77 | 34 | 44 | 56 | 71 | 68 | 74 |
| Г-2 | 53 | 63 | 76 | 85 | 90 | 94 | 48 | 58 | 72 | 83 | 86 | 93 | 43 | 54 | 68 | 79 | 85 | 90 | 43 | 53 | 66 | 77 | 82 | 86 |
| Г-3 | 61 | 68 | 78 | 84 | 88 | 91 | 57 | 65 | 75 | 83 | 86 | 90 | 53 | 62 | 73 | 80 | 84 | 86 | 53 | 61 | 71 | 78 | 82 | 85 |
| К-1 | 68 | 77 | 83 | 86 | 89 | 90 | 64 | 73 | 80 | 86 | 88 | 90 | 62 | 71 | 77 | 83 | 86 | 88 | 60 | 69 | 77 | 84 | 85 | 86 |
| К-2 | 71 | 78 | 87 | 93 | 98 | 99 | 68 | 74 | 84 | 92 | 93 | 99 | 68 | 72 | 80 | 89 | 93 | 97 | 65 | 71 | 79 | 88 | 92 | 95 |
| К-3 | 72 | 79 | 88 | 94 | 97 | 99 | 68 | 76 | 85 | 93 | 95 | 99 | 64 | 73 | 83 | 90 | 94 | 97 | 64 | 72 | 81 | 88 | 91 | 94 |
| Л | 30 | 45 | 55 | 65 | 70 | 78 | 24 | 40 | 49 | 60 | 70 | 76 | 20 | 35 | 44 | 48 | 65 | 69 | 17 | 33 | 42 | 53 | 63 | 70 |
| Л-III | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | 12 | 26 | 35 | 47 | 58 | 68 |
| Ш | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | 9 | 17 | 25 | 36 | 49 | 62 |

Таблица П8-5

**Коэффициенты использования светового потока светильников с типовой КСС,
излучаемого в нижнюю полусферу**

| Тип КСС | Равномерная М | | | | | | | | Косинусная Д | | | | | | | | Глубокая Г | | | | | | | |
|--------------|------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|--------------|----|----|----|----|----|----|----|------------|----|-----|----|----|----|----|----|
| | 70 | | | | 50 | | 30 | 0 | 70 | | | | 50 | | 30 | 0 | 70 | | | | 50 | | 30 | 0 |
| $\rho_n, \%$ | 70 | | | | 50 | | 30 | 0 | 70 | | | | 50 | | 30 | 0 | 70 | | | | 50 | | 30 | 0 |
| $\rho_c, \%$ | 50 | 30 | 50 | 30 | 10 | 0 | 50 | 30 | 50 | 10 | 0 | 50 | 30 | 50 | 10 | 0 | 50 | 30 | 50 | 30 | 10 | 0 | | |
| $\rho_p, \%$ | 30 | 10 | 30 | 10 | 30 | 10 | 30 | 10 | 30 | 10 | 30 | 10 | 30 | 10 | 30 | 10 | 30 | 10 | 30 | 10 | 30 | 10 | 30 | 10 |
| Значение i | Коэффициент использования, % | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,50 | 28 | 28 | 21 | 21 | 25 | 19 | 15 | 13 | 36 | 35 | 30 | 30 | 34 | 28 | 25 | 22 | 58 | 57 | 55 | 53 | 57 | 53 | 49 | 47 |
| 0,60 | 35 | 34 | 27 | 26 | 31 | 24 | 18 | 17 | 43 | 42 | 35 | 34 | 40 | 33 | 28 | 27 | 68 | 65 | 62 | 60 | 64 | 60 | 57 | 56 |
| 0,70 | 44 | 39 | 32 | 31 | 39 | 31 | 25 | 24 | 48 | 47 | 41 | 38 | 45 | 38 | 33 | 31 | 74 | 69 | 68 | 64 | 69 | 64 | 61 | 61 |
| 0,80 | 49 | 46 | 38 | 36 | 43 | 36 | 29 | 28 | 54 | 51 | 45 | 43 | 49 | 43 | 37 | 36 | 78 | 73 | 72 | 69 | 72 | 69 | 66 | 64 |
| 0,90 | 51 | 48 | 40 | 39 | 46 | 39 | 31 | 30 | 57 | 55 | 48 | 46 | 52 | 46 | 41 | 39 | 81 | 76 | 75 | 72 | 75 | 72 | 70 | 67 |
| 1,00 | 54 | 50 | 43 | 41 | 48 | 41 | 34 | 32 | 60 | 57 | 52 | 50 | 55 | 49 | 45 | 42 | 84 | 78 | 78 | 75 | 77 | 74 | 72 | 70 |
| 1,10 | 56 | 52 | 46 | 43 | 50 | 43 | 35 | 33 | 64 | 60 | 55 | 52 | 58 | 51 | 47 | 44 | 87 | 81 | 80 | 77 | 79 | 76 | 74 | 72 |
| 1,25 | 59 | 55 | 49 | 46 | 53 | 45 | 38 | 35 | 69 | 63 | 60 | 56 | 61 | 55 | 50 | 48 | 90 | 83 | 84 | 79 | 82 | 79 | 76 | 75 |
| 1,50 | 64 | 59 | 53 | 50 | 56 | 49 | 42 | 39 | 75 | 69 | 67 | 62 | 67 | 61 | 55 | 53 | 94 | 86 | 88 | 83 | 85 | 82 | 79 | 78 |
| 1,75 | 68 | 62 | 57 | 53 | 60 | 53 | 45 | 42 | 79 | 72 | 71 | 66 | 70 | 65 | 60 | 57 | 97 | 88 | 92 | 85 | 86 | 85 | 82 | 80 |
| 2,00 | 73 | 65 | 61 | 56 | 63 | 56 | 48 | 45 | 83 | 75 | 75 | 69 | 73 | 68 | 64 | 61 | 99 | 90 | 95 | 88 | 88 | 87 | 84 | 82 |
| 2,25 | 76 | 68 | 65 | 60 | 66 | 59 | 51 | 48 | 86 | 77 | 79 | 73 | 76 | 71 | 66 | 64 | 101 | 92 | 97 | 90 | 90 | 88 | 85 | 83 |
| 2,50 | 79 | 70 | 68 | 63 | 68 | 61 | 54 | 51 | 89 | 80 | 82 | 75 | 78 | 73 | 69 | 66 | 103 | 93 | 99 | 91 | 91 | 89 | 87 | 85 |
| 3,00 | 83 | 75 | 73 | 67 | 72 | 65 | 58 | 55 | 93 | 83 | 86 | 79 | 81 | 77 | 73 | 71 | 105 | 94 | 102 | 92 | 93 | 91 | 89 | 86 |
| 3,50 | 87 | 78 | 77 | 70 | 75 | 68 | 61 | 59 | 96 | 86 | 90 | 82 | 83 | 80 | 76 | 73 | 107 | 95 | 104 | 94 | 94 | 93 | 90 | 88 |
| 4,00 | 91 | 80 | 81 | 73 | 78 | 72 | 65 | 62 | 99 | 88 | 93 | 84 | 85 | 83 | 79 | 76 | 109 | 96 | 105 | 94 | 94 | 94 | 91 | 89 |
| 5,00 | 95 | 83 | 86 | 77 | 80 | 75 | 69 | 65 | 105 | 90 | 98 | 88 | 88 | 85 | 81 | 79 | 111 | 97 | 108 | 96 | 96 | 95 | 92 | 90 |

Таблица П8-6

**Коэффициент использования светового потока светильников (любого типа),
излучаемого в верхнюю полусферу**

| Светильник | Потолочный | | | | | | | Подвесной | | | | | | |
|-----------------------|------------------------------|----|----|----|----|----|----|-----------|----|----|----|----|----|----|
| | 70 | | | | 50 | | | 30 | 70 | | | | 50 | |
| $\rho_{\text{п}}, \%$ | 50 | | 30 | | 50 | 30 | 10 | 50 | | 30 | | 50 | 30 | 10 |
| $\rho_{\text{р}}, \%$ | 30 | 10 | 30 | 10 | 10 | | | 30 | 10 | 30 | 10 | 10 | | |
| Значение i | Коэффициент использования, % | | | | | | | | | | | | | |
| 0,5 | 26 | 25 | 20 | 19 | 17 | 13 | 6 | 19 | 18 | 15 | 14 | 11 | 9 | 4 |
| 0,6 | 30 | 28 | 24 | 23 | 20 | 16 | 8 | 21 | 22 | 18 | 18 | 14 | 11 | 5 |
| 0,7 | 34 | 32 | 28 | 27 | 22 | 19 | 10 | 27 | 26 | 22 | 21 | 16 | 13 | 6 |
| 0,8 | 38 | 36 | 31 | 30 | 24 | 21 | 11 | 31 | 29 | 25 | 25 | 18 | 16 | 7 |
| 0,9 | 40 | 38 | 34 | 33 | 26 | 23 | 12 | 34 | 32 | 28 | 28 | 20 | 18 | 8 |
| 1,0 | 43 | 41 | 37 | 35 | 28 | 25 | 13 | 37 | 35 | 32 | 30 | 22 | 20 | 9 |
| 1,1 | 46 | 43 | 39 | 37 | 30 | 26 | 14 | 40 | 37 | 34 | 33 | 24 | 21 | 11 |
| 1,25 | 49 | 46 | 42 | 40 | 32 | 28 | 15 | 43 | 41 | 38 | 36 | 26 | 24 | 12 |
| 1,5 | 54 | 49 | 47 | 44 | 34 | 31 | 17 | 48 | 44 | 42 | 40 | 29 | 26 | 14 |
| 1,75 | 57 | 52 | 51 | 47 | 36 | 33 | 18 | 52 | 48 | 46 | 43 | 31 | 29 | 15 |
| 2,0 | 60 | 54 | 54 | 50 | 38 | 35 | 19 | 55 | 50 | 50 | 46 | 33 | 31 | 16 |
| 2,25 | 62 | 56 | 57 | 52 | 39 | 37 | 20 | 58 | 52 | 53 | 49 | 35 | 33 | 17 |
| 2,5 | 64 | 58 | 59 | 54 | 40 | 38 | 21 | 60 | 54 | 55 | 51 | 36 | 34 | 18 |
| 3,0 | 68 | 60 | 63 | 57 | 42 | 40 | 22 | 64 | 57 | 59 | 54 | 39 | 36 | 20 |
| 3,5 | 70 | 62 | 66 | 59 | 43 | 41 | 23 | 67 | 60 | 62 | 56 | 40 | 39 | 21 |
| 4,0 | 72 | 64 | 68 | 61 | 45 | 42 | 24 | 69 | 61 | 65 | 58 | 42 | 40 | 22 |
| 5,0 | 75 | 66 | 72 | 64 | 46 | 44 | 25 | 73 | 64 | 69 | 62 | 44 | 42 | 24 |

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ | 3 |
| Глава 1. СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК | 4 |
| 1.1. Общие положения о нормативных показателях освещенности | 4 |
| 1.2. Общие положения при расчете освещенности | 16 |
| 1.3. Основные понятия, применяемые в светотехнике | 20 |
| 1.4. Выбор видов и системы освещения | 26 |
| 1.5. Выбор источников света | 29 |
| 1.6. Выбор норм освещенности и коэффициента запаса | 42 |
| 1.7. Выбор типа светильника (осветительных приборов) | 43 |
| 1.8. Размещение светильников | 46 |
| <i>Контрольные вопросы</i> | 49 |
| <i>Примеры решения задач</i> | 50 |
| Глава 2. РАСЧЕТ ПРЯМОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ОСВЕЩЕННОСТИ | 57 |
| 2.1. Задачи расчета | 57 |
| 2.2. Расчет освещенности рабочей поверхности по методу коэффициента использования | 57 |
| <i>Контрольные вопросы</i> | 62 |
| <i>Примеры решения задач</i> | 63 |
| 2.3. Точечный метод расчета прямой составляющей горизонтальной освещенности | 65 |
| <i>Контрольные вопросы</i> | 67 |
| <i>Примеры решения задач</i> | 67 |
| 2.4. Расчет точечным методом с использованием аналитического выражения КСС | 71 |

| | |
|---|----|
| 2.5. Расчет прямой составляющей освещенности на горизонтальной плоскости от светящей линии | 73 |
| 2.6. Учет отраженной составляющей освещенности | 75 |
| <i>Контрольные вопросы</i> | 76 |
| <i>Примеры решения задач</i> | 76 |
| 2.7. Биодинамическое освещение как функция управления состоянием человека | 86 |

Глава 3. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ПРОЕКТА

| | |
|---|-----|
| ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ | 93 |
| 3.1. Расчетные осветительные нагрузки | 93 |
| 3.2. Напряжение осветительных сетей и его уровни | 95 |
| 3.3. Схемы питания ОУ различного назначения | 96 |
| 3.4. Выбор типа и расположение магистральных и групповых щитков, компоновка сети и ее выполнение | 99 |
| 3.5. Выбор сечений проводников по механической прочности..... | 108 |
| 3.6. Выбор сечений проводников по нагреву | 109 |
| 3.7. Расчет осветительной сети по потере напряжения | 112 |
| 3.8. Компенсация реактивной мощности в осветительных сетях | 118 |
| <i>Контрольные вопросы</i> | 121 |
| <i>Примеры решения задач</i> | 122 |
| 3.9. Системы управления освещением | 130 |
| 3.10. Измерение освещенности рабочих мест внутри зданий | 137 |
| <i>Контрольные вопросы</i> | 143 |
| 3.11. Основные требования к содержанию технического проекта осветительной установки внутреннего освещения | 144 |

Глава 4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

| | |
|---|-----|
| ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ | 146 |
| 4.1. Светотехническая часть. Нормы наружного освещения | 146 |
| 4.2. Расчет параметров освещенности дорожного покрытия и пешеходной зоны | 156 |
| 4.3. Выбор, расположение и способ установки светильников | 158 |

| | |
|--|-----|
| 4.4. Расчет шага фонарей или отдельных светильников при нормировании средней яркости | 160 |
| 4.5. Расчет шага фонарей или отдельных светильников при нормировании средней освещенности | 161 |
| 4.6. Расчет показателя ослепленности | 161 |
| 4.7. Измерение средней освещенности улиц, дорог, площадей ... | 163 |
| 4.8. Электрическая часть. Расчет сетей наружного освещения по потере напряжения | 164 |
| 4.8.1. Расчет осветительной сети при равномерной нагрузке фаз..... | 165 |
| 4.8.2. Расчет сети при неравномерной нагрузке фаз | 167 |
| 4.9. Расчет сетей с газоразрядными лампами по потере напряжения | 169 |
| 4.10. Энергосбережение в системах наружного освещения | 170 |
| <i>Контрольные вопросы</i> | 175 |
| <i>Примеры решения задач</i> | 176 |
| Глава 5. РАСЧЕТ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК | 181 |
| 5.1. Коэффициенты пульсации светового потока и освещенности | 181 |
| 5.2. Цилиндрическая освещенность | 185 |
| <i>Контрольные вопросы</i> | 188 |
| <i>Примеры решения задач</i> | 188 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 190 |
| РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК | 191 |
| ПРИЛОЖЕНИЯ | 194 |

Учебное издание

БАДАЛЯН Нораир Петикович
КОЛЕСНИК Григорий Платонович

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОСВЕЩЕНИЕ: ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ
И АДМИНИСТРАТИВНЫХ ЗДАНИЙ

Учебное пособие

Редактор Е. А. Платонова
Технические редакторы О. В. Балашова, С. А. Володин
Компьютерная верстка Е. А. Герасиной
Выпускающий редактор А. А. Амирсейидова

Подписано в печать 05.12.22.
Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 15,58. Тираж 40 экз.

Заказ

Издательство

Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых.
600000, Владимир, ул. Горького, 87.