Г. А. Тищенко

Осветительные установки

Допущено Министерством электротехнической промышленности в качестве учебника для учащихся техникумов, обучающихся по специальности «Электроосветительные приборы и установки»

Москва
«Высшая школа»
1984

ББК 31.294
Т 47
УДК 628.9

Рецензенты: канд. техн. наук В. П. Чернышев (ВНИСИ); преподаватель Ленинградского электромеханического техникума А. С. Леонтьев.

Тищенко Г. А.

Т47 Осветительные установки: Учебник для учащихся техникумов специальности «Электроосветительные приборы и установки».— М.: Высш. шк., 1984, —247 с., ил.

В пер.: 80 к.

В книге рассмотрены вопросы регламентации количественных и качественных параметров осветительных установок, методы светотехнических расчетов и способы расчета электрических сетей освещения, особенности проектирования промышленных осветительных установок, принципы проектирования освещения общественных зданий, способы освещения открытых пространств, приведен анализ основных норм и правил, определяющих показатели искусственного освещения.

Т $\frac{2302060000-219}{001(01)-84}$ 124—84

ББК 31.294
6П 2.19

© Издательство «Высшая школа», 1984

ПРЕДИСЛОВИЕ

В книге рассмотрены вопросы необходимые для расчета, нормирования и проектирования осветительных установок искусственного освещения промышленных и общественных зданий, городов и спортивных сооружений, а также научно-технические достижения в области техники освещения и проектирования световой среды зданий и городов с учетом требований технико-экономического характера, показана необходимость проектирования световой среды в единстве и взаимодействии утилитарных, эстетических и гигиенических функций освещения.

При написании книги использованы материалы научных учреждений (Института строительной физики, Всесоюзного научно-исследовательского, проектно-конструкторского и технологического светотехнического института) и учебных заведений, многочисленные нормативные материалы, технические требования и т. д., учтен опыт ведущих проектных организаций в области проектирования освещения.

В основу содержания книги положены материалы отдельных статей и разделов книг, указанных в списке литературы, а также опыт работы авторов в области техники освещения.

В главах, связанных с расчетом осветительных установок и сетей, приведены примеры расчетов для наиболее часто встречающихся в практике случаев.

Гл. 4 написана В. Г. Карабашем, гл. 6 — Ю. И. Свиридовым, гл. 1, 2, 3, 5, 7—10 и остальной материал — Г. А. Тищенко. Авторы выражают искреннюю признательность рецензентам канд. техн. наук В. П. Чернышеву, инж. А. С. Леонтьеву за ценные замечания и предложения, направленные на улучшение книги.

Отзывы и предложения просим направлять по адресу: 101430, Москва, ГСП-4, Неглинная ул., 29/14, издательство «Высшая школа».

Авторы

В решениях XXVI съезда КПСС большое внимание уделено вопросам повышения производительности труда в общественном производстве, улучшению условий труда и быта трудящихся. Важным аспектом решения этой задачи является создание эффективной световой среды. Немалое значение имеет искусственное освещение, которое создает возможность нормальной деятельности человека при отсутствии или недостаточности естественного освещения.

На устройство и эксплуатацию искусственного освещения затрачиваются значительные материальные средства и большое количество электроэнергии. Ежегодно у нас в стране на эти цели расходуется не менее 110—120 млрд. кВт·ч электроэнергии. Это составляет около 10—12% всей вырабатываемой электроэнергии. Рациональная организация освещения обеспечивает количественные и качественные характеристики осветительных установок, значительно повышает производительность труда, улучшает качество выпускаемой продукции и снижает ее себестоимость.

Эффективное решение задач научной организации труда возможно только на основе использования достижений технических, экономических, медицинских и биологических наук. Одна из актуальных задач, решение которой обеспечивает безопасный труд и повышение работоспособности человека,— рационализация рабочего места и его освещения.

Особенно большое значение имеет освещение на предприятиях, работающих в две или три смены. Соответствующее выполнение осветительных установок способствует повышению производительности труда в вечернее и ночное время до уровня производительности дневных смен.

Освещение существенно влияет на центральную нервную систему. Осветительные установки в городах, поселках городского типа и сельской местности должны обеспечивать не только требование безопасности транспорта и людей, но и являться частью гармонической композиции вечернего облика города.

Светотехника тесно связана с искусством, в частности архитектурой. Создание полноценного произведения искусства невозможно без знания основ осветительной техники. Единство архитектурного и светотехнического решений способствует наилучшему восприятию архитектурно-художественного объекта и обеспечивает выполнение функциональных и технологических требований.

Поэтому большое внимание уделяется экономической и энергетической эффективности осветительных установок. Основными путями повышения экономичности осветительных установок является повышение эффективности источников света и светильников, применение автоматических устройств для регулирования искусственного освещения в зависимости от естественного света, рационализация в проектировании, методах расчета и разработке индустриальных методов монтажа осветительных установок.

Глава 1
УСЛОВИЯ ВИДИМОСТИ ОБЪЕКТОВ

§ 1.1. Глаз и его работа

Основное назначение искусственного освещения состоит в создании условий, позволяющих глазу человека выполнить необходимую зрительную работу — обнаружить какой-либо предмет, определить его форму и т. п. Поэтому рациональные осветительные условия и способы освещения устанавливаются в соответствии со свойствами и характеристиками зрительного аппарата человека.

Глаз имеет форму, близкую к форме шара (рис. 1.1). Диаметр его у взрослого человека составляет около 24 мм. Снаружи глаз окружен толстой оболочкой — склерой *1*. Передняя часть склеры — роговица *9* — прозрачна и выпукла. Мышцы *11* поворачивают глаз в разные стороны. К склере прилегает сосудистая оболочка *2*, служащая для питания глаза. Спереди к сосудистой оболочке прикреплено ресничное тело *6*. Хрусталик *10* под действием связок *7* прикреплен к ресничному телу. Хрусталик прозрачен и имеет слоистую структуру. Непосредственно перед хрусталиком находится радужная оболочка *8* с круглым отверстием для зрачка, регулирующего входящий в глаз световой поток. Посредством мускулов ресничного тела и связок выпуклость хрусталика может изменяться. Пространство между хрусталиком и роговицей называется передней камерой глаза. За хрусталиком находится внутреннее пространство глаза. Передняя камера наполнена прозрачной жидкостью, внутренняя оболочка покрыта изнутри сетчатой оболочкой — ретиной *3*, являющейся разрастанием зрительного нерва *5*.

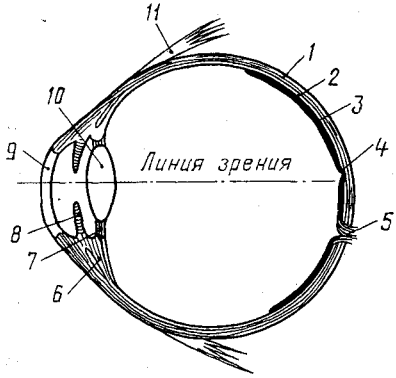


Рис. 1.1. Схема строения глаза

Сетчатая оболочка состоит из сложного переплетения волокон зрительного нерва, связывающего глаз с корой головного мозга. Окончания волокон зрительного нерва (светочувствительные элементы) поглощают падающий лучистый поток, что вызывает фотодиссоциацию молекул светочувствительного вещества (фотореагента), заполняющего светочувствительные элементы. Эти элементы в зависимости от их формы и назначения делятся на *палочки* и *колбочки*. В центре сетчатки (см. рис. 1.1) находится центральная ямка — так называемое «желтое пятно» *4* овальной формы, в котором колбочек значительно больше, чем палочек,

диаметр его около 1 мм. В центральном углублении желтого пятна палочки отсутствуют. Светочувствительное вещество — *родопсин*, обнаруженное в палочках, обладает высокой чувствительностью к излучениям в видимой области спектра. Поэтому палочки, работающие при низких уровнях яркости, называются аппаратом ночного зрения. Колбочки, содержащие светочувствительное вещество, называемое *иодопсином*, обладающее меньшей чувствительностью к излучениям, работают при относительно высоких уровнях яркости и называются аппаратом дневного зрения. В отличие от палочек, реагирующих только на свет, колбочки реагируют на свет и цветность. Способность глаза оценивать излучение по цвету основана на наличии в глазе трех разновидностей колбочек с неодинаковой избирательной чувствительностью к однородным излучениям.

Превалирующая доля зрительной работы совершается колбочками, с помощью которых глазом воспринимаются как ахроматические, так и хроматические ощущения. При наблюдении объектов глаз обегает поле зрения так, чтобы изображения отдельных участков последовательно попадали на центральную ямку. Это фиксирование производится поворотом обоих глаз до пересечения зрительных осей на рассматриваемом предмете (конвергенция).

В этом случае человек видит предметы отчетливо. Объясняется это тем, что глаз, подобно оптической системе, дает наилучшие изображения для точек, расположенных близко к оптической оси и имеющих более плотное размещение светочувствительных элементов в этой области сетчатки.

Зрение — сложный процесс. Химические и электрические явления в сетчатке глаза, передача нервных импульсов по зрительному нерву, деятельность клеток в зрительных зонах мозга — все это составные части процесса, называемого зрением.

Различают зрение *центральное* и *периферическое*. Центральное зрение отличается тем, что позволяет судить о спектральном составе света, а периферическое обладает более высокой (в тысячи раз) чувствительностью к свету, но меньшей четкостью и отсутствием возможности различать цвета.

Глаз человека представляет собой прототип фотографической камеры. Изображение рассматриваемых предметов проектируется на сетчатую оболочку глаза с помощью хрусталика. Изменение выпуклости хрусталика (аккомодация) дает возможность получить на сетчатке отчетливое изображение предметов, находящихся на различных расстояниях от глаза.

Световые лучи, проходя через хрусталик и роговую оболочку глаза, преломляются и создают уменьшенное обратное изображение рассматриваемого объекта на сетчатке глаза. Светочувствительные окончания нервных волокон поглощают падающий на них световой поток, в результате чего в волокнах нерва возникают импульсные электрические токи, протекающие от сетчатки к коре головного мозга. Освещенность сетчатки, создаваемая

отраженным от рассматриваемого предмета светом, определяется яркостью этого предмета по направлению к глазу.

Светящая поверхность площадью S_1 (рис. 1.2), обладающая яркостью L и находящаяся на расстоянии $\mathscr{L}$ от глаза наблюдателя, создает на сетчатке глаза освещенность E_c. Освещенность сетчатки

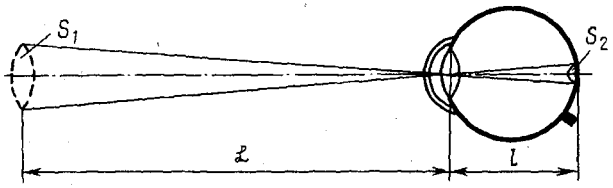


Рис. 1.2. Схема построения изображения на сетчатке глаза

определяется световым потоком Φ, упавшим на нее, площадью изображения светящей поверхности на сетчатке S_2: $E_c = \Phi/S_2$.

Световой поток, упавший на сетчатку, равен световому потоку, упавшему на отверстие зрачка q, уменьшенному за счет поглощения в глазных средах τ. Следовательно, можно записать

$$\Phi = \tau L S_1 q/\mathscr{L}^2 \qquad (1.1)$$

Освещенность сетчатки

$$E_c = \tau q \frac{LS_1}{\mathscr{L}^2 S_2}, \qquad (1.2)$$

где q — площадь зрачка; τ — коэффициент пропускания глазных сред; S_1 — площадь светящей поверхности; S_2 — площадь изображения на сетчатке; L — яркость светящей поверхности; $\mathscr{L}$ — расстояние между глазом и светящей поверхностью.

Так как

$$S_1/S_2 = \mathscr{L}^2/l^2,$$

то

$$E_c = \frac{\tau q}{l^2} L \qquad (1.3)$$

(l — глубина глазного яблока).

Полученное равенство позволяет установить, что *освещенность на сетчатке, определяющая зрительное ощущение, зависит от яркости рассматриваемой поверхности и не зависит от расстояния между глазом и рассматриваемой поверхностью* (это справедливо, если можно пренебречь поглощением и рассеянием света по пути прохождения световых лучей).

Человеческому глазу присущи дефекты и ограничения, свойственные всякой оптической системе. Однако широкие пределы чувствительности глаза, его способность приспосабливаться к раз-

личным условиям распределения яркости в поле зрения позволяют оценивать глаз как наиболее совершенный орган чувств.

Свойство глаза приспосабливаться к резким переменам освещения называется а д а п т а ц и е й. При переходе от темноты к свету (*световая* адаптация) запас светочувствительного вещества в глазе уменьшается, вследствие чего его чувствительность понижается. Процесс световой адаптации происходит сравнительно быстро и в первые 5—8 мин наблюдается значительное снижение чувствительности. При переходе от света к темноте (*темновая* адаптация) чувствительные вещества в глазе регенерируют, запас их увеличивается и чувствительность глаза повышается. Процесс темновой адаптации, однако, идет значительно медленнее, чем световой: в начале (5—8 мин) наблюдается быстрый рост чувствительности, затем он замедляется и полную чувствительность глаз приобретает лишь через несколько часов.

Устройство глаза и способность его к адаптации позволяют воспринимать широкий диапазон яркости. При малых яркостях (менее 0,01 кд/м^2) работают только палочки, при увеличении яркости (от 0,01 до 10 кд/м^2) вступают в действие колбочки и работают вместе с палочками. При дальнейшем увеличении яркости (свыше 10 кд/м^2) палочки прекращают работу, функционируют только колбочки, а при очень высоких яркостях глаз должен принимать меры к предохранению от ослепления.

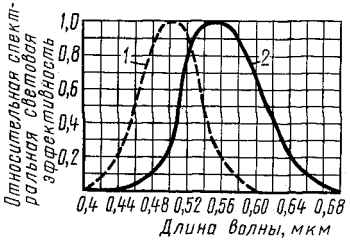


Рис. 1.3. Кривые относительной спектральной световой эффективности:
1 — для ночного зрения; *2*— для дневного

Кривая относительной видности при малых яркостях, т. е. использовании палочного зрения (рис. 1.3), смещается в сторону коротких волн. Это изменение чувствительности глаза к излучениям различных участков спектра при переходе от больших яркостей к малым известно как э ф ф е к т П у р к и н е, который имеет большое практическое значение при выборе освещенностей на улицах городов и в зданиях, а также при отделке зданий и интерьеров, освещаемых источниками с различной цветностью излучения.

§ 1.2. Контрастная чувствительность зрения

Для того чтобы глаз отличал какую-либо деталь, необходимо иметь различие в цвете или яркости фона и детали. В данном случае имеет значение не абсолютное, а относительное различие в яркостях деталей и фона, называемое к о н т р а с т о м, который равен отношению разности яркостей фона и детали к яркости фона:

$$K = (L_ф - L_д)/L_ф \ , \qquad (1.4)$$

где $L_ф$ — яркость фона; $L_д$ — яркость детали.

Способность глаза воспринимать наименьшие контрасты называется контрастной чувствительностью. Мерой ее служит обратное значение наименьшего воспринимаемого глазом контраста. Наименьшая, воспринимаемая разность яркостей объекта и фона, выраженная в процентах от яркости фона, называется порогом контрастной чувствительности глаза в данных условиях освещения.

Контрастная чувствительность глаза

$$A = \frac{1}{K_{\text{пор}}} = \frac{L_{\Phi}}{|L_{\Phi} - L_{\text{д}}|_{\min}}, \qquad (1.5)$$

где $K_{\text{пор}}$ — пороговое значение различаемого контраста.

С увеличением яркости поля адаптации контрастная чувствительность глаза растет (рис. 1.4). Однако этот рост почти приостанавливается при яркости адаптации фона около 350 кд/м^2, увеличение яркости до 5000—6000 кд/м^2 не дает заметного роста контрастной чувствительности, а дальнейшее ее увеличение снижает контрастную чувствительность в связи со слепящим действием больших яркостей.

Пороговый контраст зависит также от углового размера объекта α, под которым принято понимать отношение абсолютного размера объекта к расстоянию его до глаза наблюдателя. Пороговый контраст увеличивается при уменьшении углового размера объекта различения (рис. 1.5).

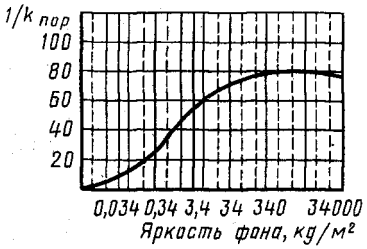


Рис. 1.4. Зависимость контрастной чувствительности глаза от яркости фона

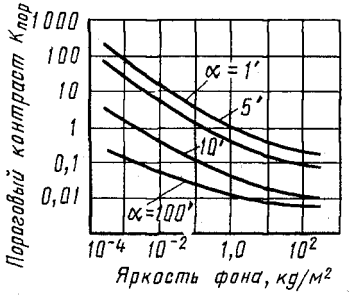


Рис. 1.5. Зависимость порогового контраста от яркости фона для объектов различения различных угловых размеров

При больших размерах объекта различения ($\alpha \geqslant 20°$) и значениях яркости фона, превышающих 100 кд/м^2, пороговый контраст практически постоянен и равен своему минимально возможному значению. Диапазон яркости фона, в пределах которого пороговый контраст можно считать постоянным, называется областью Вебера — Фехнера.

§ 1.3. Разрешающая способность глаза

Разрешающая способность глаза характеризуется минимальным угловым размером пространства между двумя исследуемыми объектами (квадратами, прямоугольниками, линиями) и определяется отношением размера промежутка к расстоянию от него до глаза.

Разрешающую способность глаза, равную приблизительно 1/3500, принято считать нормальной, что соответствует минимальному разрешающему углу в 1′.

При благоприятных условиях освещения у человека с нормальным зрением минимальный разрешающий угол может уменьшиться до 0,7—0,8′.

Разрешающая способность глаза имеет большое значение при необходимости различения мелких объектов.

Измерение разрешающей способности (или обратной ей величины, называемой остротой зрения) проводится с помощью специальных таблиц, на которых напечатаны буквы, цифры, либо так называемые кольца Ландольта (рис. 1.6) раз-

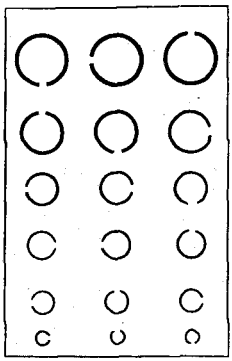


Рис. 1.6. Таблица с кольцами Ландольта для определения остроты зрения

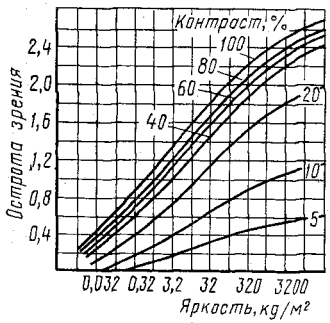


Рис. 1.7. Острота зрения в зависимости от яркости фона при различном контрасте деталей с фоном

личных размеров и толщины. Знаки одинакового размера напечатаны в отдельных строках. Размеры выбраны так, чтобы буквы или знаки были видны при указанном в таблице расстоянии (обычно 5 м) под различными углами, также указанными на полях таблицы. При измерении разрешающей способности глаза таблицу укрепляют на стене или специальном щите. Наблюдатель располагается на расстоянии 5 м от таблицы, на которой создана равномерная без бликов освещенность. Во время исследования испытуемому предлагают назвать букву, знак или направление разрыва кольца Ландольта. Наименьший по размерам знак таблицы, который испытуемый называет правильно, позволяет судить о разрешающей способности его зрения.

На рис. 1.7. показана зависимость остроты зрения от яркости поля адаптации при различном контрасте деталей с фоном. Из кри-

вых видно, что острота зрения возрастает особенно при переходе от малых яркостей фона (долей кд/м^2) к яркостям 500—700 кд/м^2. Дальнейшее увеличение яркости не дает значительного роста остроты зрения. Кривые свидетельствуют также о большом влиянии на остроту зрения контраста деталей с фоном.

§ 1.4. Скорость зрительного восприятия

Скорость зрительного восприятия характеризуется значением, обратным наименьшему времени, необходимому для различения рассматриваемого объекта. Она зависит от яркости фона, на котором рассматривается объект, его размера, а также контраста с фоном.

Определение условий освещения с помощью скорости различения обычно применяется при исследованиях в условиях лаборатории, так как используемая при этом аппаратура неудобна на производстве. Основным элементом в таких установках является тахистоскоп. Его помещают между исследуемым объектом различения и наблюдателем таким образом, что последний может видеть предъявляемый для различения объект лишь за время прохождения перед ним раскрытия тахистоскопа.

Время экспозиции различаемой детали может изменяться в зависимости от числа оборотов и раскрытия секторного отверстия в диске. Обычно скорость различения изменяется в пределах 1—1200 с$^{-1}$. Объектами различения чаще всего служат кольца Ландольта, разрывы которых направлены в разные стороны. Зрительной задачей в опытах с кольцами Ландольта является определение направления разрыва кольца. Вместо кольца Ландольта могут быть выбраны объемные, геометрически правильные тела (куб, цилиндр, конус, призма и т. п.). Связь между освещенностью фона (поля зрения) и скоростью различения при наблюдении черных объектов на белом фоне показана на рис. 1.8. Из рисунка видно, что скорость различения значительно растет при увеличении освещенности и ее рост практически прекращается при освещенности 1000 лк.

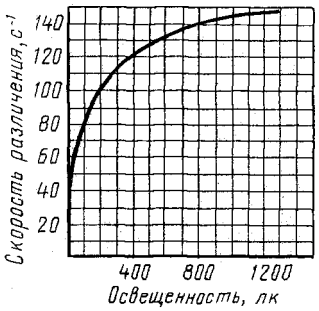


Рис. 1.8. Зависимость скорости различения от освещенности фона. Рассматривается черный кружок размером 2,5′ на фоне с коэффициентом отражения 0,8

Вестон исследовал «зрительную» работоспособность по скорости и вероятности различения направления разрыва колец Ландольта при кратковременном их наблюдении в зависимости от уровня освещенности и контраста объекта с фоном.

Зрительная задача состояла в вычеркивании колец с заданным направлением разрыва. Зрительная работоспособность оценивалась по формуле

$$\eta = (N / T)(n' / n),$$

где N — общее число просмотренных колец; T — время просмотра; n' — количество колец с заданной ориентацией; n — количество правильно опознанных колец.

§ 1.5. Устойчивость ясного видения и адиспаропия

Способность глаза длительно сохранять в поле зрения фиксированные глазом детали называется устойчивостью ясного видения. При длительном сосредоточенном рассматривании какого-либо мелкого предмета происходит утомление зрения. Оно характеризуется тем, что предмет виден отчетливо лишь временами, сменяющимися периодами, при которых он становится расплывчатым и неясным. Это объясняется утомлением глазных мышц, стремящихся при рассматривании предмета удержать глаз в положении, при котором изображение оставалось бы на одном и том же месте сетчатки.

При изменении места изображения фиксируемого предмета на сетчатке глаза требуется некоторое время для достижения ясного видения. Количественным показателем устойчивости ясного видения принято считать отношение времени ясного видения ко всему времени сосредоточенного рассматривания мелкого предмета (обычно 3 мин).

Исследованиями доказано, что на устойчивость ясного видения в значительной степени влияют условия освещения, характер выполняемой работы, ее продолжительность. Поэтому определение устойчивости ясного видения (у.я.в.) часто проводится для оценки зрительной работоспособности в различных осветительных условиях, а изменение этой функции в процессе работы является наглядной и удобной характеристикой утомления зрения.

Определение у.я.в. тех деталей, которые должны различаться в процессе работы, затруднительно, а иногда невозможно. В качестве объектов различения подбирают специальные тесты, значение у.я.в. которых ничего не говорит экспериментатору. Поэтому исследования с у. я. в. основаны на сравнении нескольких ее значений: при разных вариантах освещения, до и после работы и т. д. При таком использовании у. я. в. является одной из наиболее важных и широко используемых характеристик гигиенической оценки условий освещения. Характер зависимости у. я. в. от освещенности поля зрения (по усредненным данным) показан на рис. 1.9. Значительный рост этой функции зрения достигается в зоне до 200 лк. Необходимо отметить, что в зависимости от характера зрительной работы и качества освещения значения у. я. в. могут отличаться от показанных на рис. 1.9.

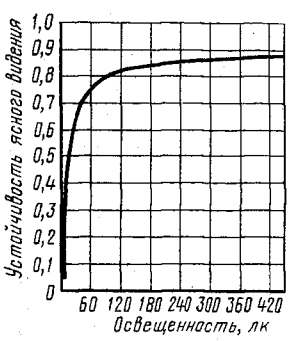


Рис. 1.9. Зависимость устойчивости ясного видения от освещенности фона

Во многих исследованиях широко распространен метод оценки зрительного утомления с помощью адиспаропии. В основе этого метода лежит временное снижение устойчивости различительной способности глаза при длительной фиксации глазом контрастных цветных или ахроматических полей. Для определения значения адиспаропии может применяться круглое поле размером 70 мм, разделенное на две равные части, контраст между которыми равен 0,8 на фоне с коэффициентом отражения $\varrho = 0{,}75$.

Критерием оценки осветительных условий служит отношение времени ясного видения линии раздела полей к полному времени его фиксации, которое, как и при определении устойчивости ясного видения, принимается равным 3 мин.

§ 1.6. Видимость объектов

Для оценки эффективности освещения общим показателем, который учитывает условия освещения и его изменение, может характеризовать условия работы зрения, является *видимость*.

При видимости, меньшей единицы, рассматриваемый объект не будет виден, при ее значении, равном единице, объект будет едва различим. Полное различение объекта возможно только при значении видимости, большем единицы. Наиболее правильным методом оценки видимости является метод определения *запаса различимости*. Такое сравнение возможно по времени различения: если объект должен быть различен за 0,1 с, а различается за 0,05 с, то видимость при этом составит 2. Если в данных условиях может быть различим контраст объекта с фоном, равный 0,2, а фактический составляет 0,6, то видимость равна 3.

Пользуясь методом *сравнения контрастов объекта с фоном*, можно определить различимость числом пороговых контрастов в контрасте объекта с фоном, имеющем место в исследуемом варианте, что и служит видимостью, которая определяется из соотношения

$$V = K/K_{\text{пор}}, \tag{1.6}$$

где K — фактический контраст объекта с фоном; $K_{\text{пор}}$ — пороговый, т. е. наименьший различимый, контраст.

Это определение подсказывает и способ измерения видимости: следует тем или иным методом уменьшить видимый контраст K, доведя его до $K_{\text{пор}}$. Зная, во сколько раз пришлось уменьшить K, можно определить V.

Видимость зависит от яркости рассматриваемого объекта и фона, на котором он виден; угловых размеров, формы и времени наблюдения; состояния адаптации и световой обстановки.

Искусственное снижение видимости осуществляется специальными приборами, называемыми измерителями видимости. Они могут быть рекомендованы для гигиенической оценки осветительной установки.

Предложены и применяются разные типы измерителей видимости. Так, в приборе М. Лекиша и Ф. Мосса доведение видимости до порогового значения достигается с помощью фотометрического клина с плавно изменяющимся коэффициентом пропускания, помещаемого между глазами наблюдателя и объектом различения.

В измерителе видимости А. А. Труханова между глазом и объектом помещается прозрачная стеклянная пластинка, в которой отражается кружок из молочного стекла регулируемой яркости. Это отражение образует в центральном поле зрения световую дымку, снижающую видимый контраст между деталью различения и фоном и доводящую его до порогового значения.

В нашей стране распространен бинокулярный поляризационный измеритель видимости системы проф. Л. Л. Дашкевича, принцип работы которого основан на доведении кажущегося контраста объекта с фоном, рассматриваемого через прибор, до пороговых значений путем искусственного уменьшения яркости изображения объекта при постоянной яркости фона. При рассматривании объекта через оптическую систему прибора благодаря двупреломляющей призме в поле зрения появляются два изображения объекта, образованные лучами света, поляризованными во взаимно перпендикулярных плоскостях. При повороте поляроида одно изображение объекта постепенно ослабевает, а другое усиливается, яркость же фона остается постоянной. При некотором положении поляроида, зависящем от контраста объекта с фоном и его яркости, видимость одного изображения объекта можно довести до порога (оно становится едва заметным). При этом показание прибора дает значение видимости в условных единицах.

Измеритель позволяет оценить видимость V числом пороговых контрастов $K_{пор}$ в контрасте объекта с фоном. Недостатки этого прибора следующие: 1) изменение видимости производится в условиях яркости поля зрения, хотя и постоянной, но значительно пониженной по сравнению с ее фактическим уровнем; 2) оправа прибора ограничивает поле зрения: в той или иной степени исключает влияние слепящих источников и периферических полей адаптации; 3) время экспозиции различаемого объекта не может регулироваться; 4) при наличии в поле зрения бликов, вследствие зеркального отражения света от рассматриваемого объекта и фона, прибор может дать ошибочные результаты: это вызвано тем, что зеркально отраженные лучи света оказываются частично или полностью поляризованными. В таком случае поляроид и двупреломляющая призма могут погасить блики, и видимость окажется выше, чем в действительности.

§ 1.7. Видимость объектов в условиях неравномерного распределения яркости

При обычных условиях работы глаза видимость объектов, как правило, осуществляется на фоне неравномерной яркости. Распределение яркости в поле зрения определяется не только различием коэффициентов яркости отдельных участков поля зрения, но также

и распределением светового потока по освещаемым поверхностям.

Распределение яркости имеет особое значение для промышленных осветительных установок, где условия освещения влияют на работоспособность зрения, а следовательно, на уровень производительности труда.

Этим вопросам посвящены многие исследования, наиболее полное и критическое обобщение которых дано Ц. И. Кроль. В ее трудах рассмотрено влияние размера центральной зоны поля зрения и соотношение ее яркости с яркостью периферии на функции зрения и зрительную работоспособность.

На основании многочисленных исследований установлено, что неосвещенная периферическая часть поля зрения (яркость $L_п = 0$) вызывает снижение функций зрения и отрицательно влияет на производительность труда. Это снижение зависит от различных параметров осветительной установки (углового размера центральной части поля зрения, его яркости, исследуемых функций и выбранных тестов) и колеблется в пределах от 30 до 70%.

Анализ проведенных исследований показывает снижение функций зрения при наличии темного окружения. Однако большее снижение происходит при яркости периферии поля зрения большей, чем яркость рабочего места. Во время выполнения зрительной работы линия зрения не сохраняет постоянного направления. Поэтому при неравномерном распределении яркости в поле зрения могут происходить процессы переадаптации с одной яркости на другую.

В процессе переадаптации повышается пороговый контраст; с увеличением времени переадаптации возрастает время восстановления чувствительности зрения.

Сравнение индуктивного влияния неравномерного распределения яркости в поле зрения и переадаптации показывает, что первое оказывает значительно большее отрицательное влияние на функции зрения, чем переадаптация.

На основании исследований, проведенных В. В. Мешковым, Лекиш и Мосс, Э. А. Котовой и др., можно прийти к такому выводу: *всякое неравномерное распределение яркости в поле зрения вызывает снижение функций зрения.* Особенно заметное снижение наблюдается при яркости периферии $L_п$, большей яркости центра $L_ц$. Функцией, остро реагирующей на неравномерное распределение яркости в поле зрения, является *контрастная чувствительность.*

Особенно резкое снижение видимости наблюдается при появлении в поле зрения рабочих пятен большой яркости, которыми являются незащищенные источники света или светильники с высокой яркостью. Чрезмерно яркие части источников света и светильников (прямое действие), а также их зеркальные отражения (отраженное действие), попадающие в поле зрения работающих, вызывают ухудшение условий работы зрения. Это свойство источников света и светильников называют б л е с к о с т ь ю.

Вызываемое блескостью состояние зрения, связанное с ухудшением его нормальной работы, принято называть о с л е п л е н н о с т ь ю.

Блескость осветительных установок определяется: 1) яркостью видимых источников света и светящих частей светильников; 2) силой света блеского источника в направлении к глазу наблюдателя; 3) размерами светящих частей блеских источников.

Однако слепящее действие прямой блескости зависит и от других факторов, а именно: 1) от расположения светильников в поле зрения, определяемого углом действия, зависящим от высоты подвеса светильника и его защитного угла; 2) яркости фона, на котором виден блеский источник; 3) освещенности на зрачке, создаваемой светильниками.

Отрицательное действие блескости на зрение (ослепленность) тем больше, чем точнее выполняемая зрительная работа.

Во всех правилах и нормах искусственного освещения предусматриваются меры для ограничения блескости.

§ 1.8. Влияние блескости на зрительные функции

Наличие в поле зрения блескости отрицательно воздействует на зрение.

Вызванное этой блескостью состояние ослепленности эквивалентно появлению в поле зрения вуалирующей пелены, яркость которой β накладывается на яркость фона и детали, уменьшая видимый контраст между ними и приводя к уменьшению видимости.

В качестве критерия ослепленности, вызванной блеским источником света, проф. В. В. Мешков предложил принять изменение пороговой разности яркости между объектом и фоном при наличии блескости.

Было введено также понятие о коэффициенте ослепленности для характеристики изменения видимости вследствие действия блескости.

Коэффициент ослепленности S определяется отношением пороговых разностей яркости при наличии и отсутствии блескости в поле зрения

$$S = \Delta L_S / \Delta L, \qquad (1.7)$$

где ΔL_S и ΔL — пороговые разности яркостей при наличии и отсутствии блескости.

Коэффициент ослепленности при слепящей яркости не более 10^6 кд/м^2

$$S = 1 + (3 \lg L - 8{,}54)\frac{I \cos\theta}{\mathscr{L}^2 \theta^2 (L_\phi + \gamma)}, \qquad (1.8)$$

где L — яркость блеского источника, кд/м^2; I — сила света источника в направлении глаз наблюдателя, кд; θ — угол действия блеского источника (т. е. угол между линией зрения в направлении источника и горизонтальной линией зрения), град; $\mathscr{L}$ — рас-

стояние от глаза до источника блескости, м; $L_ф$ — яркость фона, на котором наблюдается блеский источник, кд/м^2; $\gamma = 0{,}207$ — яркость собственного света сетчатки, кд/м^2.

Если $L > 10^6$ кд/м^2, то

$$S = 1 + 9{,}46\frac{I\cos\theta}{\mathcal{L}^2\theta^2(L_ф + \gamma)}. \qquad (1.9)$$

На рис. 1.10 показано относительное изменение функций зрения под влиянием блескости (при отсутствии блескости значения функций зрения приняты за 100%). Из кривых видно, что при наличии блескости наибольшему снижению подвергается контрастная чувствительность; снижение скорости различения заметнее при работе, требующей большего напряжения зрения; с увеличением яркости поля адаптации действие блескости уменьшается. Отрицательное действие блескости проявляется и до возникновения ослепленности, когда при относительно небольшой блескости появляются неудобства в работе или так называемый зрительный дискомфорт, приводящий к утомлению зрения.

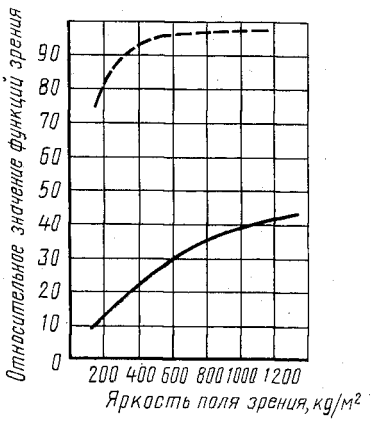


Рис. 1.10. Относительные значения функций зрения при наличии блескости в зависимости от яркости поля адаптации:
— — — скорость различения:
——— контрастная чувствительность

Как показали исследования Л. Холлэдейя, различные стадии дискомфорта зависят от соотношения блеского источника и фона, на котором виден источник, а также от телесного угла ω, под которым виден из данной точки источник света. Им предложена следующая формула для оценки ощущения зрительного дискомфорта и ослепленности в результате действия блескости:

$$k = \lg L + 0{,}25\lg\omega - 0{,}3\lg L_ф - 0{,}35, \qquad (1.10)$$

где k — коэффициент, характеризующий действие блескости; ω — телесный угол, под которым виден источник блескости, ср.

Степень действия блескости количественно характеризуется следующими значениями k: 1) не более 1,2 — условия считаются комфортными; 2) 1,9 — появляются пороговые условия между ощущением комфорта и дискомфорта; 3) 2,2—2,4 — создается неприятное ощущение ослепленности; 4) при $k = 2{,}6$ и выше, ослепленность становится нетерпимой.

Предельное значение яркости блеского источника для пограничных условий комфорт — дискомфорт выражается зависимостью

$$L_{к.-д} = 178L_ф^{0{,}3}/\omega^{0{,}25}. \qquad (1.11)$$

Наличие блеских источников в поле зрения работающего отрицательно сказывается на производительности труда.

§ 1.9. Постоянство освещенности во времени

Изменения яркости во времени вызывают не только необходимость переадаптации, но и неприятный психологический эффект, отвлекая и утомляя внимание работающих. Причинами такого изменения могут быть колебания напряжения в сети и раскачивание светильников. При колебании освещенности (яркости) рабочих поверхностей ухудшается видимость деталей ввиду ограничения времени их наблюдения, вызванного периодическим резким снижением яркости рассматриваемых деталей.

Колебания же освещенности поля зрения из-за раскачивания светильников недопустимы, так как колеблющиеся светильники создают не только периодическое изменение освещенности, но и подвижные тени в поле зрения.

Особо следует остановиться на явлении *стробоскопического эффекта*, возникающего в условиях освещения источниками света, излучающими световой поток, изменяющийся во времени. Такое излучение свойственно газоразрядным источникам света — люминесцентным лампам и в еще большей степени ртутным лампам с исправленной цветностью (ДРЛ). Объясняется это безынерционностью излучения, вызванного электрическим разрядом в парах ртути, и зависящего от него процесса излучения люминофора, обладающего лишь незначительным послесвечением. Таким образом, при питании газоразрядных ламп переменным током (50 Гц) излучаемый ими световой поток непостоянен во времени, ослабляясь и вновь усиливаясь до 100 раз/с. Эти пульсации потока создают соответствующие *пульсации освещенности*. Одним из наиболее заметных проявлений стробоскопического эффекта оказываются явления, наблюдаемые при фиксировании в условиях пульсирующей освещенности вращающихся или передвигающихся предметов. Естественно, что предметы лучше всего видны в моменты, когда значения освещенности достигают максимума, а это происходит 100 раз/с.

Поэтому предметы, быстро движущиеся поступательно, представляются имеющими многократные контуры. В зависимости от частоты вращения предметы могут казаться остановившимися или изменившими скорость и направление вращения. Иллюзия остановки вращения предметов может быть непосредственной причиной травматизма.

Ошибочно считать, что стробоскопический эффект вреден только при наличии в поле зрения движущихся предметов. Практика показывает, что особенно резко проявляется отрицательное влияние стробоскопического эффекта у работников умственного труда: чертежников, конструкторов, проектировщиков и т. д., что, вероятно, связано с подвижностью осей зрения.

§ 1.10. Влияние освещения на производительность труда

Для зрительной работоспособности большое значение имеет освещение. В светотехнической практике важно знать, какие именно характеристики освещения или их сочетания и в какой мере

влияют на работу зрения, а также какими средствами осветительной техники можно достигнуть наименьшего утомления зрения в течение рабочего времени. Перечисленным вопросам посвящено большое количество исследований — гигиенических, физиологических и светотехнических.

Влиянию яркости, или освещенности, на работу зрения и производительность труда уделяется максимальное внимание. Существенно важным в данном вопросе является положительное влияние увеличения освещенности на такие характеристики, как острота зрения, устойчивость ясного видения, скорость различения, контрастная чувствительность. Однако это влияние различно и зависит от геометрических и оптических характеристик различаемых объектов, а также от качества освещения.

Наряду с перечисленными факторами пороговый контраст зависит также от времени, в течение которого глаз фиксирует наблюдаемый объект. С сокращением времени наблюдения повышается пороговый контраст, т. е. усложняется восприятие объекта (рис. 1.11).



Рис. 1.11. Зависимость порогового контраста от времени наблюдения

Для обеспечения заданного уровня видимости объекта необходима определенная яркость фона, зависящая в реальных условиях от уровня освещенности и коэффициента отражения (коэффициента яркости) рабочей поверхности. При этом ее освещенность должна быть тем больше, чем точнее зрительная работа (меньше угловой размер объекта), чем меньше контраст объекта с фоном и коэффициент отражения рабочей поверхности.

Для определения яркости фона, обеспечивающей заданный уровень видимости объекта определенного углового размера, пользуются номограммами (рис. 1.12). На рисунке по оси ординат отложена яркость фона $L_ф$, кд/м^2, по оси абсцисс — угловой размер объекта различения α в угловых минутах. В координатах $L_ф$, α нанесены кривые равных значений видимости.

Вопрос о влиянии осветительных условий, например освещенности рабочей поверхности, на производительность труда является важнейшим в проблеме промышленного освещения. Проведенные исследования подтвердили, что с увеличением освещенности рассматриваемой поверхности производительность труда повышается особенно при переходе от относительно небольших освещенностей, измеряемых десятками люксов, к освещенности 500—600 лк, а при точных работах — 1000 лк и более. Дальнейшее увеличение освещенности дает уже меньший рост производительности.

Известно, что улучшение условий освещения промышленных предприятий ведет к росту производительности труда, снижению брака и улучшению качества продукции, заметному снижению себестоимости, а также к улучшению условий труда — снижению

утомления и травматизма, сохранности зрения, росту культуры производства.

Оптимальную яркость, обеспечивающую минимальное значение порогового контраста, можно определить согласно графикам проф. А. А. Труханова, показанным на рис. 1.13. По оси абсцисс отложена яркость в кд/м^2, по оси ординат — значения пороговых контрастов. Семейство кривых, изображенных на графике, показывает изменение порогового контраста в зависимости от углового размера объекта и яркости фона, на котором он рассматривается.

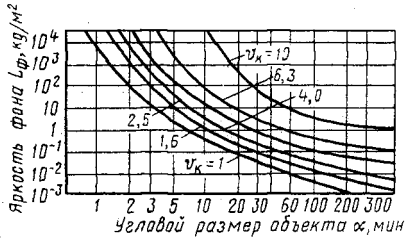


Рис. 1.12. Номограмма для расчета видимости

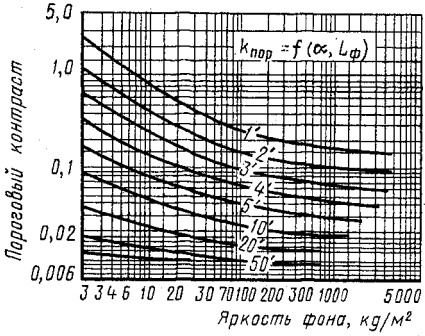


Рис. 1.13. Изменение порогового контраста в зависимости от углового размера объекта и яркости фона, на котором он рассматривается

Освещение прежде всего должно обеспечить заданный осветительный эффект — минимальную установленную мощность при минимальных издержках производства.

По теории проф. А. А. Труханова, наивыгоднейшие осветительные условия определяются минимальной себестоимостью единицы продукции, зависящей от освещения.

Себестоимость единицы продукции

$$S = \frac{И}{N} = \frac{А + М + З + Т + Э_с + Э_0 + Н}{N}, \qquad (1.12)$$

где И — издержки производства; N — объем производства; А, М, З, Т, $Э_с$, $Э_0$, Н — издержки по амортизации, материалам и полуфабрикатам, по зарплате, топливу, силе, освещению и накладным расходам.

Если производительность труда возрастет на p_x долей единицы, то себестоимость

$$s'_{p_x} = \frac{А + (1 + p_x)М + kЗ + cТ + mЭ_с + nЭ_0 + Н}{(1 + p_x)N}. \qquad (1.13)$$

Отношение $k/(1 + p_x) = 1$, если с ростом производительности труда норма выработки не пересматривается, если же норма пересматривается, то $k < 1{,}0$. Рассмотрим динамику изменения отношения $m/(1 + p_x)$. Составляющая по расходу электроэнергии на силу

$$Э_с = (W_с t_м + W_х \alpha t_р + W_д t_н)\, h, \qquad (1.14)$$

где $W_с$ и $W_х$ мощность загруженного электродвигателя и электродвигателя при холостом ходе; $t_м$ и $t_р$ — машинное и ручное время; α — коэффициент, учитывающий время, на которое двигатель отключается; $W_д$ — мощность других потребителей, отнесенная к рабочему месту; $t_н$ — норма времени на единицу продукции; h — тариф на электроэнергию.

Анализ этого выражения показывает, что рост производительности труда снижает удельные расходы электроэнергии. Таким же образом можно показать, что при росте производительности труда снижается удельный расход топлива. Издержки же на освещение будут возрастать в связи с ростом производительности труда.

Динамика себестоимости продукции показана на рис. 1.14.

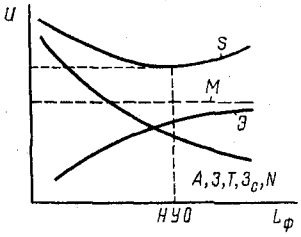


Рис. 1.14. Динамика изменения себестоимости продукции. Наивыгоднейшие условия освещения определяются минимумом себестоимости

Из формулы (1.14) и рис. 1.14 можно заключить, что части составляющих себестоимости (амортизация, накладные расходы, расходы на силу и тепло) при росте производительности труда снижаются; зарплата остается постоянной или снижается; расходы на освещение растут. Это указывает на наличие у кривой, отображающей динамику себестоимости, отчетливого минимума, характеризующего наивыгоднейшие осветительные условия. *Выбор условий, отклоняющихся от наивыгоднейших в ту или иную сторону, экономически невыгоден.*

В общем виде зависимость производительности труда от освещенности на основе обобщения большого количества экспериментальных исследований показана на рис. 1.15.

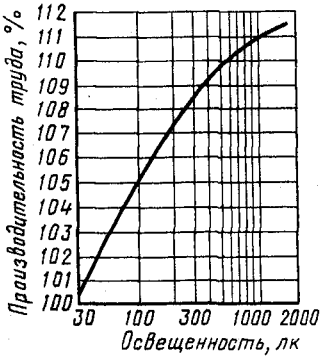


Рис. 1.15. Зависимость производительности труда от освещенности

Анализ кривых зависимости роста производительности труда от освещенности показал, что эта зависимость имеет логарифмический характер.

Глава 2

НОРМИРОВАНИЕ ОСВЕЩЕНИЯ

Основной целью нормирования осветительных установок является обеспечение единого подхода в осуществлении оптимальных условий работы зрения, достижение необходимой видимости объектов различения.

Для получения требуемого уровня видимости устанавливаются различные уровни освещенности для зрительных работ разной точности. Чем меньше размер объекта, его контраст с фоном и коэффициент отражения освещаемой поверхности, тем большим должен быть выбран уровень освещенности.

Выбор уровня видимости или зрительной работоспособности, по которым проводится нормирование освещенности, должен осуществляться с учетом экономических показателей осветительных установок и реальных энергетических возможностей.

Таким образом, задачей нормирования осветительных установок является регламентация не только уровней видимости и работоспособности, но и расхода электроэнергии, материалов и оборудования, используемых для освещения.

§ 2.1. Выбор параметров нормирования

Нормирование осветительных установок любого назначения начинается с выбора параметров, определяющих их эффективность. При этом нормирование может быть *прямым* и *косвенным*.

При прямом регламентируются величины, непосредственно определяющие эффективность осветительной установки. К ним относятся производительность труда; уровень видимости или различимости, обеспечивающий решение зрительной задачи с заданной достоверностью; зрительная работоспособность; светлота окружающего пространства, определяющая уровень насыщенности помещения светом, и ряд других параметров. Это нормирование является наиболее совершенным. Однако отсутствие достаточных данных, которые позволили бы перейти от нормируемого уровня видимости, зрительной работоспособности или светлоты к фотометрическим характеристикам осветительной установки, затрудняет в настоящее время его применение. Лишь в отдельных случаях зависимость эффективности осветительной установки можно определить экспериментально по этим критериям.

Косвенное нормирование осветительных установок основано на регламентации фотометрических характеристик, а также их распределений и соотношений в освещаемом пространстве во времени и по спектру. Это нормирование менее совершенно, но более приемлемо для практики проектирования и имеет ряд особенностей: фотометрические характеристики (освещенность, яркость освещаемой поверхности и т. д.), определяющие эффективность осветительной установки, связаны с ней нелинейно; характер этой нелинейности неодинаков для различных производственных процессов; эффективность осветительной установки зависит как от количественного значения, так и от качественных показателей выбранной фотометрической характеристики.

Качество освещения определяется свойствами оптического излучения, используемого в осветительной установке, и характеризуется распределением в пространстве, во времени и по спектру.

От пространственного распределения излучения, падающего на освещаемый объемный предмет, зависит расположение света и теней на его поверхности и окружающем фоне. Это распреде-

ление определяет яркостный контраст и угловой размер освещаемого рельефного объекта.

Яркостный контраст и угловой размер рельефного объекта наблюдения, зависящие от условий освещения и наблюдения, называют эквивалентным контрастом и эквивалентным угловым размером объекта наблюдения.

Распределение излучения во времени также влияет на эффективность осветительной установки, так как зрение обладает инерционным свойством и имеют место процессы адаптации, возникающие при изменении яркости поля зрения.

В ряде случаев спектральный состав излучения оказывает решающее влияние на контраст объекта наблюдения, отличающегося по цветности от фона. При разноцветности объекта наблюдения и фона правильно выбранное по спектральному составу излучение существенно увеличивает различие объекта и фона не только по цветности, но и по яркости. Распределение излучения по спектру может оказывать также большое влияние на цвет освещаемых поверхностей, а следовательно, на правильное цветовое восприятие окружающего пространства.

В осветительной технике все показатели, определяющие эффективность освещения за счет качества излучения, попадающего в глаз наблюдателя, называют качественными характеристиками освещения.

К ним можно отнести распределение: яркости по поверхности объекта наблюдения и прилегающему к нему участку фона — микрораспределение; яркости в поле зрения наблюдателя — макрораспределение; светового потока во времени, зависящее от свойств источников света, способов их включения и качества питающей их электрической энергии; излучения по спектру.

Эффективность осветительной установки определяют не только количественные, но и качественные показатели (характеристики). Учитывая это, при нормировании и проектировании осветительных установок эти показатели рассматриваются как единые.

Так как уровень нормируемых характеристик определяет потребность в энергии, материалах и оборудовании, при нормировании освещения учитываются эффективность осветительной установки и ее экономика.

Таким образом, результатом нормирования осветительных установок должны являться, с одной стороны, обеспечение надлежащего уровня количественных и качественных характеристик освещения, с другой — регламентация расходования энергии, материалов и оборудования, а также средств на эксплуатацию установки.

§ 2.2. Классификация осветительных установок и основные требования к ним

Впервые в нашей стране нормы освещения промышленных предприятий были введены в 1928 г. Эти нормы были разработаны проф. П. М. Тиходеевым и распространялись только на искусственное освещение.

В последующие годы нормы освещения несколько раз пересматривались в сторону повышения и усовершенствования их структуры. Введенные в действие с 1 октября 1971 г. нормы проектирования искусственного освещения отличались от предшествующих повышением уровней освещенности для точных зрительных работ, а также требованиями к качеству освещения рабочих мест.

Строительные нормы и правила по проектированию естественного и искусственного освещения (СНиП II-4—79) объединены в одном документе.

Эти нормы должны отвечать нормам проектирования зданий, рассчитанным на широкое применение индустриальных способов строительства и дальнейшее его удешевление. Удешевление строительства зданий должно сопровождаться улучшением архитектурного качества интерьера и качества освещения. Поэтому и нормы освещения должны обязательно учитывать не только генеральную линию в проектировании (блокирование, большая протяженность зданий и т. д.), но также и соблюдение закона модуля при использовании осветительных устройств встроенного вида. Эти тенденции находят свое выражение в применении совмещенного освещения (естественного и искусственного) зданий. Сближение качества освещения, условий зрительной работы и восприятия интерьеров при переходе от естественного освещения к совмещенному и искусственному стало возможным благодаря применению новых источников света, позволяющих создавать в помещениях искусственный дневной свет, по уровню освещенности и спектру мало отличающийся от естественного.

По приемам освещения установки подразделяют на установки естественного, искусственного и совмещенного освещения, а по назначению — на четыре основные группы: 1) для освещения производственных и вспомогательных помещений промышленных предприятий; 2) для освещения площадок промышленных предприятий и мест производства работ, расположенных вне зданий; 3) для освещения общественных и жилых зданий; 4) для освещения улиц, дорог и площадей населенных пунктов.

Основные требования к установкам *первой* группы заключаются в создании условий освещения на рабочем месте, обеспечивающих необходимый уровень видимости объекта различения при выполнении технологического процесса. Для установок *второй* группы предъявляются аналогичные по характеру требования, но уровни количественных и качественных показателей являются более низкими. В установках *третьей* группы освещение должно удовлетворять художественно эстетическим требованиям. Поэтому в установках предусматривается не только обеспечение количественных характеристик освещения на рабочем месте, но и насыщенность всего помещения светом.

Основные требования к установкам четвертой группы определяются особенностями зрительной работы водителей транспорта,

которые должны различать объекты сравнительно больших угловых размеров в ограниченное время.

Строительные нормы и правила (СНиП II-4—79) состоят из пяти разделов: общие положения; естественное; совмещенное; искусственное и наружное освещение городов, поселков и сельских населенных пунктов. Рассмотрим их подробнее.

§ 2.3. Общие положения

В разделе, включающем область распространения норм, приведено разделение помещений по условиям зрительной работы на четыре группы: I— помещения, где производится различение объектов зрительной работы, при фиксированном направлении зрения на рабочую поверхность (производственные помещения, рабочие кабинеты, конструкторские бюро, кабинеты врачей и т. д.); II— помещения, в которых производится различение объектов при нефиксированном зрении и обзор окружающего пространства (торговые залы магазинов, столовые, выставки, картинные галереи и т. п.); III— помещения, где производится обзор окружающего пространства при кратковременном различении объектов (концертные залы, фойе театров и кинотеатров и др.); IV— помещения, где происходит общая ориентировка (проходы, коридоры, гардеробные производственных зданий и т. п.).

Освещенность рабочей поверхности. Видимость объекта определяется угловым размером объекта различения, контрастом объекта с фоном, яркостью фона.

Для обеспечения заданной видимости объектов разных размера и контраста с фоном нормируемая яркость должна быть тем больше, чем меньше угловой размер объекта и контраст его с фоном.

Из-за трудностей, возникающих при расчете и измерении яркости в практических условиях, нормы регламентируют не яркость, а освещенность при одновременной регламентации коэффициента отражения фона.

Такое решение вопроса справедливо для поверхностей с диффузным и непригодно для поверхностей с направленным отражением. Учитывая, что фон с направленным отражением в производственных условиях встречается редко, это допущение может быть принято. Наряду с перечисленными факторами при нормировании освещенности учитывают дополнительные условия: длительность напряженной зрительной работы; повышенную опасность травматизма, специальные повышенные санитарные требования и т. д.

В табл. 2.1 приведены нормы наименьшей освещенности рабочих поверхностей в производственных помещениях. Все работы по точности разделены на шесть разрядов в зависимости от размера объекта различения при условии, что расстояние от объекта

Таблица 2.1

Характеристика зрительной работы	Наименьший размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта различения с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение		Естественное освещение			Совмещенное освещение		
						Освещенность, лк		КЕО, $e_н^{III}$, %			КЕО, $e_н^{III}$, %		
						при комбинированном освещении	при общем освещении	при верхнем или верхнем и боковом освещении	при боковом освещении		при верхнем или верхнем и боковом освещении	при боковом освещении	
									в зоне с устойчивым снежным покровом	на остальной территории СССР		в зоне с устойчивым снежным покровом	на остальной территории СССР
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Наивысшей точности	Менее 0,15	I	а	Малый	Темный	5000	1500	10	2,8	3,5	6	1,7	2
			б	Малый Средний	Средний Темный	4000	1250						
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	2500	750						
			г	Средний Большой »	Светлый » Средний	1500	400						
Очень высокой точности	0,15—0,3		а	Малый	Темный	4000	1250						
			б	Малый Средний	Средний Темный	3000	750						

		II	в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	2000	500	7	2	2,5	4,2	1,2	1,5
			г	Средний Большой Большой	Светлый Светлый Средний	1000	300						
Высокой точности	Свыше 0,3 до 0,5	III	а	Малый	Темный	2000	500	5	1,6	2	3	1	1,2
			б	Малый Средний	Средний Темный	1000	300						
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	750	300						
			г	Средний Большой Большой	Светлый Светлый Средний	400	200						
Средней точности	Свыше 0,5 до 1	IV	а б	Малый Малый Средний	Темный Средний Темныи	750 500	300 200	4	1,2	1,5	2,4	0,7	0,9
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	400	200						
			г	Средний Большой Большой	Светлый Светлый Средний	300	150						

Продолжение табл. 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Малой точности	Свыше 1 до 5	V	а	Малый	Темный	300	200	3	0,8	1	1,8	0,5	0,6
			б	Малый Средний	Средний Темный	200	150						
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	—	150						
			г	Средний Большой Большой	Светлый Светлый Средний	—	100						
Грубая (очень малой точности)	Более 5	VI	—	Независимо от характеристик, фона и контраста объекта с фоном		—	150	2	0,4	0,5	1,2	0,3	0,3
Работа со светящимися материалами в горячих цехах	Более 0,5	VII	—	То же		—	200	3	0,8	1	1,8	0,5	0,6
Общее наблюдение за ходом производственного процесса		VIII	а	»		—	75	1	0,2	0,3	0,7	0,2	0,2
Постоянное Периодическое при постоянном пребывании людей в помещении			б	»		—	50	0,7	0,2	0,2	0,5	0,2	0,2
Периодическое при периодическом пребывании людей в помещении			в	»		—	30	0,5	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1

до глаза не превышает 0,5 м. Первые пять разрядов (см. табл. 2.1) включают в себя точные работы и делятся каждый на четыре подразряда в зависимости от контраста объекта различения с фоном и отражающих свойств фона (освещаемой поверхности). При этом установлены три группы контрастов: малый ($K < 0{,}2$), средний ($0{,}2 \leqslant K \leqslant 0{,}5$) и большой ($K > 0{,}5$).

По коэффициенту отражения освещаемые поверхности делятся также на три группы — поверхности образующие: 1) темный фон с коэффициентом отражения меньше 0,2; 2) средний фон с коэффициентом отражения от 0,2 до 0,4; 3) светлый фон с коэффициентом отражения более 0,4.

Для каждого из подразрядов установлены определенные нормируемые освещенности. Ее наибольшие значения в каждом разряде соответствуют наиболее тяжелым условиям зрительной работы, т. е. случаям различения объекта на темном фоне при малом контрасте (подразряд «а»).

Кроме этих разрядов предусмотрены еще два, включающие работы с самосветящими материалами и изделиями, характерные, например, для цехов горячей обработки металла (VII разряд, см. табл. 2.1), а также работы, в которых имеется лишь наблюдение за ходом производственного процесса, а не различение мелких объектов (VIII разряд). VIII разряд состоит из трех подразрядов, определяемых постоянным и периодическим наблюдением за состоянием оборудования и коммуникаций при постоянном и временном пребывании людей в помещении.

Как видно из табл. 2.1, более высокие значения освещенности нормируются для системы комбинированного освещения (общее + + местное). Это объясняется особенностями местного освещения, позволяющими создавать на рабочих поверхностях высокие уровни освещенности светильниками с лампами малой мощности за счет их максимального приближения к рабочей поверхности.

При невозможности или технической нецелесообразности использования газоразрядных ламп в производственных помещениях допускается применение ламп накаливания. Нормируемая освещенность при этом снижается по шкале освещенности, имеющей следующие ступени в лк: 0,2; 0,3; 0,5; 1; 2; 3; 5; 7; 10; 20; 30; 50; 75; 100; 150; 200; 300; 400; 500; 600; 750; 1000; 1250; 1500; 2000; 2500; 3000; 3500; 4000; 4500; 5000: а) в помещениях производственных зданий на одну ступень при системе комбинированного освещения, если нормируемая освещенность составляет 750 лк и более; на одну ступень при системе общего освещения для разрядов I—V, VII, при этом освещенность от ламп накаливания не должна превышать 300 лк; на две ступени при системе общего освещения для разрядов VI и VIII; б) в помещениях общественных зданий и вспомогательных помещениях промышленных, общественных и жилых зданий — на две ступени.

Различие значений освещенности при освещении лампами накаливания и газоразрядными лампами не означает, что последние «хуже» ламп накаливания и для них необходима повышенная

освещенность: так бывает только при освещенностях менее 100 лк. Дело в том, что когда появились люминесцентные лампы, было принято решение использовать их повышенную световую отдачу, чтобы создать такие освещенности, которые не могут быть обеспечены лампами накаливания. Можно считать, что нормы для газоразрядных ламп являются основными, для ламп накаливания — временно допускаемыми, но для установления единых норм предпосылок еще нет.

Если установить для ламп накаливания высокие нормы, как для газоразрядных ламп, то спрос на последние в несколько раз превысил бы их выпуск. Но применение ламп накаливания привело бы к чрезмерной затрате энергии и средств.

В зависимости от наличия признаков, осложняющих или, наоборот, облегчающих зрительную работу, характеризуемых повышенной опасностью травматизма или требующих улучшенных санитарных условий, уровни нормированной освещенности, приведенные в табл. 2.1, могут быть соответственно повышены или понижены на одну ступень.

Например, освещенность повышается на одну ступень в случаях, когда напряженная зрительная работа характеризуемая I—IV разрядами зрительной работы, выполняется в течение всего рабочего дня (визуальный контроль изделий, проборка нитей в текстильном производстве и т. д.); в помещениях для работы или производственного обучения подростков, если освещенность составляет 300 лк и менее; в производственных помещениях без естественного света с постоянным пребыванием работающих, если освещенность от общего освещения составляет 1000 лк и менее; при повышенной опасности травматизма, если освещенность при системе общего освещения составляет 150 лк и менее и т. д.

В некоторых случаях для помещений, где выполняются работы V, VI разрядов, нормы освещенности снижаются на одну ступень при кратковременном пребывании людей, а также при наличии оборудования, не требующего постоянного обслуживания.

В помещениях, относящихся к разрядам I—V, освещенность проходов и участков, где не производится работа, должна составлять 25% освещенности, создаваемой общим освещением на рабочих местах. При этом она не должна быть менее 30 лк при лампах накаливания и 75 лк при газоразрядных лампах.

В табл. 2.1 в графах 9—14 приведены нормы естественного и совмещенного освещения, которое нормируется коэффициентом естественной освещенности (КЕО), определяемым отношением естественной освещенности, создаваемой в некоторой точке заданной плоскости внутри помещения светом неба (непосредственным или после отражений), к одновременному значению наружной горизонтальной освещенности, создаваемой светом полностью открытого небосвода (выражается в процентах). При определении расчетного значения КЕО прямой солнечный свет не учитывается.

Для помещений жилых, общественных и вспомогательных зданий различного назначения в СНиП включена подробная табли-

ца, охватывающая все общественные здания, на которые имеются строительные нормы.

Таблица состоит из 9 граф: 1 и 2 относятся как к искусственному, так и к естественному освещению; 3—6 — характеризуют искусственное освещение; 7—9 — естественное.

В табл. 2.2* для зданий управления, конструкторских и проектных организаций, научно-исследовательских учреждений, общественных зданий дана выписка нормированных параметров осветительных установок.

Для некоторых помещений этих зданий II и III групп дополнительно к нормированию освещенности на рабочей поверхности приводятся требования к цилиндрической освещенности в случаях, когда по условиям архитектурно-художественного оформления тре-

Таблица 2.2

Помещения	Плоскость (Г-горизонтальная, В-вертикальная) нормирования освещенности и КЕО, высота плоскости над полом, м	Искусственное освещение				Естественное освещение		
		освещенность рабочих поверхностей, лк	цилиндрическая освещенность, лк	показатель дискомфорта, % не более	коэффициент пульсации освещенности, %, не более	КЕО, $e_н^{III}$, %		
						при верхнем или верхнем и боковом освещении	при боковом освещении	
							в зоне с устойчивым снежным покровом	на остальной территории СССР
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Здания управления, конструкторских и проектных организаций, научно-исследовательских учреждений:								
кабинеты и рабочие комнаты, проектные кабинеты	Г-0,8	300*	—	40	15	—	0,8	1
проектные залы и комнаты, конструкторские, чертежные бюро	Г-0,8	500*	—	40	10	5	1,6	2
машинописные и машиносчетные бюро	Г-0,8	400*	—	40	10	4	1,2	1,5

* Для местного освещения следует предусматривать штепсельные розетки.

* При использовании ламп накаливания освещенность следует понижать на одну ступень шкалы освещенности.

буется обеспечить впечатление насыщенности помещения светом.

Цилиндрическая освещенность — это характеристика освещения, определяемая как средняя плотность светового потока на поверхности вертикально расположенного в помещении цилиндра, радиус и высота которого стремятся к нулю. В упомянутой табл. 2.2 указываются также уровни освещенности и нормируемые значения КЕО для вспомогательных помещений промышленных и общественных зданий, а также плоскости, в которых они нормируются. В этих нормах освещение регламентируется для наиболее характерных вспомогательных помещений в зависимости от их назначения. При использовании ламп накаливания для освещения вспомогательных помещений допускается снижение освещенности на две ступени.

Освещенность часто встречающихся производственных участков в зданиях различного назначения приведена в приложении 3 СНиП II-4—79.

Для учета снижения КЕО и освещенности в процессе эксплуатации осветительной установки вследствие загрязнения и старения светопрозрачных заполнений (материалов) в световых проемах, ламп и светильников, а также снижения отражающих свойств поверхностей помещения вводится коэффициент запаса.

Значения этого коэффициента, указанные в табл. 2.3, при применении узорчатого стекла, стеклопластика, армопленки и матированного стекла следует увеличить в 1,1 раза, а при использовании световых проемов для аэрации умножать на 0,9.

Значения коэффициентов запаса для осветительных установок искусственного освещения могут быть снижены в зависимости от эксплуатационных групп светильников (эксплуатационная группа светильника определяется конструктивно-светотехнической схемой светильника, видом материала или покрытия отражателя и рассеивателя светильника и типа используемого источника света).

Коэффициенты запаса установлены с учетом количества чисток в год заполнений световых проемов и светильников.

§ 2.4. Естественное и совмещенное освещение

Естественное освещение необходимо во всех помещениях, предназначенных для постоянного пребывания людей. Без такого освещения допускается проектировать только помещения, разрешенные санитарными нормами проектирования промышленных предприятий и указанные в таблице освещенностей СНиПа для помещений общественных зданий.

Естественное освещение подразделяется на *боковое* (светопроемы — окна расположены в стене помещения), *верхнее* (светопроемы — фонари расположены на крыше здания), *комбинированное* (боковое + верхнее).

При одностороннем боковом естественном освещении нормируется минимальное значение КЕО в точке, расположенной на рас-

Таблица 2.3

Помещения и территории	Примеры помещений	Коэффициенты запаса k и число чисток в год*				
		При естественном освещении и расположении светопропускающего материала			При искусственном освещении	
		вертикально	наклонно	горизонтально	газоразрядные лампы	лампы накаливания
Производственные помещения с воздушной средой, содержащей в рабочей зоне:						
свыше 5 мг/м^3 пыли, дыма, копоти	Агломерационные фабрики, цементные заводы и обрубные отделения литейных цехов	1,5/4	1,7/4	2/4	2/18	1,7/18
от 1 до 5 мг/м^3 пыли, дыма, копоти	Цехи кузнечные, литейные, мартеновские, сварочные, сборного железобетона	1,4/3	1,5/3	1,8/3	1,8/6	1,5/6
менее 1 мг/м^3 пыли, дыма, копоти	Цехи инструментальные, сборочные, механические, механосборочные, пошивочные	1,3/2	1,4/2	1,5/2	1,5/4	1,3/4
Значительные концентрации паров, кислот, щелочей, газов, способных при соприкосновении с влагой образовывать слабые растворы кислот, щелочей, обладающих большой коррозирующей способностью	Цехи химических заводов по выработке кислот, щелочей, едких химических реактивов, ядохимикатов, удобрений. Цехи гальванических покрытий и гальванопластики различных отраслей промышленности с применением электролиза	1,5/3	1,7/3	2/3	1,8/6	1,5/6
Производственные помещения с особым режимом по чистоте воздуха при обслуживании светильников:						
с технического этажа	—	—	—	—	1,3/4	1,15/4
снизу из помещения	—	—	—	—	1,4/2	1,2/2

Продолжение табл. 2.3

Помещения и территории	Примеры помещений	Коэффициенты запаса k и число чисток в год*				
		При естественном освещении и расположении светопропускающего материала			При искусственном освещении	
		вертикально	наклонно	горизонтально	газоразрядные лампы	лампы накаливания
Помещения общественных и жилых зданий	Кабинеты и рабочие помещения общественных зданий, жилые комнаты, учебные помещения, лаборатории, читальные залы, залы совещаний, торговые залы и т. д.	1,2/2	1,4/2	1,,5/2	1,5/2	1,3/2
Территории:						
металлургических, химических, горнообрабатывающих предприятий, шахт, рудников, железнодорожных станций и прилегающих к ним улиц и дорог	—	—	—	—	1,5/4	1,4/4
промышленных предприятий (кроме указанных в п. «а») и общественных зданий	—	—	—	—	1,5/2	1,3/2
Улицы, площади, дороги, территории жилых районов и выставок, парки бульвары	—	—	—	—	1,5/2	1,3/2

* В числителе дроби коэффициент запаса, в знаменателе — число чисток в год.

стоянии 1 м от стены, наиболее удаленной от световых проемов, на пересечении вертикальной плоскости характерного* разреза помещения и условной рабочей поверхности** (или пола).

При двустороннем симметричном боковом освещении нормируется минимальное значение КЕО в точке, расположенной посередине помещения на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и условной рабочей поверхности (или пола).

При верхнем и комбинированном естественном освещении нормируется среднее значение КЕО в точках, расположенных на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и условной рабочей поверхности (или пола). Первая и последняя точки принимаются на расстоянии 1 м от поверхности стен или перегородок. Норма КЕО зависит от расположения здания по отношению к поясу светового климата, что учитывается при его расчете коэффициентами: m — светового климата и c — солнечности климата:

$$e_н^{I,II,IV,V} = e_н^{III} mc, \qquad (2.1)$$

где $e_н^{I,II,IV,V}$ — норма КЕО для зданий, расположенных в I, II, IV и V поясах светового климата; $e_н^{III}$ — норма КЕО для зданий, расположенных в III поясе светового климата, указанная в табл. 2.1 и 2.2; m — коэффициент светового климата, определяемый совокупностью условий естественного освещения в той или иной местности; c — коэффициент солнечности климата, учитывающий дополнительный световой поток, проникающий через световые проемы в помещения за счет прямого и отраженного от подстилающей поверхности солнечного света в течение года.

Расчет естественного освещения помещений бывает *предварительный* и *проверочный*. При предварительном расчете определяют размеры световых проемов, при проверочном — расчетные значения КЕО в точках характерного разреза помещения (рис. 2.1). При этом расчетные точки следует выбирать на равных расстояниях друг от друга, располагая первую и последнюю точки на расстоянии 1 м от стен и перегородок.

Совмещенное освещение помещений производственных зданий допускается для производственных помещений, в которых выполняются работы I и II разрядов; для производственных и других помещений в случаях, когда по условиям технологии, организа-

---

* Поперечный разрез по середине помещения, плоскость которого перпендикулярна плоскости остекления световых проемов (при боковом освещении) или продольной оси пролетов помещения. В характерный разрез помещения должны попадать участки, наиболее загруженные оборудованием, а также точки рабочей зоны, наиболее удаленные от световых проемов.

** Условно принятая горизонтальная поверхность, расположенная на высоте 0,8 м от пола.

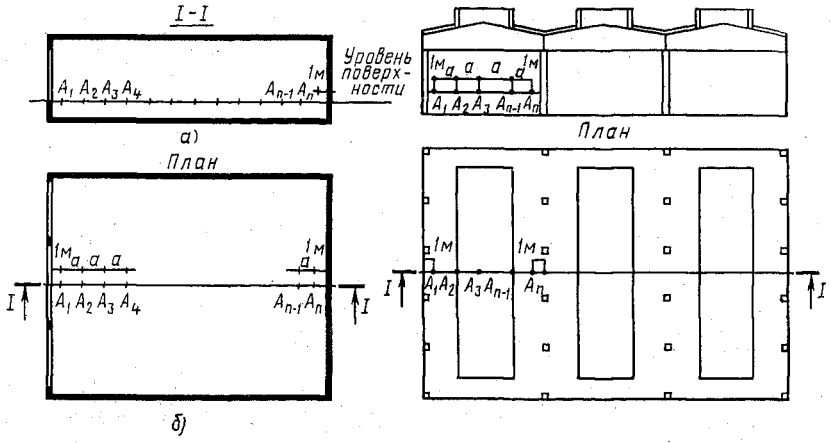


Рис. 2.1. Характерный поперечный разрез помещения для расчета КЕО: *а* — при боковом освещении; *б* — при верхнем освещении

ции производства или климата в месте строительства требуются объемно-планировочные решения, которые не позволяют обеспечить нормированные значения КЕО (многоэтажные здания большой ширины, одноэтажные многопролетные здания с пролетами большой ширины и т. п.); в соответствии с нормативными документами по строительному проектированию зданий и сооружений отдельных отраслей промышленности, утвержденных в установленном порядке.

Совмещенное освещение помещений жилых, общественных и вспомогательных зданий допускается в тех случаях, когда это требуется по условиям рациональных объемно-планировочных решений, за исключением жилых комнат и кухонь жилых домов, помещений для пребывания детей, учебных и учебно-производственных помещений школ и учебных заведений, кабинетов врачей и т. д.

При совмещенном освещении предъявляются требования к источникам света: общее искусственное освещение независимо от принятой системы освещения должно выполняться газоразрядными источниками света (в помещениях без особых требований к цветопередаче): лампами типа ЛБ, МГЛ, ДРЛ в промышленных зданиях и ЛБ в общественных.

Применение ламп накаливания допускается в отдельных случаях, когда по условиям технологии, среды или требований оформления интерьера использование газоразрядных источников света невозможно или нецелесообразно.

При совмещенном освещении производственных помещений расчетные значения КЕО в них должны приниматься согласно графам 12—14 табл. 2.1.

В производственных помещениях с работами I—IV разрядов допускается снижение расчетных значений КЕО до значений, указанных в табл. 2.4:

а) при расположении производственных зданий в северной строительно-климатической зоне;

б) в помещениях с боковым освещением, глубина которых по условиям технологии или выбора рациональных объемно-планировочных решений не позволяет обеспечить нормированные значения КЕО, указанные в графах 13 и 14 табл. 2.1.

Не допускается проектирование совмещенного освещения помещений, в которых расчетные значения КЕО ниже указанных в табл. 2.4.

Для производственных помещений при снижении норм ниже значений, приведенных в табл. 2.4, освещенность от системы общего искусственного освещения следует повышать на одну ступень по шкале освещенности (кроме разрядов Iа, Iб, Iв, IIа, IIб), если повышение уровней освещенности не предусматривается другими требованиями норм и принимать в пределах, указанных в табл. 2.5. Освещенность

Таблица 2.4

Разряд зрительной работы	Наименьшее нормированное значение КЕО, $e_н^{нг}$, %, при совмещенном освещении		
	верхнем или верхнем и боковом	при боковом	
		в зоне с устойчивым снежным покровом	на остальной территории СССР
I	3	1	1,2
II	2,5	0,8	1
III	2	0,6	0,7
IV	1,5	0,4	0,5
V и VII	1	0,2	0,3
VI	0,7	0,2	0,2

Таблица 2.5

Лампы	Освещенность, лк, от системы общего искусственного освещения при совмещенном	
	наименьшая	наибольшая
Газоразрядные	200	750
Накаливания	100	300

Таблица 2.6

Разряд зрительной работы	Освещенность лк, от светильников общего искусственного освещения в системе комбинированного при совмещенном освещении	
	при газоразрядных лампах	при лампах накаливания
Iа	600	300
Iб, IIа	500	300
Iв, IIб	400	300
Iг	200	150
IIв, IIIа	300	200
IIг, IIIб, IIIв, IIIг, IV, Va, Vб	200	100

от светильников общего освещения в системе комбинированного указана в табл. 2.6.

Расчетные значения КЕО при совмещенном освещении общественных зданий должны составлять 60% значений, указанных в СНиПе.

Допускается снижение расчетного КЕО в пределах от 60 до 30% от значений, приведенных в СНиПе для торговых залов магазинов, залов, буфетов, раздаточных предприятий общественного питания.

На промышленных предприятиях, где выполняются работы I—IV разрядов (при постоянном пребывании работающих) в III и IV светоклиматических районах, а также в общественных и жилых зданиях этих зон для защиты от слепящего действия прямых солнечных лучей предусматриваются солнцезащитные устройства.

§ 2.5. Искусственное освещение зданий, площадок предприятий и мест производства работ вне зданий

Искусственное освещение подразделяется на *рабочее, аварийное* и *эвакуационное* (аварийное освещение для эвакуации), *охранное*. При необходимости часть светильников того или иного вида освещения можно использовать для дежурного освещения.

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

Искусственное освещение проектируется двух систем: *общее* с равномерным или локализованным размещением светильников и *комбинированное*, когда к общему добавляется местное, концентрирующее световой поток непосредственно на рабочих местах. В нормах указывается на необходимость оборудования производственных помещений (с постоянным пребыванием работающих) без естественного света или с недостаточным по биологическому действию естественным светом (коэффициент естественной освещенности менее 0,1%) установками искусственного ультрафиолетового облучения (с эритемными лампами). Для этого наиболее эффективно применение установок общего эритемного облучения работающих, которое необходимо предусматривать в первую очередь на предприятиях, располагаемых за Северным Полярным кругом.

Освещение помещений производственных и складских зданий. Для освещения помещений производственных и складских зданий предусматривается применение газоразрядных ламп низкого и высокого давления: люминесцентных, ДРЛ с исправленной цветностью, металлогалогенных, натриевых, ксеноновых. Использование ламп накаливания допускается только при невозможности или технико-экономической нецелесообразности применения газоразрядных источников света.

Выбор источников света зависит не только от технико-экономических показателей осветительных установок, но также и от требований к цветности источников света и цветоразличению при работе.

Цветопередача является тем показателем, который определяет влияние спектрального состава излучения искусственного источника света на воспринимаемый цвет освещаемых объектов по сравнению с цветом этих объектов при освещении их стандартным источником света. Оценка источника света производится по цветовой температуре и индексу цветопередачи.

Согласно зрительной работе все технологические операции делятся на шесть групп (приложение 6 СНиПа) в зависимости от требований к цветовым характеристикам. На цветовые характеристики объектов, кроме источников света, влияет уровень освещенности. Например, наиболее высокие требования предъявляются к выполнению технологических операций, связанных с контролем цвета, которому сопутствуют очень высокие требования к цветоразличению (контроль готовой продукции на швейных фабриках, сортировка кожи, изготовление красок для цветной печати и т. п.). При освещенности 300 лк и более рекомендуются источники света с индексом цветопередачи R_a не менее 90 и цветовой температурой $T = 5000 \div 6500$ К. Этим требованиям удовлетворяют лампы массового производства типа ЛДЦ, ЛДЦ УФ.

Достаточно высокие требования к цветности источников света предъявляются при составлении цветов с высокими требованиями к цветоразличению (раскрой верха обуви, контроль сырья на консервных заводах и т. п.); для этих условий R_a должен иметь значение не менее 85, а $T = 4000 \div 6500$ К.

При работе же с ахроматическими объектами (механическая обработка металлов, пластмасс, сборка машин и инструментов и т. п.) требования к цветности источников света в зависимости от требуемого уровня освещенности колеблются в пределах от $R_a = 50 \div 55$ и $T = 3500 \div 6500$ К (например, лампы типа ЛБ и МГЛ) до $R_a = 25 \div 45$ и $T = 2100 \div 3500$ К (например, лампы типа ЛБ и НЛВД).

Применение в помещении ксеноновых ламп, имеющих значительную ультрафиолетовую составляющую в излучении, допускается только по согласованию с Минздравом СССР.

При выполнении работ I—IV разрядов в помещениях производственных зданий применяется система комбинированного освещения. Использование системы общего освещения допускается как исключение.

Освещенность рабочей поверхности, создаваемая светильниками общего освещения в системе комбинированного, должна составлять 10% нормируемой для комбинированного при источниках света, применяемых для местного освещения. При этом наибольшее значение не должно превышать 500 лк при газоразрядных и 100 лк при лампах накаливания и не снижаться ниже 150 лк при газоразрядных и 50 лк — при лампах накаливания.

В производственных помещениях без естественного света освещенность рабочей поверхности, создаваемая светильниками общего освещения при системе комбинированного, должна приниматься согласно табл. 2.7

Общее освещение в системе комбинированного следует выполнять, как правило, газоразрядными лампами независимо от типа источника света, используемого для местного освещения.

В цехах с полностью автоматизированными линиями кроме освещения для наблюдения за работой оборудования предусматривается возможность включения дополнительных светильников общего освещения и стационарных или переносных светильников местного освещения для проведения ремонтно-наладочных и контрольно-браковочных работ.

Таблица 2.7

Разряд и подразряд работ по табл. 2.1	Освещенность от общего освещения в системе комбинированного, лк	
	при газоразрядных лампах	при лампах накаливания
Iа	750	300
Iб, IIа	600	300
Iв, IIб	500	300
Iг	300	200
IIв, IIIа	400	300
IIг, IIIб, IIIв, IIIг, IV, Va, Vб	200	150

В действующем СНиПе ограничивается неравномерность распределения освещенности, создаваемой светильниками общего освещения: для работ I—III разрядов отношение максимальной освещенности к минимальной при люминесцентных лампах не должно превышать 1,5, при других источниках света — 2; для работ IV—VII и VIIIа разрядов — 1,8 и 3 соответственно.

Слепящее действие светильников общего освещения в производственных и вспомогательных помещениях регламентируется *максимально допустимым значением показателя ослепленности*, определяемого по формуле

$$P = (S - 1) \cdot 1000, \qquad (2.2)$$

где P — показатель ослепленности; S — коэффициент ослепленности

$$S = V_1/V_2, \qquad (2.3)$$

где V_1 — видимость объекта наблюдения при экранировании блеских источников света; V_2 — видимость объекта наблюдения при наличии блеских источников света в поле зрения.

В табл. 2.8 приводится нормируемое в зависимости от разряда зрительной работы максимально допустимое значение показателя ослепленности в производственных помещениях.

Показатель ослепленности не ограничивается для помещений, длина которых не превышает двойной высоты установки светильников над полом; для помещений высотой не более 2,5 м при выполнении работ VI и VIIIа разрядов (при временном пребывании людей независимо от разрядов работ), а также для площадок, предназначенных для прохода людей или обслуживания оборудования

при использовании светильников с лампами накаливания мощностью не более 150 Вт, лампами ДРЛ мощностью не более 250 Вт и люминесцентными лампами суммарной мощностью не более 80 Вт, если защитный угол этих светильников не менее 15° и др.

Таблица 2.8

Разряд и подразряд зрительной работы	Показатель ослепленности при пребывании людей в помещении	
	постоянном	периодическом
I, II	20	—
III, IV, V, VII	40	60
VI, VIIIa	60	80

Ограничение слепящего действия светильников местного освещения регламентируется применением непросвечивающих отражателей, имеющих защитный угол не менее 30°. Использование светильников с защитным углом, уменьшенным до 10°, возможно только при расположении их ниже уровня глаз работающего.

При выполнении работ, характеризуемых I—IV разрядами зрительной работы, предусматривается ограничение отраженной блескости рабочих поверхностей, обладающих зеркальным и смешанным отражением (рис. 2.2): при работе с металлическими, пластмассовыми непрозрачными поверхностями рекомендуется использовать светильники с люминесцентными лампами, перекрытыми рассеивателями, яркость светящей поверхности которых находится в пределах от 2500 до 4000 кд/м^2, при этом светящая поверхность

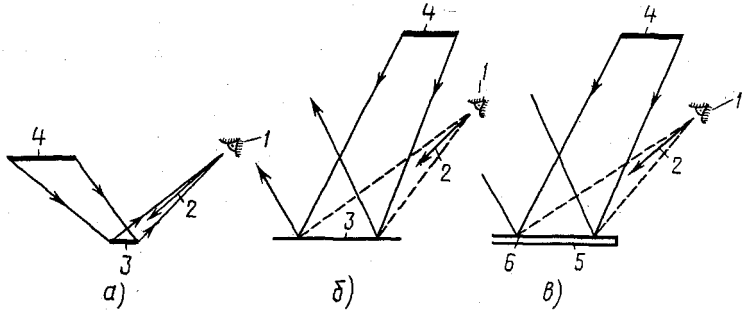


Рис. 2.2. Схема расположения светильника, рабочей поверхности и работающего: *а* — при работах с металлами или светлыми пластмассами; *б* — при работах с темными пластмассами, керамикой или другими темными материалами; *в* — при работах с диффузными поверхностями, рассматриваемыми через прозрачный материал, либо поверхностями, обладающими смещенным отражением; *1* — глаз работающего; *2* — направление линии зрения; *3* — рабочая поверхность; *4* — светящая поверхность светильника; *5* — диффузная рабочая поверхность; *6* — слой прозрачного материала

светильника зеркально отражается от рабочей поверхности в направлении глаз работающего (рис. 2.2,*а*) и яркость объекта различения воспринимается меньшей яркости фона; работы с темными поверхностями пластмасс, керамики и других материалов (например, выявление дефектов на грампластинках или черных резинотехнических изделиях) рекомендуется выполнять при использовании светильников с лампами накаливания прямого света без рассеивателя с яркостью выходного отверстия от 70 000 до 100 000 кд/м^2, при этом зеркальное отражение светящей поверхности светильника

от рабочей поверхности не совпадает с линией зрения работающего (рис. 2.2,*б*). Яркость объекта различения больше яркости фона; для освещения работ, требующих различения диффузно отражающих объектов на диффузном фоне через слой прозрачного материала (например, различение показаний измерительных приборов, сборка изделий под прозрачными колпаками, различение линий чертежа через кальку) возможно использование любых источников света, любых светильников, яркость выходного отверстия не нормируется, при этом зеркальное отражение светящей поверхности светильника от рабочей поверхности не должно совпадать с линией зрения работающего (рис. 2.2,*в*).

При питании газоразрядных ламп переменным током промышленной частоты (50 Гц) световой поток ламп изменяется 100 раз/с. Пульсация освещенности вызывает у людей повышенное утомление и ухудшение общего состояния организма. В помещениях с движущимися или вращающимися частями оборудования пульсации могут выявить стробоскопический эффект. Относительная глубина пульсации освещенности характеризуется *коэффициентом пульсации* $K_п$, выраженном в %, который определяется по формуле

$$K_п = (E_{max} - E_{min})/(2E_{ср}), \qquad (2.4)$$

где $K_п$ — коэффициент пульсации освещенности, %; E_{max} и E_{min} — максимальное и минимальное значения освещенности за период ее колебания, лк; $E_{ср}$ — среднее значение освещенности за этот же период, лк.

В установках общего и комбинированного освещения внутри зданий коэффициент пульсации в зависимости от разряда зрительной работы не должен превышать значений, указанных в табл. 2.9.

Таблица 2.9

Освещение	Коэффициент пульсации освещенности при разрядах зрительной работы, %		
	I и II	III	IV–VIIIa
Общее	10	15	20
Комбинированное:			
общее	20	20	20
местное	10	15	20

Допускается повышение значений коэффициента пульсации освещенности до 30% в помещениях, где выполняются работы VI и VIIIa разрядов при отсутствии в них условий для возникновения стробоскопического эффекта.

В механизированных складах и других помещениях, где возможно возникновение стробоскопического эффекта, коэффициент пульсации не должен превышать 20%. При питании газоразрядных ламп переменным током 400 Гц и более выполнение этих требований не обязательно.

Освещение помещений жилых общественных и вспомогательных зданий. Для освещения помещений общественных зданий, как правило, применяются люминесцентные лампы и только при необходимости обеспечения архитектурно-художественных требований и в случае технической невозможности допускается применение

ламп накаливания. Выбор типа люминесцентных ламп по цветовым характеристикам, так же как и в промышленных осветительных установках, определяется в зависимости от зрительной работы, характеризуемой требованиями к цветоразличению.

Ограничение слепящего действия в осветительных установках общественных и жилых зданий производится по *показателю дискомфорта* — характеристике качества освещения, определяющей степень дополнительной напряженности зрительной работы, вызванной наличием резкой разницы яркостей одновременно видимых поверхностей в освещаемом помещении. В установках общего освещения (независимо от принятой системы освещения) показатель дискомфорта для конкретных помещений не должен быть более указанного в табл. 2.2. Определение показателя дискомфорта производится в зависимости от условий зрительной работы по табл. 2.10.

Таблица 2.10

Условия зрительной работы	Показатель дискомфорта при освещенности на рабочей поверхности, лк	
	200 и менее	300 и более
Преимущественное направление линии зрения вверх под углом 45° и более к горизонту (помещения изоляторов, приема детей, спальные комнаты в детских садах и яслях и т. д.)	25	15
Преимущественное направление линии зрения горизонтально и ниже горизонта (помещения I и II групп)	60	40
Общий обзор окружающего пространства (помещения III группы)	90	60

Показатель дискомфорта определяется у торцовой стены на центральной оси помещения на высоте 1,5 м от пола и не ограничивается для помещений, длина которых не превышает двойной высоты установки светильников над полом.

Для помещений II и III групп общественных зданий требования по насыщенности помещений светом нормируются цилиндрической освещенностью (табл. 2.11), значения для конкретных помещений указаны в СНиПе. Цилиндрическая освещенность определяется на расстоянии 1 м от торцовой стены на центральной продольной оси помещения на высоте 1,5 м от пола.

Таблица 2.11

Требования к насыщенности помещений светом	Цилиндрическая освещенность, лк
Очень высокие (залы заседаний для мероприятий союзного и республиканского значения, универсамы, банкетные залы и т. п.)	150
Высокие (зрительные залы театров, Дворцов культуры, концертные и т. п.)	100
Нормальные зрительные залы клубов, конференц-залы, выставочные, картинные галереи и т. п.)	75

Уровни цилиндрической освещенности (указанные в табл. 2.11) при использовании ламп накаливания следует снижать на две ступени по шкале освещенности.

Освещение площадок предприятий и мест производства работ вне зданий. Подход к нормированию освещения мест производства работ вне зданий имеет существенное отличие от нормирования освещения помещений промышленных зданий.

В основу определения уровня освещенности положен относительный размер объекта различения (отношение размера объекта различения к расстоянию до глаз), одинаковые уровни освещенности для разных источников света. Кроме того, все зрительные задачи, возникающие при выполнении работ вне зданий, заключаются в различении объектов на одинаковом темном фоне, поэтому исключен учет коэффициента отражения фона при установлении уровня освещенности.

Освещенность рабочих поверхностей мест производства работ, расположенных вне зданий, нормируется по табл. 2.12, а площадок предприятий на уровне земли или дорожных покрытий согласно табл. 2.13.

Таблица 2.12

Разряд зрительной работы	Характеристика работы	Освещенность, лк
IX	Точные, при отношении наименьшего размера объекта различения к расстоянию до глаз менее 0,005	50
X	Средней точности, при отношении наименьшего размера объекта различения к расстоянию до глаз от 0,005 до 0,02	30
XI	Малой точности, при отношении наименьшего размера объекта различения к расстоянию до глаз от 0,02 до 0,05, а также работы, требующие только общего наблюдения за ходом производственного процесса	10
XII	Грубые, требующие различения объектов при отношении наименьшего их размера к расстоянию до глаз 0,05 и более	5
XIII	Требующие различения крупных предметов, находящихся в непосредственной близости к работающему	2

Примечание. При опасности травматизма для работ XI—XIII разрядов освещенность следует повышать на одну ступень.

Для освещения площадок промышленных предприятий и мест производства постоянных работ вне зданий рекомендуется применять газоразрядные лампы высокого давления типа ДРЛ, МГЛ, НЛВД, ДКсТ и низкого типа НЛНД, а также лампы накаливания (галогенные или общего назначения).

Качественные показатели осветительных установок в основном определяются требованиями к *равномерности распределения освещенности и ограничению слепящего действия.*

Таблица 2.13

Освещаемые объекты	Освещенность, лк
Проезды с интенсивностью движения автомобилей в обоих направлениях (в сутки):	
от 1000 до 3000	3
от 200 до 1000	2
менее 200	1
Пожарные проезды, дороги для хозяйственных нужд, подъезды к зданиям	0,5
Пешеходные и велосипедные дорожки с движением:	
интенсивным	2,0
обычным	1,0
незначительным	0,5
Лестницы и мостики для переходов (на площадках и ступенях)	3
Пешеходные дорожки на площадках для отдыха и скверах	0,5
Предзаводские участки (площадки, проезды, проходы, стоянки автотранспорта) не относящиеся к территории города	2
Железнодорожные пути:	
стрелочные горловины	2
отдельные стрелочные переводы	1
железнодорожные пути, переезды	0,5

Примечание. Для автомобильных дорог, являющихся продолжением городских улиц и имеющих аналогичные покрытия проезжей части и интенсивность движения транспорта, необходимо соблюдать нормы средней яркости покрытий проезжей части, приведенные в табл. 2.16, относящейся к разделу «Наружное освещение городов, поселков и сельских населенных пунктов».

Равномерность распределения освещенности характеризуется отношением наибольшей освещенности E_{max} проезжей части дорог, проездов предзаводских площадок и железнодорожных путей к наименьшей их освещенности E_{min}, значение которого не должно превышать 15:1, а для пешеходных дорожек 25:1.

Для ограничения слепящего действия установок наружного освещения мест производства работ и территорий промышленных предприятий высота установки светильников над уровнем земли должна быть для светильников с защитным углом менее 15° не менее той, которая указана в табл. 2.14; для светильников с защитным углом 15° и более — не менее 3,5 м над уровнем земли при любых источниках света.

Допускается не ограничивать высоту подвеса светильников с защитным углом 15° и более (или с рассеивателями из молочного стекла без отражателей) на площадках для прохода людей или обслуживания технологического (или инженерного) оборудования, а также у входа в здание.

Венчающие светильники рассеянного света должны устанавливать на высоте не менее 3 м над уровнем земли при световом потоке источника света до 6000 лм и на высоте не менее 4 м при световом потоке источника света свыше 6000 лм. Ограничение слепящего действия осветительных установок для освещения мест производства работ, расположенных вне зданий и территорий

промышленных предприятий, выполненных прожекторами или наклонно расположенными осветительными приборами прожекторного типа, определяется отношением осевой силы света одного прибора (I_{max}, кд) к квадрату высоты установки этих приборов (H, м), которое в зависимости от нормируемой освещенности не должно превышать значений, указанных в табл. 2.15.

Таблица 2.14

Характер светораспределения	Максимальный световой поток ламп в светильниках, установленных на одной опоре, лм	Наименьшая высота установки светильников, м	
		при лампах накаливания	при газоразрядных источниках света
Полуширокое	Менее 5000	6,5	7
	5000—10 000	7	7,5
	свыше 10 000 до 20 000	7,5	8
	свыше 20 000 до 30 000	—	9
	свыше 30 000 до 40 000	—	10
	свыше 40 000	—	11,5
Широкое	Менее 5000	7	7,5
	5000—10 000	8	8,5
	свыше 10 000 до 20 000	9	9,5
	свыше 20 000 до 30 000	—	10,5
	свыше 30 000 до 40 000	—	11,5
	свыше 40 000	—	13

Таблица 2.15

Нормируемая освещенность, лк	0,5	1	2	3	5	10	30	50
I_{max}/H^2	100	50	250	300	400	700	2100	3500

При совпадении направлений осевых сил света нескольких световых приборов значения I_{max}/H^2, приведенные в табл. 2.15, следует поделить на число этих световых приборов.

Аварийное, эвакуационное, дежурное и охранное освещение. Бесперебойность действия осветительной установки для промышленных предприятий, помещений общественных зданий и других объектов является главным обязательным требованием. Внезапное отключение освещения может привести к нарушению производственного процесса (цехи горячей обработки металла), массовому травматизму (цехи с взрывоопасной средой), выводу из строя таких объектов, как электростанции, водоснабжение и т. д. Поэтому

согласно требованиям СНиПа кроме рабочего освещения в помещениях и на открытых площадках промышленных предприятий существует еще аварийное.

При отключении рабочего освещения аварийное должно давать возможность в одних случаях продолжать работу при пониженной освещенности — это *аварийное* освещение для продолжения работы, в других безопасно выйти работающим из помещения — *эвакуационное*.

Аварийное освещение предусматривается в том случае, если отключение рабочего освещения и связанное с этим нарушение нормального обслуживания оборудования может вызвать: взрыв, пожар, отравление людей; длительное нарушение технологического процесса; нарушение работы таких объектов, как электрические станции, узлы радиопередачи и связи, диспетчерские пункты, насосные установки водоснабжения, канализации, теплофикации и т. п.

Наименьшая освещенность рабочих поверхностей производственных помещений и территорий предприятий, требующих обслуживания при аварийном режиме, должна составлять 5% освещенности, нормируемой для рабочего освещения при системе общего освещения, но не менее 2 *лк* внутри зданий и 1 *лк* для территорий предприятий.

При этом создавать освещенность внутри зданий более 30 лк для газоразрядных и более 10 лк для ламп накаливания допускается только при соответствующем обосновании.

Эвакуационное освещение в помещениях или в местах производства работ вне зданий должно быть: в местах, опасных для прохода людей; в проходах и на лестницах, служащих для эвакуации людей, при числе эвакуирующихся более 50 человек; по основным проходам производственных помещений, в которых работает более 50 человек; на лестничных клетках жилых домов высотой 6 этажей и более; в производственных помещениях с постоянно работающими людьми, где выход людей из помещения при аварийном отключении рабочего освещения связан с опасностью травматизма из-за продолжения работы производственного оборудования; в помещениях общественных зданий и вспомогательных зданий промышленных предприятий, если в помещении могут одновременно находиться более 100 человек.

Эвакуационное освещение должно обеспечивать наименьшую освещенность на полу основных проходов (или на земле) и ступенях лестниц: в помещениях —0,5 лк; на открытых территориях —0,2 лк.

В производственных помещениях светильники аварийного освещения можно использовать и для освещения, обеспечивающего требования эвакуации.

К источникам света, используемым для аварийного и эвакуационного освещения, предъявляются специальные требования, обеспечивающие надежность их работы при отключении рабочего освещения. Поэтому для этих видов освещения указываются

источники света: лампы накаливания; люминесцентные лампы — в помещениях с минимальной температурой воздуха не менее + 5°С и при условии питания ламп во всех режимах переменным током с напряжением на лампах не ниже 90% номинального значения, что обеспечивает достаточную надежность их использования для аварийного освещения.

Применять дуговые газоразрядные лампы ДРЛ, МГЛ, ДНаТ, ДКсТ и т. д. для аварийного освещения не разрешается, так как их повторное зажигание после отключения происходит только после охлаждения лампы, т. е. через 10—15 мин после погасания, что неприемлемо для аварийного освещения.

Для облегчения эвакуации людей при низких уровнях освещенности выходы из производственных помещений без естественного света, где одновременно могут находиться более 50 человек или имеющих площадь более 150 м^2, а также из помещений общественных зданий, где могут одновременно находиться более 100 человек, должны быть отмечены световыми указателями, присоединенными к сети аварийного освещения.

Большинство производственных предприятий работает не круглосуточно, а в две или одну смену с выходными и праздничными днями. В нерабочее время, совпадающее с темным временем суток, во многих помещениях предприятий необходимо минимальное искусственное освещение для несения дежурства пожарной и военизированной охраны. Для этого в соответствующих помещениях и местах предусматривается дежурное освещение. Освещенность, создаваемая *дежурным* освещением, не нормируется. Число и размещение светильников такого освещения и режимы работы светильников устанавливаются службами эксплуатации производственных предприятий. В общих нормах искусственного освещения содержится только общая рекомендация: выделять на дежурное освещение по возможности часть светильников рабочего или аварийного освещения. Дежурное обычно бывает необходимо в тех помещениях, где требуется эвакуационное освещение, что без дополнительных усложнений осветительных установок позволяет использовать этот вид освещения в качестве дежурного.

Для охраняемых в ночное время территорий и сооружений применяется *охранное* освещение, устраиваемое вдоль линии границы. Оно должно создавать минимальную освещенность 0,5 лк на уровне земли в горизонтальной плоскости или на уровне 0,5 м от земли на одной стороне вертикальной плоскости, перпендикулярной линии границы.

При выборе источников и схем питания необходимо помнить основные требования по надежности и бесперебойности работы аварийного и эвакуационного освещения. Светильники аварийного и эвакуационного освещения в производственных зданиях без естественного света должны подсоединяться к независимому источнику питания или переключаться на него автоматически при аварийном отключении рабочего освещения.

Независимыми источниками питания аварийного или эвакуационного освещения могут служить: аккумуляторные батареи; генераторы с самостоятельными первичными двигателями; трансформаторы, получающие питание от системы, независимой от той, которая питает рабочее освещение. Светильники эвакуационного освещения в помещениях с естественным светом не требуют независимого источника питания и должны подключаться к сетям, отдельным от сетей рабочего освещения, начиная от щита низкого напряжения подстанции.

Если питание силовой и осветительных нагрузок осуществляется от разных трансформаторов (раздельное питание), то аварийное освещение целесообразно питать от силовой сети, так как обычно при ее отключении отпадает и надобность в аварийном освещении. При общем вводе для силовой и осветительной нагрузок можно допустить разделение сетей рабочего и аварийного освещения, начиная от ввода в здание.

§ 2.6. Наружное освещение городов, поселков и сельских населенных пунктов

Нормы средней яркости асфальтобетонных покрытий проезжей части улиц, дорог, площадей городов и поселков с регулярным транспортным движением указаны в табл. 2.16.

В табл. 2.16 приведены также нормы средней горизонтальной освещенности покрытий проезжей части улиц, дорог и площадей для северной строительной климатической зоны.

Нормы освещения принимаются одинаковыми при любых источниках света, используемых в осветительных установках. В нормах указывается равномерность распределения яркости на покрытии проезжей части улиц, дорог и площадей, характеризующаяся отношением максимальной яркости покрытия к минимальной, которое при средней яркости покрытия более 0,6 кд/м^2 не должно превышать 3:1 и 5:1 при средней яркости 0,6 кд/м^2 и менее.

Средняя яркость покрытий тротуаров, примыкающих к проезжей части улиц и площадей, должна составлять не менее половины средней яркости покрытия проезжей части этих улиц, дорог и площадей, приведенной в табл. 2.16.

Для проезжей части улиц, дорог и площадей в городах и поселках, имеющих переходные* и низшие** покрытия, регламентируется средняя горизонтальная освещенность, значение которой для улиц, дорог и площадей категории Б должно быть 6 лк, а категории В при переходном типе покрытия 4 лк и при покрытии простейшего типа —2 лк.

---

* Переходные покрытия — грунтоасфальтовые, щебеночные, гравийные и шлаковые с поверхностной обработкой вяжущими материалами; грунтощебеночные и грунтогравийные, обработанные вяжущими материалами и т. д.

** Низшие покрытия — грунтовые, улучшенные минеральными материалами: гравийные, щебеночные и шлаковые.

Таблица 2.16

Категория объекта по освещению	Улицы, дороги и площади	Наибольшая интенсивность движения транспорта в обоих направлениях, единиц в 1 ч	Средняя яркость покрытия, кд/м²	Средняя горизонтальная освещенность покрытия для городов и населенных пунктов северной строительно-климатической зоны, лк
А	Скоростные дороги*, магистральные улицы общегородского значения; площади**: главные, вокзальные, транспортные, предмостные и многофункциональных транспортных узлов	Более 3000	1,6	20
		Свыше 1000 до 3000	1,2	20
		От 500 до 1000	0,8	15
		Менее 500	0,6	15
Б	Магистральные улицы районного значения, дороги грузового движения (общегородского значения), площади перед крупными общественными зданиями и сооружениями (стадионами, театрами, выставками и т. д.)	Более 2000	1,0	15
		Свыше 1000 до 2000	0,8	15
		От 500 до 1000	0,6	10
		Менее 500	0,4	10
В	Улицы и дороги местного значения: жилые, дороги промышленных и коммунально-складских районов, поселковые, площади перед общественными зданиями и сооружениями поселкового значения	500 и более	0,4	6
		Менее 500	0,2	4
			—	4

* Средняя яркость покрытия скоростных дорог принимается 1,6 кд/м² независимо от интенсивности движения транспорта.

** Норму средней яркости или освещенности покрытия проезжей части в границах транспортного пересечения в двух уровнях и более следует принимать как для освещения основной магистрали, на которой оно расположено.

Нормы средней горизонтальной освещенности на уровне покрытия непроезжих частей улиц, дорог и площадей, бульваров и скверов, пешеходных улиц и территорий микрорайонов в городах и поселках должны приниматься согласно табл. 2.17.

Таблица 2.17

Освещаемые объекты	Средняя горизонтальная освещенность, лк
Непроезжие части площадей категорий А и Б и предзаводские площади	10
Тротуары, отделенные от проезжей части на улицах категории:	
А	4
Б и В	2*
Посадочные площадки общественного транспорта на улицах всех категорий	10
Пешеходные мостики	10
Автостоянки на улицах всех категорий	4
Пешеходные тоннели:	
днем	100
вечером и ночью	40

Продолжение табл. 2.17

Освещаемые объекты	Средняя горизонтальная освещенность, лк
Лестницы пешеходных тоннелей вечером и ночью	20
Пешеходные улицы	4
Пешеходные дорожки бульваров и скверов, примыкающих к улицам, категорий:	
А	6
Б	4
В	2
Территории микрорайонов	
Пешеходные аллеи и дороги	4
Внутренние, служебно-хозяйственные и пожарные проезды, тротуары — подъезды, автостоянки, хозяйственные площадки и площадки при мусоросборниках	2
Прогулочные дорожки	1

* Норма распространяется также на освещенность тротуаров, примыкающих к проезжей части улиц категорий Б и В с переходными и низшими типами покрытий.

Нормы средней горизонтальной освещенности территории детских яслей-садов, общеобразовательных школ, школ-интернатов, больниц, санаториев, пансионатов и домов отдыха указаны в табл. 2.18.

Таблица 2.18

Освещаемые объекты	Средняя горизонтальная освещенность, лк
Детские ясли-сады, общеобразовательные школы и школы-интернаты	
Групповые и физкультурные площадки	10
Площадки для подвижных игр зоны отдыха*	10
Проезды и проходы к корпусам и площадкам	4
Больницы	
Въезд на территорию, зона приемного отделения	6
Проезды и проходы к лечебным корпусам	4
Прогулочные дорожки и площадки	4
Площадки зоны отдыха	6
Санатории, пансионаты, дома отдыха	
Въезд на территорию	6
Проезды и проходы к спальным корпусам, столовым, кинотеатрам и т. д.	4
Центральные аллеи парковой зоны	4
Боковые аллеи парковой зоны	2
Площадки зоны тихого отдыха и культурно-массового обслуживания (площадки массового отдыха, перед открытыми эстрадами и т. д.)	10
Площадки для настольных игр, открытые читальни*	10

* Уровни освещенности на столах для чтения и настольных игр принимаются по нормам для закрытых помещений.

Средняя горизонтальная освещенность территорий парков, стадионов, садов и выставок приведена в табл. 2.19.

Таблица 2.19

Освещаемые объекты	Средняя горизонтальная освещенность, лк			
	общегородские парки	районные сады	стадионы	выставки
Главные входы	6	4	10	10
Вспомогательные входы	2	1	6	6
Центральные аллеи	4	2	6	10
Боковые аллеи	2	1	4	6
Площадки массового отдыха, площадки перед входами: в театры, кинотеатры, выставочные павильоны и на открытые эстрады; площадки для настольных игр*	10	10	—	20
Зоны отдыха на территориях выставок	—	—	—	10

* См. сноску к табл. 2.18.

Нормы средней горизонтальной освещенности на уровне покрытия улиц, дорог и площадей сельских населенных пунктов приведены в табл. 2.20.

Таблица 2.20

Освещаемые объекты	Средняя горизонтальная освещенность, лк
Площади общественных и торговых центров	4
Поселковые улицы:	
с усовершенствованными и переходными типами покрытий	4
с низшими типами покрытий	2
Поселковые дороги	2
Пешеходные улицы	1

Для трамвайных путей, расположенных на проезжей части улицы, освещение должно соответствовать норме освещения улиц, а на поверхности обособленного трамвайного пути нормируется средняя горизонтальная освещенность, ее значение должно соответствовать 4 лк.

Средняя горизонтальная освещенность дорожного покрытия проезжей части городских транспортных тоннелей должна соответствовать значениям, приведенным в табл. 2.21.

Таблица 2.21

Режим освещения	Средняя горизонтальная освещенность, лк на расстоянии от начала въездного портала, м					
	5	25	50	75	100	125 и более
Дневной, для тоннелей длиной:						
до 100 м*	1000	750	500	200	60	—
более 100 м	1000	750	500	300	150	60
Вечерний и ночной	60	60	60	60	60	60

* Для тоннелей длиной до 60 м с прямолинейной трассой искусственное освещение проектируется по нормам для вечернего и ночного режима освещения.

Средняя горизонтальная освещенность проездов под путепроводами и мостами в темное время суток должна быть не менее 30 лк при длине проезда до 40 м, а при большей длине принимается по нормам освещения тоннелей.

Нормируемые значения освещения разрешается увеличивать в столицах союзных республик, городах-героях, курортных и портовых городах союзного и республиканского значений: а) на 0,2—0,4 кд/м^2 для осветительных установок улиц, дорог и площадей категорий А и Б с усовершенствованными типами покрытия; б) до 20 лк для осветительных установок непроезжих частей площадей категории А и Б и предзаводских площадей, а также для главных входов стадионов и выставок; в) до 10 лк для осветительных установок улиц и дорог категории Б с переходными типами покрытий и главных входов городских парков.

В ночное время, когда интенсивность движения резко снижается, предусматривается снижение наружного освещения городских улиц, дорог и площадей с нормируемыми значениями средней яркости 0,4 кд/м^2 и выше или средней освещенности 4 лк и выше путем выключения не более половины светильников. При этом не допускается отключение двух подряд расположенных светильников. На улицах и дорогах с нормируемым значением средней яркости 0,2 кд/м^2 или средней освещенности 2 лк и ниже, на пешеходных дорожках, автостоянках, пешеходных аллеях и т. д., а также на улицах и дорогах населенных пунктов не допускается частичное и тем более полное отключение освещения в ночное время.

Ограничение слепящего действия в установках наружного освещения городов, поселков и сельских населенных пунктов определяется показателем ослепленности, который на улицах и дорогах, транспортных зонах площадей категорий А и Б не должен превышать 150.

Для осветительных установок улиц и дорог категории В, а также осветительных установок, уровень освещения которых регламентируется нормами средней освещенности, наименьшая высота распо-

ложения светильников по условиям ограничения ослепленности должна приниматься по табл. 2.14.

Светильники наружного освещения на стенах зданий не должны засвечивать окна жилых зданий.

В установках наружного освещения при средней яркости дорожного покрытия 0,4 кд/м^2 и выше и средней освещенности 4 лк и выше следует применять светильники с газоразрядными источниками света. Над проезжей частью улиц, дорог и площадей светильники должны устанавливаться на высоте не менее 6,5 м. Высота подвеса светильников над контактной сетью трамвая должна быть не менее 8 м от уровня головок рельсов, а над контактной сетью троллейбусов — не менее 9 м от уровня проезжей части.

Минимальная высота установки светильников в парапетах мостов и путепроводов не ограничивается при защитном угле светильника 10° и более, а также при недоступности прикосновения к токоведущим частям светильника без применения специального инструмента.

В транспортных тоннелях должны применяться светильники с защитным углом 10° и более, высота их расположения должна быть не менее 4 м. Требования к светильникам в пешеходных тоннелях заключаются в ограничении слепящего действия: защитные углы светильников с люминесцентными лампами и лампами ДРЛ должны быть не менее 15°, суммарная мощность ламп, применяемых в одном люминесцентном светильнике, не должна превышать 80 Вт, а для ламп ДРЛ —125 Вт.

§ 2.7. Отраслевое нормирование освещения

Действующие в СССР нормы освещения (СНиП II-4—79) имеют следующие преимущества по сравнению с нормами технически развитых капиталистических стран: 1) применяемые в нашей стране нормы являются обязательными к исполнению: зарубежные нормы не обязательны — это лишь рекомендации инженерных обществ; 2) наши нормируют минимальное значение освещенности, которое должно быть гарантировано на каждом рабочем месте, зарубежные регламентируют средний уровень освещенности; 3) в нормах СССР регламентируется коэффициент запаса, чем обеспечивается соблюдение установленных освещенностей на весь срок эксплуатации осветительной установки, в зарубежных нормах этот показатель отсутствует; 4) неотъемлемой частью действующих в СССР норм являются требования к качеству освещения (ограничение слепящего действия, пульсации освещенности и т. п.).

По СНиПу можно определить освещенность, необходимую для выполнения любой работы. Однако даже специалисты не всегда однозначно оценивают все факторы, характеризующие выполняемую зрительную работу, и часто устанавливают различные освещенности для одной и той же работы. Во многих случаях возникает необходимость учитывать специфические особенности работы, не предусмотренные СНиПом.

Поэтому большое практическое значение имеют отраслевые нормы, разрабатываемые исследовательскими и проектными организациями на основе детального изучения производства и утверждаемые в установленном порядке.

В СНиП II-4—79 кроме основной таблицы норм имеются отраслевые в виде расписания освещенностей для непроизводственных помещений (см. табл. 2.2), а также помещений и производственных участков, характерных для промышленных предприятий (приложение 3 СНиП II-4—79), в число которых входят предприятия по обслуживанию автомобилей; склады громоздких предметов и сыпучих материалов (песок, лес, цемент), материальные, инструментальные склады и т. д.

Разрабатываемые на основе общесоюзных норм освещения отраслевые конкретизируют отдельные положения общесоюзных с учетом особенностей отраслей промышленности и производства, не повторяя их содержания. Отраслевые нормы должны обеспечивать оптимальные световые условия для повышения производительности труда, улучшения условий труда и быта, снижения сметной стоимости, повышения качества и сокращения сроков строительства, его индустриализации. Отраслевые нормы устанавливают технические требования к осветительным установкам, которые учитывают при их проектировании и эксплуатации в производственных зданиях предприятий отдельных отраслей или группы отраслей промышленности.

Отраслевые нормы содержат следующие разделы, расположенные в определенном порядке. А. *Общие положения.* Б. *Естественное освещение*: *а*) общие требования к освещению и область его применения; *б*) характеристика производства; *в*) расстановка рабочих мест; *г*) определение норм естественного освещения (КЕО) и его качества; *д*) выбор систем освещения; *е*) выбор типов световых проемов и схемы их размещения; *ж*) выбор светопропускающих материалов и конструкций световых проемов; *з*) выбор солнцезащитных средств. В. *Искусственное освещение*: а) виды освещения; б) выбор: систем освещения; источников света; типов светильников и их размещения; уровня освещенности; коэффициентов запаса; в) качество освещения; г) характеристики условий среды помещений по ПУЭ; д) особенности освещения отдельных помещений и рабочих мест; е) требования к местному освещению. Г. *Совмещенное освещение*: а) общие требования к совмещенному освещению и область его применения; б) уровни освещенности дополнительного искусственного освещения; в) выбор типов и расположения светильников дополнительного искусственного освещения; г) схемы и управление дополнительным искусственным освещением. Д. *Требования к технологической и строительной частям проекта.*

В разделе А «Общие положения» указывается область распространения норм и перечислены документы, которыми следует пользоваться при проектировании осветительных установок. В раз-

Таблица 2.22

№ п/п	Наименование помещения и производственных операций	Наименование рабочей поверхности, на которой нормируется освещенность	Плоскость, в которой нормируется освещенность	Фон	Разряд и подразряд норм	Коэффициент естественной освещенности, e, %, при естественном освещении		Нормированная освещенность, лк, помещения с естественным освещением			Показатель ослепленности, не более	Коэффициент пульсации, % не более	Дополнительные указания
						верхнем и комбинированном	боковом	одно общее	комбинированное				
									всего	от общего			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

дел Б «Естественное освещение» включаются: общие требования к естественному освещению и области его применения — области применения естественного освещения и данные о возможности проектирования помещений без естественного света. В п. б) «Характеристика производства» дана классификация производств по точности зрительных работ; наличию в производственной среде пыли, пожаро- и взрывоопасных технологических выделений. В п. в) «Расстановка рабочих мест» содержатся требования по расстановке и оборудованию (отделка рабочих поверхностей, фактура, цвет, коэффициенты отражения) рабочих мест с учетом требований ограничения ослепленности и сменности работы. П. г) «Определение норм (КЕО) естественного освещения и его качества» содержит данные по нормируемым значениям коэффициента естественной освещенности (КЕО) при боковом (одностороннем или двустороннем), верхнем и комбинированном освещении для производственных помещений различного назначения с учетом характера зрительной работы, светового климата района строительства. При разных разрядах зрительной работы, производимой в одном помещении, значение КЕО устанавливается по наиболее точной зрительной работе, охватывающей не менее 25% рабочих мест во всем технологическом процессе, выполняемом в помещении. Нормы естественного освещения следует указывать в графах 7, 8 табл. 2.22 (форма). В графе 14 таблицы приводятся данные по неравномерности распределения КЕО в помещении, устанавливается преимущественная направленность

световых потоков (с учетом типа различаемых деталей), даются рекомендации по оптимальному соотношению яркостей объекта наблюдения и рабочей поверхности, по ограничению предельной яркости поверхностей светопроемов и их контраста с различными поверхностями помещения. В п. д) «Выбор систем освещения» приведены требования к выбору систем освещения (боковой: односторонней и двусторонней, верхней, комбинированной) с учетом характера зрительной работы в помещении, объемно-планировочного и конструктивного решения здания с соответствующим обоснованием. В п. е) «Выбор типов световых проемов и схемы их размещения» содержатся требования по выбору в зависимости от нормируемого значения КЕО типов световых проемов (окна, фонари) и схем их расположения с учетом световой активности и светораспределения, разрывов между зданиями и взаимного их расположения, этажности и ориентации зданий по сторонам горизонта, разрывов между фонарями, а также защиты помещений от солнца в определенное время года. При выборе типов световых проемов и оптимальной схемы их размещения учитывается также специфика технологического процесса, расположение оборудования, рабочих мест и их ориентация по отношению к световым проемам, требования к аэрации и вентиляции помещений, особенности производственной среды и светоклиматического района строительства, направленность световых потоков, а также условия эксплуатации, единовременные затраты на строительство и эксплуатационные расходы. В п. ж) «Выбор светопропускающих материалов и конструкций световых проемов» приводятся требования по выбору светопрозрачных материалов, светопропускающих изделий (типа стеклянных блоков, стеклопакетов, профильного стекла и т. п.) с учетом их светопропускания и светорассеяния, ориентации и типов световых проемов и их размещения относительно рабочих мест. При этом следует учитывать характер производственной среды и зрительную характеристику выполняемых в помещении работ, их продолжительность и сменность, возможный уровень яркости поверхностей ограждений, светоклиматические особенности района строительства для создания оптимальной световой среды интерьера. Кроме того, возможность снижения светопропускающей способности светопрозрачных ограждений учитывается с помощью коэффициента загрязнения при их расчете.

Для защиты от слепящего действия прямых солнечных лучей с учетом района строительства и требований к инсоляции, ориентации световых проемов по сторонам горизонта, направления солнечных лучей относительно работающего в помещении персонала и обеспечения восприятия последним наружного пространства производится выбор солнцезащитных средств (п. з). При этом необходимо учитывать продолжительность и сроки использования производственных помещений, характеристики зрительных работ. Применять жалюзи и внутренние шторы в помещениях с выделением пыли не рекомендуется.

Раздел В «Искусственное освещение» включает: указания по применяемым видам освещения (рабочее, аварийное, эвакуационное, охранное, дежурное) внутри и вне здания промышленного предприятия. При этом необходимо указать, где и для каких технологических операций следует предусматривать аварийное освещение, а также уровни освещенности, необходимые для него. При совпадении требований отраслевых норм и главы СНиП II-4—79 можно сослаться на требование этой главы СНиПа.

Выбор систем освещения рекомендуется согласно нормированию освещения, приведенному в соответствующих графах табл. 2.22 (графа 9 — для общего освещения; 10 и 11 — для комбинированного).

Для основных и вспомогательных помещений предлагаются определенные источники света согласно требованиям к цветности их излучения и цветопередаче. Выбор типов светильников для основных цехов и вспомогательных помещений, а также для освещения площадок промышленных предприятий и мест производства работ, расположенных вне зданий, следует производить по следующим параметрам: светораспределение — тип кривой, а при необходимости требования к ограничению яркости светящей поверхности; исполнение светильников с учетом условий среды; для светильников местного освещения (не поставляемых с технологическим оборудованием) по возможности — способ крепления или установки.

Схема размещения светильников должна приводиться в специальных требованиях к качеству освещения, например направлению света, тени и т. д., и при типовых строительных и технологических решениях помещения, когда можно указать типовой проект осветительной установки.

Размещение светильников должно гарантировать нормированные уровни освещенности, равномерность распределения освещенности на рабочем месте, обеспечивать выполнение нормированных качественных показателей, в том числе распределение яркости в поле зрения работающих. Исходя из условий зрительной работы на рабочих местах определяют характеристики объектов различения и фона, а по их значению — и уровень освещенности по СНиПу.

Требования к эксплуатации осветительных установок вводятся в расчеты в виде коэффициентов запаса, а также указаний сроков очистки осветительных приборов. Желательно указывать средства для обслуживания осветительных установок и в случае необходимости давать задания проектировщикам-строителям на эти устройства.

Качество освещения имеет решающее значение для зрения. Желательно уделять больше внимания ограничению прямой и отраженной блескости. Прямая, создаваемая светильниками общего освещения, нормируется показателем ослепленности. Ограничить отраженную блескость можно, выполняя требования к размещению светильников общего и местного освещения, а также

их расположению по отношению к рабочему месту и к глазам работающего. Коэффициент пульсации освещенности также является нормируемым качественным показателем. Для каждого отдельного помещения должен быть указан коэффициент пульсации освещенности и меры по его обеспечению. Для тех видов производств, где могут иметь место периодические колебания напряжения, связанные с включением мощных электродвигателей и других энергоемких электротехнических устройств, необходимо рекомендовать меры по ограничению колебаний напряжения в осветительных сетях. Аналогичные требования относятся и к п. В «Совмещенное освещение».

Разработку отраслевых норм начинают с определения условий зрительной работы. Для этого изучают технологический процесс и технологическое оборудование по литературным источникам, составляют общее представление о способе обработки сырья, требуемой точности при изготовлении отдельных деталей, узлов или выпускаемого изделия в целом, а также о применяемом оборудовании. Подобранная литература должна соответствовать современному уровню техники.

Более точное и подробное изучение условий зрительной работы осуществляется на предприятиях. Выбор предприятия производится по следующим признакам: на этих предприятиях должны производиться основные виды изделий отрасли или подотрасли; в число выбранных для обследования должны быть включены предприятия с прогрессивной технологией, оснащенные современным оборудованием, а также некоторые старые предприятия, технологическое производство на которых не устарело. Вспомогательные цехи, как, например, ремонтно-механические, насосные, котельные и т. д., нормы для которых указаны в приложении главы СНиП II-4—79, из обследования исключаются. При наличии нескольких цехов одинакового назначения обследованию подлежит только один, если остальные не отличаются какими-либо технологическими особенностями. Обследование рекомендуется проводить по ходу технологического процесса.

Изучение рабочих операций начинается с ознакомления с технологическими картами (заводскими нормалями), опроса рабочих и технологов и наблюдений за ходом работы. Основные параметры изучаемой операции сводят в табл. 2.23 (форму). Желательно сфотографировать рабочее место и местное освещение, если оно имеется при выполнении рабочей операции.

Табл. 2.23 состоит из 16 граф. В графы 3 и 4 заносятся данные, характеризующие рабочую поверхность стола, верстака, части оборудования или изделия, на которой производится работа и нормируется или измеряется освещенность. *Условная рабочая поверхность* — условно принятая горизонтальная поверхность, расположенная на высоте 0,8 м от пола.

Фоном (графы 5 и 6 табл. 2.23) называется поверхность, прилегающая непосредственно к объекту различения, на которой

Таблица 2.23

№ п/п	Наименование помещения, операции	Рабочая поверхность		Фон		Направление светового потока	Объекты различения				Контраст объекта с фоном	Время зрительной работы	Дополнительные рабочие поверхности*	Разряд и подразряд по главе СНиПа	Дополнительные указания
		наименование	плоскость расположения	наименование	коэффициент отражения		наименование	плоскость расположения	размер, мм	расстояние от глаза до объекта, мм					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

* На токарном станке основное рабочее место — соприкосновение резца с металлом, дополнительные кнопки и рукоятки управления, мерительный инструмент, расположение заготовок и т. д.

он рассматривается. Фон считается светлым при коэффициенте отражения поверхности более 0,4; средним — от 0,2 до 0,4; темным — менее 0,2. Оптические свойства фона следует определять в пределах, характеризуемых подразрядами норм освещения.

При диффузно рассеивающих поверхностях коэффициент отражения можно определить с помощью серой или цветной шкалы образцов, интегральные коэффициенты отражения которых проверены в фотометрической лаборатории.

Если поверхность фона имеет направленное или направленно-рассеянное отражение, то значение коэффициента яркости будет зависеть от взаимного расположения светильника, фона и глаз наблюдателя. Направленным отражением обладают стеклянные и металлические шлифованные или полированные поверхности; некоторые из них могут иметь направленно-рассеянное отражение. В этих случаях фон можно считать светлым или средним. В остальных случаях отражение бывает смешанным за счет диффузной составляющей самого материала или какой-либо подложки, если зеркально отражающий слой наложен на диффузно-рассеивающий материал (лакированная фанера, блестящие галоши, сапоги резиновые и т. д.). Оптические свойства материала фона следует определять по коэффициенту отражения подложки или диффузной составляющей. Удобнее всего измерять коэффициент отражения подложки, если она имеется,

без зеркально отражающего покрытия. Например, на мебельной фабрике всегда есть неполированная фанера, на галошной — нелакированные галоши и т. д. При однородной поверхности фона коэффициент диффузного отражения можно также измерить шкалой образцов при условии, если в глаза наблюдателя не будет попадать направленное отражение.

Графы 8—11 табл. 2.23 относятся к объекту различения. В графе 10 указывается минимальный размер объекта различения (например, диаметр нити на ткацком станке, допустимый размер дефекта на полированной поверхности, толщина буквы или цифры в печатном тексте и т. д.). Для определения размера можно использовать мерительную лупу.

При наличии рельефных объектов фактически видимый размер объекта различения определяется распределением яркости по нему, что связано с направлением светового потока на рабочую поверхность.

Контраст объекта с фоном K находят по формуле

$$K = |(L_0 - L_\Phi)/L_\Phi|, \qquad (2.5)$$

где L_0 — яркость объекта различения, кд/м^2; L_Φ — яркость фона, кд/м^2.

Контраст объекта с фоном считается большим при K более 0,5 (объект и фон резко различаются по яркости), средним при K от 0,2 до 0,5 (объект и фон заметно отличаются по яркости); малым K менее 0,2 (объект и фон мало отличаются по яркости).

Время, отведенное на операцию, можно определять следующим образом: по хронометрической карте; по скорости движения конвейера или другого агрегата и числа изготовленных за определенное время изделий. При отсутствии каких-либо внешних ограничительных условий время предъявления объекта можно считать неограниченным. Время зрительной работы в процентах (графа 13) к общему рабочему времени определяется по технологической карте или хронометражем. При изучении рабочей операции необходимо установить размеры зоны, которая должна находиться в поле зрения работающего. На каждом металлорежущем станке кроме режущего инструмента имеется зона управления станком, занимающая большое пространство. Поверхность столешницы монтажного стола является вспомогательной рабочей поверхностью, где размещены инструменты, различные приспособления и т. д. Это позволит учесть требования к освещению дополнительных рабочих мест, таких, как пульт управления станком, освещение мерительного инструмента, рабочей поверхности монтажных столов, где размещены инструменты, различные приспособления и т. д. (см. графу 14 табл. 2.23). На основании размера объекта различения выбирается согласно требованиям общесоюзных норм разряд зрительной работы, а по контрасту объекта с фоном и коэффициенту его отражения — ее подразряд. Данные граф 13, 14, 16 табл. 2.23 позволяют скорректировать значения освещенности согласно остальным требованиям общесоюзных норм. С помощью

данных графы 15 табл. 2.23 можно правильно определить выбор системы освещения и уровень нормируемой освещенности от общего освещения с учетом дополнительных рабочих поверхностей (управление станком, размещение инструмента и т. д.).

В графе 16 табл. 2.23 должны быть отмечены свойственные данной рабочей операции характерные особенности и приметы, которые не отражены в остальных графах таблицы, и, например, расстояние от глаза наблюдателя до объекта различения, если оно превышает 0,5 м, и т. д.

Приведенные данные позволяют скорректировать согласно общесоюзным нормам значение освещенности, полученное по разряду и подразряду зрительной работы. В графе 16 можно указать условия среды (если они отличаются от нормальных) для определения выбора светильников. Эти условия определяются в соответствии с действующей классификацией.

Одновременно с изучением технологии производства и условий зрительной работы на предприятии ведется обследование действующих осветительных установок с целью выявления соответствия их технологии и гигиены труда. Результаты обследования используются при разработке рекомендаций к выбору источников света, светильников, их размещения и т. д. При обследовании следует обратить внимание на местное освещение. Результаты обследования заносят в карту.

Карта обследования установки искусственного освещения предприятия

А. *Условия труда и характеристика помещения.*

1. Условия труда в помещении

2. Характеристика помещения:

высота (от пола до потолка или фермы), м . . . . . .

шаг между колоннами (вдоль, поперек), м . . . . . .

наличие затеняющих конструкций (различные краны, вентиляционные короба, площадки, трапы) (нужное подчеркнуть) . . . . . .

окраска: потолка или ферм . . . . . ., стен . . . . . ., панелей . . . . . ., пола . . . . . ., оборудования . . . . . .

светопроемы для естественного освещения (габаритные размеры) . . . . . .

материал переплетов . . . . . .

материал остекления . . . . . .

3. Характеристика технического этажа (для освещения и других целей): . . . . . .

перекрытие (материал несущих конструкций и конструкций плит) . . . . . .

высота чердачного покрытия . . . . . .

остекление проема для светильников . . . . . .

материал . . . . . .

толщина . . . . . .

коэффициент пропускания . . . . . .

коэффициент рассеяния . . . . . .

система вентиляции . . . . . .

Б. *Светотехническая характеристика установки*

Система освещения:

источники света (тип и мощность, завод-изготовитель, цветность) . . . . . .

общее освещение . . . . . местное освещение . . . . . .

Светильники общего освещения: тип . . . . . ., высота установки над полом, м . . . . . ., размещение . . . . . .

способ установки светильников:

крепление . . . . . ., обслуживание светильников (сверху или снизу) . . . . . .

Светильники местного освещения: тип . . . . . .; крепление (тип кронштейна) . . . . . .

Наличие подсветки потолка и ее способы . . . . . .

Наличие искусственных окон . . . . . .

Размещение светильников местного освещения по отношению к детали и глазу работающего . . . . . .

Тип пускорегулирующего аппарата (ПРА) . . . . . Схема питания ламп (расфазировка) . . . . . .

Удельная установленная мощность: . . . . . .

общего освещения, Вт/м^2 . . . . . .

комбинированного освещения, Вт/м^2 . . . . . .

Способ компенсации ультрафиолетовой недостаточности (фонари, светильники общего освещения с эритемными лампами и т. д.) . . . . . .

Соблюдение требований норм естественного освещения.

В. *Результаты измерения освещенности и яркости (табл. 2.24—форма)*

1. Измерения производятся в обычных условиях эксплуатации, а также в условиях полного соответствия установки проектным данным . . . . . .

2. При измерениях фиксируются напряжение сети, температура и относительная влажность в помещении . . . . . .

Таблица 2.24

Номера точек на схеме	Наименование поверхности	Измеряемая величина	Плоскость измерения	Условия измерения (фильтр-шкала)	Показания прибора	Действительная величина	Дополнительные указания

Г. *Электрическая характеристика установки*

Напряжение сети: . . . . . .

номинальное . . . . . В . . . . . .

местного освещения — номинальное . . . . . В . . . . . .

Колебания напряжения: . . . . . раз в . . . . . В, их глубина в % к номинальному . . . . . .

Схема питания сети рабочего . . . . ., местного . . . . . ., аварийного . . . . .

Схема включения газоразрядных ламп . . . . . .

Наличие заземления или зануления осветительного оборудования . . . . . .

Д. *Эксплуатационные характеристики установки*

Состояние светильников общего и местного освещения

Периодичность очистки светильников: . . . . . .

общего освещения . . . . . раз в год; местного освещения . . . . . раз в неделю.

Приспособление для подхода к светильникам общего освещения (с приведением их фото и указанием завода-изготовителя) . . . . . .

Способы и средства очистки светильников: общего освещения . . . . . местного освещения . . . . . .

Стоимость очистки светильников . . . . . руб.

Сроки предупредительного ремонта. Кто отвечает за осветительную установку цеха, завода (фабрики) . . . . . .

После заполнения табл. 2.23 и обследования осветительных установок можно приступить к составлению норм.

По размеру объекта определяют разряд зрительной работы согласно действующим общесоюзным нормам. Контраст объекта с фоном и коэффициент отражения фона позволяют установить подразряд зрительной работы. Эти данные с учетом остальных характеристик зрительного процесса дают возможность установить уровни освещенности.

В ответственных осветительных установках для проверки качества предлагаемых решений и получения эксплуатационных характеристик рекомендуется проводить исследования на опытных осветительных установках.

В табл 2.25 приведены нормируемые уровни освещенности и регламентируемые качественные показатели осветительных установок. При наличии помещений без естественного света или с недостаточным по нормам естественным освещением в таблицу следует включить дополнительные данные по этому помещению, соответственно расширив ее.

При рекомендации использования ламп накаливания и газоразрядных источников света число граф должно быть увеличено.

При наличии в отрасли или подотрасли нескольких производств (ткацкие и прядильные фабрики в текстильной промышленности; электромашиностроительные, ламповые, кабельные, трансформаторные и другие заводы в электротехнической промышленности) следует перед заполнением граф таблицы назвать рассматриваемое производство.

Рекомендуется объединять однородные технологические операции с одинаковыми требованиями к освещению. Если в нормах разных отраслей и подотраслей часто встречаются характерные технологические процессы, их необходимо объединить и вынести в начало или конец таблицы, и о чем должна быть ссылка в тексте при рассмотрении этой таблицы.

Если качественные показатели или коэффициенты запаса одинаковы для подавляющего числа производств, то их значение следует дать в тексте.

В подзаголовке второй графы кроме наименования рабочей поверхности или технологического процесса дано название помещения. Это сделано с целью нормирования для некоторых видов помещений кроме освещенности на рабочем месте, еще и освещенности по помещению в целом (как при системе одного общего освещения, так и общего в системе комбинированного).

При этом уровень освещенности выбирают по операциям наибольшей точности, занимающим в технологическом процессе не менее 25% всех технологических операций, производимых в данном помещении. Необходимость в таком нормировании может быть при: различной точности работ, производимых в одном помещении; наличии большого числа дополнительных рабочих поверхностей — механический, инструментальный, печатный и офсетный цехи типографии и т. д.; наличии помещений, требующих повышенной чистоты воздуха,— пищевая промышленность, точное приборостроение и т. д.; расположении рабочих мест в различных плоскостях и на разных уровнях. Нормированная горизонтальная освещенность на уровне 0,8 м от пола не всегда обеспечивает освещенность на рабочих местах. Поэтому в данном случае при соблюдении нормы освещенности на условной рабочей поверхности необходимо обеспечивать и нормы освещенности на каждом рабочем месте в заданной плоскости.

Таблица 2.25

Наименование помещений, производственной операции	Наименование рабочей поверхности, на которой нормируется освещенность	Плоскость, в которой нормируется освещенность	Фон	Разряд и подразряд зрительной работы	Значение e при естественном освещении, %		Нормированная освещенность**, лк						Показатель ослепленности, не более	Коэффициент пульсации, %	Дополнительные указания
					верхнем и комбинированном $e_{ср}$	боковом e_{min}	Помещения с естественным освещением			Помещения без естественного освещения или с недостаточным естественным освещением					
							одно общее	комбинированное		одно общее	комбинированное				
								всего	от общего		всего	от общего			
Производство тугоплавких металлов															
Химико-термический участок	На уровне 0,8 м от пола	Горизонтальная			4	1,5		200			300		40	20	
Приготовление суспензии, присадок к вольфрамовому ангидриду, растворение вольфрамовой кислоты, получение кристаллов	Емкость	То же	Средний	IVв	—	—		400	—	—	400				
Просеивание, смешивание и увлажнение металлического порошка	Сито	»	Темный	IVв				400			400				
Прессование вольфрамовых штабиков	Матрица пресса	»	Средний	IIIб				1000			1000			20/15*	

Продолжение табл. 2.25

Наименование помещений, производственной операции	Наименование рабочей поверхности, на которой нормируется освещенность	Плоскость, в которой нормируется освещенность	Фон	Разряд и подразряд зрительной работы	Значение e при естественном освещении, %		Нормированная освещенность**, лк					Показатель ослепленности, не более	Коэффициент пульсации, %	Дополнительные указания
					верхнем и комбинированном $e_{ср}$	боковом e_{min}	Помещения с естественным освещением			Помещения без естественного освещения или с недостаточным естественным освещением				
							одно общее	комбинированное		одно общее	комбинированное			
								всего	от общего		всего	от общего		
Сварка вольфрамовых штабиков и прутков	Место сварки сварочного аппарата	Горизонтальная	Средний	VII										
Контроль спеченных и сваренных штабиков	Стол контролера	»	Темный	IIIа				2000			2000			20/15

* При дробном обозначении коэффициента пульсации в числителе указывается нормируемая величина для общего освещения, в знаменателе — для местного.
** Только при газоразрядных источниках света.

Если эвакуационное освещение полностью соответствует требованиям СНиПа, то в текстовой части следует на нее сослаться. Уровни аварийного освещения указывают в отдельной таблице, не включая их в основную.

В графе 17 табл. 2.25 указываются такие дополнительные требования к осветительной установке, как, например, яркость выходного отверстия светильника при работе на просвет — лекальные работы, браковка мелких деталей на светящих поверхностях и т. д., а также работа с направленно-отражающими поверхностями; причины повышения уровня освещенности согласно требованиям норм.

Особенности применения совмещенного освещения. *Совмещенное* (естественное + искусственное) освещение производственных зданий применяется для обеспечения с учетом санитарно-гигиенических требований комфортных условий для зрения на всех участках технологического процесса и рабочих местах с недостаточным естественным освещением. При этом необходимо технико-экономическое преимущество его в сравнении с вариантами естественного освещения этих зданий.

Уровень освещенности, создаваемый дополнительным освещением, должен соответствовать главе СНиПа по проектированию естественного и искусственного освещения. При этом искусственное освещение должно обеспечивать единство зрительного восприятия такого освещения, а система регулирования дополнительного искусственного освещения — стабильность освещения на всех рабочих местах в течение рабочего времени и во все времена года.

При выборе типов и расположения светильников дополнительного искусственного освещения в помещениях и их зонах с недостаточным естественным освещением учитывается принятая система естественного освещения (боковое, верхнее или комбинированное), объемно-планировочное решение помещения и его назначение, выполняемая зрительная работа и расположение оборудования.

Для создания требуемой цветности излучения дополнительного искусственного освещения рекомендуется использовать люминесцентные лампы типов ЛДЦ, ЛБЦТ, а в помещениях высотой более 8 м и значительной площади — галогенные лампы накаливания или ксеноновые лампы (по согласованию с органами Государственной санитарной инспекции СССР).

Созданию зрительного комфорта при выполнении точных зрительных работ в помещениях с совмещенным освещением способствует выбор оптимального соотношения яркостей рабочей поверхности, поверхностей интерьера и светильников за счет применения светлой окраски поверхностей ограждений помещения и оборудования.

В помещениях без подвесного потолка для обеспечения его подсветки и стен следует применять светильники прямого и рассеянного света.

При совмещенном освещении производственных помещений с точными зрительными работами (I—III разрядов) не допускают-

ся большие колебания освещенности. Дополнительное искусственное освещение в этих случаях следует предусматривать с автоматическим последовательным включением групп светильников в зависимости от уровня естественного освещения.

Глава 3
СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

§ 3.1. Общие положения

Цель расчета осветительной установки заключается в определении числа и мощности источников света, обеспечивающих нормированную (с учетом коэффициентов запаса) освещенность, либо определение по заданному размещению светильников и мощности источников света, в них используемых, создаваемой на рабочих или условно рабочих поверхностях освещенности.

Рабочей поверхностью при этих расчетах следует принимать такую, на которой производится работа, например поверхность верстака, столешница стола, части оборудования или изделия, на которой производится работа. Под условной рабочей поверхностью понимается условно принятая горизонтальная поверхность, расположенная на высоте 0,8 м от пола.

Освещенность на рабочей поверхности создается *световым* потоком, поступающим непосредственно от светильников (прямая составляющая освещенности — $E_{пр}$), и *отраженным*, падающим на расчетную поверхность в результате многократных отражений от стен, потолка, пола, оборудования (отраженная составляющая освещенности — $E_о$): $E = E_{пр} + E_о$.

Прямую составляющую освещенности рассчитывают на основании кривой силы света светильника и расположения светильников относительно выбранной точки на рабочей поверхности, и поэтому ее значение на отдельных участках рабочей поверхности может быть различным.

Отраженная составляющая освещенность ($E_о$) определяется световым потоком, падающим на отражающие поверхности непосредственно от светильников (т. е. определяется светораспределением светильников), отражающими свойствами ограждающих поверхностей помещения (в основном их коэффициентом отражения), а также соотношением размеров освещаемого помещения.

Многократные отражения светового потока, возникающие между поверхностями потолка, пола, стен, откружающих предметов и оборудования, обусловливают сравнительно равномерное распределение отраженной составляющей освещенности по рабочей поверхности. Метод расчета прямой составляющей освещенности выбирают в зависимости от применяемых светящих элементов проектируемой осветительной установки. В зависимости от соотношения размера светящих элементов и расстояний их до освещаемой

поверхности все светящие элементы можно разделить на три группы: точечные, линейные и светящие поверхности.

Точечность светящего элемента обычно определяется его относительными размерами по отношению к расстоянию до освещаемой точки пространства. Практически принято считать светящее тело точечным, если его размеры не превышают 0,2 расстояния до освещаемой точки пространства.

Поэтому в практике расчета точечный осветительный прибор принимается за светящую точку с условно выбранным световым центром, характеризуемым силой света по всем направлениям.

К точным светящим элементам относятся: прожекторы, осветительные приборы с лампами накаливания и газоразрядными лампами типов ДРЛ, МГЛ, НЛВД, НЛНД и т. д.

Положение осветительного прибора, имеющего ось симметрии (точечный элемент), относительно расчетной точки в общем случае определяется следующими координатами (рис. 3.1): $h_р$ — высотой расположения осветительного прибора относительно расчетной плоскости; α — углом, определяющим направление силы света в расчетную точку.

Осветительный прибор, находящийся на расстоянии от расчетной поверхности, соизмеримом с его размером, нельзя рассматривать как точечный. Светораспределение такого светильника определяется не кривой силы света, а кривыми равной освещенности в расчетной плоскости. Поэтому расположение светильника местного освещения относительно расчетной точки будет определяться координатами: $h_р$ и d, где d — расстояние от проекции оси светильника на освещаемую поверхность до расчетной точки (см. рис. 3.1).

К линейным светящим элементам относятся светящие элементы, имеющие несоизмеримо малые размеры по одной из осей по сравнению с размерами по другой.

В практике расчета к светящим линиям относятся излучатели, длина которых превышает половину расчетной высоты $h_р$. Это прежде всего люминесцентные светильники, расположенные непрерывными линиями или линиями с разрывами, а также протяженные светящие панели, длина которых соизмерима с расстоянием до освещаемой поверхности. Основной характеристикой линейных источников излучения является удельная сила света, под которой понимают силу света, излучаемую единицей длины источника (1 м) в плоскости, перпендикулярной его оси, и кривые силы света в продольной и поперечной плоскостях. Положение светящей линии относительно точки расчета определяется: $h_р$ — высотой расположения светящей линии относительно расчетной точки и двумя углами: γ — в попереч-

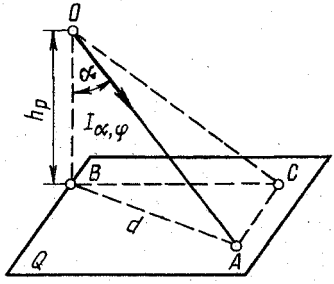


Рис. 3.1. Координаты, определяющие положение точечного светящего элемента относительно расчетной точки

ной плоскости, перпендикулярной оси лампы и проходящей через точку расчета, и углом φ, под которым видна светящая линия из точки расчета (рис. 3.2).

К светящим поверхностям, для которых нельзя применить закон квадратов расстояний из-за значительной погрешности, возникающей в расчете, относятся установки отраженного света в виде световых потолков или ниш; панели, перекрытые рассеивателями или решетчатыми затенителями. Размеры этих светящих элементов соизмеримы с расстоянием до расчетной точки. Светящие элементы этой группы характеризуются следующими показателями: формой и размером светящей поверхности, распределением яркости по различным направлениям пространства и по светящей поверхности. Световые потолки в установках отраженного света, а также световые потолки и панели, перекрытые рассеивателем, обладают практически одинаковой яркостью по всем направлениям пространства. Исключение составляют лишь светящие поверхности, перекрытые решетчатыми затенителями, защитный угол которых может существенно влиять на распределение яркости в пространстве. При расчете осветительных установок этого типа можно принимать яркость светящей поверхности равной ее среднему значению.

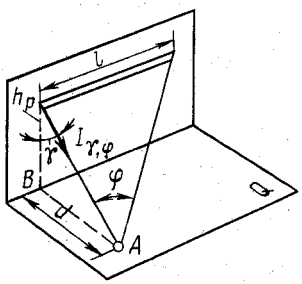


Рис. 3.2. Координаты, определяющие положение линейного светящего элемента относительно расчетной точки

Наибольшее применение при проектировании получили светящие элементы первой и второй групп.

Светящие поверхности, требующие значительной установленной мощности, используют в установках архитектурного освещения, когда кроме утилитарных требований предъявляются еще и архитектурно-художественные требования.

Необходимо иметь в виду, что в зависимости от условий применения светящий элемент может быть отнесен к различным группам. Так, линейный светящий элемент может рассматриваться как точечный, если его длина в два раза меньше расстояния до точки, в которой определяется создаваемая им освещенность, при этом погрешность в расчете не превышает 5%. Аналогичное допущение может быть принято для равномерно светящего диска, если расстояние, на котором определяется освещенность, превышает в 2,5 раза диаметр диска. Расчет отраженной составляющей заключается в определении первоначально попавшего непосредственно от светильников светового потока на отражающие поверхности ограждающих помещение поверхностей.

Однако необходимо учесть, что доля светового потока, попадающего на отражающие поверхности (пол, потолок, стены и оборудование), зависит от светораспределения светящих элементов

и их размещения в помещении и будет различной для каждой группы светящих элементов.

§ 3.2. Расчет прямой составляющей освещенности от точечных излучателей с симметричным светораспределением

Рассмотрим общий случай расчета освещенности от светильника с симметричным светораспределением, характеризуемым зависимостью $I\alpha = f(\alpha)$. Для определения освещенности необходимо знать значение направленной к освещаемой площадке силы света I (расстояние l от светильника значительно превышает его размеры); расстояние l от освещаемой поверхности S до излучателя и угол падения света β (угол между лучом и нормалью к площадке, рис. 3.3).

Строя элементарный телесный угол $d\omega$, угол опирающийся на dS, и считая, что в этом угле излучается световой поток $d\Phi$, получим

$$E = d\Phi/dS;\ d\Phi = Id\omega;\ d\omega = (dS\cos\beta)/l^2$$

и окончательно

$$E = (I_\alpha \cos\beta)\ /\ l^2, \qquad (3.1)$$

где I_α — сила света светильника по направлению к точке A; β — угол между направлением силы света в точку A и нормалью к элементу dS; l — расстояние от светильника до расчетной точки поверхности.

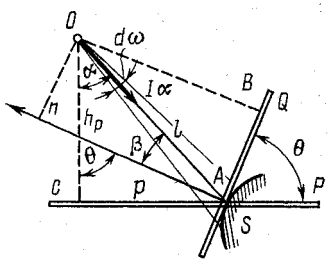


Рис. 3.3. К расчету освещенности от точечного светящего элемента с симметричным светораспределением

Преобразуем приведенное уравнение к виду, более удобному для практических расчетов. Из рис. 3.3 имеем: $\cos\beta = OB/l$. В свою очередь

$$OB = h_\text{p}\cos\theta \pm p^* \sin\theta,$$

откуда

$$\cos\beta = \frac{h_\text{p}\cos\theta \pm p\sin\theta}{l}.$$

Подставляя h_p в уравнение (3.1), будем иметь

$$E_A = \frac{I_\alpha}{l^3}(h_\text{p}\cos\theta \pm p\sin\theta). \qquad (3.2)$$

Так как $l = h_\text{p}/\cos\alpha$, то окончательное расчетное уравнение для определения освещенности на наклонной поверхности примет вид

$$E_A = \frac{I_\alpha \cos^3\alpha}{h_\text{p}^2}\left(\cos\theta \pm \frac{p}{h_\text{p}}\sin\theta\right), \qquad (3.3)$$

где θ — угол наклона расчетной плоскости по отношению к плоскости, перпендикулярной оси симметрии светильника (горизон-

* Знак минус в уравнении при $\theta > \pi/2 + \alpha$.

тальная плоскость); α — угол между направлением силы света к расчетной точке и осью симметрии светильника; $h_р$ — высота светильника над горизонтальной плоскостью, проходящей через расчетную точку; p — кратчайшее расстояние от проекции оси симметрии светильника на горизонтальную плоскость, проходящую через точку расчета, до следа пересечения с расчетной плоскостью.

Для упрощения расчета освещенности на поверхности, произвольно ориентированной в пространстве, Е. Н. Яковлевым предложена номограмма зависимости $\cos\theta \pm \frac{p}{h_р}\sin\theta$ от $p/h_р$ для различных значений $\theta = \text{const}$ (рис. 3.4). Определяя предварительно по чертежу значения p, $h_р$ и θ, из графиков находим выражение $\cos\theta + \frac{p}{h_р}\sin\theta$ (сплошные кривые), или $\cos\theta - \frac{p}{h_р}\sin\theta$ (пунктирные кривые).

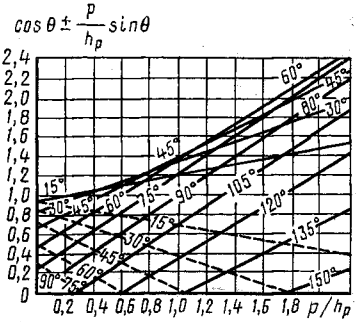


Рис. 3.4. Номограмма для расчета освещенности на наклонной плоскости

Проектирование осветительных установок чаще всего связано с расчетом освещенности на поверхности, перпендикулярной или параллельной оси симметрии светильника; расчет освещенности на наклонной плоскости встречается значительно реже.

В производственных и общественных зданиях принято размещать светильники так, что их ось симметрии располагается вертикально, перпендикулярно расчетной горизонтальной плоскости (рис. 3.5). Согласно этому рисунку угол $\theta = 0$ и уравнение (3.3) примет вид

$$E_г = (I_\alpha \cos^3\alpha)/h_р^2, \qquad (3.4)$$

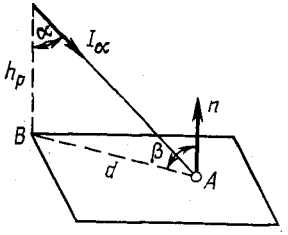


Рис. 3.5. К расчету освещенности на горизонтальной плоскости

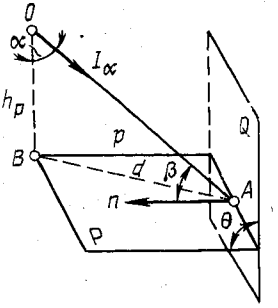


Рис. 3.6. К расчету освещенности на вертикальной плоскости.

где $E_г$ — освещенность горизонтальной плоскости в точке A.

Освещенность наклонной плоскости можно получить через освещенность горизонтальной плоскости из уравнения

$$E_A = E_г(\cos\theta \pm \frac{p}{h_р}\sin\theta)\ .$$

При оси симметрии светильника, параллельной расчетной плоскости (рис. 3.6), угол $\theta = \pi/2$, и уравнение, определяющее освещенность, преобразуется к виду

$$E_в = \frac{I_\alpha \cos^3\alpha}{h_р^2}\,\frac{p}{h_р} = E_г\frac{p}{h_р}, \qquad (3.5)$$

где $E_в$ — освещенность вертикальной плоскости в точке A; p — наименьшее расстояние от проекции оси симметрии светильника на горизонтальную плоскость, проходящую через точку расчета, до следа пересечения вертикальной и горизонтальной плоскостей.

Уравнения (3.4) и (3.5) позволяют сформулировать общее правило, справедливое для любого точечного источника: *отношение значений освещенности двух плоскостей в одной и той же точке равно отношению длин перпендикуляров, опущенных на эти плоскости из точки расположения источника света.*

При расчете освещенности от симметричных светильников необходимо соблюдать такую последовательность.

1. По отношению $d/h_р$ определяют $\operatorname{tg}\alpha$, а следовательно, и угол α и $\cos^3\alpha$ (d — расстояние от расчетной точки до проекции оси симметрии светильника на плоскость, ей перпендикулярную и проходящую через расчетную точку).

2. По кривой силы света выбранного светильника и углу α находят силу света I_α.

3. По уравнениям (3.4), 3.5), (3.3) рассчитывают освещенность в горизонтальной, вертикальной или наклонной плоскостях.

Пример 3.1. Помещение площадью 10×10 м^2 и высотой 5 м освещается четырьмя светильниками типа УПД ДРЛ с лампами ДРЛ мощностью 400 Вт ($F_л$ — 19 000 лм). Светильники располагают по углам квадрата со стороной 5 м. Высота подвеса светильников $h_р = 4{,}5$ м. Определить освещенность горизонтальной, вертикальной и наклонной (под углом $\theta = 60°$) плоскостей, расположенных на пересечении диагоналей поля светильников (рис. 3.7). Расчет освещенности ведем, придерживаясь намеченной последовательности 1. Определяем $\operatorname{tg}\alpha$ (см. рис. 3.3)

$$\operatorname{tg}\alpha = d/h_р = \sqrt{2{,}5^2 + 2{,}5^2}/4{,}5 = 3{,}54/4{,}5 \approx 0{,}786\ .$$

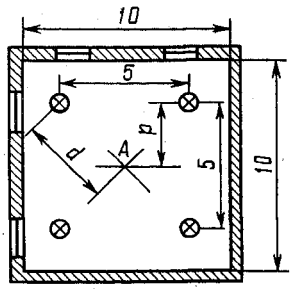


Рис. 3.7. К примеру расчета освещенности от симметричных светильников общего освещения

2. Определяем угол α и $\cos^3\alpha$:

$$\alpha = 38°; \qquad \cos^3\alpha = 0{,}49.$$

3. По табл. прил. 1 находим силу света под углом 38° для светильника УПД ДРЛ с условной лампой $(I_\alpha)_{1000} = 214$ кд (интерполируем между значениями силы света для угла $\alpha = 35$ и 45°):

Фактическая сила света

$$I_\alpha = 214\,\frac{19\,000}{1000} = 4066 \text{ кд}.$$

4. Подсчитаем освещенность горизонтальной плоскости.

Принимая коэффициент запаса $k = 1{,}5$, от одного светильника имеем

$$E_г = \frac{I_\alpha \cos^3 \alpha}{h_р^2 k} = \frac{4066 \cdot 0{,}49}{4{,}5^2 \cdot 1{,}5} \approx 65{,}6 \text{ лк}.$$

Так как каждый из четырех светильников создает в точке расчета одинаковую освещенность, то, следовательно, суммарная освещенность $\Sigma E_г = 4E_г = 4 \cdot 65{,}6 = 263$ лк.

5. Подсчитаем освещенность вертикальной плоскости.

Так как расчетная точка, лежащая в вертикальной плоскости, освещается только двумя светильниками, то освещенность вертикальной плоскости

$$E_в = 2E_г \frac{p}{h_р} = 2 \cdot 65{,}6 \frac{2{,}5}{4{,}5} \approx 73 \text{ лк}.$$

6. Подсчитываем освещенность в наклонной плоскости:

$$E_A = 2E_{Aг} (\cos \theta \pm \frac{p}{h_р} \sin \theta)$$

$$E_A = 2 \cdot 65{,}6 (\cos 60° + \frac{2{,}5}{4{,}5} \sin 60°) \approx 129 \text{ лк}.$$

Рассчитывать освещенность по приведенным уравнениям при большом количестве светильников сложно, так как необходимо определять освещенность от каждого светильника в отдельности и потом суммировать полученные значения освещенностей.

Рассмотрим наиболее распространенные в практике проектирования упрощенные способы расчета.

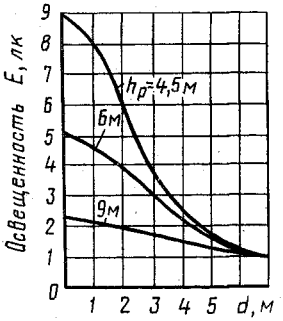


Рис. 3.8. Элементарные кривые освещенности

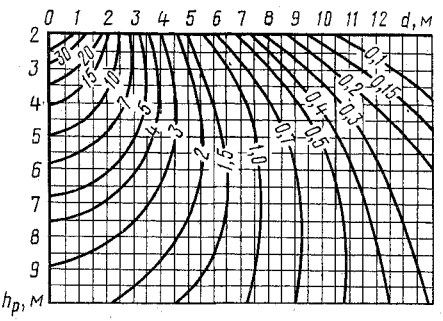


Рис. 3.9. Пространственные изолюксы условной горизонтальной освещенности. Светильники У, УПМ-15, УП-24, Астра 1, 11, 12

Использование элементарных кривых освещенности $E = f(\alpha)$ значительно сокращает и упрощает расчет осветительных установок с большим числом одинаковых светильников общего освещения, расположенных на одной и той же высоте. Такие кривые приведены для заданного типа светильника на рис. 3.8. Для разных высот установки светильников ($h_р = \text{const}$) дана зависимость

освещенности E от расстояния проекции оси симметрии светильника до расчетной точки (d, м). Кривые строятся для условной лампы, имеющей световой поток 1000 лм.

Для расчета осветительных установок часто используют пространственные изолюксы горизонтальной освещенности. Построение таких кривых осуществляется для каждого применяемого типа светильника, при этом световой поток лампы (при многоламповых светильниках — суммарный поток ламп) принимается равным 1000 лм. Создаваемая в этом случае освещенность называется условной и обозначается ε. Значение ε зависит от светораспределения светильника и геометрических размеров d и $h_р$ (см. рис. 3.1). Для определения ε служат пространственные изолюксы условной горизонтальной освещенности (для светильников У, УПМ-15, УП-24, Астра-1, 11, 12 они показаны на рис. 3.9), на которых находится точка с заданными d и $h_р$ (d, как правило, определяется обмером по масштабному плану), и ε находится путем интерполирования между значениями, указанными у ближайших изолюкс. Аналогичные графики, построенные по данным измерений, могут применяться для расчета местного освещения.

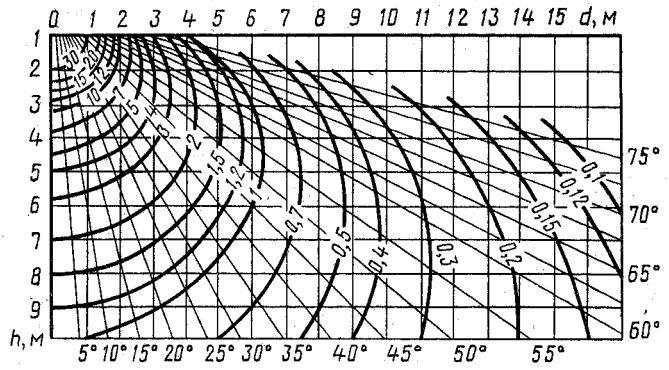


Рис. 3.10. Пространственные изолюксы условной горизонтальной освещенности. Сила света светильника по всем направлениям 100 кд

При отсутствии изолюкс для данного светильника используется график для излучателя, имеющего по всем направлениям силу света, равную 100 кд (рис. 3.10). Значение условной освещенности определяется так же, как указано ранее. По кривой силы света светильника в данном направлении и значению ε_{100} несложно вычислить ε:

$$\varepsilon = \varepsilon_{100} \frac{I_\alpha}{100}. \qquad (3.6)$$

Если суммарное действие «ближайших» светильников создает в расчетной точке условную освещенность $\Sigma\varepsilon$, действие более удаленных светильников и отраженную составляющую учтем коэффициентом μ. Тогда для получения в расчетной точке нормирован-

ной освещенности $E_н$ при коэффициенте запаса k лампы в каждом светильнике должны иметь световой поток Φ:

$$\Phi = 1000E_н k / (\mu\Sigma\varepsilon). \qquad (3.7)$$

По этому световому потоку выбирают ближайшую стандартную лампу, световой поток которой $\Phi_л$ должен находиться в пределах $0{,}9\Phi < \Phi_л \leqslant 1{,}2\Phi$. Если эти пределы при выборе лампы не могут быть выполнены, то корректируется расположение светильников. По формуле (3.7) можно определить освещенность при известном световом потоке.

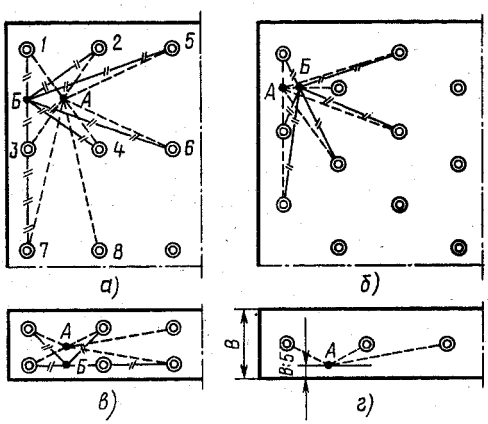


Рис. 3.11. Расчетные точки освещенности

Характерные точки расчета для общего равномерного освещения показаны на рис. 3.11.

При более часто встречающемся расположении светильников, например рядами вдоль светотехнических мостиков, расчетную точку выбирают между рядами на расстоянии, примерно равном расчетной высоте от торцовой стены.

В принципе не следует выискивать точки абсолютного минимума освещенности у стен или в углах: если в подобных точках есть рабочие места, то доведение в них освещенности до требуемого значения может быть осуществлено увеличением мощности ближайших светильников или установкой дополнительных светильников. Часто при расчетах возникают затруднения в определении числа светильников, которые необходимо учитывать при нахождении $\Sigma\varepsilon$. Обычно принимаются светильники с трех наименьших расстояний d. На рис. 3.11 расчетные точки соединены линиями с теми светильниками, от которых обычно определяются значения ε. В общем случае чем меньше $\mathscr{L}/h_р$ ($\mathscr{L}$ — расстояние между светильниками, $h_р$ — высота установки светильника над расчетной поверхностью) и чем шире светораспределение светильника, тем большую роль играют удаленные светильники и тем тщательнее следует их учитывать.

Во всех случаях при определении $\Sigma\varepsilon$ не должны учитываться светильники, реально не создающие освещенности в контрольной точке из-за затенений оборудованием или корпусом рабочего.

Пример 3.2. В помещении, часть которого показана на рис. 3.11, *а—г* необходимо обеспечить освещенность 100 лк при коэффициенте запаса $k = 1{,}5$, используя светильники типа УПМ-15, установленные на высоте 3 м. Расстояние между светильниками в ряду 4 м, расстояние между рядами светильников 6 м. Определить тип лампы накаливания.

Расстояние d от светильника до точки расчета определяется обмером по масштабному плану. Значение ε определяется по графику рис. 3.9. Расчеты сведены в табл. 3.1. Наихудшей оказывается точка *Б*, по освещенности которой определяем необходимый поток, принимая $\mu = 1{,}1$:

$$\Phi = \frac{1000 E_н k}{\mu \Sigma \varepsilon} = \frac{1000 \cdot 100 \cdot 1{,}5}{1{,}1 \cdot 19{,}11} = 7136 \text{ лм},$$

согласно приложению 2 табл. 1 выбираем лампу 500 Вт на напряжение 220 В со световым потоком 8300 лм.

Таблица 3.1

Точка	Номера светильников	Расстояние, м	Условная освещенность, лк	
			от одного светильника	от всех светильников
А	1, 2, 3, 4	3,6	4,5	18
	5, 6	6,7	0,9	1,8
	7, 8	9,2	0,3	0,6
			$\Sigma \varepsilon = 20{,}4$	
Б	1, 3	3	7	14
	2, 4	5	2	4
	5, 6	8,5	0,4	0,8
	7	9	31	0,31
			$\Sigma \varepsilon = 19{,}11$	

§ 3.3. Расчет прямой составляющей освещенности от точечных излучателей с несимметричным светораспределением

В отличие от расчета освещенности от светильников с симметричным светораспределением расположение точки расчета *А* при освещении несимметричным светильником (имеющим не ось, а плоскость симметрии) характеризуется тремя координатами: $h_р$, углами α и φ, отсчитываемыми от плоскости симметрии светильника *OBC* (рис. 3.12). Согласно рис. 3.12 значения α и φ можно определить из формул

$$\alpha = \operatorname{arctg} d/h_р; \qquad (3.8)$$

$$\varphi = \operatorname{arctg} b/a.$$

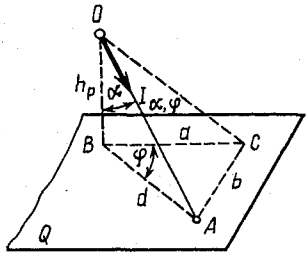


Рис. 3.12. К расчету освещенности от точечного светящего элемента с несимметричным светораспределением

Зная углы α и φ, можно по кривым силы света определить силу света $I_{\alpha\varphi}$ по направлению к расчетной точке, а следовательно, и рассчитать освещенность поверхности в этой точке согласно уравнению (3.9)

$$E_г = I_{\alpha\varphi} \cos^3 \alpha / (h_р^2 k) \ , \qquad (3.9)$$

где $I_{\alpha\varphi}$ — сила света по направлению к расчетной точке: α — угол между направлением силы света в расчетную точку и перпендикуляром из светящей точки к плоскости расчета.

Расчет освещенности от большого числа светильников с несимметричным распределением силы света удобно производить по кривым равных значений относительной освещенности $\varepsilon = I_{\alpha\varphi} \cos^3\alpha$, построенным в полярной системе координат φ и $\operatorname{tg}\alpha$ или $\operatorname{ctg}\alpha$ (рис. 3.13) и предложенным Г. М. Кнорringом.

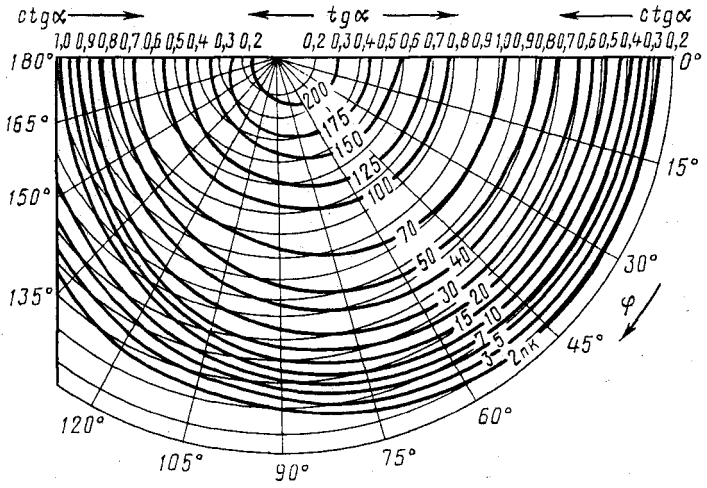


Рис. 3.13. Пространственные кривые равной относительной освещенности светильника «Кососвет»

Построение таких кривых для данного типа светильника осуществляется по кривым относительной освещенности различных продольных плоскостей $\varphi = \text{const}$.

По значению $\varepsilon = I_{\alpha\varphi} \cos^3\alpha$ и кривым $\varepsilon = f(\operatorname{tg}\alpha)$ находят значение $\operatorname{tg}\alpha$, соответствующее выбранным значениям φ, которые определяют положение точек $\varepsilon = \text{const}$ на соответствующих прямых $\varphi = \text{const}$ полярной системы координат.

Соединенные между собой точки позволяют получить кривую равной относительной освещенности с источником света, световой поток которого $\Phi_л = 1000$ лм при $h_р = 1$ м.

Расчет освещенности при использовании указанных кривых производят в следующем порядке.

1. По положению светильника относительно точки расчета освещенности определяют

$$\varphi = \operatorname{arctg}(b/a) \quad \text{и} \quad \operatorname{tg}\alpha = d/h_р \quad \text{или} \quad \operatorname{ctg}\alpha = h_р/d.$$

2. Согласно кривым равной относительной освещенности и значениям φ и $\operatorname{tg}\alpha$ находят $\varepsilon = I_{\alpha\varphi} \cos^3\alpha$ (см. рис. 3.13).

3. По значению ε рассчитывают освещенность

$$E_г = \frac{\varepsilon}{h_р k}\frac{\Phi_л}{1000}.$$

Пример 3.3. Определить освещенность в точке A в горизонтальной плоскости от светильника «Кососвет», расположенного на высоте $h_р = 3$ м над расчетной плоскостью. Лампа в светильнике 150 Вт, 220 В ($\Phi_л = 2000$ лм). Коэффициент запаса $k = 1{,}3$; $a = b = 3$ м (см. рис. 3.12).

1. Определяем углы φ и tg α:

$$\varphi = \operatorname{arctg}(b/a) = \operatorname{arctg} 1;\ \varphi = 45°;\ \operatorname{ctg}\alpha = h_р/d = 3/\sqrt{18} \approx 0{,}7.$$

2. Находим относительную освещенность по графику (см. рис. 3.13): $\varepsilon = 32$ лк для $\operatorname{ctg}\alpha = 0{,}7$ и $\varphi = 45°$.

3. Определяем освещенность в расчетной точке

$$E_г = \frac{\varepsilon\Phi_л}{h_р^2 1000 k} = \frac{32 \cdot 2000}{3^2 \cdot 1000 \cdot 1{,}3} = 5{,}5 \text{ лк}.$$

Расчет прожекторного освещения имеет некоторую специфику: как правило, прожекторы устанавливают наклонно, под некоторым углом к горизонту, определяемом расположением освещаемой зоны, высотой установки прожекторов и уровнем нормируемой освещенности. Прожекторы дальнего действия имеют малые углы рассеяния (3—5°), и поэтому малейшие неточности в определении углов максимального значения силы света могут привести к значительным ошибкам.

Прожектор заливающего света, установленный на высоте $h_р$ от плоскости расположения расчетной точки A (рис. 3.14), имеет осевую силу света I_0 и силу света $I_{\beta_в\beta_г}$ в направлении точки A.

Направление $I_{\beta_в\beta_г}$ на точку A определяют углами $\beta_в$ и $\beta_г$ в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Согласно рис. 3.14 значения этих углов можно найти из следующих уравнений:

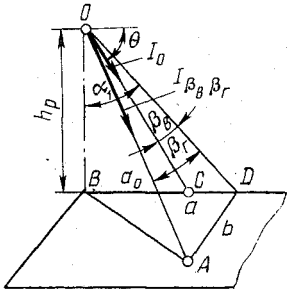


Рис. 3.14. К расчету освещенности от прожектора

$$\beta_г = \operatorname{arctg}\frac{b\cos\alpha_1}{h_р} = \operatorname{arctg}\frac{b\sin\alpha}{a},$$

$$\beta_в = \pm\left(\operatorname{arctg}\frac{a}{h_р} - \operatorname{arctg}\frac{a_0}{h_0}\right). \qquad (3.10)$$

Согласно значениям $\beta_г$ и $\beta_в$ по кривым силы света определяют силу света по направлению к расчетной точке A — $I_{\beta_г\beta_в}$ и по уравнению (3.11) освещенность

$$E_г = I_{\beta_г\beta_в}\cos^3\alpha / h_р^2, \qquad (3.11)$$

где α — угол между направлением силы света в расчетную точку и нормалью к освещаемой поверхности.

При расчете освещенности от большого числа прожекторов обычно пользуются вспомогательными графиками и таблицами.

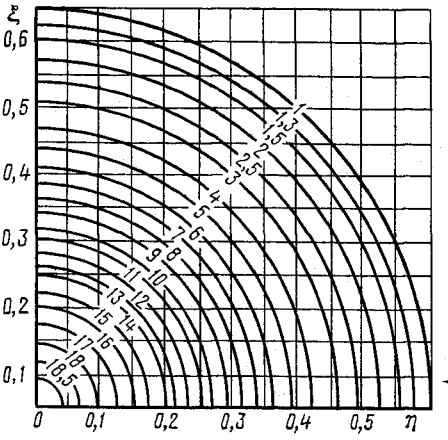
В практике проектирования широко распространен метод кривых равных значений относительной освещенности, предложенный Р. А. Сапожниковым и дополненный Г. М. Кнорринго м. Кривые равных значений относительной освещенности построены на плоскости, перпендикулярной оптической оси прожектора и удаленной от его светового центра на 1 м. Эти кривые строят в прямоугольной системе координат ξ и η (рис. 3.15).

Для прожекторов, имеющих две плоскости симметрии — горизонтальную и вертикальную, кривые силы света строятся в одной четверти прямоугольных координат вследствие их полной тождественности в остальных четвертях.

Для определения освещенности в точке A горизонтальной плоскости строят вспомогательную плоскость Q, проходящую через расчетную точку A и перпендикулярную оптической оси прожектора (рис. 3.16).

Освещенность в точке A плоскости Q — E_Q определяется согласно уравнению (3.4) по формуле

$$E_Q = \varepsilon / r^2, \qquad (3.12)$$



← Рис. 3.15. Изолюксы на условной плоскости (килолюксы). Прожектор ПЗР-400 с лампой ДРЛ-400

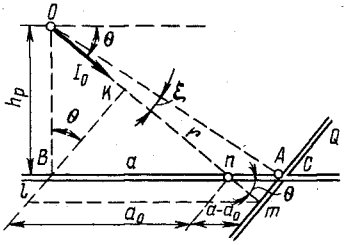


Рис. 3.16. К расчету освещенности от прожектора методом кривых равных значений относительной освещенности

где ε — относительная освещенность, найденная по кривым равных значений относительной освещенности для заданных координат ξ и η; r — расстояние от прожектора до плоскости, перпендикулярной оптической оси прожектора.

Освещенность горизонтальной плоскости согласно общему правилу для точечного источника определяют по формуле

$$E_Q / E_г = r / h_р, \qquad E_г = (E_Q h_р)/r.$$

Подставляя E_Q из уравнений (3.12), получим.

$$E_г = \varepsilon h_р / r^3. \qquad (3.13)$$

Соответственно освещенность в вертикальной плоскости, проходящей через точку A, будет иметь значение:

$$E_в = E_г\, p \,/\, h_р = \varepsilon\, p/r^3, \tag{3.14}$$

где p — расстояние от проекции светового центра прожектора на расчетную плоскость до пересечения следа вертикальной плоскости с плоскостью Q.

Согласно уравнениям (3.13) и (3.14) для определения $E_г$ и $E_в$ необходимо иметь значение относительной освещенности ε, которая определяется на графике по координатам ξ и η.

Согласно рис. 3.16 из треугольников OBK и lmk:

$$r = Om = h_р \sin\theta + a\cos\theta.$$

Из треугольника COm

$$\xi = \operatorname{tg}\beta_в = \frac{Cm}{Om} = \frac{(a - a_0)\sin\theta}{r}. \tag{3.15}$$

Так как в общем случае расчетная точка может быть смещена в горизонтальной плоскости на некоторое расстояние b от плоскости симметрии прожектора OB, то ее положение будет определяться и второй координатой η:

$$\eta = \operatorname{tg}\beta_г = b/r. \tag{3.16}$$

Полученные соотношения можно путем сокращения числа независимых переменных привести к виду, более удобному для практических расчетов. Для этой цели обе части уравнений (3.15) и (3.16) разделим на $h_р$ и отношение $r/h_р$ обозначим через ϱ.

Тогда получим

$$\xi = \frac{a/h_р \sin\theta - \cos\theta}{\varrho};$$
$$\varrho = \sin\theta + \frac{a}{h_р}\cos\theta; \tag{3.17}$$
$$\eta = b/(\varrho h_р).$$

Соответственно выражения для освещенности в вертикальной и горизонтальной плоскостях запишем как

$$E_г = \varepsilon/(\varrho^3 h_р^2),$$
$$E_в = \varepsilon p/(\varrho^3 h_р^2). \tag{3.18}$$

Приведенные соотношения позволяют определить освещенность в любой точке расчетной плоскости, если заданы высота расположения прожектора $h_р$ и угол наклона его оптической оси θ.

Пример 3.4. Прожектор ПЗР-400 с лампой ДРЛ-400 установлен на высоте 10 м над освещаемой территорией. Определить освещенность горизонтальной плоскости в точке A (рис. 3.17), если угол наклона оптической оси прожектора $\theta = 30°$, коэффициент запаса $k = 1{,}5$. Расчет ведут методом кривых равных значений относительной освещенности.

Определяем ϱ, ξ, и η:

$$\varrho = \sin\theta + \frac{a}{h_р}\cos\theta = 0{,}5 + \frac{30}{10}\cdot 0{,}515 \approx 2,$$

$$\xi = \frac{\frac{a}{h_р}\sin\theta - \cos\theta}{\varrho} = \frac{\frac{30}{10}\cdot 0{,}5 - 0{,}585}{1{,}83} \approx 0{,}5.$$

$$\eta = b/(\varrho h_р) = 5/(2\cdot 10) = 0{,}25\,.$$

По кривым равной относительной освещенности (см. рис. 3.15) находим $\varepsilon = 2{,}1\cdot 10^3$.

Освещенность в горизонтальной плоскости:

$$E_г = \frac{\varepsilon}{\varrho^3 h_р^2 k} = \frac{2{,}1\cdot 10^3}{2^3\cdot 10^2\cdot 1{,}5} = 1{,}75 \text{ лк}.$$

С помощью этого метода можно определить координаты точек a и b по заданной освещенности и выбранной высоте установки прожектора, т. е. получить необходимые данные для построения кривых равных значений освещенности, необходимых для расчета прожекторного освещения.

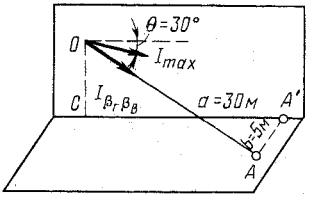


Рис 3.17. К примеру расчета освещенности от прожектора заливающего света

Для облегчения построения таких кривых рассчитаны таблицы значений ξ, ϱ и ϱ^3 [5] в зависимости от θ и отношения $a/h_р$. Порядок расчета кривых равных значений освещенности следующий: 1) задаваясь значением a, определяют $a/h_р$; 2) по таблице находят ξ, ϱ, ϱ^3 для данного отношения $a/h_р$ и заданного θ, 3) задаваясь значением $E_г$ и $E_в$, по уравнению (3.18) определяют относительную освещенность ε; 4) по значениям ε и ξ, пользуясь графиком относительной освещенности, находят η; 5) по найденному значению η и известным ϱ и $h_р$ находят вторую координату точки кривой равной освещенности.

Найденные координаты a и b определяют положение пары точек кривой для выбранной освещенности E, симметричных относительно следа оптической оси прожектора. Проводя последовательно аналогичные расчеты для различных значений $a/h_р$, находят положение точек, соединяя которые между собой получают кривую заданной освещенности $E_г$.

§ 3.4. Расчет прямой составляющей освещенности от светящих линий

Расчет освещенности начинают с наиболее часто встречающихся в практике случаев, когда светящая линия параллельна освещаемой поверхности (рис. 3.18). Для простоты расчета положение

расчетной точки выбираем так, чтобы ее проекция на плоскость расположения светящей линии совпала с проекцией конца светящей линии на расчетную плоскость. Выделим на светящей линии бесконечно малый элемент $d\mathscr{L}$, положение которого относительно точки расчета определяется высотой расположения над расчетной плоскостью $h_р$ и углами γ и α_i.

Освещенность в точке A от элемента светящей линии $d\mathscr{L}$, к которому применим закон квадратов расстояний, равна

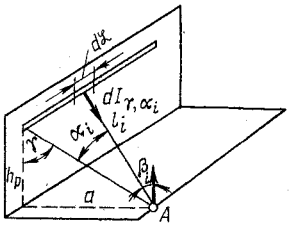


Рис. 3.18. К расчету освещенности от линейного светящего элемента

$$dE_A = dI_{\gamma\alpha_i} \cos \beta_i / l_i^2, \qquad (3.19)$$

где $dI_{\gamma\alpha_i}$ — сила света элемента светящей линии по направлению к точке A; β_i — угол между направлением силы света в расчетную точку и нормалью к освещаемой поверхности; l_i — расстояние от элемента светящей линии $d\mathscr{L}_i$ до расчетной точки.

Обозначая через I_γ — силу света с единицы длины светящей линии — 1 м, а также принимая, что в плоскости оси светящей линии (продольная плоскость) распределение силы света подчиняется закону косинуса, что справедливо для большинства люминесцентных светильников, будем иметь

$$dI_{\gamma\alpha_i} = I_\gamma d\mathscr{L} \cos \alpha_i. \qquad (3.20)$$

Согласно рис. (3.18) можно получить:

$$\left.\begin{array}{c} \cos \beta_i = h_р / l_i, \\ l_i = h_р / (\cos \gamma \cos \alpha_i), \\ d\mathscr{L} \cos \alpha_i = l_i d\alpha_i. \end{array}\right\} \qquad (3.21)$$

Подставляя (3.20) и (3.21) в (3.19), получаем

$$dE_A = \frac{I_\gamma}{h_р} \cos^2 \gamma \cos^2 \alpha_i \, d\alpha_i.$$

Освещенность от всей светящей линии определяется интегрированием этого выражения по длине светящей линии L:

$$E_A = \int_L dE_A = \frac{I_\gamma}{h_р} \cos^2 \gamma \int_0^\alpha \cos^2 \alpha_i d\alpha_i.$$

Интегрируя, находим

$$E_A = \frac{I_\gamma}{2h_р} \cos^2\gamma \left(\alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2}\right), \qquad (3.22)$$

где I_γ — сила света с единицы длины светящей линии в плоскости, перпендикулярной оси линии $\left(\gamma = \operatorname{arctg} \frac{a}{h_р}\right)$; α — угол, под

которым видна светящая линия из точки расчета; $h_р$ — высота расположения светящей линии над освещаемой поверхностью.

Из уравнения (3.22) можно заключить, что освещенность точки, расположенной в плоскости, параллельной светящей линии, зависит от силы света с единицы длины этой линии I_γ, высоты расположения светящей линии относительно точки расчета $h_р$, угла γ и угла α, под которым видна светящая линия из точки расчета. При расположении точки расчета непосредственно под светящей линией большой протяженности ($\alpha = \pi/2$, $\gamma = 0$) формула примет вид

$$E_A = \pi I_\gamma / (4h_р). \qquad (3.23)$$

Согласно формуле (3.23) освещенность расчетной точки, находящейся непосредственно под светящей линией бесконечной длины, уменьшается обратно пропорционально расстоянию светящей линии от точки расчета.

Рассмотренный расчет справедлив, когда расчетная точка находится напротив конца светящей линии. Если расчетная точка не совпадает с проекцией конца светящей линии, то последняя разделяется на две части или дополняется условным отрезком с последующим сложением или вычитанием освещенности. На рис. 3.19 приведены возможные варианты расположения расчетной точки относительно светящей линии. Определим для точки A_1 освещенность от светящей линии BD : $E_{A1} = E_{BC} + E_{CD}$. Для точки A_2, расположенной вне проекции светящей линии, $E_{A2} = E_{BE} - E_{DE}$, где E_{BC}, E_{CD}, E_{BE}, E_{DE} — освещенность от участков светящих линий.

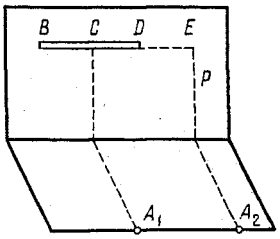


Рис. 3.19. Возможные случаи расположения расчетной точки относительно линейного светящего элемента

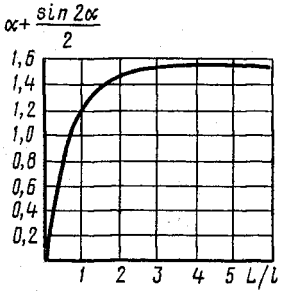


Рис. 3.20. График функции $\alpha + \sin 2\alpha/2$ для расчета освещенности от светящей линии

Для упрощения расчетов по (3.22) функцию $f(\alpha) = \alpha + \sin 2\alpha/2$, можно изобразить графически (рис. 3.20) в зависимости от $\mathscr{L}/l$, где $\mathscr{L}$ — длина светящей линии; l — расстояние от светящей линии до расчетной точки. Кривая на рис. 3.20 справедлива при

косинусном светораспределении светильника, когда $I_\gamma = I_0 \cos\alpha$, при другом светораспределении кривые будут несколько смещены относительно изображенной кривой.

Пример 3.5. Люминесцентная лампа ЛБ мощностью 80 Вт напряжением 220 В, имеющая световой поток 5220 лм, расположена на высоте $h_р = 3{,}5$ м параллельно расчетной плоскости. Определить освещенность в точке A расчетной плоскости, отстоящей на 2 м от проекции конца линии на расчетную плоскость.

Определяем силу света с единицы длины лампы ($L = 1{,}5$ м) в плоскости, перпендикулярной оси лампы:

$$I_\gamma = \Phi_л / \pi^2 L = \frac{5220}{\pi^2 1{,}5} = 353 \text{ кд}.$$

Находим α, $\sin 2\alpha$ и $\cos\gamma$:

$$\alpha = \operatorname{arctg}\frac{\mathscr{L}}{l} = \operatorname{acrtg}\frac{1{,}5}{\sqrt{16{,}3}};$$

$$\alpha = 20°;\ \sin 2\alpha = 0{,}65;$$

$$\cos\gamma = h_р / l = 3{,}5/\sqrt{16{,}3} = 0{,}87.$$

Согласно уравнению (3.22) находим освещенность в расчетной точке:

$$E_A = [I_\gamma/(2h_р)](\alpha + \sin 2\alpha/2)\cos^2\gamma;$$

$$E_A = [353/(2 \cdot 3{,}5)]\,(0{,}36 + 0{,}65/2) \cdot 0{,}76 \approx 26{,}3 \text{ лк}.$$

Светильники с люминесцентными лампами, как правило, располагаются параллельными рядами вдоль наружной стены со светопроемами. Каждый ряд светильников представляет собой непрерывную (светильники вплотную примыкают один к другому) или прерывистую линию (светильники располагаются с некоторыми интервалами вдоль ряда) (рис. 3.21). Если в прерывистой линии отношение расстояния между торцами светильников к высоте их установки над расчетной поверхностью $\lambda/h_р$ не превышает 0,5, распределение освещенности по расчетной плоскости вдоль ряда светильников можно считать равномерным. Снижение освещенности на краях ряда можно компенсировать уплотнением светильников на конце прерывистого ряда или установкой дополнительных светильников на конце ряда при сплошных светящих линиях. Принятый способ размещения светильников с люминесцентными лампами дает возможность производить расчет освещенности не от каждого светильника в отдельности с последующим суммированием освещенности, а вести расчет одновременно от всех светильников, образующих светящую линию.

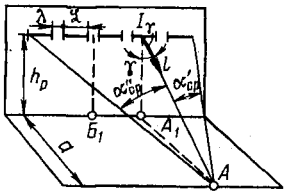


Рис. 3.21. К расчету освещенности от светящей линии с разрывами

При расчете освещенности от светящей линии наиболее широко распространен метод кривых равной относительной освещенности,

предложенный Г. М. Кнорринго м. Сущность этого метода заключается в следующем. Уравнение (3.22) при использовании светящей прерывистой линии можно записать в виде

$$E = \frac{I_\gamma \mathscr{L}}{2h_p(\mathscr{L}+\lambda)} \cos^2\gamma\left(\alpha_{ср} + \frac{\sin 2\alpha_{ср}}{2}\right),$$

где

$$\alpha_{ср} = \operatorname{arctg}\frac{n(\mathscr{L}+\lambda)}{l}.$$

Из рис. 3.21 имеем

$$\sin 2\alpha_{ср} = 2\sin\alpha_{ср}\cos\alpha_{ср} = \frac{2ln\mathscr{L}_B}{l^2+n^2\mathscr{L}_B^2},$$

где $\mathscr{L}_B = \mathscr{L} + \lambda$.

Введем понятие условной силы света линейного светящего элемента с источником света, световой поток которого равен 1000 лм:

$$(I_\gamma)_{1000} = \frac{I_\gamma \mathscr{L}}{\Phi_л}\cdot 1000, \tag{3.24}$$

где $\Phi_л$ — фактический световой поток лампы в светильнике.

Подставляя выражение $\alpha_{ср}$ и I_γ из (3.24), получаем

$$E = \frac{\Phi_л}{2h_p\mathscr{L}_B\cdot 1000}(I_\gamma)\cos^2\gamma\left[\frac{ln\mathscr{L}_B}{l^2+n^2\mathscr{L}_B^2} + \operatorname{arctg}\frac{n\mathscr{L}_B}{l}\right]. \tag{3.25}$$

Полученное выражение можно представить в виде

$$E = \frac{\Phi_л}{h_p\mathscr{L}_B 1000}\varepsilon,$$

где

$$\varepsilon = 0{,}5(I_\gamma)_{1000}\cos^2\gamma\left(\frac{ln\mathscr{L}_B}{l^2+n\mathscr{L}_B^2} + \operatorname{arctg}\frac{n\mathscr{L}_B}{l}\right) \tag{3.26}$$

(ε — относительная освещенность от светящей линии).

Заменяя в уравнении углы линейными размерами, а также уменьшая число переменных для получения удобных графиков, придав h_p значение 1 м и заменив координаты α и $\mathscr{L}_B$ относительными координатами $p' = \alpha/h_p$ и $\mathscr{L}' = n\mathscr{L}_B/h_p$, можно построить кривые равных значений относительной освещенности.

Для построения кривых равных значений относительной освещенности строят предварительно кривые относительной освещенности $\varepsilon = f(p')$ для $\mathscr{L}' = \text{const}$. Задаваясь определенными значениями ε, по относительной освещенности определяют p', соответствующее каждому значению $\mathscr{L}'$, и наносят их на сетку в прямоугольной системе координат.

Построить кривые относительной освещенности легче при использовании вспомогательного графика, приведенного на рис. 3.22. По оси абсцисс отложена относительная длина светящей линии $\mathscr{L}'$, а по оси ординат — функция $f(p', \mathscr{L}')$, определяемая согласно

уравнению (3.25) размером и положением светящей линии относительно расчетной точки

$$f(p',\ \mathscr{L}') = 0{,}5\left(\frac{l n \mathscr{L}_B}{l^2 + n\mathscr{L}_B^2} + \operatorname{arctg}\frac{n\mathscr{L}_B}{l}\right)\cos^2\gamma.$$

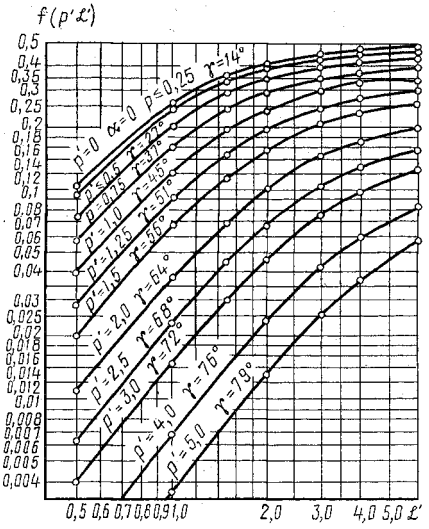


Рис. 3.22. Вспомогательный график для построения кривых равных значений относительной освещенности

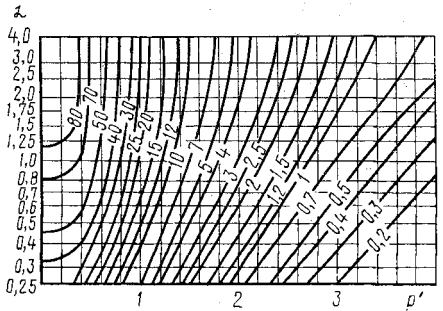


Рис. 3.23. Кривые равных значений относительной освещенности для светильников типа ЛСО02

Задаваясь $\mathscr{L}'$, из графика находим значения функции $f(p',\mathscr{L}')$ и углы γ, соответствующие разным значениям p'. Относительная освещенность для заданных p' и $\mathscr{L}'$ определяется как произведение функции $f(p',\mathscr{L}')$ на значение силы света светильника $(I_\gamma)_{1000}$, найденное по продольной кривой силы света для соответствующего угла γ. На рис. 3.23 представлены кривые равных значений относительной освещенности для подвесных светильников рассеянного света типа ЛСО02 с люминесцентными лампами. По оси ординат отложены относительные размеры светящей линии $\mathscr{L}' = n\mathscr{L}_B/h_p$, а по оси абсцисс — относительные расстояния от проекции оси линии $p' = a/h_p$.

Пример 3.6. Диффузные светильники ЛСО02 с двумя люминесцентными лампами ЛБ-40 мощностью по 40 Вт (световой поток лампы — 3000 лм) расположены в один ряд параллельно расчетной плоскости на высоте $h_p = 4$ м. Полная длина ряда 18 м, длина светильника $\mathscr{L} = 1{,}2$ м, интервалы между смежными светильниками 1 м. Определить освещенность в точке A (рис. 3.24), приняв коэффициент запаса $k = 1{,}5$.

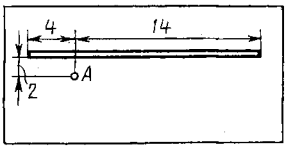


Рис. 3.24. К примеру расчета освещенности от светильников с люминесцентными лампами

Определим относительные параметры

$$p' = a/h_p = 2/4 = 0{,}5;\ \mathscr{L}_1' = (n\mathscr{L}_B)/h_p = 4/4 = 1,$$
$$L_2' = 14/4 = 3{,}5.$$

На рис. 3.23 по относительным параметрам находим: $\varepsilon_1 = 60$ лк, $\varepsilon_2 = 75$ лк.

Определяем фактическую освещенность

$$E_A = \frac{\Phi_л}{h_р \mathscr{Z}_B \cdot 1000 \cdot 1{,}5} \Sigma\varepsilon,$$

$$E_A = \frac{2 \cdot 3000\,(60 + 75)}{4\,(1{,}2 + 1) \cdot 1000 \cdot 1{,}5} \approx 41 \text{ лк}.$$

§ 3.5. Расчет освещенности от светящих поверхностей равномерной яркости

В практике проектирования осветительных установок часто приходится сталкиваться с расчетом освещенности и светового потока от светящих поверхностей конечных размеров, для которых нельзя применить закон квадратов расстояния вследствие значительной погрешности, возникающей при его использовании. Расчет освещенности от светящих поверхностей, располагаемых обычно в плоскости потолка, сводится к определению освещенности от светящей поверхности, параллельной расчетной плоскости (рис. 3.25). Светящая поверхность размерами $a \times b$ расположена на высоте $h_р$ над расчетной плоскостью. Выделим на поверхности бесконечно малый светящий элемент dS в точке O и определим освещенность, создаваемую этим элементом в точке A расчетной плоскости.

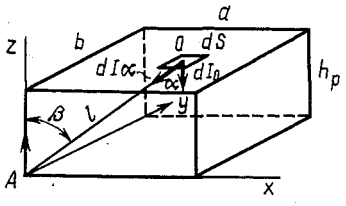


Рис. 3.25. К расчету освещенности от светящей поверхности

Согласно уравнению (3.1) освещенность, создаваемую в точке A, можно записать в виде

$$dE = dI_\alpha \cos\beta \,/\, l^2. \qquad (3.27)$$

При светораспределении светящего элемента, характеризуемого уравнением

$$I_\alpha = I_0 \cos^n \alpha, \qquad (3.28)$$

где n — показатель степени, определяющий форму кривой распределения силы света элемента светящей поверхности, выражение для элементарной освещенности может быть записано в виде

$$dE = dI_0 \cos^n \alpha \cos \beta / l^2 . \qquad (3.29)$$

Из рис. 3.25 можно определить

$$\cos \alpha = \frac{h_р}{\sqrt{x^2 + y^2 + h_р^2}}; \qquad l = \sqrt{x^2 + y^2 + h_р^2}.$$

Подставляя эти величины в уравнение (3.29), получаем

$$dE = dI_0 h_р^{n+1} \,/\, (x^2 + y^2 + h_р^2)^{n+3}. \qquad (3.30)$$

Силу света dI_0 элемента светящей поверхности ds можно определить через яркость по нормали к светящей поверхности L_0:

$$dI_0 = L_0 ds.$$

Подставляя dI_0 в выражение (3.30) и интегрируя по всей площади светящей поверхности, находим

$$E = L_0 h_p^{n+1} \int \frac{ds}{(\sqrt{x^2 + y^2 + h_p^2})^{n+3}}, \qquad (3.31)$$

где x и y — координаты элемента ds светящей поверхности. Учитывая, что площадь светящей поверхности $S = ab$, выражение для освещенности можно записать в виде

$$E = L_0 f(a/h_p,\ b/h_p). \qquad (3.32)$$

При равномерной одинаковой во всех направлениях L_0 и выражении телесного угла в стерадианах значение светимости M определяют по формуле $M = \pi L_0$ ($L_0 = M/\pi$). Следовательно, формула (3.32), если π внести под знак функции, а $f(a/h_p;\ b/h_p)$ обозначить через q, примет вид

$$E = Mq. \qquad (3.33)$$

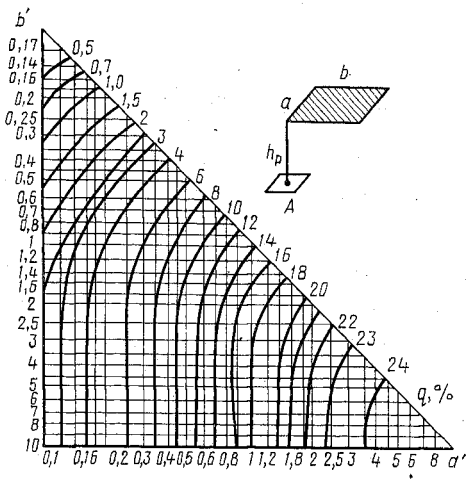


Рис. 3.26. График для расчета освещенности от горизонтального диффузного прямоугольника

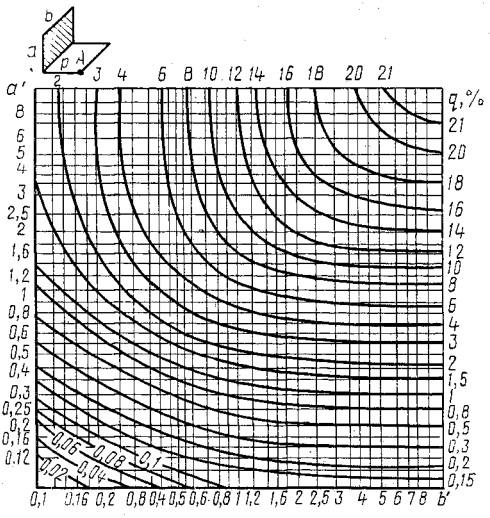


Рис. 3.27. График для расчета освещенности от вертикального диффузного прямоугольника

На основании решения уравнения (3.33) Е. С. Ратнером построены номограммы для определения освещенности на плоскости, параллельной и перпендикулярной светящей поверхности (рис. 3.26 и 3.27). По вертикальной и горизонтальной осям номограммы от-

ложены относительные размеры светящего прямоугольника $a' = a/h_р$ и $b' = b/h_р$. В этих осях построены кривые постоянных значений коэффициента освещенности в процентах.

По рис. 3.26 можно определить коэффициент освещенности от светящего прямоугольника, параллельного расчетной плоскости, а с помощью рис. 3.27 — коэффициент освещенности от светящих прямоугольников, перпендикулярных расчетной плоскости.

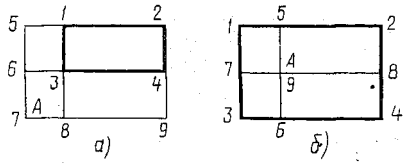


Рис. 3.28. Определение освещенности в точке A от прямоугольника 1234

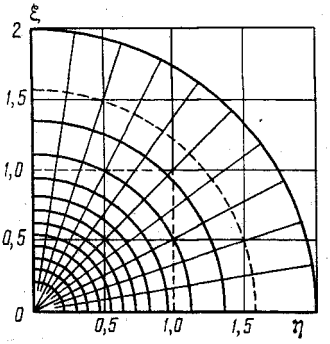


Рис. 3.29. Измерительная номограмма для расчета освещенности от светящих поверхностей при $n = 3$

Расчет освещенности с помощью приведенных номограмм допустим лишь в частном случае, когда проекция вершины светящего прямоугольника совпадает с расчетной точкой. Однако к этому частному случаю можно свести любой случай, встречающийся на практике. Любой светящий прямоугольник можно разбить на отдельные прямоугольники, вершина которых совпадает с точкой расчета A (рис. 3.28), в этом случае q при светящем прямоугольнике, расположенном, как показано на рис. 3.28, *а*, будет иметь значение

$$q_{1234} = q_{2579} - q_{1578} - q_{4679} + q_{3678},$$

а для рис. 3.28, *б*

$$q_{1234} = q_{1579} + q_{5298} + q_{7936} + q_{9864}.$$

Для определения q могут применяться также измерительные номограммы. На рис. 3.29 приводится одна из таких номограмм, рассчитанная для случая $n = 3$ [формула (3.28)], которая предназначена для определения q при расчете освещенности от светящих потолков и панелей, перекрытых экранирующими решетками с защитным углом около 45°. Рис. 3.29 представляет собой один из четырех квадратов номограммы, которая в полном объеме содержит 500 элементов (четырехугольных, у вершины — треугольных). Элементы, ограниченные с одной стороны штриховой дугой, считаются за 0,5. На горизонтальной освещаемой плоскости произвольно выбирают направление осей координат x, y с началом координат в расчетной точке. Контуры излучателя наносят на сетку номограммы по координатам их вершин $\xi = x/h$ и $\eta = y/h$.

Если в пределах этих контуров вмещается z элементов графика, то $q = z/500$. Измерительная номограмма пригодна для определения освещенности от поверхностей любой формы.

Пример 3.7. Прямоугольное помещение площадью 20×40 м^2 и высотой 4 м освещается светящей панелью, расположенной в плоскости потолка помещения (рис. 3.30). Размеры панели 8×16 м^2. Светимость панели 200 лм/м^2. Определить освещенность в центре помещения на уровне пола, принимая коэффициент запаса $k = 1{,}5$.

Разбиваем светящий прямоугольник на четыре части так, чтобы проекция одной из вершин каждой из них совпала с расчетной точкой. Стороны полученных прямоугольников находим из рис. 3.30: $a = 4$ м, $b = 8$ м.

Соответственно относительные размеры сторон: $a' = a/h_p = 4/4 = 1$; $b' = b/h_p = 8/4 = 2$.

По номограмме рис. 3.26 находим коэффициент освещенности для одного такого прямоугольника: $q = 16{,}5\%$.

Так как размеры всех четырех прямоугольников одинаковы, освещенность в расчетной точке A определят так:

$$E = 4q\frac{M}{k} = 4 \cdot 0{,}165\frac{200}{1{,}5} \approx 88 \text{ лк}.$$

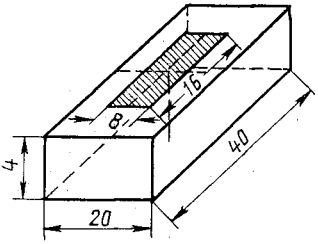


Рис. 3.30. К примеру расчета освещенности от светящей панели

§ 3.6. Расчет освещенности с учетом многократных отражений

В практике осветительной техники освещаемый объем помещения ограничивается ограждающими поверхностями, отражающими значительную часть светового потока, попадающего на них от светильников и источников света. В установках внутреннего освещения отражающими поверхностями являются пол, потолок, стены и оборудование, установленное в помещении. В тех случаях, когда поверхности, ограничивающие пространство, имеют высокие коэффициенты отражения, отраженная составляющая освещенности может иметь большое значение, и ее учет необходим. Отраженные потоки в отдельных случаях могут быть сравнимы с прямыми, падающими непосредственно от осветительных приборов, и недооценка их может привести к значительным погрешностям в расчетах.

Рассмотренные методы расчета дают возможность рассчитать только прямую составляющую освещенности.

Расчет осветительной установки с одновременным учетом прямой и отраженной составляющих наиболее прост, если распределение светового потока по расчетной плоскости близко к равномерному. Это условие обеспечивается в тех случаях, когда фактическое размещение светильников оптимально или близко к оптимальному. В этом случае можно говорить о средней освещенности расчетной плоскости и ввести понятие коэффициента использования

осветительной установки, под которым принято понимать отношение светового потока, падающего на расчетную плоскость, к световому потоку источников света:

$$U_{оу} = \Phi_р/(n\Phi_л)\ , \qquad (3.34)$$

где $\Phi_р$ — световой поток, падающий на расчетную плоскость; $\Phi_л$ — световой поток источника света; n — число источников света.

Коэффициент использования осветительной установки, характеризующий эффективность использования светового потока источников света, определяется светораспределением и размещением светильников, а также соотношением размеров освещаемого помещения и отражающими свойствами его поверхностей.

На рис. 3.31 приведены кривые зависимости коэффициента использования осветительной установки для светильника рассеянного света от индекса помещений i, определяемого соотношением размеров освещаемого помещения:

$$i = AB/(h_р(A + B)), \qquad (3.35)$$

где A и B — длина и ширина помещения; $h_р$ — расчетная высота.

Для помещений практически неограниченной длины можно считать индекс помещения $i = B/h$.

Значение i можно определить по таблице приложения 3. В каждой из трех верхних строк в зависимости от относительных размеров помещения ($A : B$) определяется значение $h_р$, ближайшее к заданному. По столбцу, соответствующему $h_р$, находят два значения площади, между которыми заключено заданное значение, и в крайнем правом столбце «индексы» находится значение индекса помещения i.

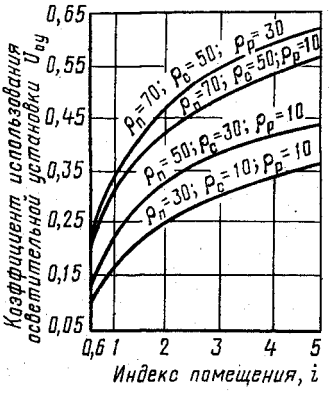


Рис. 3.31. График зависимости коэффициента использования осветительной установки от индекса помещения

Согласно рис. 3.31 при увеличении индекса помещения наблюдается рост коэффициента использования осветительной установки, что объясняется увеличением светового потока, непосредственно падающего от светильников на расчетную плоскость с уменьшением высоты подвеса при неизменной площади помещения.

Кривые графиков соответствуют различным сочетаниям коэффициентов отражения: потолка — $\varrho_п$, стен — $\varrho_с$, расчетной плоскости — $\varrho_р$ и наглядно иллюстрируют значительное влияние коэффициентов отражения ограждающих поверхностей на коэффициент использования осветительной установки. С увеличением коэффициентов отражения, ограничивающих помещение поверхностей, растет коэффициент использования осветительной установки, так

как при этом уменьшаются потери светового потока при многократных отражениях от этих поверхностей.

При известном коэффициенте использования осветительной установки среднюю освещенность можно определить из следующего уравнения:

$$E_{ср} = \Phi_р/(S_р k) = n\Phi_л U_{оу}/(S_р k), \qquad (3.36)$$

где $\Phi_р$ — световой поток, упавший на расчетную поверхность, $S_р$ — площадь расчетной поверхности; $\Phi_л$ — световой поток лампы; k — коэффициент запаса; n — число ламп; $U_{оу}$ — коэффициент использования осветительной установки (см. приложение 4).

Уравнение (3.36) широко используется и для решения обратной задачи — определения светового потока источников света, необходимого для создания заданной средней освещенности. Решая уравнение (3.36) относительно светового потока лампы, получим

$$\Phi_л = E_{ср} S_р k/(nU_{оу}). \qquad (3.37)$$

В связи с тем что нормирование искусственного освещения производится по минимальному значению освещенности, а не по среднему, а также учитывая, что в практике неизбежно наличие неравномерности распределения светового потока по расчетной плоскости, в уравнения (3.36) и (3.37) следует вводить поправочный коэффициент Z, больший единицы и представляющий собой отношение средней освещенности к минимальной: $Z = E_{ср}/E_{мин}$. Числовое значение этого коэффициента является функцией многих переменных и зависит от отношения расстояния между светильниками к расчетной высоте, с увеличением которого сверх рекомендуемых значений z резко возрастает.

При $\mathscr{L}/h_р$ ($\mathscr{L}$ — расстояние между светильниками; $h_р$ — высота расположения светильника над расчетной поверхностью), не превышающих рекомендуемых значений, можно принимать $z = 1{,}15$ для ламп накаливания и ДРЛ и $z = 1{,}1$ для люминесцентных ламп при расположении светильников в виде светящих линий. Для отраженного освещения можно считать $z = 1{,}0$; при расчете на среднюю освещенность z не учитывается.

С учетом коэффициента z световой поток источников света, необходимый для создания нормированной освещенности, определяется по формуле

$$\Phi_л = E_н S_р k z/(U_{оу} n), \qquad (3.38)$$

где $E_н$ — нормированное значение освещенности.

По рассчитанному значению светового потока и напряжению электрической сети выбирают ближайшую стандартную лампу, поток которой не должен отличаться от расчетного значения ($\Phi_л$) больше чем на ($-10 - +20\%$) (см. приложение 2). При невозможности выбора с таким приближением корректируется число светильников n.

При расчете люминесцентного освещения первоначально вместо числа светильников принимается число рядов светильников N, которое подставляют в формулу (3.38) вместо n. Тогда число светильников в ряду определится как $n = \Phi/\Phi_1$, где Φ_1 — поток лампы в каждом светильнике. В процессе проведения расчетов возможно получение различных ситуаций при сопоставлении суммарной длины n светильников с длиной помещения: суммарная длина светильников превышает длину помещения: необходимо использовать более мощные лампы (у которых выше световой поток на единицу длины) или увеличить число рядов, или компоновать ряд из сдвоенных, строенных и т. п. светильников; суммарная длина светильников равна длине помещения: устройство непрерывного ряда светильников; суммарная длина светильников меньше длины помещения: принимается ряд светильников с равномерно распределенным между светильниками разрывами λ. На основе технико-экономических сопоставлений между несколькими вариантами выбирают лучший. Рекомендуется, чтобы разрыв между светильниками λ не превышал 0,5 расчетной высоты (кроме многоламповых светильников в помещениях общественных и административных зданий).

При расчете осветительных установок со стандартными светильниками коэффициент использования осветительной установки определяют из таблиц приложения 4. Такие таблицы позволяют найти коэффициент использования для заданного типа светильника, коэффициентов отражения стен, потолка, пола и индекса помещения.

Пример 3.8. Освещение конторского помещения площадью $S = 18 \times 26$ м^2 и высотой $h_р = 3{,}5$ м запроектировано двухламповыми люминесцентными светильниками типа ЛСО02. Светильники размещены в виде трех сплошных светящих линий, расположенных на расстоянии 6 м одна от другой по 21 шт. в каждой линии. Коэффициенты отражения потолка, стен и расчетной поверхности соответственно равны: $\varrho_п = 0{,}7$; $\varrho_с = 0{,}5$; $\varrho_р = 0{,}3$. Рассчитать мощность источников света и суммарную установленную мощность, если нормированная освещенность $E_н = 300$ лк, а коэффициент запаса $k = 1{,}5$.

Найдем индекс помещения

$$i = \frac{A \cdot B}{h_р(A + B)} = \frac{18 \cdot 26}{3{,}5(18 + 26)} \approx 3 .$$

Пользуясь таблицей приложения 4, определяем коэффициент использования осветительной установки со светильниками ЛСО02 для найденного индекса помещения и заданных коэффициентов отражения: $U_{оу} = 0{,}53$.

При заданном размещении и выбранном типе светильников коэффициент $z = 1{,}1$. При этом световой поток каждого источника света, необходимый для обеспечения уровня нормируемой освещенности, определяется по формуле

$$\Phi_л = \frac{E_н S_р k z}{U_{оу} n} = \frac{300 \cdot 18 \cdot 26 \cdot 1{,}5 \cdot 1{,}1}{0{,}53 \cdot 126} \approx 3202 \text{ лм}.$$

Ближайшая по световому потоку (см. приложение 2, табл. 2) люминесцентная лампа типа ЛБ-40 имеет номинальный световой поток 3000 лм, что несколько меньше потребного. Определим фактическую освещенность

$$E_ф = 300 \frac{3000}{3202} \approx 281 \text{ лк}.$$

Определим общую установленную мощность и удельную мощность осветительной установки

$$P_{общ} = nP_{л} = 126 \cdot 40 = 5040 \text{ Вт}; \qquad w = \frac{P_{общ}}{S} = \frac{5040}{18 \cdot 26} = 10{,}77 \text{ Вт/м}^2.$$

Стремясь к дальнейшему упрощению расчета осветительных установок, Г. М. Кнорринг разработал способ расчета освещения по удельной мощности, получившей широкое применение для расчета общего равномерного освещения помещений без громоздкого затеняющего оборудования. Удельная мощность освещения определяется отношением суммарной мощности ламп к освещаемой площади и является одним из важнейших энергетических показателей осветительной установки. Этот способ основан на методе коэффициента использования и дает несколько приближенное, но очень простое решение задачи.

Преобразуем формулу (3.38), введя в нее дополнительные обозначения: p — мощность одной лампы, Вт; w — удельная мощность, Вт/м^2; η — световая отдача, лм/Вт:

$$\Phi = \frac{EkSz}{nU_{оу}} = \eta p; \quad w = \frac{pn}{S} = \frac{Ekz}{\eta U_{оу}}. \tag{3.39}$$

На основании формулы (3.39) можно заключить, что удельная мощность зависит от уровня освещенности, световой отдачи применяемых источников света и других факторов, т. е. от тех показателей, которые влияют и на коэффициент использования.

На всех стадиях проектирования разрешается взамен полного светотехнического расчета определять мощность и число ламп по таблицам удельной мощности в пределах тех данных, для которых составлены таблицы. Для ламп накаливания, например, приводятся таблицы удельной мощности для светильников разных типов в приложении 5. При этом к учитываемым параметрам относятся: тип светильника, освещенность, коэффициент запаса (при его значениях, отличающихся от указанных в таблицах, допускается пропорциональный пересчет значений удельной мощности), коэффициенты отражения поверхностей помещения (для светильников прямого света таблицы рассчитаны для $\varrho_п = 50\%$, $\varrho_с = 30\%$, $\varrho_р = 10\%$, и для них допускается при более светлых поверхностях уменьшать, а при более темных увеличивать значение удельной мощности на 10%), значения расчетной высоты, площадь помещения, коэффициент неравномерности освещенности z, напряжение ламп накаливания. Так, табличные значения удельной мощности для ламп накаливания соответствуют напряжению 220 В, а при напряжении источников света 127 В значения удельной мощности, взятые из таблиц, должны быть умножены на коэффициент 0,86.

Для светильников с люминесцентными лампами кроме указанных сохраненных факторов имеются следующие отличия (см. приложение 5): таблицы приводятся только для освещенности 100 лк, так как в данном случае имеется прямая пропорциональность между освещенностью и удельной мощностью. Кроме того, в этих таблицах указаны тип и мощность ламп с учетом их светоотдачи.

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

При составлении таблиц удельной мощности не учитывается форма помещений и индекс помещения i определяют по формуле

$$i = 0{,}48\sqrt{S}\ /h_p, \qquad (3.40)$$

имеющей достаточную точность при $A : B \leqslant 2{,}5$, где A — длина помещения; B — его ширина; S — площадь; h_p — расчетная высота.

При пользовании таблицами для удлиненных помещений следует определять значение удельной мощности для условной площади $2B^2$ и распространить это значение на всю площадь помещения.

Порядок пользования таблицами при лампах накаливания и лампах ДРЛ следующий: выбирают все параметры осветительной установки, включая число светильников; по соответствующей таблице выбирают удельную мощность w; определяют единичную мощность лампы: $p = wS/n$.

При люминесцентных лампах — выбирают все решения по осветительным установкам помещения, включая число рядов светильников N и тип лампы; по соответствующей таблице находят значения удельной мощности w для ламп данной мощности; для тех же ламп находят необходимое число светильников в ряду делением wS на мощность одного светильника, и осуществляется компоновка ряда.

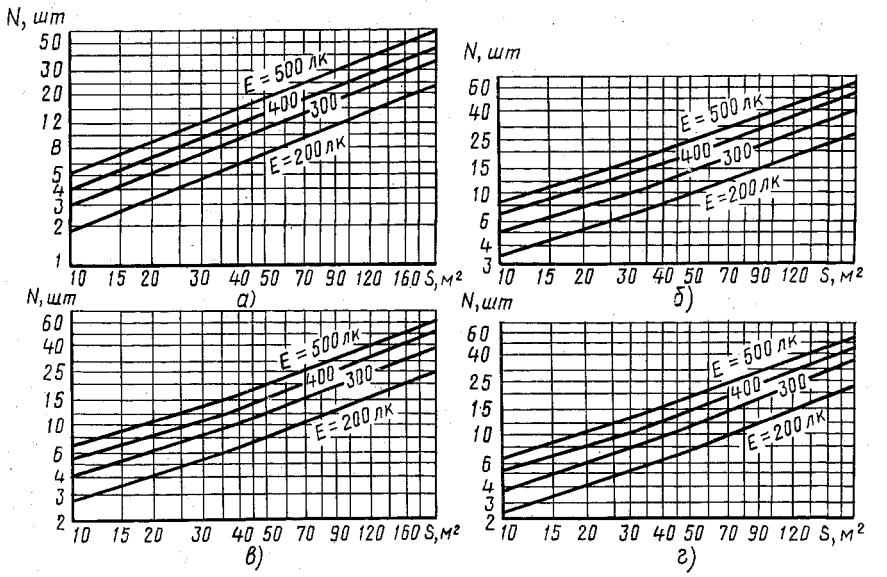


Рис. 3.32. Графики для определения числа светильников с лампами ЛБ:

а — ЛСО02/Р-01, 0,2,0,3; $h_p = 1{,}5 \div 2$ м; $\varrho_п = 70\%$; $\varrho_с = 50\%$; $\varrho_р = 10\%$; *б* — ЛСО02/Р-01; 0,2; 0,3; $h_p = 2 \div 3$ м $\varrho_п = 70\%$; $\varrho_с = 50\%$; $\varrho_р = 10\%$; *в* — УСП3, УСП5, УСП11, УСП18, УСП31, УСП35 (двухламповые), $h_p = 2 \div 3$ м; $\varrho_п = 70\%$; $\varrho_с = 50\%$; $\varrho_р = 10\%$; *г* — УСП3, УСП5, УСП11, УСП18, УСП31, УСП35 (двухламповые), $h_p = 3 \div 4$ м; $\varrho_п = 70\%$; $\varrho_с = 50\%$; $\varrho_р = 10\%$

Пример 3. 9. В помещении размером 12×18 м^2 норма освещенности 50 лк. Светильники УПМ-15 установлены на высоте 3,5 м над расчетной плоскостью. Коэффициент запаса 1,5. Напряжение сети 127 В. Определить мощность осветительной установки.

Пользуясь табл. 1 приложения 5, определяем значение удельной мощности для напряжения 220 В, площади 216 м^2 при высоте над расчетной поверхностью 3,5 м; $p_{\text{табл}} = 9{,}5$ Вт/м^2. Введем поправки на напряжение: $p_1 = 9{,}5 \cdot 0{,}86 = 8{,}17$ Вт/м^2 на заданный коэффициент запаса: $p_2 = 8{,}17 \cdot 1{,}5/1{,}3 = 9{,}43$ Вт/м^2. Определим мощность осветительной установки $P = p_2 S = 9{,}43 \cdot 12 \cdot 18 \approx 2037$ Вт. При мощности лампы 200 Вт число светильников: $n = 2037/200 \approx 10$ шт.

Графики Гурова и Прохорова, предназначенные для определения числа светильников с люминесцентными лампами как функции площади помещения при условии соблюдения всех других параметров установки, обеспечивают более точные результаты, чем таблицы удельной мощности, и очень просты в использовании. На рис. 3.32 даны графики для наиболее распространенных светильников.

§ 3.7. Выбор метода расчета

Все многообразие применяемых методов расчета освещения сводится к двум принципиально различным методам: точечному и методу светового потока, называемому методом коэффициента использования. Упрощенные приемы расчета (такие, как таблицы удельной мощности, графики Гурова и Прохорова) основаны на одном из двух указанных методов и самостоятельными не являются.

Усложнив точечный метод, можно найти среднюю освещенность поверхности, но в основном он предназначен для определения освещенности в определенных точках и, следовательно, наиболее пригоден для обеспечения минимальной освещенности, регламентируемой нормами для большой части освещаемых объектов. Этот же метод позволяет в принципе определить не только освещенность точки от прямого света излучателей, но и дополнительную освещенность, создаваемую отраженным светом, однако она учитывается грубо приближенно.

Метод коэффициента использования предназначен для определения средней освещенности, и при расчете минимальная освещенность оценивается лишь приближенно и без выявления точек, в которых она имеет место. Вообще средняя освещенность может быть рассчитана на как угодно расположенной поверхности, но наиболее употребительные формы этого метода предназначены для расчета только горизонтальной освещенности.

В теории точечного метода меньше допущений, чем в теории метода коэффициента использования, но сама сила света в определенных направлениях часто имеет большие случайные отклонения, поэтому нельзя с уверенностью признать точечный метод более точным, чем метод коэффициента использования. По простоте расчета методы являются равноценными.

При проектировании точечный метод расчета может быть рекомендован, когда: 1) отсутствует необходимость в учете отраженной составляющей освещенности; 2) не предъявляются требования к равномерности распределения освещенности по помещению; 3) определяется освещенность негоризонтальных поверхностей; 4) необходимо учесть возможные затенения.

Обратные условия определяют область применения метода коэффициента использования.

Применение метода коэффициента использования целесообразно во всех случаях, когда расчет ведется на среднюю освещенность: для расчета общего равномерного освещения вспомогательно-бытовых и административно-конторских помещений, для расчета общего равномерного освещения производственных помещений светильниками, не относящимися к классу прямого света.

Применение точечного метода целесообразно для расчета установок с повышенной неравномерностью освещения (локализованное освещение светильниками прямого света, наружное освещение, рассчитываемое на минимальную освещенность, аварийное освещение и т. п.), а также для расчета освещенности негоризонтальных поверхностей, при использовании светильников прямого света. Общее равномерное освещение производственных помещений, выполненное светильниками прямого света, может быть рассчитано любым методом. Все же в более ответственных случаях предпочтение отдается точечному методу, так как он позволяет проанализировать распределение освещенности по площади помещения. *При использовании светильников концентрированного светораспределения* необходимость использования точечного метода не вызывает сомнения. В этом случае даже незначительное изменение расположения светильников может привести к резкому уменьшению освещенности на отдельных участках, выявить которые можно только расчетом по точечному методу.

Есть случаи, в которых ни один из методов расчета не дает точных результатов. Например, расчет локализованного освещения или освещения негоризонтальных поверхностей в условиях помещений, освещаемых светильниками, не относящимися к классу прямого света. В этих случаях прямую составляющую освещенности определяют точечным методом, а дополнительную отраженную составляющую — методом коэффициента использования.

Необходимо обратить внимание на то, что упрощенные формы метода коэффициента использования (таблицы удельной мощности, графики Гурова и Прохорова) широко применяются в практике проектирования. Эти формы используют в тех же случаях, что и сам метод коэффициента использования, но упрощение достигается за счет некоторой утраты точности, поэтому таблицы и графики следует применять при тех параметрах рассчитываемой установки, которые в них указаны.

§ 3. 8. Пульсация излучения

Рассмотрим методы расчета качественных показателей осветительных установок. Глубину пульсации светового потока источников света определяют по формуле

$$k_{пи} = (\Phi_{max} - \Phi_{min})/(2\Phi_{ср}), \qquad (3.41)$$

где $k_{пи}$ — коэффициент пульсации светового потока источников света, %; Φ_{max}, Φ_{min} — максимальное и минимальное значения светового потока за период его колебания, лм. $\Phi_{ср}$ — среднее значение светового потока за этот же период.

Значения $k_{пи}$ для наиболее распространенных источников света при различных способах их включения приведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Типы ламп	Значения $k_{пи}$, %, для			
	одной лампы	двух ламп в схеме отстающего или опережающего тока	двух ламп разных фаз	трех ламп разных фаз
ЛБ и ЛТБ	25	10,5	10	2,2
ЛХБ	35	15	15	3,1
ЛДЦ	40	17	17	3,5
ЛД	55	23	23	5
ДРЛ	65	—	31	5
ДКсТ	130	—	65	5

Как видно из табл. 3.2, ограничение пульсации светового потока источников света достигается путем применения различных схем включения источников света.

Практически этими же средствами обеспечиваются требуемые нормы ограничения коэффициента пульсации освещенности на рабочих местах, определяемого по формуле

$$k_п = (E_{max} - E_{min})/E_{ср}, \qquad (3.42)$$

где $k_п$ — коэффициент пульсации освещенности, %; E_{max} и E_{min} — максимальное и минимальное значения освещенности за период ее колебания, лк; $E_{ср}$ — среднее значение освещенности за тот же период, лк.

Практически ограничение $k_п$ достигается: в двухламповых люминесцентных светильниках применением компенсированных, пускорегулирующих аппаратов, когда питание одной лампы в светильнике осуществляется отстающим током, а второй опережающим; поочередным присоединением соседних светильников в ряду или соседних рядов к разным фазам сети; установкой в одной точке двух или трех светильников (ДРЛ, МГЛ, НЛВД и т. д.), присое-

диненных к разным фазам сети; питанием различных ламп в многоламповых люминесцентных светильниках от разных фаз сети.

Г. М. Кнорringом указаны условия, при которых те или иные значения $k_п$ соблюдаются и специальной проверки не требуется (табл. 3.3 и 3.4).

Таблица 3.3*

Расположение светильников и схема включения ламп	Нормированные значения коэффициента пульсации, %			
	10	15	20	30
Лампы типа ДРЛ				
Совместная установка ламп на разные фазы:				
двух	—	—	—	+
трех	+	+	+	+
Люминесцентные лампы				
При любом расположении светильников: число ламп в светильнике, кратное трем, с равномерным распределением между фазами сети	+	+	+	+
Число ламп в светильнике, кратное двум, с включением половины ламп по схеме опережающего и половины — по схеме отстающего тока:				
лампы ЛБ и ЛТБ	+	+	+	+
» ЛХБ	—	+	+	+
» ЛДЦ	—	—	+	+
» ЛД	—	—	—	+
Любое число ламп в светильнике и любая схема включения:				
лампы ЛБ и ЛТБ	—	—	—	+
прочие лампы	—	—	—	—
При сплошных линиях светильников и высоте подвеса $h_р \geqslant 2{,}0$м				
трехфазные линии с поочередным включением светильников на разные фазы:				
любые лампы и схемы	+	+	+	+
то же, но двухфазные линии:				
лампы, ЛБ и ЛТБ	+	+	+	+
» ЛХБ	—	+	+	+
» ЛДЦ и ЛД	—	—	+	+
Двухфазные линии с поочередным включением светильников на разные фазы сети; число ламп в светильнике, кратное двум, с включением половины ламп по схеме опережающего и половины — по схеме отстающего тока;				
лампы всех типов	+	+	+	+

* Условия, при которых соблюдаются нормированные значения коэффициента пульсации (отмечены знаком «+»)

Для наиболее распространенных светильников с лампами типа ДРЛ в табл. 3.4 указаны для различных случаев расположения и расфазирования предельные отношения расстояния между светильниками $\mathscr{L}$ к расчетной высоте $h_р$, при которых соблюдаются

Таблица 3.4

Число рядов	Расположение и расфазирование светильников	$b/h_р$	Наибольшие значения $\mathscr{L}/h$, при которых обеспечивается $k_б$,%, не более			
			10	15	20	30
	Светильники с типовой кривой Д (СД2, УПД и т. д.)					
1	Одиночные светильники *А-В-С-А-В-С*	—	0,45	0,6	0,7	0,9
	Сдвоенные светильники *АВ-СА-ВС-АВ-СА-ВС*	—	0,8	1,1	1,3	1,8
2 и более	Одиночные светильники	0,3	0,7/0,9	1,0/1,1	1,2/1,4	1,8
	Первый ряд	0,6	0,6	0,9	1,1	1,6
	А-В-С-А-В-С	0,9	0,35/0,5	0,7	0,95	1,2/1,3
	Второй ряд	1,2	0,3/0,5	0,65	0,8	1,1
	В-С-А-В-С-А	1,8	0,2/0,45	0,6	0,75	1,0
	и т. д.					
	Сдвоенные светильники	0,3	0,8/0,4	1,2/1,4	1,8	1,8
	Первый ряд	0,6	0,8/0,4	1,2	1,8	1,8
	АВ-СА-ВС-АВ-СА-ВС	0,9	0,8/0,4	1,15	1,7/1,8	1,8
	Второй ряд	1,2	0,8/0,4	1,1	1,6/1,7	1,8
	ВС-АВ-СА-ВС-АВ-СА	1,8	0,8/0,4	1,1	1,4/1,6	1,8
	Светильники с типовой кривой Г (ГсР, С34 и т. д.)					
1	Одиночные светильники *А-В-С-А-В-С*	—	0,45	0,5	0,6	0,7
	Сдвоенные светильники *АВ-СА-ВС-АВ-СА-ВС*	—	0,55	0,75	0,95	1,2
2 и более	Одиночные светильники	0,3	0,55/0,75	0,7/0,9	0,9/1,0	1,2
	Первый ряд	0,45	0,5/0,65	0,65/0,75	0,8/0,9	1,2
	А-В-С-А-В-С	0,6	0,5	0,65	0,75	1,1
	Второй ряд	0,75	0,45	0,6	0,7	0,85
	В-С-А-В-С-А	0,9	0,4	0,5	0,65	0,8
	и т. д.	1,2	0,4	0,45	0,6	0,7
	Сдвоенные светильники	0,3	0,6/0,5	0,9/0,7	1,2/1,0	1,2
	Первый ряд	0,45	0,6/0,5	0,85/0,7	1,2/1,0	1,2
	АВ-СА-ВС-АВ-СА-ВС	0,6	0,6/0,5	0,85/0,7	1,2/1,0	1,2
	Второй ряд	0,9	0,6/0,5	0,8/0,7	1,1/1,0	1,2
	ВС-АВ-СА-ВС-АВ-СА	1,2	0,6/0,5	0,7	1,0	1,2
	и т. д.					

нормированные значения $k_п$. Через «b» в таблицах обозначено расстояние между рядами, если $\mathscr{L}/h_р$ указано в виде дроби, числитель относится к полям прямоугольной формы, знаменатель к шахматному расположению светильников. В случаях, не указанных в табл. 3.3 и 3.4, производится индивидуальная проверка $k_п$ под одним светильником крайнего ряда по табл. Ю. И. Свиридова.

В указанной точке определяется отдельно освещенность, создаваемая светильниками каждой фазы. Наибольшее значение принимается за 100%, остальные выражаются в долях этой величины. Для ламп типа ДРЛ $k_п$ определяется непосредственно по

табл. 3.4, для люминесцентных ламп табличное значение умножается на $k_{пи}$ для данного типа ламп.

В табл. 3.5 приведены значения коэффициента пульсации в установках с люминесцентными лампами при условном значении $k_{пи} = 100\%$ (освещенности указаны в процентах по отношению к фазе, лампы которой создают наибольшую освещенность).

В табл. 3.6 даны значения коэффициента пульсации в установках с лампами ДРЛ при значении $k_{пи} = 65\%$ (освещенности указаны в процентах по отношению к фазе, лампы которой создают наибольшую освещенность).

Таблица 3.5

Освещенность от ламп третьей фазы	Значение $k_п$ при освещенности от ламп второй фазы									
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
0	42,3	45,0	48,0	51,2	54,5	59,9	64,9	71,5	79,3	88,5
10	37,4	39,4	41,8	44,9	47,8	52,3	56,9	62,6	69,0	77,4
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	48,9		
40	23,4	25,9	27,9	30,2	32,6	35,4	39,2			
50	19,8	22,2	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	16,3							
90	10,4	12,3								
100	8,9									

Таблица 3.6

Освещенность от ламп третьей фазы	Значение $k_п$ при освещенности от ламп второй фазы									
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
0	31,0	31,2	31,4	32,1	33,9	36,7	40,0	44,2	48,8	56,8
10	25,8	25,9	26,3	27,1	28,7	31,2	34,2	38,2	43,3	49,5
20	22,5	21,7	22,0	22,7	24,3	26,5	29,4	32,9	37,6	
30	17,5	17,6	17,9	18,9	20,4	22,6	25,5	28,8		
40	14,0	14,0	14,5	15,8	17,5	19,8	22,3			
50	10,8	10,8	11,5	12,9	14,7	17,0				
60	8,6	8,7	9,3	10,3	12,2					
70	6,6	6,7	7,3	8,4						
80	5,5	5,6	6,1							
90	4,9	4,9								
100	4,7									

Пример 3.10. Помещение освещается двухламповыми светильниками с лампами ЛБ, включенными через пускорегулирующий аппарат (ПРА) типа 2УБИ ($k_{пи} = 25\%$). Определить коэффициент пульсации в расчетной точке, если лампы, включенные в различные фазы, создают соответственно освещенность 300, 120, 60 лк.

Отнеся освещенности к наибольшему значению, в данном случае 300 лк, получим: 100, 40 и 20%. По табл. 3.5 находим коэффициент 49,6%. Коэффициент пульсации освещенности: $k_п = 49,6 \cdot 0,25 \approx 12,4\%$.

§ 3.9. Показатель ослепленности

Показатель ослепленности промышленных осветительных установок P определяется по формуле

$$P = \frac{k}{L_{рп}} \left[\sum_{i=1}^{n} \left(\frac{I_{\gamma i} \cos \theta_{ii}}{l_i^2 \theta_i^2} \right)^{3/2} \right] \qquad (3.43)$$

где k — коэффициент, зависящий от яркости и цветности источника света; $I_{\gamma i}$ — сила света светильника i в направлении к наблюдателю, кд; θ_i — угол действия блеского источника i, град; l_i — расстояние блеского источника i от наблюдателя, м; n — число светильников, учитываемых при расчете; $L_{рп}$ — яркость рабочей поверхности, кд/м^2.

Показатель ослепленности осветительной установки зависит от: параметров осветительной установки — высоты подвеса светильников над рабочей поверхностью $h_р$ и относительного расстояния $\mathscr{L}/h_р$ ($\mathscr{L}$ — расстояние между светильниками), определяющих θ и l; параметров светильников: светораспределения, яркости (мощности), защитного угла и цветности излучения источника света; характеристик освещаемого помещения (длины и ширины, т. е. числа светильников, попадающих в поле зрения, коэффициента отражения рабочей поверхности, определяющего $L_{рп}$).

Методика расчета, разработанная Ц. И. Кроль и Е. И. Мансуровой, предназначена для определения основного параметра при оценке слепящего действия осветительных установок — показателя ослепленности.

На основе предложенной авторами таблицы классификации светильников по светотехническим параметрам (табл. 3.7), влияющим на создаваемую ими ослепленность, определяют номер группы светильников.

На основании номера группы светильников, высоты подвеса светильников над рабочей поверхностью ($h_р$) для разных разрядов работ по главе СНиП II-4—79 определяется максимально допустимое значение $\mathscr{L}/h_р$ для разных значений показателя ослепленности и для различных типов ламп.

В качестве примера для люминесцентных ламп типов ЛБ, ЛХБ, ЛТБ и ЛЕ в табл. 3.8 показаны максимально допустимые значения $\mathscr{L}/h_р$ для отдельных групп светильников из табл. 3.7. Подобные таблицы имеются и для светильников с лампами накаливания, ДРЛ и МГЛ.

Инженерные методы расчета осветительных установок, разработанные ВНИСИ, содержат аналогичные таблицы для светильников остальных групп табл. 3.7, а также люминесцентных ламп других типов.

Порядок пользования методом следующий.

1. По табл. 3.7 определяют номер группы светильника по типовой кривой силы света и величине защитного угла (в табли-

це как пример приведены типы выпускаемых светильников, относящихся к каждой группе).

Таблица 3.7

Номер группы	Тип кривой силы света по ГОСТ 13828-74	Защитный угол, град, не менее, в плоскости		Примеры светильников
		поперечной	продольной	
		А. Светильники с люминесцентными лампами		
1	К, Г	30	—	ПУ-25; ЛСП13(005—008)
2	Д	15	—	ЛД; ЛДО; ОД; ОДО; ПВЛМ-Д; ЛСПО02; (01—09); ЛСП06 (0,5; 013)
3	Д	15	15	ЛДР; ЛДОР; ОДР; ОДОР; ПВЛМ-ДОР; ПВЛМ-ДР; ЛСП02(10—18); ЛСП06 (07,15)
4	Д	30 (условный)	30	ШОД; ЛПР; ЛСО02
5	Д	90 (условный)	90 (условный)	ВЛВ; ВЛО; ПВЛ1; ПВЛП; УСП-35; ЛПВ (31,33); ЛПО02
6	Д	15 (условный)	15	ПВЛМ с лампами ЛБР и ЛХБР
7	Д	15 (условный)	15	ПВЛМ—Р с лампами ЛБР и ЛХБР
8	Л	30	30	ЛСП13(001—002); ПУ—23
		Б. Светильники с лампами накаливания, ДРЛ и ДРИ		
11	К	30	30	Гк; ГСП10/К
12	К	15	15	С35ДРЛ; РСП05/К; РСП13—003; РСП18—003
13	Г	30	30	Гс; ГсУ; НСП17; ГСП10/Г
14	Г	15	15	С34ДРЛ; РСП05/Г; РСП08/Г; РСП13-002; РСП18-002
15	Д	30	30	ППД2; УПД
16	Д	15	15	Астра 1, 11, 12; СД2ДРЛ; РСП08/Д; РСП05/Д; РСП13—001; РСП18—001
17	Л	30	30	С; СУ
18	Л	15	15	РСП08/Л
19	М (с молочным рассеивателем)	90 (условный)	90 (условный)	ПО—02; ПО—21; НСО—02
		В. Лампы — светильники		
21	К	15	15	ДРИЗ
22	К	—	—	ЗК
23	Г	—	—	ЗС
24	Д	—	—	ДРЛР

Таблица 3.8

Номер группы по табл. 3.7	$h_р$, м	Максимально допустимое значение $\ell/h_р$													
			$P = 20$		$P = 40$					$P = 60$					
		Разряд работ по СНиП II-4—79													
		Ia, IIa	Iб,в,г IIб,в,г		IIIa, IVa, Va			IIIб,в,г IVб,в,г Vб,в,г		VI, VIIIa					
		Мощность лампы, Вт													
		40	65 80	150	40	65 80	150	40	65 80	150	40	65 80	150	40	65 80	150
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	1,7	—	—	—	0,9	0,8	—	0,8	—	—	+	1,2	1,1	1,1	1,0	0,8
	2,4	—	—	—	+	1,1	1,0	1,1	—	—	+	+	+	+	+	1,2
	2,8	—	—	—	+	+	1,2	1,2	0,8	—	+	+	+	+	+	+
	3,4	—	—	—	+	+	+	+	1,2	—	+	+	+	+	+	+
	4	—	—	—	+	+	+	+	+	—	+	+	+	+	+	+
	4,8	0,9	—	—	+	+	+	+	+	1,0	+	+	+	+	+	+
	5,2	+	—	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	5,8	+	—	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	6,4	+	—	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	7,6	+	0,9	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	8,8	+	1,2	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	10,0	+	+	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	12,0	+	+	1,1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	2,4	—	—	—	1,1	0,8	—	—	—	—	+	+	1,3	1,6	1,4	—
	2,8	—	—	—	1,8	1,3	—	—	—	—	+	+	1,5	+	1,7	0,9
	3,4	—	—	—	+	1,8	—	—	—	—	+	+	+	+	+	0,9
	4,0	—	—	—	+	+	—	—	—	—	+	+	+	+	+	0,9

Продолжение табл. 3.8

Номер группы по табл. 3.7	$h_р$, м	Максимально допустимое значение $\mathscr{L}/h_р$													
		$P = 20$					$P = 40$					$P = 60$			
		Разряд работ по СНиП П-4—79													
		Ia, IIa		Iб,в,г IIб,в,г			IIIa, IVa, Va			IIIб,в,г IVб,в,г Vб,в,г		VI, VIIIa			
		Мощность лампы, Вт													
		40	65 80	150	40	65 80	150	40	65 80	150	40	65 80	150	40	65 80	150
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
2	4,8	—	—	—	+	+	0,7	0,7	—	—	+	+	+	+	+	0,9
	5,2	—	—	—	+	+	+	0,8	—	—	+	+	+	+	+	1,1
	5,8	—	—	—	+	+	+	1,0	—	—	+	+	+	+	+	1,3
	6,4	—	—	—	+	+	+	1,2	0,7	—	+	+	+	+	+	+
	7,6	—	—	—	+	+	+	+	0,8	—	+	+	+	+	+	+
	8,8	—	—	—	+	+	+	+	1,1	—	+	+	+	+	+	+
	10,0	—	—	—	+	+	+	+	1,3	—	+	+	+	+	+	+
	12,0	—	—	—	+	+	+	+	+	—	+	+	+	+	+	+
3	1,7	—	—	—	1,0	0,8	—	—	—	—	+	+	+	1,4	1,2	—
	2,4	—	—	—	1,4	1,3	—	1,0	0,7	—	+	+	+	1,7	1,4	1,1
	2,8	—	—	—	1,7	1,6	—	1,3	0,9	—	+	+	+	+	1,7	1,3
	3,4	—	—	—	+	+	+	1,5	1,1	—	+	+	+	+	+	1,5
	4,0	—	—	—	+	+	+	+	1,4	—	+	+	+	+	+	1,6
	4,8	—	—	—	+	+	+	+	+	—	+	+	+	+	+	+

Примечание. Знак «—» означает, что применение светильников данной группы не допускается, а знак «+», что применение светильников данной группы допускается при любых значениях $\mathscr{L}/h$.

2. По табл. 3.8 для данной группы светильников определяют максимально допустимые по слепящему действию $\mathscr{L}/h_р$ с учетом разряда и подразряда зрительной работы (по главе СНиП II-4—79) и высоты установки светильников над рабочей поверхностью. При этом учитывается, что: а) значения $\mathscr{L}/h_р$ приведены для квадратных полей расположения световых точек, при прямоугольных или ромбических полях $\mathscr{L} = \sqrt{\mathscr{L}_x \cdot \mathscr{L}_y}$, где $\mathscr{L}_x$ и $\mathscr{L}_y$ — расстояния между светильниками соответственно по ширине и длине помещения; б) значения $\mathscr{L}/h_р$ в табл. 3.8 указаны для нормируемых показателей ослепленности P, равных 20, 40 и 60. При $P = 80$ все светильники при любых $\mathscr{L}/h_р$ удовлетворяют требованиям норм по ограничению ослепленности, если $h_р \geqslant 2{,}5$ м; в) светильники с люминесцентными лампами групп 4 и 8 при расположении вдоль линии зрения удовлетворяют требованиям норм по ограничению ослепленности при любых значениях P, $h_р$ и $\mathscr{L}/h_р$; г) при необходимости установки светильников на высоте не указанной в табл. 3.8, допустимое значение $\mathscr{L}/h_р$ можно найти линейной интерполяцией.

§ 3. 10. Инженерные методы расчета показателя дискомфорта

Проверка осветительных установок общественных зданий на соответствие регламентируемым значениям показателя дискомфорта производится по специально разработанной таблице, часть которой в качестве примера приводится для отдельных типов светильников в табл. 3.9 и 3.10. В них значение показателя дискомфорта дается в зависимости от светораспределения светильника (рис. 3.33) и распределения светового потока светильника в верхнюю и нижнюю полусферы, а также его геометрических размеров.

Определение соответствия осветительной установки требованиям по показателю дискомфорта осуществляется в такой последовательности. По типу светораспределения светильника (рис. 3.33) устанавливается их группа. По табл. 3.9 согласно доли светового потока, падающего в нижнюю полусферу, определяют подгруппу светильника. При этом поправочный коэффициент $k_м$ находят по формуле

$$k_м = 0{,}5\sqrt{\Phi_{\smile р}/\sigma}\,, \qquad (3.44)$$

где $\Phi_{\smile р}$ — реальный световой поток светильника в нижнюю полусферу, тыс. лм; σ — площадь выходного отверстия светильника, м^2 (подсчитывается по действительным размерам светильника).

Из рис. 3.34 по площади и высоте помещения определяют индекс помещения — i.

По табл. 3.10 согласно группе и подгруппе, коэффициентам отражения стен ($\varrho_с$) и пола ($\varrho_п$) находят значение индекса помещения i_1 (табличное значение), при котором обеспечивается регламентируемое максимальное значение показателя дискомфорта M.

Таблица 3.9

$\Phi_{\text{э}}/\Phi_{\text{св}}$	$K_{\text{м}}$	Подгруппа	Группы светильников и светораспределение			
			I $I_\alpha = I_0 \cos\alpha$	II $I_\alpha = I_0 \cos^{1,43}\alpha$	III $I_\alpha = I_0 \cos^2\alpha$	IV $I_\alpha = I_0 \cos^3\alpha$
	1,1	а	—	—	Л201Б420-01	—
	1,2	б	Л201Б420-03 Л201Б420-18; Л201Б420-24	Л201Г220-22 Л201Б420-22 ЛП013-2×40/П-01 ЛПО02-4×20/П-01; УСП-35-2×20	—	
0,76—1,00	1,3	в	Л201Б420-04; Л201Б420-05; Л201Б440-22; Л201Г220-24	Л201Б420-02	Л201Б440-01, УСП-35-4×20	
1,7—1,8	1,9	з	Л201Б465-03М ЛПО02-2×40/П-02	Л201Б465-02М	—	—
	2,4	и	—	—	—	СВП-1×200
	2,9	к	—	—	—	НВ-1-1×100
	3,3	л	—	—	—	СВП-1×100
	3,6	м	—	—	—	СВП-1×500
0,51—0,75	1,2	н			ШОД-2×40; ШОД-2×80 ЛСО02-2×40/Р-01 ЛСО02-2×40/Р-02 ЛСО02-2×65/Р-01 ЛСО02-2×65/Р-02 ЛСО02-4×40/Р-02 ЛСО04-2×40-003 ЛСО04-2×40-004 ЛСО04-2×65-003 ЛСО04-2×65-004 ЛСО04-4×40-003 ЛСО04-4×40-004	— —
	1,3	о	—	—	ЛСО02-2×40-Р/03 ЛСО04-2×40-002	—

Продолжение табл. 3.9

$\Phi_{\text{л}}/\Phi_{\text{св}}$	$K_{\text{м}}$	Подгруппа	Группы светильников и светораспределение			
			I $I_\alpha = I_0 \cos \alpha$	II $I_\alpha = I_0 \cos^{1,43} \alpha$	III $I_\alpha = I_0 \cos^2 \alpha$	IV $I_\alpha = I_0 \cos^3 \alpha$
	1,4	п	—	—	ЛСО02-2×65/Р-03 ЛСО04-2×65-002 ЛСО04-2×65-005	—
0,5 и менее	0,9—11	р	ПКР-300, СК-300	—	—	—

Таблица 3.10

Группа и подгруппа светильников	Максимально допустимые значения i_τ										
	15		25				40				60
$\varrho_{\text{с}}$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3
$\varrho_{\text{т}}$	0,3	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1	0,1
$I_{\text{б}}$	—	—	2,2	1,5	1,1	1,0	+	+	4,2	2,4	+
$I_{\text{в}}$	—	—	1,5	1,3	1,0	—	+	+	2,6	2,1	+
$I_{\text{г}}$	—	—	1,3	1,2	—	—	+	4,4	2,2	1,4	+
$I_{\text{д}}$	—	—	1,2	1,1	—	—	+	3,1	1,4	1,3	+
$I_{\text{е}}$	—	—	1,2	1,1	—	—	4,2	2,5	1,3	1,2	3,8
$I_{\text{ж}}$	—	—	1,1	1,0	—	—	2,6	2,2	1,2	1,1	2,5
$I_{\text{з}}$	—	—	1,1	1,0	—	—	1,9	1,5	1,2	1,1	2,2
$I_{\text{м}}$	1,6	1,4	+	+	+	+	+	+	+	+	+
$I_{\text{р}}$	1,4	1,1	+	+	+	+	+	+	+	+	+
$II_{\text{б}}$	1,0	—	+	2,4	1,2	1,1	+	+	+	+	+
$II_{\text{в}}$	—	—	2,7	2,0	1,1	1,0	+	+	+	+	+
$II_{\text{г}}$	—	—	2,1	1,4	1,0	—	+	+	+	2,4	+
$II_{\text{д}}$	—	—	1,4	1,2	—	—	+	+	+	1,5	+

Продолжение табл. 3.10

Группа и подгруппа светильников	Максимально допустимые значения $i_т$										
	15		25				40				60
$II_е$	—	—	1,2	1,0	—	—	+	+	2,1	1,3	+
$II_ж$	—	—	1,1	1,0	—	—	+	3,5	1,4	1,2	+
$II_з$	—	—	1,1	1,0	—	—	+	2,3	1,2	1,1	4,0
$III_а$	—	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+
$III_в$	—	—	+	+	+	1,1	+	+	+	+	+
$III_г$	—	—	+	+	1,1	—	+	+	+	+	+
$III_е$	—	—	1,2	1,1	—	—	+	+	2,3	1,4	+
$III_ж$	—	—	+	1,1	—	—	+	+	+	+	+
$III_и$	4,5	1,2	+	+	+	+	+	+	+	+	+
$III_к$	1,2	1,0	4,0	2,4	1,3	1,1	+	+	+	3,9	+
$III_л$	1,0	—	2,4	1,6	1,2	1,1	+	+	+	2,4	+
$IV_и$	—	—	+	—	—	—	+	+	+	—	+
$IV_к$	—	—	—	—	—	—	2,0	1,1	—	—	1,3
$IV_л$	—	—	—	—	—	—	+	+	+	—	+
$IV_м$	—	—	—	—	—	—	+	—	—	—	—

Оценка соответствия рассматриваемой осветительной установки требованиям по ограничению слепящего действия по дискомфорту производится сравнением $i_т$ и i: при $i < i_т$ осветительная установка соответствует требованиям по дискомфорту; $i > i_т$ — установка не соответствует этим требованиям.

Приведенная табл. 3.10 составлена для помещений с коэффициентом отражения потолка 0,5—0,7. Нормируемое значение показателя дискомфорта $M = 90$ обеспечивается при условиях, для которых составлена таблица. Нормируемое значение $M = 60$ обеспечивается при всех сочетаниях $\varrho_с$ и $\varrho_п$, кроме $\varrho_с = 0{,}3$ и $\varrho_п = 0{,}1$. Нормируемые значения $M = 15$ не обеспечиваются при сочетаниях $\varrho_с$ и $\varrho_п$, равных 0,3; 0,1 (кроме подгруппы светильников 1 м, для которых $i_т = 1{,}1$).

Пример 3.11. Для освещения конструкторского бюро площадью 6 × 18 м, высотой 3 м коэффициенты отражения стен, потолка и пола были равны 0,5; 0,7 и 0,1, выбраны люминесцентные светильники типов Л201Б465-03М и ЛСО02×65/Р-01. Требуется оценить возможность использования указанных светильников для данной осветительной установки, исходя из требований к ограничению слепящего действия по дискомфорту. Регламентируемое значение $M = 40$.

По табл. 3.9 определяем группу и подгруппу светильников: $I_з$ и $III_д$ соответственно, по табл. 3.10 — максимально допустимые значения индекса помещения: $i_т = 1{,}5$ для светильников типа Л201Б465-03М, для светильников ЛСО02-2×65/Р-01, значение M не превышает регламентируемого при любых размерах помещения.

По рис. 3.34 определяем реальный индекс помещений $i = 2{,}05$. Так как $i > i_т$ светильники типа Л201Б465-03М не обеспечивают регламентируемого значения M в данной осветительной установке.

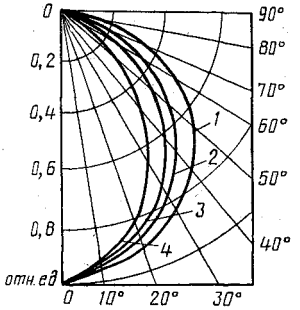


Рис. 3.33. Типовые кривые силы света светильников I_α: 1—$I_\alpha \cos\alpha$; 2—$I_\alpha \cos^{1,43}\alpha$; 3—$I_\alpha \cos^2\alpha$; 4—$I_\alpha \cos^3\alpha$

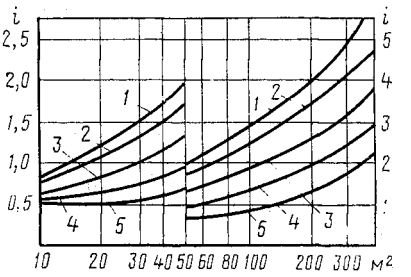


Рис. 3.34. Зависимость индекса помещения i от его площади при различной расчетной высоте $h_р$, м: *1*—1,8; *2*—2,1; *3*—2,7; *4*—3,6; *5*—4,5

§ 3.11. Цилиндрическая освещенность

По определению, *цилиндрическая освещенность* есть средняя освещенность боковой поверхности вертикального цилиндра, размеры которого стремятся к нулю.

Цилиндрическая освещенность от отдельных светильников легко определяется делением вертикальной освещенности в плоскости, перпендикулярной проекции луча, на π.

В инженерных методах расчета для определения ее значения принимаются следующие допущения: ограждающие поверхности помещения (пол, потолок, стены) принимаются диффузными, равнояркими по всей поверхности; действующие светильники заменяются равнояркой поверхностью, каждый элемент которой имеет светораспределение, соответствующее светораспределению светильника; светораспределение светильника принимается соответствующим формуле

$$I_\alpha = I_0 \cos^m \alpha, \qquad (3.45)$$

где I_α — сила света в направлении вертикали; I_α — сила света под углом α к вертикали.

Значение

$$m = 2\pi I_0/\Phi_{\smile} - 1 \qquad (3.46)$$

где $\Phi_{\smile}$ — поток светильника в нижнюю полусферу, равный для светильников прямого света 1 000(·) к. п. д. светильника. Для расчетов М. М. Епанешниковым предложены графики значений m, равных 1; 1,4; 2; 3, в которых приводятся отношения горизонтальной освещенности к цилиндрической в зависимости от общепринятого индекса помещения и коэффициентов отражения стен (ϱ_c) и расчетной поверхности (ϱ_p) (рис. 3.35).

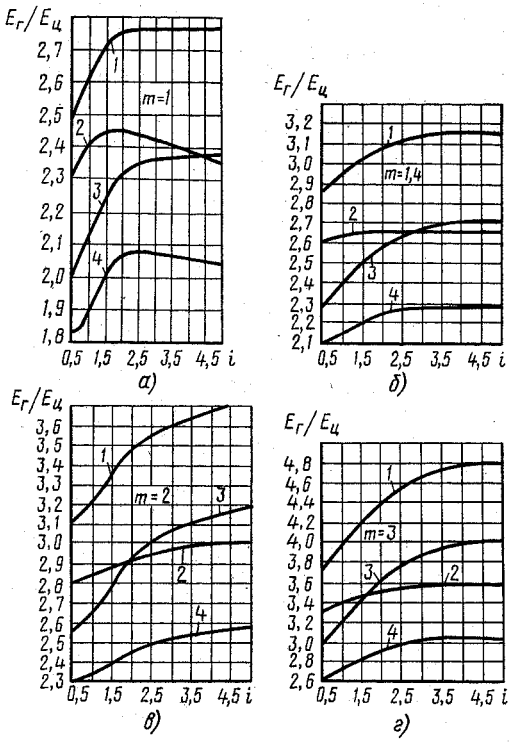


Рис. 3.35. Графики для расчета цилиндрической освещенности:
а — для $m = 1{,}0$; *б* — для $m = 1{,}4$; *в* — для $m = 2$; *г* — для $m = 3$

На всех графиках кривая *1* относится к случаю $\varrho_c = 0{,}3$, $\varrho_p = 0{,}1$; *2* — $\varrho_c = 0{,}3$ $\varrho_p = 0{,}3$; *3* — $\varrho_c = 0{,}5$, $\varrho_p = 0{,}1$; *4* — $\varrho_c = 0{,}5$, $\varrho_p = 0{,}3$.

Инженерные методы расчета справедливы при световых потоках в верхнюю полусферу менее 15%, в других случаях применение изложенного метода может привести к значительным погрешностям.

Пример 3.12. В помещении фойе кинотеатра размером 32×20 м^2, высотой 3,8 м на потолке установлены люминесцентные светильники прямого света, имеющие к.п.д. 0,7 и силу света $I = 270$ кд.

Коэффициенты отражения ограждающих поверхностей стен и пола равны: $\varrho_c = 50\%$, $\varrho_п = 30\%$.

На какую горизонтальную освещенность должно быть рассчитано освещение помещения, чтобы получить цилиндрическую освещенность $E_ц = 150$ лк?

Для данного светильника

$$m = 2\pi I_0/\Phi_{\smile} - 1 = (6{,}28 \cdot 270)/700 - 1 \approx 1{,}4.$$

Индекс помещения

$$i = \frac{640}{3{,}8(32 + 20)} = 3{,}2.$$

По рис. 3.35,*б* находим $E_г : E_ц = 2{,}18$, откуда $E_г = 2{,}18 \cdot 150 = 327$ лк. Коэффициент запаса учтен при составлении графиков.

ГЛАВА 4

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

§ 4.1. Общие положения

Расчет электрических осветительных сетей заключается в определении сечений проводов и кабелей, при которых рабочий ток линий не создает перегрева проводов, обеспечиваются требуемые уровни напряжения у ламп и достаточная механическая прочность проводов.

Расчет сети основывается на определении нагрузок и тока на отдельных участках, тока аппарата защиты (автоматов и предохранителей); разработке предложений по повышению коэффициента мощности в сетях газоразрядных ламп высокого давления, а также стабилизации напряжения в осветительных сетях.

Сечение проводов определяют на основании: 1) минимально допустимого напряжения на источниках света (расчет по потере напряжения); 2) минимального расхода проводникового материала (расчет на минимум проводникового материала); 3) тока нагрузки согласно допустимой температуре нагрева проводов (расчет по току нагрузки); 4) механической прочности проводов и кабелей (выбор сечения проводов по механической прочности).

Из полученных сечений проводов по перечисленным показателям выбирают наибольшее. Предварительно до расчета сечения проводов по току нагрузки и потере напряжения необходимо рассчитать установленную мощность и расчетную нагрузку по отдельным групповым линиям, щиткам и линиям питающей сети.

Установленную мощность освещения $P_у$ определяют как сумму мощностей всех ламп, питаемых соответствующим участком сети, а для светильников с газоразрядными лампами к мощности ламп добавляют потери в ПРА: для люминесцентных ламп при стартерных схемах включения — 20%, при бесстартерных ПРА — 30%, для ламп типа ДРЛ — 10% от мощности ламп. При расчете групповых линий учитывается одновременная нагрузка на все светильники, т. е. расчетная нагрузка $P_р$, равная установленной мощности. Для определения расчетной нагрузки питающей сети вводится коэффициент спроса $k_с$, равный отношению расчетной нагрузки к установленной мощности: $P_р = P_у k_с$.

При отсутствии данных, основанных на специальных обследованиях, коэффициент спроса $k_с$ принимается равным: 1,0 — для небольших производственных и общественных зданий, торговых помещений и линий наружного освещения, для линий, питающих отдельные групповые щитки независимо от их нагрузки и назначения освещаемого помещения; 0,95 — для производственных зданий, состоящих из отдельных крупных пролетов; 0,85 — для производственных зданий, состоящих из многих отдельных помещений; 0,8 — для административно-бытовых, инженерно-лабораторных и других корпусов; 0,6 — для складских зданий, состоящих

из многих отдельных помещений. Расчетные нагрузки для питающих линий жилых домов определяют, исходя из удельной нагрузки на одну квартиру и числа квартир, питаемых одной линией.

§ 4.2. Расчет сетей по потере напряжения

Напряжение, подводимое к лампе, значительно влияет на ее световой поток: уменьшение напряжения вызывает снижение светового потока. Поэтому в Правилах устройства электроустановок (ПУЭ) регламентируется допустимое напряжение на лампах. В электрических осветительных сетях рабочего освещения производственных и общественных зданий, а также в сетях, питающих прожекторные установки наружного освещения, на наиболее удаленных лампах должно гарантироваться напряжение не ниже 97,5% от номинального. В сетях наружного освещения, в сетях жилых зданий, аварийного освещения допускается снижение напряжения на наиболее удаленных лампах до 95%. Наибольшее напряжение на лампах не должно превышать 105% от их номинального напряжения. В сетях пониженного напряжения (12 и 42 В), начиная от выводов обмотки питающего трансформатора, допускается увеличение потерь напряжения до 10%.

Полные располагаемые потери напряжения определяются внутренними потерями в трансформаторе и потерями в электрической сети. Поэтому расчетные потери напряжения в сети от щита низшего напряжения трансформаторной подстанции до наиболее удаленной лампы — $\Delta U_с$ находят по формуле

$$\Delta U_с = \Delta U - \alpha \Delta U_т, \tag{4.1}$$

где ΔU — полная располагаемая потеря напряжения на стороне низшего напряжения трансформаторной подстанции, %, определяемая по формуле

$$\Delta U = \frac{U_х - U_л}{U_{ном}} 100, \tag{4.2}$$

где $U_х$ — напряжение холостого хода трансформатора; $U_л$ — допустимое напряжение на наиболее удаленной лампе; $U_{ном}$ — номинальное напряжение лампы; α — коэффициент, определяемый отношением напряжения холостого хода трансформатора к номинальному напряжению сети; $\Delta U_т$ — потери напряжения внутри трансформатора,

$$\Delta U_т = \beta (U_{ат} \cos\varphi + U_{рт} \sin\varphi), \tag{4.3}$$

где $U_{ат}$ — активная составляющая напряжения короткого замыкания, %; $U_{рт}$ — реактивная составляющая напряжения короткого замыкания, %; β — коэффициент загрузки трансформатора — отношение фактической нагрузки к номинальной мощности трансформатора; $\cos\varphi$ — коэффициент мощности на зажимах вторичной обмотки трансформатора.

Значения $U_{ат}$ и $U_{рт}$ определяются следующими выражениями:

$$U_{ат} = \frac{P_к}{P_{ном}} \cdot 100, \tag{4.4}$$

$$U_{рт} = \sqrt{U_к^2 - U_{ат}^2}, \tag{4.5}$$

где $P_к$ — потери короткого замыкания при номинальной нагрузке (потери в обмотках трансформатора), кВт; $P_{ном}$ — номинальная мощность трансформатора, кВ · А; $U_к$ — напряжение короткого замыкания, %.

Значения $P_к$ и $U_к$ приведены в каталогах на трансформаторы.

При переменном токе сопротивление проводов больше их сопротивления при постоянном токе, что объясняется наличием поверхностного эффекта и эффекта близости. Влияние этих двух факторов на сопротивление проводов в осветительных сетях ничтожно, что позволяет при расчетах осветительных сетей принимать активное сопротивление проводов равным их сопротивлению при постоянном токе.

Для осветительных сетей с высоким коэффициентом мощности, прокладываемых в помещениях, а также кабельных сетей влияние индуктивного сопротивления линии на потерю напряжения весьма мало. Поэтому индуктивное сопротивление не учитывается при расчете сетей, прокладываемых в помещениях, а также наружных кабельных сетей.

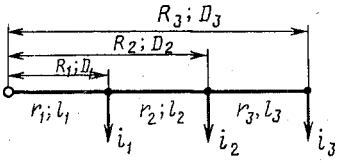


Рис.4.1. Схема двухпроводной сети переменного тока

Рассмотрим однородную двухпроводную сеть переменного тока (рис. 4.1)

Если напряжение в начале и конце сети обозначить через U_1 и U_2 и принять одинаковым коэффициент мощности ($\cos\varphi$), то потеря напряжения в обоих проводах рассматриваемых линий будет равна

$$\Delta U = U_1 - U_2 = 2(I_1 r_1 + I_2 r_2 + I_3 r_3)\cos\varphi, \tag{4.6}$$

где I_1, I_2, I_3 — токи, протекающие по участкам, А; r_1, r_2, r_3 — сопротивления отдельных участков, Ом; l_1, l_2, l_3 — длины отдельных участков, м.

Для линий, имеющих n нагрузок, формулу (4.6) можно переписать в виде

$$\Delta U = 2\cos\varphi \sum_1^n Ir. \tag{4.7}$$

На основании схемы, изображенной на рис. 4.1, можно составить следующие соотношения:

$$I_1 = i_1 + i_2 + i_3; \quad I_2 = i_2 + i_3; \quad I_3 = i_3;$$

$$R_1 = r_1; \quad R_2 = r_1 + r_2; \quad R_3 = r_1 + r_2 + r_3.$$

Заменяя токи, протекающие через отдельные участки сети, через нагрузочные токи и сопротивления участков — через сопротивления отрезков линии от источника питания до места приложения соответствующей нагрузки, получим

$$\Delta U_{\phi} = 2 \cos \varphi \, \Sigma iR. \tag{4.8}$$

Для линии, однородной по всей длине,

$$R = \frac{\varrho D}{S \cdot 10^6}, \tag{4.9}$$

$$R = \frac{D}{\gamma S \cdot 10^6}, \tag{4.10}$$

где D — длина питающей линии, м; R — сопротивление линии, Ом; ϱ — удельное сопротивление проводника, Ом·м; S — сечение провода, мм^2; γ — удельная проводимость проводника, 1/Ом·м.

Тогда формула (4.8) примет вид

$$\Delta U_{\phi} = \frac{2 \cos \varphi}{\gamma S} \Sigma iD. \tag{4.11}$$

Значения ϱ и γ с учетом средней эксплуатационной температуры осветительных проводников 35°С могут быть приняты: для алюминиевых проводников $\varrho = 33 \cdot 10^{-9}$ Ом·м, $\gamma = 30{,}5 \cdot 10^6$ Ом$^{-1}$·м$^{-1}$; для медных проводников $\varrho = 20 \cdot 10^{-9}$ Ом·м, $\gamma = 50 \cdot 10^6$ Ом$^{-1}$·м$^{-1}$.

В условиях практики нагрузка потребителей обычно задается не токами, а мощностями, выраженными в кВт. Заменяя нагрузочные токи в формуле (4.11) мощностями подключенных к данной точке источников света, получим

$$i = P/U_{\phi}; \qquad \Delta U_{\phi} = \frac{2 \cos \varphi}{\gamma S U_{\phi}} \Sigma PD, \tag{4.12}$$

где U_{ϕ} — напряжение сети (считаем напряжение сети в точках приложения нагрузки равным номинальному, хотя фактическое напряжение в точках приложения нагрузки отличается от номинального на величину потери напряжения на участках линии между нагрузками, которая обычно не превышает 5%); P — мощность нагрузки.

При нагрузке, выраженной в кВт, и потере напряжения в процентах от номинального напряжения получим

$$\Delta U\% = \frac{2 \cdot 10^5}{\gamma S U_{\phi}^2} \Sigma PD. \tag{4.13}$$

Произведение PD обычно называют **моментом нагрузки** и обозначают буквой M. Так как напряжение сети и материал провода обычно задаются, уравнение (4.13) можно записать в следующем виде:

$$\Delta U\% = \Sigma M/(cS), \tag{4.14}$$

где

$$c = \frac{\gamma U_{\phi}}{2} \cdot 10^{-5}.$$

Анализ формулы (4.14) показывает, что потеря напряжения в сетях зависит от суммы моментов нагрузки M, сечения проводов S и постоянного для данной сети коэффициента c, зависящего от материала провода, напряжения сети и числа проводов. Значение коэффициента c приведено в табл. 4.1.

Согласно формуле (4.14) потеря напряжения не зависит от коэффициента мощности сети. Однако при низком значении коэффициента мощности резко возрастает рабочий ток при той же мощности нагрузки, что следует учитывать при проверке сети на допустимую плотность тока.

Таблица 4.1

Номинальное напряжение сети, В	Система сети и род тока	Выражение коэффициента c	Значение коэффициента c для проводников	
			медных	алюминиевых
380/220	Трехфазная с нулем	$\frac{\gamma U_л^2}{10^5}$	72	44
380	Трехфазная без нуля		72	44
220/127	Трехфазная с нулем		24	14,7
220	Трехфазная без нуля		24	14,7
36			0,648	0,396
24			0,288	0,176
12			0,072	0,044
380/220	Двухфазная с нулем	$\frac{\gamma U_л^2}{2{,}25 \cdot 10^5}$	32	19,5
220/127			10,7	6,5
220	Двухпроводная переменного или постоянного тока	$\frac{\gamma U^2}{2 \cdot 10^5}$	12	7,4
127			4	2,46
36			0,324	0,198
24			0,144	0,088
12			0,036	0,022

Пример 4.1. Определить потерю напряжения в групповой одиночной линии переменного тока напряжением 220 В с лампами ДРЛ мощностью 500 Вт, если сеть однородна и выполнена алюминиевым проводом сечения 6 мм^2, проложенным открыто на изоляторах.

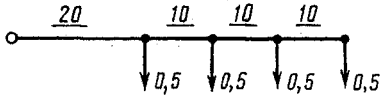


Рис. 4.2. К примеру расчета двухпроводной сети

Нагрузки и их распределение вдоль линии указаны на рис. 4.2. Длины отдельных участков линий обозначены подчеркнутыми цифрами. Коэффициент мощности нагрузки $\cos\varphi = 0{,}55$. Потери в балластах составляют 10% мощности линии.

Пользуясь формулой (4.14) и выбирая из табл. 4.1 значение постоянной c, получаем

$$\Delta U = \frac{1}{cS}\Sigma M = \frac{1{,}1}{7{,}4 \cdot 6}(0{,}5 \cdot 20 + 0{,}5 \cdot 30 + 0{,}5 \cdot 40 + 0{,}5 \cdot 50) = 1{,}73\% .$$

Расчет четырехпроводных трехфазных равномерно нагруженных сетей переменного тока. Трехфазные сети позволяют передавать требуемую мощность при более высоком линейном напряжении, поэтому они шире распространены, чем двухпроводные. При трехфазных сетях необходимо стремиться к равномерной нагрузке фаз, т. е. к равенству моментов нагрузки по фазам, так как при несоблюдении равенства нагрузок появляются уравнительные токи в нулевом проводе и возникают различные потери напряжения в разных фазах сети.

Рассмотрим трехфазную сеть (рис. 4.3) и определим равномерность нагрузки ее фаз. Для этого подсчитаем моменты нагрузок каждой фазы:

$$\Sigma M_1 = pl + p5l = 6pl ;$$

$$\Sigma M_2 = p2l + p4l = 6pl ;$$

$$\Sigma M_3 = p3l + p3l = 6pl .$$

Равенство моментов $\Sigma M_1 = \Sigma M_2 = \Sigma M_3$ является непременным и достаточным условием равномерной нагрузки фаз. При равномерной нагрузке в трехфазной сети токи в фазных проводах равны между собой и имеют одинаковый сдвиг фаз по отношению к фазным напряжениям, что позволяет, определив потерю напряжения в одной фазе, перейти к полной потере напряжения во всех фазах. Так как в равномерно нагруженной трехфазной сети ток по нулевому проводу не протекает и обратным проводом каждой фазы является один из проводов двух других фаз, потерю напряжения в фазе можно определить по формуле

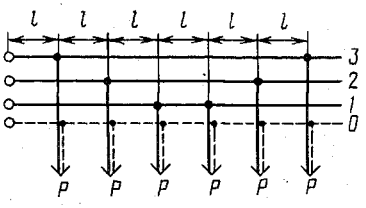


Рис. 4.3. Схема четырехпроводной трехфазной сети переменного тока

$$\Delta U_\phi = \frac{\cos\varphi}{\gamma S}\Sigma iD. \qquad (4.15)$$

Выражая ток через суммарную мощность нагрузки всех трех фаз

$$i = P/(3U_\phi \cos\varphi), \qquad (4.16)$$

получаем полную потерю напряжения в трехфазной линии

$$\Delta U = \frac{0{,}33}{U_\phi \gamma S}\Sigma PD. \qquad (4.17)$$

При суммарной нагрузке, выраженной в кВт, и потере напряжения в процентах от номинального напряжения получим

$$\Delta U\% = \frac{0{,}33 \cdot 10^5}{U_\Phi^2 \gamma S} \Sigma PD, \tag{4.18}$$

обозначая через

$$c = \frac{\gamma U_\Phi^3}{0{,}33 \cdot 10^5}, \tag{4.19}$$

окончательно получаем

$$\Delta U\% = \Sigma M/(cS). \tag{4.20}$$

Пример 4.2. Определить наибольшую потерю напряжения в сети (рис. 4.4). Питающая сеть выполнена четырехпроводной, групповые линии двухпроводные. Все линии выполнены алюминиевым проводом на изоляторах, сечение питающей сети 10 мм², групповых линий 6 мм². Нагрузка чисто активная — светильники с лампами накаливания мощностью 1 000 Вт, напряжение сети 380/220 В.

Потерю напряжения в четырехпроводной питающей линии (на участке *АБ*) определяем из уравнения (4.20), принимая постоянную *c* из табл. 4.1 равной 46

$$\Delta U_{АБ} = \frac{15 \cdot 20}{46 \cdot 10} = 0{,}65\%.$$

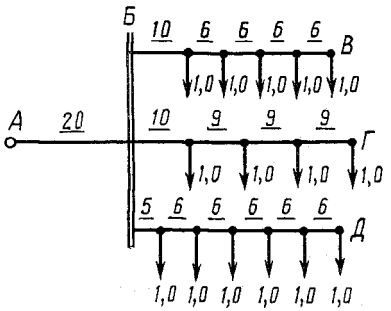


Рис. 4.4. К примеру расчета четырехпроводной сети переменного тока

Принимая постоянную $c = 7{,}4$, для двухпроводной линии 220 В находим потери напряжения в групповых линиях:

$$\Delta U_{БВ} = \frac{1}{7{,}4 \cdot 6}(1 \cdot 10 + 1 \cdot 16 + 1 \cdot 22 + 1 \cdot 28 + 1 \cdot 34) = 2{,}25\%,$$

$$\Delta U_{БГ} = \frac{1}{7{,}4 \cdot 6}(1 \cdot 10 + 1 \cdot 19 + 1 \cdot 28 + 1 \cdot 37) = 2\%,$$

$$\Delta U_{БД} = \frac{1}{7{,}4 \cdot 6}(1 \cdot 5 + 1 \cdot 11 + 1 \cdot 17 + 1 \cdot 23 + 1 \cdot 29 + 1 \cdot 35) = 2{,}7.$$

Результаты расчета показывают, что наибольшая потеря напряжения будет на участке *АД*; $\Delta U_{АД} = \Delta U_{АВ} + \Delta U_{БД} = 0{,}65 + 2{,}7 = 3{,}35\%$.

Неравномерно нагруженные сети имеют место в городских осветительных сетях, питающих однофазные осветительные и другие приборы, а также в сетях наружного освещения, выполненного прожекторами с источниками света значительной мощности.

При подключении к разным фазам сети неодинаковой нагрузки (рис. 4.5) по нулевому проводу пойдет уравнительный ток, что приведет к смещению нулевой точки в линии, вследствие чего в разных фазах теряется различное напряжение. Если обозначить

линейные токи отдельных фаз через $\dot{I}_1$, $\dot{I}_2$, $\dot{I}_3$, то уравнительный ток в нулевом проводе

$$\dot{I}_0 = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3. \tag{4.21}$$

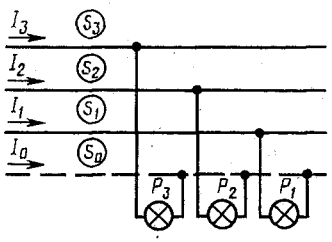


Рис. 4.5. Схема четырехпроводной сети переменного тока при неравномерной нагрузке фаз

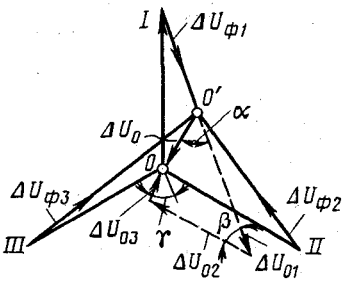


Рис. 4.6. Векторная диаграмма четырехпроводной сети с неравномерной нагрузкой фаз

Падение напряжения в нулевом проводе, вызванное уравнительным током, определяют как произведение тока на активное сопротивление нулевого провода r_0:

$$\Delta\dot{U}_0 = I_0 r_0 = \dot{I}_1 r_0 + \dot{I}_2 r_0 + \dot{I}_3 r_0. \tag{4.22}$$

На рис. 4.6 дана векторная диаграмма, соответствующая рассматриваемому случаю. Отрезки *OI, OII, OIII* являются изображением фазных напряжений источника питания $\dot{U}_{\phi 1}$, $\dot{U}_{\phi 2}$, $\dot{U}_{\phi 3}$. Падение напряжения в нулевом проводе приводит к смещению нулевой точки диагрммы из O в O^1.

Из приведенной диаграммы (рис. 4.6) находим потери напряжения в каждой из фаз. Для первой фазы можно написать

$$\Delta U_1 = \Delta U_{\phi 1} + \Delta U_0 \cos\alpha, \tag{4.23}$$

где $\Delta U_{\phi 1}$ — потеря напряжения в фазовом проводе; $\Delta U_0 \cos\alpha$ — потеря напряжения в нулевом проводе, вызванная током первой фазы.

Вектор падения напряжения в нулевом проводе согласно уравнению (4.22) можно разложить на три составляющие, совпадающие по направлению с линейным током каждой фазы и выражающие собой падение напряжения, вызываемое в нулевом проводе соответственно токами первой, второй и третьей фаз (см. рис. 4.6):

$$\Delta U = \Delta U_{01} + \Delta U_{02} + \Delta U_{03}. \tag{4.24}$$

Потерю напряжения в нулевом проводе, вызванную током первой фазы, можно определить по формуле

$$\Delta U_0 \cos\alpha = \Delta U_{01} - \Delta U_{02} \cos\beta - \Delta U_{03} \cos\gamma. \tag{4.25}$$

Вектор фазного напряжения значительно больше падения напряжения в нулевом проводе, поэтому с достаточной для практики точностью можно принять $\varrho \approx \gamma \approx 60°$, тогда

$$\Delta U_0 \cos\alpha = \Delta U_{01} - 0{,}5(\Delta U_{02} + \Delta U_{03}). \qquad (4.26)$$

Согласно (4.23) получаем

$$\Delta U_1 = \Delta U_{\phi 1} + \Delta U_{01} - 0{,}5(\Delta U_{02} + \Delta U_{03}). \qquad (4.27)$$

Аналогичные уравнения можно записать для определения потерь напряжения в других фазах:

$$\left.\begin{aligned} \Delta U_2 &= \Delta U_{\phi 2} + \Delta U_{02} - 0{,}5(\Delta U_{01} + \Delta U_{03}), \\ \Delta U_3 &= \Delta U_{\phi 3} + \Delta U_{03} - 0{,}5(\Delta U_{01} + \Delta U_{02}). \end{aligned}\right\} \qquad (4.28)$$

Эти формулы получены Д. Г. Цейтлиным для частного случая осветительных сетей с чисто активной нагрузкой.

Потери напряжения в фазных и частичные потери в нулевых проводах определяют по соотношениям:

$$\left.\begin{aligned} \Delta U_{\phi 1} &= \frac{\Sigma M_1}{cS_1}, & \Delta U_{01} &= \frac{\Sigma M_1}{cS_0}, \\ \Delta U_{\phi 2} &= \frac{\Sigma M_2}{cS_2}, & \Delta U_{02} &= \frac{\Sigma M_2}{cS_0}, \\ \Delta U_{\phi 3} &= \frac{\Sigma M_3}{cS_3}, & \Delta U_{03} &= \frac{\Sigma M_3}{cS_0}, \end{aligned}\right\} \qquad (4.29)$$

где ΔU_1, ΔU_2, ΔU_3 и $\Delta U_{\phi 1}$; $\Delta U_{\phi 2}$; $\Delta U_{\phi 3}$ — потери напряжения по отдельным фазам и в фазных проводах, %; ΔU_{01}, ΔU_{02}, ΔU_{03} — потери напряжения в нулевом проводе, вызываемые током соответствующих фаз (частичные потери напряжения); ΣM_1, ΣM_2, ΣM_3 — моменты нагрузок отдельных фаз, кВт·м; S_1, S_2, S_3 — сечения проводов отдельных фаз, мм^2; S_0 — сечение нулевого провода, мм^2; c — коэффициент, зависящий от напряжения в сети и материала проводников, равный при напряжении сети 380/220 В и проводах: медных — 25,6 и алюминиевых — 15,5, а при напряжении сети 220/127 В соответственно 8,5 и 5,2*.

При $S_0 = S_1 = S_2 = S_3$ (4.27) принимает вид

$$\Delta U_1 = (4\Sigma M_1 - \Sigma M_2 - \Sigma M_3)/(2c S_1), \qquad (4.30)$$

при $S_0 = 0{,}5S_1 = 0{,}5S_2 = 0{,}5S_3$

$$\Delta U_1 = (3\Sigma M_1 - \Sigma M_2 - \Sigma M_3)/(cS_1). \qquad (4.31)$$

Формулы (4.30) и (4.31) используют для определения ΔU_2 и ΔU_3 при соответствующей перестановке индексов.

---

* Эти значения соответствуют удвоенным значениям c для однофазных линий того же фазного напряжения.

Неравномерно нагруженными сетями практически считаются линии с нагрузками отдельных фаз или моментами их нагрузок, отличающимися на 10% от среднего значения. В трехфазных линиях, когда нагрузка к фазам подключается в порядке *A, B, C, A, B, C* и т. д., линии могут считаться равно нагруженными только при питании более 12 светильников — в наружных установках. Требуемое равенство моментов при меньшем числе светильников достигается при расфазировке *A, B, C, C, B, A* и т. д. для трехфазных сетей и *A, B, B, A* — для двухфазных сетей. В этом случае линии могут рассматриваться как симметрично нагруженные при числе светильников 6 для трехфазных и 4— для двухфазных сетей. Если нормированная освещенность сохраняется при раздельном отключении части фаз, то расчет линии групповой сети по потере напряжения следует проводить как состоящей из нескольких независимых однофазных групп. Если отключение части фаз приводит к созданию в помещении уменьшенной освещенности, то проверку потери напряжения в неполнофазном режиме можно не производить.

В линиях с несимметричной нагрузкой расчетом определяется сечение проводов всех фаз, а также сечение нулевого провода, которое может быть больше, чем сечение некоторых фазных проводов.

Пример 4.3. Определить потери напряжения в фазах четырехпроводной сети, изображенной на рис. 4.7. Напряжение сети 380/220 В, сечение алюминиевых проводов: фазных 10 мм^2, нулевого 6 мм^2. Распределение нагрузки по фазам указано у групповых щитков. Допустимая потеря напряжения $\Delta U = 3\%$.

Определим моменты нагрузок для каждой фазы:

$$\Sigma M_1 = 2 \cdot 120 + 1 \cdot 170 + 1 \cdot 220 = 630 \text{ кВт} \cdot \text{м},$$

$$\Sigma M_2 = 2 \cdot 120 + 2 \cdot 170 + 1{,}5 \cdot 220 = 910 \text{ кВт} \cdot \text{м},$$

$$\Sigma M_3 = 2 \cdot 120 + 2 \cdot 170 + 2 \cdot 220 = 1020 \text{ кВт} \cdot \text{м}.$$

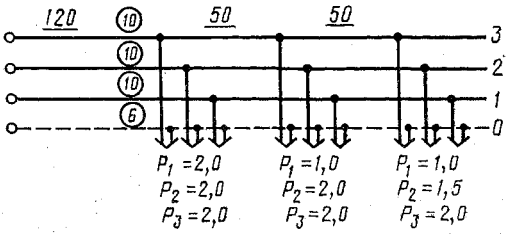


Рис. 4.7. К примеру расчета четырехпроводной сети с неравномерной нагрузкой фаз

По (4.29) определяем потери напряжения в фазных проводах:

$$\Delta U_{\phi 1} = \Sigma M_1/(cS_1) = 630/(15{,}5 \cdot 10) = 4{,}06\%,$$

$$\Delta U_{\phi 2} = \Sigma M_2/(cS_2) = 910/(15{,}5 \cdot 10) = 5{,}87\%,$$

$$\Delta U_{\phi 3} = \Sigma M_3/(cS_3) = 1020/(15{,}5 \cdot 10) = 6{,}58\%.$$

Частичные потери напряжения в нулевом проводе:

$$\Delta U_{01} = \Sigma M_1/(cS_0) = 630/(15{,}5 \cdot 6) = 6{,}77\%,$$

$$\Delta U_{02} = \Sigma M_2/(cS_0) = 910/(15{,}5 \cdot 6) = 9{,}78\%.$$

$$\Delta U_{03} = \Sigma M_3/(cS_0) = 1020/(15{,}5 \cdot 6) = 10{,}97\%.$$

Потери напряжения в фазах согласно уравнениям (4.27) и (4.28):

$$\Delta U_1 = \Delta U_{\phi 1} + \Delta U_{01} - 0{,}5(\Delta U_{02} + \Delta U_{03}) = 4{,}06 + 6{,}77 - 0{,}5(9{,}78 + 10{,}97) = 0{,}46\%,$$

$$\Delta U_2 = \Delta U_{\phi 2} + \Delta U_{02} - 0{,}5(\Delta U_{01} + \Delta U_{03}) = 5{,}87 + 9{,}78 - 0{,}5(6{,}77 + 10{,}97) = 6{,}78\%,$$

$$\Delta U_3 = \Delta U_{\phi 3} + \Delta U_{03} - 0{,}5(\Delta U_{01} + \Delta U_{02}) = 6{,}58 + 10{,}97 - 0{,}5(6{,}77 + 9{,}78) = 9{,}28\%.$$

Фактическая потеря напряжения во второй и третьей фазах значительно превышает допустимую, а первая фаза оказалась недогруженной.

Для перераспределения потерь напряжения изменим сечения проводов в соответствии с отношением моментов нагрузок отдельных фаз. Оставив сечение проводов первой фазы без изменения (10 мм^2), увеличим сечение проводов второй фазы до 25 мм^2, а третьей — до 35 мм^2, а сечение нулевого провода примем равным 16 мм^2. Проделав аналогичный предыдущему расчет, получим следующее распределение потерь напряжения по фазам: $\Delta U_1 = 2{,}75\%$, $\Delta U_2 = 2{,}69\%$, $\Delta U_3 = 2{,}88\%$.

Полученное распределение потерь напряжения по фазам не превышает допустимого и может быть признано удовлетворительным. В практических расчетах следует пользоваться таблицами моментов, содержащимися в справочниках по светотехнике, позволяющими по заданным M и ΔU найти S или по S и M определить ΔU.

§ 4.3. Расчет электрических осветительных сетей на минимум проводникового материала

Оптимальной по экономическим показателям является сеть, в которой расход проводникового материала минимален, что в большинстве случаев достаточно близко совпадает с минимумом затрат на осветительную сеть. Сечение проводов каждого участка сети определяется по ΔU (потеря напряжения от начала данного участка до конца сети) и приведенному моменту $M_п$, определяемому по формуле

$$M_п = \Sigma M + \alpha \Sigma m, \qquad (4.32)$$

где ΣM — сумма моментов данного и всех последующих по направлению токов участков с тем же числом проводов в линии, что и на данном участке; Σm — сумма моментов питаемых через данный участок линий с иным числом проводов, чем на данном участке; α — коэффициент приведения моментов (табл. 4.2).

Сечение проводов участка электрической сети, рассчитываемое по минимуму проводникового материала, определяют по формуле

Таблица 4.2

Линия	Ответвления	Коэффициент приведения моментов α
Трехфазная с нулем	Однофазное	1,83
Трехфазная с нулем	Двухфазное с нулем	1,37
Двухфазная с нулем	Однофазное	1,33
Трехфазная без нуля	Двухфазное	1,15

$$S = M_{\text{п}} / (c\Delta U), \qquad (4.33)$$

где S — сечение проводов рассчитываемого участка, мм^2; $M_{\text{п}}$ — приведенный момент, кВт · м; c — коэффициент, зависящий от системы сети (см. табл. 4.1); ΔU — значение располагаемой потери напряжения от номинального напряжения, %.

Пользуясь данным уравнением, определяют сечение головного участка. Округляя рассчитанное сечение до ближайшего большего по стандарту, находят фактическую потерю напряжения на головном участке по величине момента нагрузки для головного участка, т. е. произведению суммарной нагрузки на длину головного участка. Последующие участки рассчитывают аналогично на оставшуюся потерю напряжения. При раздельном расчете питающей и групповой сетей целесообразное распределение между ними ΔU находят приближенно, исходя из ожидаемого соотношения моментов и учитывая α.

Пример 4.4. Рассчитать на минимум проводникового материала сеть напряжением 380/220 В, показанную на рис. 4.8. Провода алюминиевые. Полное $\Delta U = 3\%$.

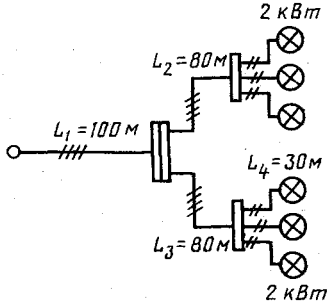


Рис. 4.8. К примеру расчета сети на минимум проводникового материала

$$M_1 = 100 \cdot 12 = 1200 \text{ кВт} \cdot \text{м};$$

$$M_2 = 6 \cdot 80 = 480 \text{ кВт} \cdot \text{м};$$

$$M_3 = 6 \cdot 80 = 480 \text{ кВт} \cdot \text{м};$$

$$m_4 = m_5 = 2 \cdot 30 = 60 \text{ кВт} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{п}} = M_1 + M_2 + M_3 + \alpha(3m_4 + 3m_5);$$

$$M_{\text{п}} = 1200 + 480 + 480 +$$

$$+ 2 \cdot 1{,}85(3 \cdot 2 \cdot 30) = 2826 \text{ кВт} \cdot \text{м};$$

$$S_1 = M_{\text{п}}/(c\Delta U) = 2826/(44 \cdot 3) \approx 21{,}4 \text{ мм}^2.$$

По таблице ближайшее большее стандартное сечение 25 мм^2.

Для этого сечения и $M_1 = 1200$ кВт · м определяем

$$\Delta U = M_1/(cS_1) = 1200/(44 \cdot 25) = 1{,}09\%.$$

Для верхней ветви сети: $M_{\text{п}} = M_2 + \alpha 3m_4 = 480 + 1{,}85 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 30 = 813$ кВт · м и располагаемая $\Delta U = 3 - 1{,}09 = 1{,}91\%$; $S = 813/(44 \cdot 1{,}91) = 9{,}7$ мм^2.

Ближайшее большее стандартное сечение 10 мм^2, располагаемая $\Delta U = 480/(44 \cdot 10) = 1{,}1\%$.

На каждую из линий групповой сети остается $\Delta U = 1{,}91\% - 1{,}1\% = 0{,}8\%$; для двухпроводной линии $c = 7{,}4$: $S = 60 / (7{,}4 \cdot 0{,}8) = 10$ мм^2.

Рассмотренные схемы расчета имеют симметричную нагрузку всех фаз одной линии.

§ 4.4. Расчет сети по току нагрузки

Прохождение тока по проводнику вызывает его нагревание. Расчет проводов по току нагрузки сводится к определению тока, при длительном протекании которого нагрев проводников не превысит значений установленных ПУЭ для определенной конструкции проводов. В электротехнических справочниках и ПУЭ приведены таблицы допустимых по условиям нагрева токовых нагрузок на провода и кабели с алюминиевыми и медными жилами в зависимости от вида изоляции, сечения проводников, числа совместно прокладываемых токопроводящих жил, способов и условий прокладки сети.

Для данной марки провода и определенных условий прокладки установившаяся температура жил провода зависит лишь от плотности тока, что позволяет расчетным путем определить для каждого сечения предельное значение тока, длительное протекание которого не вызывает перегрева провода, предусмотренного требованиями ПУЭ. Как пример в приложении 6 приведено значение длительно допустимого тока $I_д$ для проводов и кабелей на напряжение до 1 кВ с алюминиевыми жилами при окружающей температуре воздуха 25°С и земли 15°С для различных типов проводов и разных способов прокладки.

Из приложения 6 видно, что с увеличением сечения увеличиваются длительно допустимые токи $I_д$, однако увеличение тока при увеличении сечения жил заметно меньше, чем его возможное увеличение при большем числе жил меньшего сечения. Это дает возможность заключить, что по условиям нагревания бывает целесообразно вместо одной линии большего сечения прокладывать две или более меньших сечений, позволяющих уменьшить расход проводникового материала.

Значение рабочего тока в зависимости от конфигурации сети определяется по формулам:

для трехфазной сети с нулевым проводом или без него при равномерной нагрузке фаз

$$I_р = P_р \cdot 10^3 / (\sqrt{3}\, U_л \cos \varphi); \qquad (4.34)$$

для двухфазной сети с нулевым проводом при равномерной нагрузке

$$I_р = P_р \cdot 10^3 / (2 U_ф \cos \varphi); \qquad (4.35)$$

для двухпроводной сети

$$I_р = P_р \cdot 10^3 / (U_ф \cos \varphi); \qquad (4.36)$$

для каждой из двух фаз двух- и трехпроводных сетей с нулевым проводом при любой, в том числе и неравномерной, нагрузке

$$I_р = P_р \cdot 10_3/(U_ф \cos \varphi); \qquad (4.37)$$

где $I_р$ — рабочий ток сети, A; $P_р$ — расчетная нагрузка, включая потери в ПРА для газоразрядных ламп, кВт; $U_ф$ — фазное напряжение, В; $U_л$ — линейное напряжение, В; $\cos \varphi$ — коэффициент мощности нагрузки.

По допустимому нагреву проводников должны быть проверены все участки электрической осветительной сети. При этом

$$I_н \geqslant I_р, \qquad (4.38)$$

где $I_р$ — рабочий ток на участке, A; $I_н$ — максимально допустимый ток по условиям нагрева проводника, A.

Выполнение этого условия гарантирует пожарную безопасность и нормируемый срок службы проводок при нормальных неаварийных режимах.

При равномерной нагрузке фаз ток в нулевом проводе трехфазной сети при питании ламп накаливания равен нулю, ток же, питающий газоразрядные лампы, может достигать величины фазного тока. При существенной неравномерности нагрузки необходимо определять токи и сечения проводников для каждой фазы.

Для трехфазных линий с включением нагрузок на линейное напряжение линейные токи I_A, I_B, I_C зависят от порядка следования фаз (A-B-C или B-A-C).

При прямом следовании фаз

$$\begin{aligned} I_A &= \sqrt{I_{AB}^2 + I_{CA}^2 + 2I_{AB} \cdot I_{CA} \sin(\varphi_{AB} - \varphi_{CA} + 30°)}, \\ I_B &= \sqrt{I_{BC}^2 + I_{AB}^2 + 2I_{BC} \cdot I_{AB} \sin(\varphi_{BC} - \varphi_{AB} + 30°)}, \\ I_C &= \sqrt{I_{CA}^2 + I_{BC}^2 + 2I_{CA} \cdot I_{BC} \sin(\varphi_{CA} - \varphi_{BC} + 30°)}. \end{aligned} \qquad (4.39)$$

При обратном следовании фаз в каждой из этих формул (4.39) необходимо поменять местами индексы углов (AB и CA, BC и AB, CA и BC).

Так как порядок следования фаз при проектировании неизвестен и может меняться в процессе эксплуатации, линейные токи необходимо определять для обоих вариантов следования фаз.

§ 4.5. Наименьшие сечения проводов, допускаемые по условиям механической прочности

Провода и кабели, прокладываемые в электрических сетях, должны обладать достаточной механической прочностью, чтобы не допускать обрывов во время монтажа при протаскивании через трубы, при натяжке и креплении на опорах, противостоять повреждениям, возможным при эксплуатации, и тем самым обеспечивать надежность работы электрического освещения.

Для выполнения этих требований необходимо соблюдать установленные ПУЭ расстояния между точками крепления проводов различных сечений, следить, чтобы сечения токопроводящих проводников были не менее указанных в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Проводники	Минимальное сечение проводников, мм²	
	медных	алюминиевых
Провода для зарядки светильников:		
общего освещения:		
внутри зданий	0,5	—
вне зданий	1,0	—
подвесных местного освещения	0,75	—
прочих стационарных местного освещения:		
подвижных	1,0	—
неподвижных	0,5	—
настольных	0,75	—
Кабели шланговые и шнуры в общей оболочке для присоединения переносных электроприемников:		
бытовых	0,75	—
в промышленных установках	1,5	—
Кабели шланговые для присоединения передвижных электроприемников	2,5	—
Скрученные двухжильные провода (шнуры) с многопроволочными жилами для прокладки на роликах	1,0	—
Кабели, защищенные и изолированные провода для неподвижных прокладок на роликах, скобах и в трубах	1,0	2,5
Незащищенные изолированные провода внутри помещений при прокладке:		
на изоляторах в виде перекидок между фермами или колоннами при расстоянии между опорами, м:		
$\leqslant 6$	2,5	4
$\leqslant 12$	4	10
>12	6	16
Незащищенные изолированные провода на изолирующих опорах в наружных установках:		
под навесом на роликах	1,5	2,5
по стенам, конструкциям и опорам на изоляторах	2,5	4
Голые провода в зданиях	2,5	—
Воздушные линии напряжением до 1000 В	6	16
Заземляющие проводки:		
голые	4	6 (стальные: ∅5 мм — в зданиях; ∅6 мм — в наружных установках)
изолированные	1,5	2,5
Заземляющие жилы кабелей и многожильных проводов в общей оболочке с фазовыми жилами	1	2,5

В производственных зданиях применяют прокладки проводов или кабелей осветительной сети по тросам или струне из стальной катаной проволоки. Часто к тросу или струне подвешиваются также и светильники. При тросовых и струнных проводках необходимо проводить расчеты на механическую прочность для определения диаметра троса или катаной проволоки.

При тросовых проводах в зависимости от нагрузки стальные тросы следует принимать диаметром 1,95—6,5 мм; катанку диаметром 5,5—8 мм.

Когда на катанке подвешивается только кабель групповой сети без светильников и крепление катанки осуществляется не более чем через 4 м, ее диаметр при струнных проводках принимается равным 2—4 мм.

Для внутренней, а при подвеске на крюках — внешней зарядки светильников проводами, а также для присоединения переносных и передвижных светильников должны применяться только медные гибкие проводники.

Глава 5

СВЕТОТЕХНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ПРОЕКТА ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

§ 5.1. Объем и содержание проектов освещения

Строительство и реконструкция зданий и сооружений производятся согласно предварительно разработанным проектам и сметам. Требования к содержанию, объему, порядку разработки, согласования и утверждения проекта и смет определяются [36], в которой устанавливается порядок составления проектной документации.

Перед разработкой проектов обычно составляют *технико-экономическое обоснование* (ТЭО), подтверждающее необходимость и целесообразность строительства здания или сооружения. После утверждения ТЭО приступают к разработке технических проектов, рабочих чертежей и технорабочих проектов.

Для крупных и сложных промышленных комплексов, зданий и сооружений проект осветительной установки разрабатывают в две стадии: *технический проект* и *рабочие чертежи*.

В техническом проекте решаются основные вопросы светотехнической и электрической частей осветительной установки, а также выдаются задания на проектирование электроснабжения и основные строительные решения (например, на мостики для обслуживания светильников), производится предварительное выявление потребности в оборудовании и основных материалах, определяется сметная стоимость установки. Технический проект должен содержать пояснительную записку, таблицу основных технических показателей, спецификацию на светильники, электрооборудование, провода, кабели и основные материалы, смету.

Рабочие чертежи разрабатываются на основании утвержденного технического проекта в объеме, необходимом для выполнения строительных и монтажных работ.

Для объектов массового строительства разрабатываются (без технического проекта) технорабочие проекты, по которым осуществляется строительство.

В связи с тем что монтаж осветительных установок производится по технорабочим или рабочим чертежам, эти стадии проектирования являются наиболее важными и ответственными. Проекты в этой стадии надо выполнять так, чтобы по ним быстро и качественно можно было выполнить монтаж освещения.

Для разработки технорабочего проекта необходимы следующие материалы: поэтажные планы здания и характерные разрезы его с указанием назначения помещения; планы размещения производственного оборудования и его эксплуатации (технологические чертежи); чертежи подъемно-транспортных устройств, санитарно-технической части, технологических трубопроводов; металлических и железобетонных конструкций; чертежи, показывающие в плане и разрезе расположение отопительных и вентиляционных, а также водопроводных устройств. При наличии оборудования, требующего встроенного или местного освещения, не поставляемого комплектно с механизмами, необходимы установочные чертежи этого оборудования.

Разработку технорабочего проекта или рабочих чертежей следует производить в соответствии с условиями среды в помещениях, причем особо строго в полном соответствии с Правилами устройства электроустановок (ПУЭ) должны быть установлены группы и категории среды. Необходимы также данные об источниках питания осветительной установки.

При проектировании рекомендуется достаточно подробно изучить технологический процесс освещаемого предприятия и знать характер зрительной работы, выполняемой в помещениях.

Целесообразно широко использовать проекты-аналоги ранее выполненных объектов, типовые решения и другие материалы. Для проектирования наружного освещения на стадии рабочих чертежей необходимо иметь генеральный план с нанесенными на него зданиями, дорогами, проездами, озеленением, заборами, воздушными и подземными линиями электроснабжения, связи и другими подземными коммуникациями.

В состав технического проекта входят: пояснительная записка; таблица основных технических показателей; заявочная ведомость на электрооборудование, кабельную продукцию и основные материалы; спецификации электрооборудования с длительным временем изготовления, т. е. в основном комплектные распределительные устройства, подлежащие индивидуальному заказу; планы-схемы внутренней питающей сети крупных зданий; план внешней питающей сети, как правило, совмещаемый с планом других электрических сетей; эскизы фасадов вышеуказанных комплектных устройств; строительные задания (на мостики обслуживания, специальные электропомещения и т. д.); смета.

В краткой пояснительной записке характеризуются и обосновываются основные решения проекта (выбор видов, систем и способов освещения, источников света, осветительных приборов и т. д.). Отмечаются основные решения по эксплуатации освещения.

В таблицу основных технических показателей входят следующие данные: освещаемая площадь в $м^2$; преимущественная освещенность в лк; преимущественный тип осветительных приборов общего освещения, удельная мощность общего освещения в $Вт/м^2$, количество светоточек (раздельно: общее освещение, местное и розетки).

В заявочной ведомости технического проекта выделяются разделы: электрооборудование, светильники и лампы, комплектные изделия заводов монтажных организаций (щитки, ящики, шинопроводы), электромонтажные изделия тех же заводов, электроустановочные изделия, черные металлы и трубы и т. д.

На данной стадии отдельные типоразмеры не указываются, а изделия объединяются в группы. Так указывается общее количество светильников с разбивкой только по типам источников света, лампы не разделяются по мощности и т. п.

На планах питающей сети предельно упрощенно показывается строительная часть зданий, изображаются щитки, у которых указывается номер и установленная мощность, наносятся линии сети с указанием марок и сечений кабелей и проводов.

При техническом проектировании выполняются те же операции, что и при рабочем, но в предварительном эскизном виде. На планах основных помещений фрагментарно намечаются места установки светильников и щитков (а для мелких помещений указываются число и тип светильников), но планы эти не оформляются начисто, а группируются в «черновой том», хранящийся у автора проекта. Светильники, щитки и различное оборудование подсчитываются по планам и таблице показателей (поскольку для сметы разделение по типоразмерам необходимо); кабельные изделия для питающей сети учитываются по данным расчета сечений и обмера трасс, потребность во всех остальных изделиях (провода и кабели групповой сети, выключатели и т. п.) определяется по укрупненным показателям с использованием проектов-аналогов.

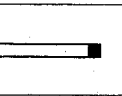
§ 5.2. Рабочие чертежи и технорабочие проекты

Чертежи планов и разрезов помещений содержат основные сведения о светотехнических решениях и об электрической части осветительных установок.

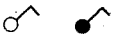
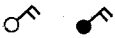
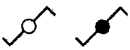
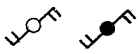
При разработке планов необходимо использовать комплекс условных обозначений и требований по выполнению надписей и цифр, указанных в табл. 5.1.

На планы наносят светильники, магистральные пункты, групповые щитки, понижающие трансформаторы, питающие и групповые сети, выключатели, штепсельные розетки, указываются также названия помещений, номируемая освещенность от общего освещения, класс пожаро- и взрывоопасности помещений, типы, высота уста-

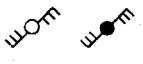
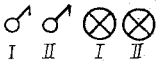
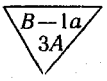
Таблица 5.1

Наименование обозначения	Символы
Светильник подвесной с лампой накаливания	
Плафон с лампой накаливания	
Светильник с люминесцентными лампами	
Линия светильников с люминесцентными лампами	
Светильник с лампой ДРЛ	
Прожектор, α — угол наклона к горизонту	
Маркировка светильников: T — тип, n — число ламп в светильнике: p — мощность лампы, Вт, h — высота установки, м; N — число светильников в линии или блоке: одноламповый светильник	$T\ p/h$
многоламповый светильник	Tnp/h
несколько совместно установленных светильников, обозначенных общим символом	$N\left(T\frac{p}{h}\right)$
Линия люминесцентных светильников	$N\left(T\frac{np}{h}\right)$
Магистральный щиток	
Групповой щиток рабочего освещения	
Групповой щиток аварийного освещения	

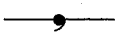
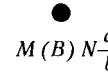
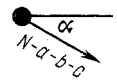
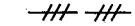
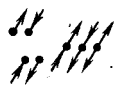
Продолжение табл. 5.1

Наименование обозначения	Символы
Маркировка щитков при отсутствии схемы питающей сети: M — шифр или номер по плану или схеме; p — установленная мощность, кВт; ΔU — потеря напряжения до щитка, %; T — заводской тип	$M\frac{p}{\Delta U}T$
Ящик однофидерный	
Магнитный пускатель или контактор	
Шкаф со статическими конденсаторами	
Трансформатор	
Розетка штепсельная (слева — защищенного; справа — брызгонепроницаемого исполнения): двухполюсная	
двухполюсная с контактом заземления	
трехполюсная с контактом заземления	
Выключатель или переключатель (слева — защищенного, справа — брызгонепроницаемого исполнения): однополюсный выключатель	
двухполюсный выключатель	
трехполюсный выключатель	
однополюсный переключатель	
двухполюсный переключатель	

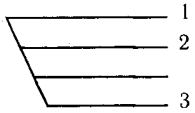
Продолжение табл. 5.1

Наименование обозначения	Символы
трехполюсный переключатель	
Блок из двух или трех аппаратов (как пример)	
Соответствие выключателей и управляемых ими светильников	
Нормированная освещенность от общего освещения	$E_{лк}$
Класс пожароопасности помещения (как пример)	П — 1
Класс взрывоопасного помещения, категория и группа взрывоопасной смеси (как пример)	
Линия сети: рабочего освещения	
аварийного или охранного освещения	
напряжения 42В и ниже	
дистанционного управления	
Линии питающей сети вычерчиваются утолщенными Кабель в траншее (например, рабочего освещения)	
Трос и его концевое крепление	
Место изменения сечения, марки или способа прокладки сети	

Продолжение табл. 5.1

Наименование обозначения	Символы
Разделительное уплотнение	
Опора со светильником; N — номер опоры	
Опора с оттяжкой	
Прожекторная мачта *(M)* или вышка *(B)* на крыше здания: N — номер, a — общая установленная мощность, кВт; b — высота над землей, м	
Направление проекции осевого луча прожектора: N — номер прожектора, a — тип, b — угол наклона к горизонту, c — фаза сети, α — угол поворота	
Предохранитель (в том числе грибообразный): a — ток плавкой вставки, А	
Очаг повторного заземления	
Отдельные помещения, в которых выполняется заземление	з
Число проводов в линии, отличное от двух	
Маркировка фаз и нуля	A, B, C, N
Стояки (точка соответствует отметке начала стояка, стрелка — его направлению)	
Надписи на линии питающей сети при отсутствии ее схемы: N — номер линии, p — расчетная нагрузка, кВт; I — расчетный ток, A; l — длина участка, м; M — марка проводника; nq — число жил и сечение; c — способ прокладки, если его надо пояснить При наличии схемы указывается только N	$\frac{N-p-I}{l-M-nq-c}$

Продолжение табл. 5.1

Наименование обозначения	Символы
Надписи на линиях групповой сети: N — номер группы (автомата на щитке), M — марка провода или кабеля; nq — число жил и сечение; c — способ прокладки, если его надо пояснить	$N - M$, $nq - c$
Маркировка нескольких групп, изображаемых общей линией, число полок — по числу линий; обозначения как для линий групповой сети; марки и сечения не указываются, если они оговорены в примечаниях 1—3, $N—M$, $nq—c$	
Проводка в трубах (Т) с указанием условного прохода и на изоляторах (И)	Т, И

Примечание. Таблица составлена Г. М. Кнорринг.

новки светильников и мощность ламп, способы проводки и сечения проводов и кабелей осветительных сетей. На этих чертежах приводятся типы магистральных пунктов, групповых щитков, ток расцепителей автоматов на щитках, типы конденсаторных установок для газоразрядных ламп высокого давления. Привязочные размеры мест установки светильников, щитков, отметки мест прокладки осветительных сетей указываются в случаях, когда необходимо точное фиксирование этих мест. У части светотехнического оборудования на планах освещаемого помещения проставляются условные номера, а в ведомости, помещенной на том же чертеже или на отдельных листах проекта, указываются ГОСТы или технические условия на эти изделия, номера типовых конструктивных чертежей узлов, а также линий установки светильников или оборудования.

На чертежах планов могут быть даны указания и пояснения, необходимые для монтажа светильников, электрооборудования и осветительных сетей.

При проектировании зданий, ряд помещений которых имеет одинаковые светотехнические решения: светильники, осветительную сеть и другие одинаковые элементы, рекомендуется все решения наносить только для одного помещения, для других делают соответствующую ссылку на него, на общем же плане этажа показываются только вводы в такие помещения. Такой способ оформления чертежей заметно уменьшает трудоемкость проектирования.

Чертежи поэтажных планов всех помещений выполняются обычно в масштабе 1:100 или 1:200, а для наружного освещения — генплан территории в масштабе 1:1000 или 1:500.

Для производственных зданий со сложной строительной частью или большом числе площадок дополнительно к планам в проекте освещения даются характерные разрезы, на которых наносятся

светильники, указываются их мощность и высота установки и при необходимости щитки, места прокладки сети, выключателей и т. д.

Строительная часть здания, а также основное оборудование нанесены тонкими линиями без излишних подробностей.

Кроме чертежей планов и разрезов освещаемых помещений с нанесенными на них схемами освещения в проектную документацию входят: заказные спецификации на электрооборудование и материалы; таблицы условных обозначений; схемы или планы-схемы питающей сети; строительные задания; схемы дистанционного управления или другие специальные схемы; нетиповые установочные чертежи.

При необходимости пояснения или обоснования решений составляется пояснительная записка, содержащая краткие сведения по основным проектным решениям: типы источников света и светильников, принятые системы и виды освещения, источники питания и напряжение сети, меры электробезопасности, способы доступа к светильникам для обслуживания, а также итоговые данные проекта (освещаемая площадь, установленная мощность по видам освещения, число установленных светильников). Если разработке рабочих чертежей предшествовала разработка технического проекта, то пояснительную записку можно не составлять, приводят только итоговые данные проекта и указывают отступления в рабочих чертежах от технического проекта.

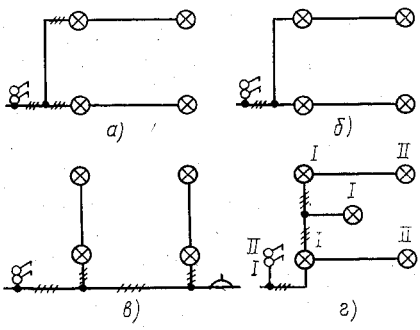


Рис. 5.1. Использование системы засечек:

а — раздельно включаются левые и правые светильники; *б* — раздельно включаются верхние и нижние; *в* — верхние и нижние; штепсельная розетка не выключается вообще; *г* — одинаковыми цифрами отмечены светильники и управляющие ими выключатели

Питающие и групповые сети на планах помещений наносят более толстыми линиями, чем строительные элементы здания и оборудования, при этом число проводов в групповых линиях (более двух) обозначают числом засечек, наносимых под углом 45° к линии сети.

По предложению Г. М. Кнорринга принятые схемы включения различных рядов светильников можно изобразить так, как показано на рис. 5.1. При перегрузке светотехнических чертежей линиями и надписями прокладываемые по общей трассе группы одного вида освещения обозначают общей линией (рис. 5.2).

В этом случае приобретает значение четкая нумерация групп для каждого участка. Из схемы рис. 5.2, *а* видно,что головной участок левой линии состоит из двух кабелей: трехжильного (группы *1* и *3* с общим нулем) и четырехжильного (группы *2, 4* и *6* с общим нулем). Общий нулевой провод могут иметь только группы разных фаз.

Повсеместное указание групп необходимо для обеспечения равномерной нагрузки фаз. При щитках, без заводской нумерации групп (а также в проектах наружного освещения) указываются фазы присоединения.

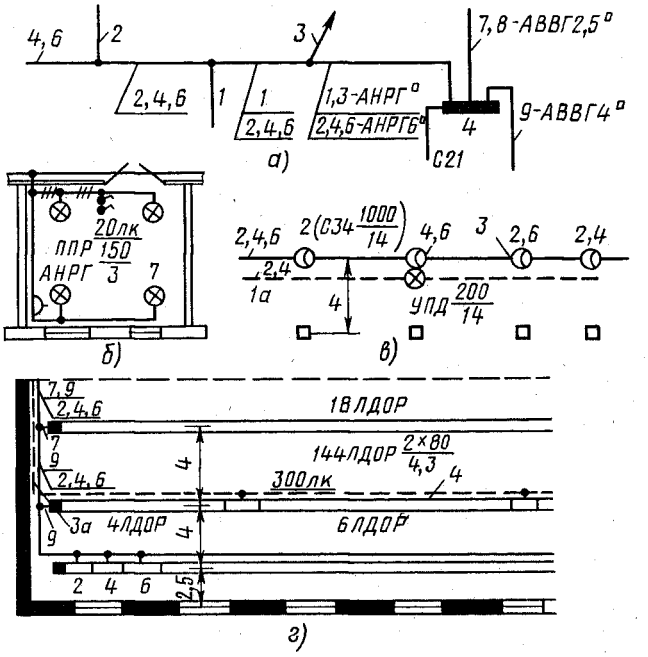


Рис. 5.2. Элементы оформления планов осветительной установки

В тексте примечания к планам указывают итоговые данные, напряжение сети, ссылки на условные обозначения, сведения о заземлении и максимум данных, общих для осветительной установки.

На планах указываются: контуры строительной части; наименование помещений; контуры основного оборудования, особенно если оно определяет размещение светильников; освещенность, принятая для каждого помещения; тип, мощность, расположение и высота установки светильников; ряды светильников, а также отдельные светильники, место установки которых строго фиксируется; маркировка конструктивных узлов (цифры в кружках), комплектных линий, секций тросовой проводки, установки светильников на кронштейнах и подвесах и т. п.; выключатели, штепсельные розетки, трансформаторы 12—42 В; щитки, ящики, пускатели и другие отдельно стоящие аппараты; осветительные сети всех назначений; необходимость заземления, если оно выполняется в части помещений.

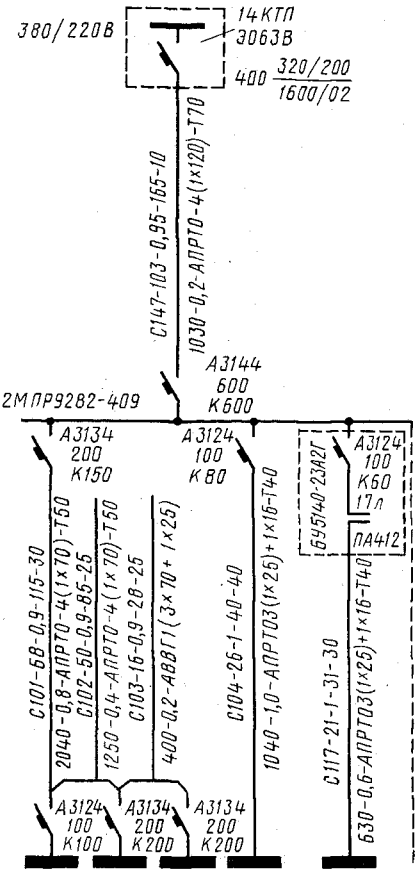


Рис. 5.3. Фрагмент схемы питающей сети

Элементы оформления планов показаны на рис. 5.2. Для небольших объектов с простой схемой питания все данные щитков и питающей сети показываются на планах осветительной установки. В остальных случаях оформляется однолинейная схема питающей сети (рис. 5.3) или все те же данные показывают на отдельно выполненном плане здания, т. е. на плане-схеме.

Обозначения на рис. 5.3. следующие: *С* 147—103—0,95—165—10; маркировка — расчетная нагрузка (кВт) — коэффициент мощности,— расчетный ток *(А)*,— длина участка (м); 1030—0,2—АПРТО—4(1×120) — Т70; момент (кВт м) — потеря напряжения в линии (%) — марка проводника—сечение проводника, способ прокладки — маркировка трубы. А3144, 600, К600: автомат: тип, номинальный ток *(А)*, расцепитель *(А)*; 2М ПР 9282—409: пункт магистральный, номер по плану, тип. Под схемой дана табл. 5.2 на групповой щиток.

В планах рабочих чертежей проектов наружного освещения показывают сети всех назначений, опоры, светильники и мачты с направлением осевых лучей прожекторов.

Таблица 5.2

	Номера по плану	1	2	3	4	11
Щиток групповой	Тип	ПР9232—205	ПР9242—316	ПР9232—311	ПР9232—118	ПР9232—108
	Установленная мощность, кВт	20	37	18	29	21
	Потеря напряжения до щитка, %	1,0	1,4	1,6	1,2	0,8

§ 5.3. Выбор варианта осветительной установки по экономическим показателям

Требования к освещению рабочих мест и помещений промышленных предприятий можно удовлетворить различными решениями осветительных установок. В зависимости от выбранных источников света, светильников, их размещения, электроустановочных изделий, трассы прокладки электрических сетей и т. д. могут существенно изменяться как капитальные вложения на сооружение осветительных установок, так и годовые эксплуатационные расходы на ее обслуживание.

При оценке экономичности сравниваемых вариантов осветительной установки одновременно сопоставляются как первоначальные капитальные вложения, так и годовые эксплуатационные расходы. Эти показатели могут служить основанием для принятия решения только при равенстве параметров, характеризующих светотехнические установки (освещенность, яркость полей адаптации, качественные показатели освещения, спектральный состав света и т. д.), ее надежность и условия электробезопасности.

Сопоставление первоначальных (капитальных) затрат (K) производится по смете. Однако вариант с большими капитальными вложениями может характеризоваться меньшими эксплуатационными расходами и рассматриваться как оптимальный, если увеличение капитальных затрат окупается в срок не более 8,3 лет (нормативный срок окупаемости капитальных вложений в строительство). Поэтому в общем случае выбирают вариант, в котором меньше приведенные годовые затраты

$$Q = Э + (\alpha + 0{,}12) K_з, \qquad (5.1)$$

где Э — ежегодные эксплуатационные расходы, руб/год; $K_з$ — первоначальные капитальные затраты, руб; α — ежегодные амортизационные отчисления в долях единицы (обычно 0,1); 0,12— нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, соответствующий сроку окупаемости капитальных вложений, равному 8,3 года.

Сравнение экономичности вариантов осветительных установок применяют только в случаях, когда варианты создают практически равноценные условия освещения. При несоблюдении условий освещения: наличии разницы в освещенности или сравнении варианта люминесцентного освещения с вариантом освещения, выполненным лампами накаливания, а также сравнении варианта общего освещения с вариантом комбинированного, при которых могут заметно отличаться уровни освещенности на рабочих местах, а следовательно, и производительность труда, такой метод не может быть признан удовлетворительным.

Определять наиболее экономичный вариант по приведенным затратам рекомендуется, когда в сравниваемых вариантах нет разницы в осветительных условиях. Годовые эксплуатационные

расходы в приведенных затратах на осветительную установку по методике, предложенной С. А. Клюевым, могут рассматриваться состоящими из следующих основных элементов:

$$Э = Э_э + Э_л + Э_а + Э_ч + Э_р, \qquad (5.2)$$

где $Э_э$ — стоимость электроэнергии, израсходованной за год; $Э_л$ — стоимость ламп, сменяемых за год; $Э_а$ — стоимость амортизации осветительной установки за год; $Э_ч$ — стоимость чистки светильников за год; $Э_р$ — стоимость обслуживания и текущего ремонта.

Стоимость сменяемых ламп определяется раздельно по типам ламп с различным сроком службы путем умножения суммарной стоимости ламп данного типа на кратность замены, т. е. отношение годового числа часов использования к среднему сроку службы ламп.

При использовании для обслуживания механизированных средств учитывается стоимость расходуемой ими энергии. При устройстве мостиков для обслуживания их стоимость входит в капитальные затраты $K_з$.

Стоимость электроэнергии, израсходованной за год, можно определить согласно уравнению.

$$Э_э = \alpha k_{сп} PTq\left(1 + \frac{\Delta U}{100}\right), \qquad (5.3)$$

где α — коэффициент, учитывающий потери электроэнергии в пускорегулирующих аппаратах газоразрядных ламп; P — установленная мощность, кВт; $k_{сп}$ — коэффициент спроса; T — число часов использования осветительной установки в год; q — стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб.; ΔU — потеря напряжения в осветительной сети до «средних ламп», %.

Стоимость ламп, сменяемых за год,

$$Э_л = Nn\frac{I}{t}А, \qquad (5.4)$$

где N — число светильников; n — число ламп в светильнике; А — стоимость одной лампы, руб.; t — номинальный срок службы, ч.

Амортизационные отчисления определяются частью первоначальных затрат. Как правило, сроки службы отдельных элементов осветительных установок различны. Так как в сравниваемых вариантах осветительных установок одинаковые уровни освещенности и источники света, стоимость электроустановочных изделий (сети, щитки и т. д.) можно принять одинаковой и исключить из сравнения.

Приближенно срок службы светильников принимают равным 10 годам вне зависимости от их конструкции, тогда

$$Э_а = 0{,}1N(Б + М), \qquad (5.5)$$

где $Э_а$ — амортизационные отчисления; N — число светильников; Б — стоимость светильника; М — стоимость монтажа светильника.

Стоимость чистки светильников за год $Э_ч$ определяется произведением числа светильников N на количество чисток за год m и стоимость одной чистки в рублях B:

$$Э_ч = NmB. \tag{5.6}$$

В расчетах широко применяются формулы С. А. Клюева: для определения приведенных затрат Q осветительной установки, содержащей N светильников,

$$Q = N\left[\frac{TAn}{\tau} + \frac{\alpha pTqn(1+\beta) + 220(Б + М + \gamma) + 1000\,mB}{1000}\right], \tag{5.7}$$

капитальные затраты, руб.

$$K_з = N(An + Б + М + \gamma + 0{,}001\alpha pCn). \tag{5.8}$$

Эксплуатационные расходы, руб.

$$Э_р = N\left[\frac{TAn}{\tau} + \frac{\alpha pTqn(1+\beta) + 100(Б + М + \gamma) + 0{,}1\,\alpha pCn + 1000mB}{1000}\right], \tag{5.9}$$

где n — число ламп в светильнике; p — мощность лампы, Вт; τ — номинальный срок службы ламп; T — число часов использования осветительной установки в год; q — тариф на электроэнергию, руб/кВт·ч; m — число чисток светильников в год; А, Б — цены лампы и светильника, руб; М — стоимость монтажа одного светильника, руб.; С — стоимость монтажа электрической части осветительной установки на 1 кВт установленной мощности ламп и потерь в пускорегулирующих аппаратах (для установок с газоразрядными лампами), руб/кВт; B — стоимость одной чистки светильника, руб.

Значения коэффициентов α, β и γ приведены в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Коэффициент	Лампы накаливания	Люминесцентные лампы	Лампы ДРЛ	
			без конденсаторов	с конденсаторами на групповых линиях
α	1	1,2		1,1
β	$\frac{\varepsilon}{100}$	$\frac{\varepsilon}{100\cos^2\varphi}$	$\frac{\varepsilon}{100\cos^2\varphi}$	$\frac{\varepsilon_{пит}}{100\cos^2\varphi_{пит}} - \frac{\varepsilon_{гр}}{100\cos^2\varphi_{гр}}$
γ	0	0	0	$K + М_к$

В таблице приняты следующие обозначения: $\varepsilon_{пит}$ — потери напряжения в осветительной и питающей сетях (от трансформатора до средней лампы и от трансформатора до группового щитка), %;

$\varepsilon_{гр}$ — потеря напряжения в групповой сети до средней лампы, %; cosφ — коэффициент мощности осветительной установки с газоразрядными лампами; $\cos\varphi_{пит}$ и $\cos\varphi_{гр}$ — то же, для питающей и групповой сетей с лампами ДРЛ; K — стоимость приходящихся на один светильник конденсаторов для повышения коэффициента мощности при лампах ДРЛ, устанавливаемых на групповых линиях, руб.; $M_к$ — стоимость монтажа конденсаторов при лампах ДРЛ, руб.

Годовое число часов использования обычно принимается равным:

Для внутреннего освещения *, ч:	
при односменной работе на широте, град:	
46	550 (2150)
56	600 (2150)
64	700 (2150)
при двухсменной независимо от широты	2250 (4300)
при трехсменной	4150 (6500)
при круглосуточной	4800 (8760)
Для наружного освещения:	
включенного всю ночь	3500
выключенного в 1 ч ночи	2400

* Значения в скобках для помещений без естественного света.

Числовые значения, входящие в формулы (5.6) — (5.9), определяются так: тип, мощность и число светильников — светотехническими расчетами; срок службы источников света — по ГОСТу или техническими условиями на источники света; цены ламп А, светильников Б и конденсаторов К — по действующим прейскурантам или данным заводов-изготовителей; число чисток светильников в год m — по СНиП II-4—79 или отраслевым нормам; стоимость чисток с достаточной точностью можно принять по табл. 5.4.

Таблица 5.4

Способ доступа к светильникам для обслуживания	Стоимость одной чистки, руб. светильников с лампами		
	накаливания	ДРЛ	люминесцентными
Лестницы, стремянки	0,4	0,5	0,6
Напольные передвижные подъемные устройства:			
(вышки) несамоходные	0,5	0,6	0,75
то же, самоходные	0,6	0,8	1,0
Мостовые технологические краны и технологические кран-балки с прицепным мостиком при их технологической загрузке до, %:			
25	0,75	1,0	1,25
40	0,9	1,2	1,5
60	1,2	1,6	2.0
Мостовые ремонтные краны, кран-балки с прицепным мостиком	0,7	0,9	1,1
Стационарные мостики, галереи, площадки	0,3	0,4	0,5

Тариф на электроэнергию для освещения промышленных предприятий принимается по расценкам электроснабжающих организаций, а при отсутствии — стоимость 1 кВт·ч можно принять равной 0,015 руб.

Стоимость монтажа электрической части осветительных установок на 1 кВт установленной мощности C принимается усредненной на основании практики проектирования в соответствии с проектами-аналогами. При отсутствии таковых можно принять равной 65 руб.

Для расчетов приведенных затрат можно рекомендовать усредненные значения потери напряжения в осветительных сетях: $\varepsilon = 3\%$, $\varepsilon_{пит} = 1{,}5\%$ и $\varepsilon_{гр} = 1{,}5\%$. На результаты расчета большого влияния значения $\cos\varphi$ не оказывают, поэтому приняты следующие величины: для люминесцентных ламп — 0,9; ламп ДРЛ без конденсаторов —0,5; с конденсаторами на групповых линиях $\cos\varphi_{пит} = 0{,}9$, $\cos\varphi_{гр} = 0{,}5$. При этих условиях коэффициент β в табл. 5.2 для ламп накаливания, люминесцентных и ДРЛ можно принять равным 0,03; 0,037; 0,12 и 0,078.

Для некоторых производств улучшение условий освещения может привести к увеличению производительности труда и снижению брака продукции. При этих условиях увеличение капитальных затрат и эксплуатационных расходов на улучшение освещения может в несколько раз окупиться прибылью, полученной предприятием от прироста и повышения качества выпускаемой продукции, что необходимо учитывать при выявлении выгодных вариантов осветительных установок. В этом случае приведенные затраты должны быть отнесены к количественно одинаковой партии изделий

$$З_i = \frac{Э_i + 0{,}12К_{зi}}{N_i}, \qquad (5.10)$$

где $З_i$ — удельные приведенные затраты на одну партию (штуку) изделий, выпускаемых за определенное время (месяц, неделю); N_i — количество партий (штук) изделий; $Э_i$ и $К_{зi}$ — эксплуатационные расходы и капитальные затраты.

При сопоставлении нескольких вариантов осветительных установок оптимальным по технико-экономическим показателям будет тот вариант, у которого удельные приведенные затраты минимальны

$$э_i + 0{,}12к_i = \min, \qquad (5.11)$$

где $э_i = Э_i/N$ — удельные эксплуатационные расходы на единичную партию изделий; $к_i = K_i/N$ — удельное ежегодное отчисление на покрытие капитальных затрат, отнесенное к одной партии изделий.

Для учета эффекта, получаемого от улучшения освещения, при технико-экономических сопоставлениях необходимы данные о производительности труда (количестве изделий, выпускаемых за определенное время — N), которые часто отсутствуют.

§ 5.4. Выбор источников света

К источникам света массового применения относятся лампы накаливания общего применения и галогенные; люминесцентные, газоразрядные высокого давления типа ДРЛ, МГЛ, НЛВД, ДКсТ и низкого типа НЛНД.

Несмотря на широкое внедрение газоразрядных источников света, лампы накаливания имеют еще большое применение, особенно для освещения жилых зданий.

Положительными характеристиками ламп накаливания являются: широкий ассортимент изготовляемых изделий по мощности, напряжению (12, 36, 42, 127, 220 В и т. д.), назначению (общего применения, прожекторные, транспортные, местного освещения и др.), малая зависимость их работы от окружающей среды (температуры, влажности и т. д.), простота в эксплуатации, компактность, незначительное снижение светового потока в процессе срока службы (около 15% к концу срока службы), сравнительно малая стоимость.

Основными недостатками ламп накаливания являются: низкая световая отдача (12—15 лм/Вт для ламп малой мощности 100—300 Вт и 16—20 лм/Вт для ламп мощностью от 500 до 1500 Вт), ограниченный срок службы (в основном в пределах 1000 ч и только для отдельных типов достигает 1500 ч).

В осветительных установках общего освещения различного назначения широко применяются трубчатые люминесцентные лампы низкого давления.

Их достоинство заключается в высокой световой отдаче, которая для некоторых типов достигает 75 лм/Вт. В СССР разработаны трехполосные люминесцентные лампы, световая отдача которых достигает 90 лм/Вт.

Срок службы этих источников света 10 000ч, у отдельных типов — 15 000 ч. Относительно малая яркость этих ламп (наибольшее значение составляет 10 000 кд/м^2) позволяет создать комфортные условия (по ограничению слепящего действия), что особенно важно для помещений, в которых производится напряженная зрительная работа. Различные типы люминесцентных ламп имеют разный спектральный состав и обеспечивают широкий диапазон требований к цветности излучения. Они обладают лучшей цветопередачей, чем у всех остальных источников света, включая лампы накаливания.

К основным недостаткам этих источников света относятся: относительно сложная по сравнению с лампами накаливания схема включения, ограниченные одиночные мощности, большие размеры источников света для таких мощностей, зависимость световых характеристик от температуры окружающей световой среды (резкое снижение световой отдачи ламп при отклонении от 18—25°С). Зажигание люминесцентных ламп гарантируется только при температуре окружающей среды + 5°С и выше. У них наблюдается значительное снижение светового потока в процессе

регламентированного срока службы (на 46% к концу срока службы). Они обладают пульсацией светового потока при питании осветительной установки током промышленной частоты 50 Гц, для устранения и уменьшения которой необходимо применять определенные схемы включения при совокупном действии нескольких ламп.

Лампы ДРЛ имеют высокую световую отдачу (55 лм/Вт), большой срок службы (10 000 ч), компактность и практически независимы от температуры окружающей среды (кроме особо низких). К недостаткам ламп следует отнести: преобладание в их излучении сине-зеленой части спектра, ведущее к неудовлетворительной цветопередаче, что исключает возможность применения этих ламп при работе с цветными объектами. Эти лампы работают только на переменном токе, включаются в сеть через балластный дроссель и имеют длительное время разгорания (7 мин), повторное включение после кратковременного перерыва питания лампы возможно лишь после ее остывания (10 мин). У них наблюдается резкое снижение светового потока в процессе использования, пульсация светового потока значительно большая, чем у люминесцентных ламп.

В СССР начался массовый выпуск металлогалогенных ламп типа МГЛ. Они имеют более высокую световую отдачу (до 100 лм/Вт) и лучшие цветовые характеристики излучения по сравнению с лампами ДРЛ. Однако у ламп МГЛ значительно меньше срок службы (1000—5000 ч) и более сложная аппаратура для зажигания (кроме балластного дросселя необходимо специальное поджигающее устройство).

Лампы ДКсТ обладают большой единичной мощностью 5—50 кВт и имеют световую отдачу 20—45 лм/Вт, характеризуются сроком службы 300—700 ч. Из всех выпускаемых промышленностью источников света они наиболее близки по спектральному составу к естественному свету.

Недостатком этих источников света являются большие пульсации светового потока и избыток ультрафиолета в их излучениях, что при освещенности, создаваемой ими порядка 150 лк, приводит к переоблученности ультрафиолетом. Сложность и малая надежность работы их зажигающего устройства являются серьезным недостатком этих источников света, хотя для горения лампы балласт и не требуется.

Ламповая промышленность приступила к изготовлению натриевых ламп высокого давления типа НЛВД. Эти источники света имеют значительное преимущество перед другими газоразрядными лампами; более высокая световая отдача, составляющая 110—130 лм/Вт, и срок службы более 20 000 ч.

Изготовленные за рубежом натриевые лампы низкого давления типа НЛНД имеют световую отдачу того же порядка, однако срок службы их значительно ниже, чем у НЛВД.

Оба типа натриевых ламп (НЛВД и НЛНД) не рекомендуется использовать при повышенных требованиях к цветопередаче

и цветоразличению. Согласно требованиям СНиП II-4—79 газоразрядные лампы низкого и высокого давления (люминесцентные, ДРЛ с исправленной цветностью, металлогалогенные, натриевые, ксеноновые) следует применять в установках промышленного освещения в помещениях и вне зданий.

Однако, несмотря на высокую световую отдачу и большой срок службы, газоразрядные лампы высокого давления не обеспечивают удовлетворительной цветопередачи и могут быть рекомендованы для освещения там, где отсутствуют эти требования: например, цехи металлургических и машиностроительных заводов, большинство цехов заводов промышленности строительных материалов и т. д., особенно цехов большой высоты, в которых возникают трудности, связанные с обслуживанием светильников. В таких случаях применение ламп большой единичной мощности, с высокой светоотдачей и большим сроком службы позволяет значительно сократить эксплуатационные расходы на осветительную установку.

Удовлетворительная работа ламп ДРЛ, МГЛ, НВЛД и ДкСТ при низких температурах окружающей среды позволила расширить область их применения для освещения мест производства работ вне зданий (строительные площадки, открытые карьеры по добыче полезных ископаемых и строительных материалов и т. д.), открытых складов, фабрично-заводских территорий, улиц и площадей городов и населенных пунктов.

Достоинства люминесцентных ламп не вызывают сомнения при освещении рабочих операций, связанных: с контролем цвета при высоких требованиях к цветоразличению (контроль готовой продукции на швейных фабриках, сортировка кожи, кабинеты врачей и т. п.) — лампы ЛДЦ, ЛХЕ, ЛДЦ УФ; с сопоставлением цветов и высокими требованиями к цветоразличению (раскрой верха обуви, контроль сырья на швейных фабриках, окраска машин, и т. д.) — ЛДЦ, ЛБЦТ, ЛДЦ УФ, ЛХЕ; с различением цветных объектов без контроля и сопоставления (сборка электронных приборов, радиоаппаратуры, намотка проводов, переплетные цехи и т. д.) — лампы ЛБ, МГЛ.

Несмотря на то что приведенные затраты для установок с люминесцентными лампами обычно выше приведенных затрат для установок с лампами накаливания, применение люминесцентных ламп следует рекомендовать: в производственных помещениях, где работа связана с большим и длительным напряжением зрения или в помещениях, где необходимо создать особо благоприятные условия для зрения находящихся в них людей (контрольно-браковочные операции всех производств, основные цехи электронной и радиоэлектронной промышленности, точного приборостроения и т. п.); в производственных помещениях без естественного света или с недостаточным по нормам естественным светом, если они предназначены для длительного пребывания людей.

В общественных, административных и подобных им зданиях из числа газоразрядных ламп должны применяться только люми-

несцентные. Бесспорна необходимость их применения (а не ламп накаливания) в конторских, чертежных, учебных и других помещениях; в помещениях, где целесообразность люминесцентного освещения обусловлена архитектурно-художественными соображениями (музеи, выставочные павильоны, картинные галереи).

Для общего освещения производственных помещений распространены люминесцентные лампы типа ЛБ, как обладающие наиболее высокой световой отдачей.

В высоких цехах (высотой более 8 м) при работе с ахроматическими объектами применяются лампы МГЛ, ДРЛ, за рубежом — лампы высокого давления типа НЛВД, в наружных осветительных установках — мощные галогенные лампы накаливания; ксеноновые типа ДКсТ, ДРЛ, НЛВД и т. д.

Лампы накаливания допускается применять при технической невозможности использования газоразрядных ламп, а также в помещениях специального назначения, где этого требует архитектурное решение.

Работы в области источников света направлены на улучшение их параметров, а также на разработку новых высокоэффективных ламп. Общее развитие источников подчинено требованию экономии электроэнергии, реализуемому путем повышения световой отдачи, увеличения срока службы, снижения материалоемкости и улучшения спектральных характеристик. При этом качество источников света предлагается оценивать в зависимости от их свойств, условно разделяемых на две группы. Свойство *первой группы* определяет качество генерируемой световой энергии. Это цветовая температура, индекс цветопередачи, коэффициент пульсации и стоимость 1 лм·ч. *Ко второй группе* относятся фотометрические, электрические, механические, термические, акустические, инерционные и технологические свойства. При выборе источников света решающим является показатель стоимости световой энергии, определяемый с учетом потерь светового потока в осветительных установках.

§ 5.5. Выбор системы освещения

При проектировании осветительных установок всегда стоит вопрос о выборе системы освещения: общее (равномерное или локализованное) и комбинированное (к общему освещению добавляется местное). Система общего освещения предназначается не только для освещения рабочих поверхностей, но и всего помещения, в связи с чем светильники общего освещения обычно размещают на потолке или в непосредственной близости от него, на достаточно большом расстоянии от рабочих поверхностей.

В системе общего равномерного освещения расположение светильников равномерно по помещению: расстояния между светильниками, а также расстояние между их рядами выдерживаются неизменными.

Равномерное размещение светильников обычно применяется при равномерном размещении оборудования по помещению, а следовательно, и при равномерном расположении в нем рабочих мест.

Система общего равномерного освещения рекомендуется при: равномерной высокой плотности расположения оборудования в помещении, если это оборудование не создает теней на рабочих поверхностях и не требуется изменение направления света (механосборочные цехи); выполнении однотипной работы по всей площади помещения (литейные цехи); выполнении работ V—VIII разрядов СНиПа, а также во вспомогательных и складских помещениях.

Система общего равномерного освещения применяется для освещения мест производства работ вне зданий. Локализованное освещение используют для освещения тех мест работ, которые нуждаются в повышенной освещенности по сравнению с уровнями освещенности всей территории.

При общем локализованном освещении светильники размещают применительно к расположению оборудования, что позволяет создать желательное направление светового потока на рабочие поверхности и устранить падающие тени от близко расположенного оборудования или самого рабочего.

Локализованное расположение светильников применяется при использовании в технологии производства сборочных конвейеров: сборке радиоизделий, швейном конвейере, сборке автомобилей и т. п.

Система общего локализованного освещения применяется при: сосредоточенном на отдельных участках расположении рабочих мест; выполнении в одном помещении работ различной точности, требующих разных уровней освещенности, наличии отдельных рабочих поверхностей больших размеров, требующих высоких уровней освещенности и ограничения яркости выходного отверстия осветительных устройств (разметочные плиты).

При локализованном освещении по сравнению с равномерным значительно снижается удельная установленная мощность и создается более благоприятное распределение светового потока на рабочих поверхностях. К недостаткам локализованного освещения следует отнести более неравномерное распределение яркости в поле зрения по сравнению с равномерным освещением и некоторое усложнение прокладки электрической осветительной сети.

При системе комбинированного освещения к общему освещению добавляется местное. Светильник местного освещения располагается непосредственно у рабочего места и освещает только лишь рабочую поверхность. Общее освещение в этой системе используется для выравнивания распределения яркости в поле зрения и создания необходимой освещенности по проходам помещения. При системе комбинированного освещения установленная мощность значительно меньше мощности одного общего освещения, особенно при высоких значениях нормированной освещенности, поэтому расход энергии при системе комбинированного освещения ниже, чем при общем.

Так как светильники местного освещения располагаются у рабочих мест, их эксплуатация, смена перегоревших ламп, чистка и текущий ремонт упрощаются, а эксплуатационные расходы, определяемые в основном расходом электроэнергии, обычно меньше при системе комбинированного освещения. Кроме того, непроизводительный расход электроэнергии можно снизить и за счет отключения местного освещения на тех рабочих местах, на которых в данный момент работа не производится.

Одним из достоинств системы комбинированного освещения является возможность регулирования в широких пределах направления светового потока, излучаемого светильником местного освещения.

Увеличение неравномерности распределения яркости в поле зрения из-за наличия пятен повышенной яркости на рабочих местах, создаваемых светильниками местного освещения, при выполнении требований СНиПа по соотношению уровней освещенности, создаваемых общим и местным освещением, не оказывает отрицательного влияния на видимость и работоспособность зрения.

На основании анализа достоинств и недостатков систем освещения можно заключить, что систему комбинированного освещения следует применять: при выполнении в помещениях работ I—IV разрядов, за исключением тех случаев, когда устройство местного освещения технически невозможно или нецелесообразно; при наличии в помещениях громоздкого оборудования, создающего глубокие и резкие тени на рабочей поверхности в условиях использования общего освещения; при необходимости изменения направления светового потока в ходе выполнения технологического процесса; при использовании источника света со спектральным составом, позволяющим повысить контраст объекта различения с фоном, а следовательно, и значительно улучшить условия работы зрения.

§ 5.6. Выбор освещенности, коэффициента запаса и типа светильника

Определение уровня освещенности согласно требованиям СНиПа подробно изложено в гл. 2. Выбор освещенности в практических условиях упрощается наличием отраслевых норм, в которых приводятся значения освещенностей для основных производственных операций рассматриваемой отрасли промышленности.

При проектировании осветительной установки в расчет вводится коэффициент запаса, учитывающий снижение светового потока источника света вследствие его старения, а также снижение к. п. д. светильника в результате загрязнения ламп, осветительной арматуры и ограждающих поверхностей освещаемого помещения.

Бóльшее значение коэффициентов запаса при использовании газоразрядных ламп по сравнению с лампами накаливания при тех же условиях эксплуатации объясняется бóльшим снижением светового потока у газоразрядных ламп к концу службы, чем у ламп накаливания.

Экономичность, качество и удобство эксплуатации осветительной установки зависят от выбора светильников. Экономичность и качество освещения определяются их светотехническими характеристиками, надежность и эксплуатационные требования — конструктивным исполнением.

Необоснованный выбор светильника может привести к значительному удорожанию осветительной установки, увеличению установленной мощности. Несоответствие конструктивного исполнения светильника условиям окружающей среды снижает надежность и долговечность осветительной установки, а также может явиться причиной пожара и взрыва. Выбор светильника определяется светотехнической характеристикой светильника, характером окружающей среды, экономичностью установки.

Основное назначение светильников заключается в перераспределении светового потока источников света в требуемых для осветительных установок направлениях и защите ламп, оптических элементов и электрических аппаратов светильников от воздействия окружающей среды.

Светораспределение светильника является основной характеристикой, определяющей светотехническую эффективность применения светильника в заданных условиях. Его нужно выбирать с учетом необходимости обеспечения максимально возможной экономичности установок и создания нормированных значений освещенности при высоком качестве освещения.

Светораспределение светильников характеризуется классами и типами кривых сил света, обусловленными ГОСТ 17677—82 (светильники, виды и обозначения):

Светильники разделяются на классы по светораспределению в зависимости от доли светового потока, излучаемого в нижнюю полусферу, к общему потоку светильников (табл. 5.5).

Таблица 5.5

Классы светильников по светораспределению

обозначение	наименование	доля светового потока, направленного в нижнюю полусферу, от всего потока светильника
П	Светильники прямого света	$\Phi_{\smile}/\Phi_{св} > 80$
Н	Светильники преимущественно прямого света	$60 < \Phi_{\smile}/\Phi_{св} \leqslant 80$
Р	Светильники рассеянного света	$40 < \Phi_{\smile}/\Phi_{св} \leqslant 60$
В	Светильники преимущественно отраженного света	$20 < \Phi_{\smile}/\Phi_{св} \leqslant 40$
О	Светильники отраженного света	$\Phi_{\smile}/\Phi_{св} \leqslant 20$

Этот же ГОСТ устанавливает 7 типовых кривых силы света (рис. 5.4): концентрированная (К), глубокая (Г), косинусная (Д), полушироκая (Л), широкая (Ш), равномерная (М), синусная (С). Основным признаком, определяющим тип кривой, является отношение максимальной силы света светильника к средней арифметической для данной плоскости. В табл. 5.6 указана зона направлений максимальной силы света.

Таблица 5.6

Обозначение типа кривой силы света согласно рис. 5.4	Тип кривой силы света	Зона направлений максимальной силы света, град
К	Концентрированная	0—15
Г	Глубокая	0—30; 180—150
Д	Косинусная	0—35; 180—145
Л	Полушироκая	35—55; 145—125
Ш	Широкая	55—85; 125—95
М	Равномерная	0—90; 180—90
С	Синусная	70—90; 110—00

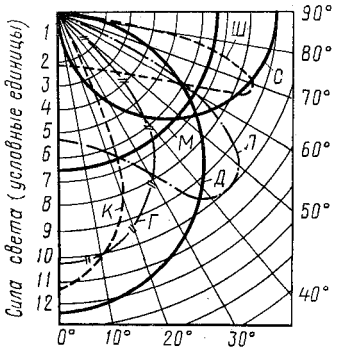


Рис. 5.4. Типовые кривые силы света по ГОСТ 17677—82

Тип кривой силы света можно указывать для любой из полусфер и меридиональных плоскостей. Если полусфера и плоскость не указаны, то подразумевается нижняя полусфера и круглосимметричное светораспределение, а для светильников с двумя плоскостями симметрии — поперечная плоскость.

В помещениях производственных зданий, в которых рабочая поверхность в основном расположена в горизонтальной плоскости при общем равномерном освещении, а ограждающие поверхности имеют низкий коэффициент отражения (например, стены с большими площадями остекления и с ферменными перекрытиями на потолке), целесообразны светильники прямого света (класс П по табл. 5.5). В таких условиях светильники прямого света, излучая световой поток вниз на рабочие поверхности, гарантируют минимальные потери и максимальное использование светового потока источников света. При этом чем выше освещаемое помещение и больше нормированная освещенность, тем более концентрированным светораспределением должен обладать светильник. Так, при большой высоте помещения (8 м и более) и нормируемой освещенности 200 лк и более следует выбирать светильники с кривыми силы света К или Г (см. табл. 5.6).

В помещениях меньшей высоты, имеющих светлые потолки и стены, рекомендуется применять светильники преимущественно прямого света класса Н с кривой Г (см. табл. 5.5 и 5.6).

При малых высотах помещения и нормированных уровнях освещенности преимущество остается за светильниками, имеющими кривую светораспределения типа Д.

Для увеличения соотношения между вертикальной и горизонтальной освещенностями следует светильники с типовыми кривыми К заменить на светильники с типовыми кривыми Г; Г на Д, а последние в ряде случаев — светильниками с кривыми Л.

При небольшой высоте помещения и произвольно ориентированном расположении рабочих поверхностей в разных наклонных и вертикальных плоскостях используют светильники рассеянного света (класса Р), с полуширокой (Л) или равномерной (М) кривыми силы света.

В некоторых производственных помещениях характер зрительных работ требует создания достаточных освещенностей как в горизонтальной, так и произвольно ориентированных наклонных и вертикальных плоскостях. При выборе светораспределения светильников для таких помещений необходимо учитывать, что отношение вертикальной освещенности к горизонтальной минимально при кривой типа К, увеличивается при кривых типа Г и Д и является наиболее благоприятным для кривых М и Л.

При освещении вертикальных поверхностей, расположенных по одну сторону от ряда светильников, следует выбирать светильники специального одностороннего светораспределения (типа косого света) или устанавливать в наклонном положении светильники с кривыми силы света Г или Д. Для параллельно расположенных рядами вертикальных рабочих поверхностей рекомендуется использовать светильники с кривыми силы света типа М и Л, располагая их по центру между рядами.

При освещении рабочих мест, работы на которых связаны с различением блестящих поверхностей или объектов на них, не исключена возможность возникновения отраженных бликов большой яркости по направлению к глазу рабочего, что часто нельзя устранить выбором расположения светильников. В таких случаях необходимо использовать светильники с рассеивателями, а в помещениях небольшой высоты — также светильники с кривой типа Л.

При всех условиях выбранные светильники, характеризуемые защитными углами, наличием экранирующих решеток или рассеивателей, должны обеспечивать установленные СНиПом требования по ограничению слепящего действия. По условиям этого ограничения не рекомендуется применение прожекторов внутри здания, их можно использовать только в исключительных случаях для усиления освещения отдельных поверхностей и при таком расположении, когда их светящие части не попадают в поле зрения работающих.

Для административно-конторских и лабораторных помещений

применяют светильники светораспределения класса Н. Светильники преимущественно отраженного света (класса В) и отраженного (класса О) в производственных зданиях не применяются.

Светильники преимущественно отраженного света посылают значительную часть светового потока на потолок и стены помещения, а светильники отраженного света направляют почти весь световой поток на потолок и в верхнюю часть стен, неэкономичны в производственных условиях и в особенности в помещениях с низкими коэффициентами отражения стен и потолка. Их используют в установках архитектурного освещения общественных зданий, где предъявляются особые требования к распределению яркости в поле зрения.

В производственных помещениях и в помещениях общественных зданий, в которых выполняется работа (административно-конторские, помещения машинописных бюро, учебных зданий и т. д.), не рекомендуется применять следующие средства архитектурно-художественного освещения: световые карнизы, ниши, полосы, купола, люстры и т. п. Как исключение допускается при особо высоких требованиях к качеству освещения устройство в помещениях световых потолков, перекрытых рассеивателями или экранирующими решетками, а также применение отраженного света. Для внутреннего освещения практически не применяются светильники с кривой светораспределения Ш (табл. 5.6), которые целесообразны только для наружного освещения.

Расход электроэнергии при сопоставлении светильников с разными кривыми сил света будет наименьшим при максимальном значении произведения коэффициента использования светового потока для данного помещения на световую отдачу применяемого источника света.

Условия среды освещаемого помещения определяют в основном конструктивное исполнение светильника. Конструктивное исполнение светильников должно обеспечивать их пожаро-, электро- и взрывобезопасность, надежность, долговечность работы, стабильность светотехнических характеристик, удобство монтажа и обслуживания.

В нормальных сухих и влажных помещениях допускается применение всех типов незащищенных светильников. В сырых помещениях допускается применение незащищенных светильников, но при условии выполнения корпуса патрона из изоляционных и влагостойких материалов.

На основании ГОСТ 16703—71, 17677—82 и 14254—69 разработана классификация светильников по защите от воздействия пыли и воды окружающей среды, оказывающих влияние на надежность, электро- и пожаробезопасность. Экономичность светильников определяется минимумом приведенных затрат. Учитывая сложность расчетов этого показателя и возможность с некоторыми допущениями упростить обоснование по выбору светильников, С. А. Клюевым был предложен новый критерий экономической эффективности светильника — энергетическая экономичность,

которая определяется отношением минимальной освещенности на расчетной плоскости к удельной мощности:

$$Э_э = E_{min}/p, \qquad (5.12)$$

где E_{min} — минимальная освещенность на расчетной плоскости; p — удельная мощность, равная отношению установленной мощности ламп к площади освещаемого помещения.

Как следует из уравнения (5.12), максимальное значение $Э_э$ возможно только при уменьшении удельной установленной мощности источников света, необходимой для обеспечения требуемой освещенности, т. е. меньшее значение удельной установленной мощности при заданном значении освещенности характеризуется повышением эффективности установки с энергетической точки зрения.

Г. М. Кнорринг предложил энергетическую экономичность определять произведением $Ekh_р^2$, где E — норма освещенности; k — коэффициент запаса; $h_р$ — высота подвеса светильников над рабочей поверхностью. Это позволило указать с экономической точки зрения области наиболее рационального использования различных типов светильников (табл. 5.7), где приведены наименьшие и наибольшие значения $Ekh_р^2$ для некоторых типов светильников, соответствующие наибольшей и наименьшей мощностям ламп в этих светильниках.

Таблица 5.7

Наименование или тип светильника	Применяется с лампами мощностью, Вт	$Ekh_р^2$ при лампе	
		наименьшей мощности	наибольшей мощности
При лампах накаливания			
Универсаль (У)	100—500	150	1 800
Универсаль уплотненный (УПМ)	300—500	650	1 800
Глубокоизлучатель (Гс)	300—1500	2 500	15 000
Глубокоизлучатель уплотненный ГсУ	300—1000	2 500	15 000
При лампах ДРЛ			
Светильник диффузный СД ДРЛ	250—1000	2 500	14 000
«Глубокоизлучатель» зеркальный	500—1000	18 000	27 000
«Глубокоизлучатель» со средней концентрацией потока	250—750	4 000	17 000

Если полученное значение $Ekh_р^2$ меньше нижнего предела для данного светильника, то применять его не следует. При реальных значениях $Ekh_р^2$ больше значений, определяемых верхним

пределом для данного светильника, применение его может быть допущено, если отсутствуют другие более экономические светильники.

§ 5.7. Размещение осветительных приборов

При локализованном освещении расположение светильника должно определяться в каждом конкретном случае индивидуально на основе подробного изучения характера зрительных задач при выполнении технологического процесса производства и конструктивных особенностей оборудования.

Равномерное размещение светильников предназначается для равномерного распределения освещенности по освещаемому помещению. При этом любое превышение освещенности в отдельных точках помещения ухудшит экономические показатели осветительных установок. Так как осветительная установка должна обеспечить норму освещенности на всех рабочих поверхностях, то потребляемая электроэнергия будет минимальной при равномерном распределении освещенности.

Распределение освещенности по освещаемым поверхностям определяется кривой светораспределения светильника, а также относительным расстоянием между светильниками, которое определяется отношением расстояния между светильниками к высоте подвеса над освещаемой поверхностью. В помещениях, где предусматривается общее равномерное освещение лампами накаливания, ДРЛ и МГЛ, светильники рекомендуется располагать по вершинам квадратных (рис. 5.5,*а*) или прямоугольных полей (рис. 5.5,*б*) с отношением большей стороны $\mathscr{L}$ к меньшей $\mathscr{L}_1$ не более чем 1 : 5 или по вершинам ромбических полей (рис. 5.5,*в*) с острыми углами при вершинах, близкими к 60°. При локализованном освещении желательно придерживаться этих же способов размещения светильников. При размещении светильников на фермах или светотехнических мостиках (рис. 5.5,*е*) рекомендуется сокращать число рядов светильников в пролетах производственных зданий.

В зависимости от уровня освещенности светильники с люминесцентными лампами размещают сплошными рядами без разрывов (рис. 5.5,*г*) или с разрывами (рис. 5.5,*д*). В линиях с разрывами расстояние между концами светильников (рис. 5.5,*д*) не должно превышать половины высоты установки светильников над рабочей поверхностью (рис. 5.5,*ж*).

Ряды светильников целесообразно располагать параллельно стенам с окнами или рядам колонн помещения. Светильники с четырьмя люминесцентными лампами и более не обязательно размещать сплошными рядами или рядами с разрывами. Их можно располагать так же, как светильники с лампами накаливания и ДРЛ.

Относительное расстояние между светильниками, обеспечивающее при данной кривой силы света максимальную равномерность, не всегда соответствует наименьшей удельной мощности осветительной установки, т. е. наибольшей энергетической эконо-

мичности. Это для светильников с лампами накаливания объясняется тем, что с увеличением мощности ламп значительно увеличивается их световая отдача.

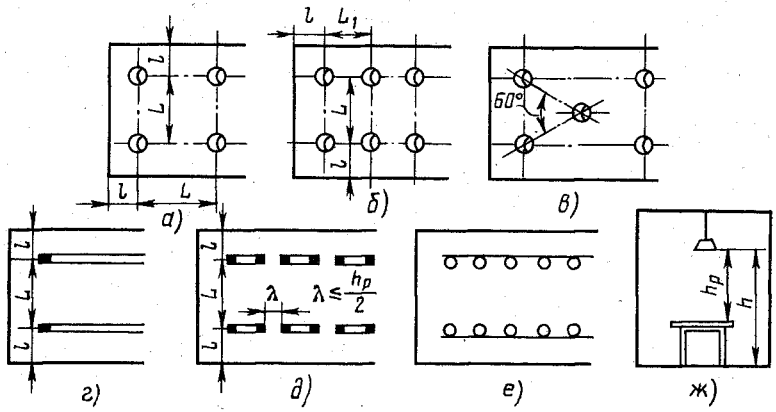


Рис. 5.5. Размещение светильников:

а, б, в — в плане при лампах накаливания и ДРЛ; *г, д* — в плане при люминесцентных лампах; *е* — сближенное размещение вдоль светотехнических мостиков; *ж* — в разрезе

Г. М. Кнорринг показал целесообразность некоторого увеличения расстояния между светильниками при одновременном увеличении мощности ламп, несмотря на нарушение равномерности распределения освещенности по освещаемой поверхности. Значения относительного расстояния $\mathscr{L}/h_р$ для некоторых стандартных светильников приведены в табл. 5.8.

Таблица 5.8

Тип светильника	$\mathscr{L}/h_р$
Светильники с люминесцентными лампами	
ЛДР, ЛДОР, ОДР, ОДОР, ПВЛМ, ЛСПО2(10-18), ЛСПО6(7,15), ЛСОО2, УСП, ЛВП	1,4—1,6
ЛСП13(001-002), ПУ-23	1,6—1,8
ПУ-25	0,9—1,0
ЛСП13(005-008)	0,6
Светильники с лампами ДРЛ	
УПДДРЛ, СД2ДРЛ, РСПО8/Д, РСПО5/Д, СД2РТС	1,4—1,6
С34ДРЛ, РСПО5/Г, ГСПО5/Г	0,9—1
РСПО5/К, ГСП10/К	0,6
Светильники с лампами накаливания	
Гс, ГсУ, НСП17	0,9—1,0
Астра-1, 11, 12, (НСПО1), ППД, УПД	1,4—1,6
С, СУ	1,6—1,8

В процессе проектирования допускаются некоторые отклонения в размещении светильников от данных, приведенных в табл. 5.7, если они связаны с необходимостью согласования со строительными решениями помещения (сеткой колонн, балками и т. д.), приближения расчетного светового потока к потоку стандартной лампы и т. п.

При значительной длине ряда светильников (длина ряда превышает высоту подвеса) наблюдается заметное снижение освещенности у его краев. Для устранения этого снижения освещенности рекомендуется удваивать число светильников на краях (рис. 5.6,*а*) или давать дополнительный ряд светильников, перпендикулярный основным (рис. 5.6,*б*).

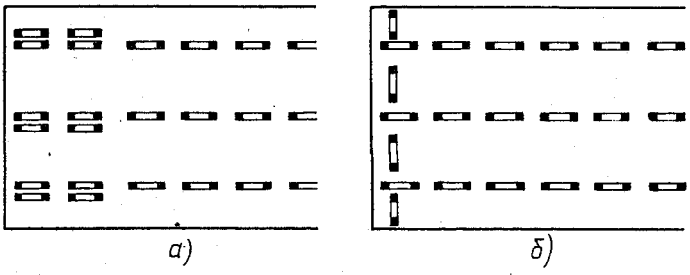


Рис. 5.6. Схема размещения светильников у краев ряда:
а — удвоенное число светильников на краю ряда; *б* — дополнительный поперечный ряд светильников

Расстояние до конца ряда, на котором необходимо удваивать число светильников, зависит от соотношения его длины и высоты подвеса светильников и составляет от 0,3 до 0,5 высоты подвеса светильника над освещаемой поверхностью.

При размещении светильников общего освещения необходимо регламентировать расстояние от крайнего ряда светильников до стен, зависящее от наличия рабочих поверхностей у стен помещения. При наличии их расстояние от крайнего ряда светильников до стены должно составлять 0,25—0,3 расстояния между светильниками. При отсутствии рабочих мест у стен это расстояние может быть увеличено до 0,4—0,5.

Наивыгоднейшее относительное расстояние между светильниками полностью определяет их размещение, так как высота подвеса светильников в практических условиях фактически обусловливается: высотой самих помещений и наличием в верхней зоне их частей производственного оборудования, транспортных средств и инженерных коммуникаций. К таким устройствам относятся различные подвесные конвейеры и транспортеры, мостовые краны, кранбалки, трубопроводы разного назначения и т. п.

Большое влияние на размещение светильников оказывают размещение и высота производственного оборудования. При выборе высоты расположения светильников следует учитывать удобство их монтажа, обслуживания, а также безопасный подход к ним.

Светильники, обслуживаемые со стремянок или приставных лестниц, не должны устанавливаться на высоте более 4,5—5 м, не следует располагать их над громоздким оборудованием.

В высоких производственных помещениях (литейные цехи, сборка электровозов) наличие кранов, перемещающихся вдоль пролетов цеха, предопределяет размещение светильников на уровне ферменных стяжек, что однозначно определяет высоту их подвеса.

В помещениях с невысоким оборудованием (ткацкие цехи, инструментальные и т. д.), высота которых обычно 3,5—5 м, нижний предел минимально допустимой высоты подвеса определяется требованиями ограничения ослепленности, а верхний — потолком помещения, поэтому интервал, в котором изменяется высота подвеса, имеет небольшое значение.

При размещении светильников рассеянного света необходимо обеспечить и условия, гарантирующие равномерность распределения яркости по потолку. Для большинства светильников это условие выполняется при расстоянии от потолка до светильника 0,2—0,25 высоты расположения потолка над рабочей поверхностью.

Светильники местного освещения располагают в непосредственной близости от рабочей поверхности. Поэтому основное требование к размещению светильника заключается в том, чтобы он не мешал выполнению технологической операции на рабочем месте.

Рекомендуется размещать светильники местного освещения на станине станка или других деталях и узлах его, незначительно подверженных вибрации. Не следует размещать светильники на кожухах, щитках или откидных крышках станков. Перед выбором места размещения необходимо изучить рабочее место и определить желательное направление светового потока на рабочую поверхность и пределы его перемещения. При возникновении затруднений, связанных с размещением светильника, следует проверить принятые решения на макете установки светильников.

§ 5.8. Эксплуатация осветительных установок

В процессе эксплуатации снижается эффективность осветительных установок. Это связано со старением ламп, снижением светового потока, загрязнением источника света и отражающих и рассеивающих поверхностей светильника, загрязнением ограждающих поверхностей помещения. Старение ламп с течением времени в процессе эксплуатации — неизбежный процесс, воздействовать на который в условиях работы осветительной установки невозможно. Потери светового потока, определяемые загрязнением источника света, светильника, а также поверхностей помещений, могут быть значительно снижены при хорошо организованной эксплуатации.

Требования к эксплуатации осветительных установок должны предусматривать: приемку в эксплуатацию осветительной установки; своевременную смену ламп и очистку ламп и светильников; планово-предупредительный осмотр и ремонт светильников; вос-

становление отражающих свойств ограждающих поверхностей помещения.

Приемка в эксплуатацию включает проверку соответствия принимаемой установки рабочим чертежам проекта и качества электромонтажных работ. Монтажная организация вместе с проектной документацией (с указанием изменений, которые были произведены в процессе осуществления установки) должна представить акты измерения сопротивления изоляции в сети. Они включают определение сопротивления изоляции между каждым проводом и землей, а также каждыми двумя проводами. Сопротивление изоляции должно быть не менее 1000 Ом на каждый вольт рабочего напряжения в сухих помещениях и 500 Ом в сетях наружного освещения. Проверяют также сопротивления заземлителей и заземляющих магистралей. Приемка осветительных установок производится в дневное, вечернее или в ночное время.

В дневное время проверяют размещение светильников и их соответствие проектной документации, размер сечений проводов и кабелей в осветительных сетях, качество выполнения монтажных работ и т. п.

В вечернее или ночное время проводится инструментальная и визуальная оценка освещения участков, отдельных рабочих мест, соответствие осветительной установки требованиям качественных показателей норм.

Особое внимание обращается на безопасность осветительной установки: заземление металлических частей осветительных приборов, аппаратуры управления и наличие на них защитных кожухов; подключение проводов к ламповому патрону (фазного к его внутреннему контакту, нулевого к наружной резьбе), отсутствие предохранителей на нулевых проводах и т. п.

Обеспечение требований норм в процессе эксплуатации осветительных установок зависит от качества ухода, т. е. своевременной замены источников света и содержания в чистоте осветительных приборов.

Применяются два метода замены ламп. 1. Индивидуальная замена перегоревших ламп — наиболее простой и часто применяемый метод при эксплуатации осветительных установок: лампы заменяются по мере их перегорания, независимо от того, сколько времени лампа проработала и какой световой поток у нее был в конце срока службы. Это приводит к тому, что лампы, используемые сверх срока службы, имеют пониженный световой поток и не обеспечивают нормы освещенности. Поэтому недостатком этого метода является длительное использование потерявших свою эффективность ламп и связанное с этим снижение освещенности, создаваемой осветительной установкой.

2. В практике эксплуатации осветительных установок в нашей стране и за рубежом получил широкое распространение более экономичный метод групповой замены ламп: лампы одного и того же типа, с одинаковым сроком службы заменяют через определенный промежуток времени, несмотря на то, что многие из них

продолжают гореть. Этот промежуток времени рекомендуется брать в пределах от 70 до 80% от номинального срока службы ламп.

Такой способ замены ламп исключает снижение освещенности. К достоинствам групповой замены ламп следует отнести: повышение эффективности осветительной установки в результате постоянного обеспечения нормы освещенности; большие возможности для организации работ по замене ламп и выполнение их в удобное время; сокращение затрат труда и времени.

Недостатком этого метода является использование большого количества ламп. Его можно сократить, применяя пригодные для дальнейшей эксплуатации лампы при освещении подсобных и вспомогательных помещений.

Замену ртутных газоразрядных ламп (люминесцентные лампы различных типов, ДРЛ, МГЛ и т. п.) следует выполнять так, чтобы из разбитых ламп в помещение не попала ртуть, которая вредно действует на организм человека.

Одной из наиболее трудоемких работ при эксплуатации осветительных установок является очистка от пыли и грязи источников света, а также отражающих, рассеивающих и других поверхностей и деталей светильников.

В действующих нормах по проектированию естественного и искусственного освещения регламентируются значения коэффициента запаса, вводимого при расчете осветительных установок, и соответствующие им сроки очистки светильников, которые зависят от количества пыли в помещении. В практике эксплуатации освещения производственных зданий условия среды таковы, что очистить отражатели и рассеиватели светильников от пыли и копоти без применения моющих средств практически невозможно. Современные установки часто включают десятки тысяч светильников. Для их обслуживания необходимы мастерские и специальное оборудование с применением моющих средств.

В последние годы разработаны, освоены и широко распространены светильники, имеющие легко снимаемые отражатели и рассеиватели, что позволяет снимать их и производить очистку в специальной мастерской.

Для правильной организации службы эксплуатации на предприятии необходимо иметь запас светильников и ламп, составляющий не менее 2% общего числа их, находящихся в эксплуатации. Это дает возможность своевременно менять светильники и лампы, вышедшие из строя, и ремонтировать их в удобных условиях мастерской.

Светотехнические мастерские должны иметь большое количество отдельных деталей, которые при эксплуатации выходят из строя и требуют замены: патроны и ламподержатели разной конструкции, клеммные зажимы, рассеиватели, отражатели, ПРА, провода внутренней коммуникации и т. д. Для испытания светильников и их деталей требуются специальные стенды. Необходимо иметь помещение для хранения ламп, светильников и другого электрооборудования.

Наличие приспособлений и устройств для обслуживания осветительных установок определяет в основном своевременную очистку осветительных приборов и смену ламп. Для этой цели в зависимости от высоты установки светильников могут использоваться приставные лестницы и стремянки, передвижные и самоходные телескопические и шарнирные вышки, мостики, которые являются составной частью строительной конструкции здания.

В производственных помещениях для обслуживания светильников можно использовать краны и кран-балки, а для обслуживания уличных светильников — автомашины с корзинкой или площадкой на раздвижной телескопической вышке.

Часто в помещениях производственных зданий с помощью спускных устройств опускают один светильник или группу (рис. 5.7) до уровня 1—1,5 м от пола. Такие устройства рекомендуется применять в помещениях, где отсутствуют краны или высокое технологическое оборудование.

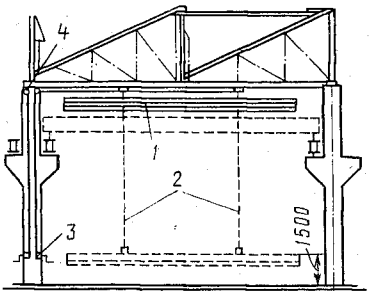


Рис. 5.7. Спускное устройство:
1 — конструкция со светильниками; *2* — трос; *3* — ручная лебедка; *4* — ролик

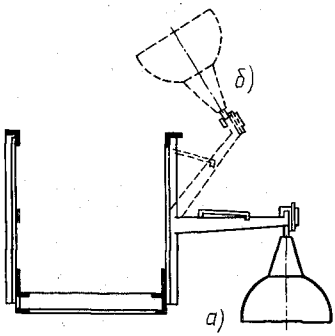


Рис. 5.8. Кронштейн КРП-М для установки светильников с лампами накаливания на ограждении цеховых мостиков:
а — рабочее положение; *б* — положение светильника для смены ламп

В высоких помещениях, не имеющих кранов, а также имеющих краны, полностью используемые для выполнения технологического процесса, для обслуживания светильников предусматриваются стационарные мостики, представляющие собой сварные металлические площадки шириной 0,7 м, протяженностью несколько сотен метров (рис. 5.8). Мостики имеют настил из листовой стали и ограждение высотой 1 м. Они обеспечивают удобный доступ к светильникам, уменьшают трудоемкость их обслуживания, повышают индустриализацию при монтаже. В связи с этим в последние годы во многих высоких цехах металлургических заводов сооружают стальные мостики, которые размещают обычно вдоль пролетов цехов над нижним поясом ферм (см. рис. 5.8). К перилам мостиков укрепляются светильники на поворотных кронштейнах.

Глава 6
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

§ 6.1. Выбор напряжения и источников питания

Для питания светильников общего освещения применяются электрические сети переменного тока напряжением: при заземленной нейтрали не выше 380/220 В, при изолированной не выше 220 В, при постоянном токе не больше 220 В.

В основном широко применяются осветительные сети переменного тока с *заземленной нейтралью*. Сети с *изолированной нейтралью* используются в основном в специальных установках при повышенных требованиях к электробезопасности, а *постоянный ток* — для резервного питания особо ответственных осветительных приемников и в специальных электроустановках.

В последние годы для производственных предприятий стала применяться система трехфазного тока напряжения 660/380 В с заземленной нейтралью. Согласно ПУЭ допускается использование такого напряжения для питания светильников — линейное при системе 380/220 В и фазное при 660/380 В.

Напряжение 380 В для питания светильников общего освещения допускается при высоте установки светильников не менее 2,5 м над полом в случаях, когда: светильники комплектуются лампами, напряжение которых 380 В (например, лампы ДРЛ мощностью 2000 Вт); электрические схемы светильников требуют применения напряжения 380 В (схема с последовательным включением люминесцентных ламп или с трехфазными ПРА); лампы в многоламповых светильниках по условиям эксплуатации подключаются к нескольким фазам.

При питании сетей напряжением 380 В вводы в светильники и ПРА выполняют медными проводниками с изоляцией на напряжение не ниже 660 В; в помещениях с повышенной опасностью и в особо опасных помещениях все фазные провода, вводимые в светильники, отключаются одновременно, а на корпус светильника наносятся хорошо различимые знаки «380 В». В помещениях с повышенной опасностью запрещается ввод в светильники и ПРА двух и трех фаз при системе 660/380 В.

В помещениях опасных и особо опасных вводятся ограничения по применению напряжения 127 и 220 В для светильников общего освещения с лампами накаливания и ДРЛ. Одно из них заключается в том, что при высоте установки светильника менее 2,5 м конструкция их должна исключать возможность доступа к лампам без применения какого-либо приспособления или инструмента (специального ключа, отвертки, плоскогубцев и т. д.). Это вызвано необходимостью повышения электробезопасности людей, не квалифицированных в области обслуживания электроустановок. Оно не обязательно для специально подготовленного персонала.

Напряжение 42 В применяется в особо опасных помещениях

(сырых, загроможденных и т. д.) при установке светильников на высоте до 1,8 м над полом независимо от конструкции светильника.

Для питания светильников местного стационарного освещения с лампами накаливания в помещениях без повышенной опасности рекомендуется применение напряжения не выше 220 В, а в остальных случаях, в том числе для освещения, встроенного в электрические щиты, камеры, в бункеры и прочее оборудование,— напряжение не выше 42 В.

Для местного освещения допускается включение люминесцентных светильников на напряжение до 220 В во всех помещениях, за исключением сырых, жарких и с химически активной средой.

Для питания светильников местного стационарного освещения с лампами накаливания и ручных переносных в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных используется напряжение не выше 42 В.

При неблагоприятных условиях, увеличивающих опасность поражения током, например неудобное положение работающего, теснота, соприкосновение человека с большими металлическими массами, в таких помещениях, как котельные, сталеплавильные цехи, в водопроводных туннелях и т. д., должны применяться сети с напряжением не свыше 12 В.

В настоящее время для питания местного освещения, поставляемого комплектно с металлообрабатывающими станками, применяется напряжение 24 В.

Для обеспечения надежной работы газоразрядных ламп напряжение на них не должно быть ниже 90% номинального, а наибольшее — не более 105% номинального. Частота колебаний напряжения у ламп рабочего освещения при изменениях менее 1% не ограничивается, а более 1% их допустимую частоту определяют в зависимости от величины колебания напряжения по формуле

$$n = 6 / (u_t - 1), \qquad (6.1)$$

где n — наибольшее допустимое число колебаний напряжения, ч; u_t — значение колебания напряжения, %.

Указанное требование не распространяется на лампы местного освещения, обслуживающие станок или механизм, если резкие изменения напряжения связаны с работой их электродвигателей. При резко переменном характере нагрузок отдельных установок допускаются колебания напряжения до 1,5% при неограниченной их частоте.

Питание осветительной сети осуществляется от трансформаторов. При напряжении силовых приемников 380 В питание установок должно осуществляться от трансформаторов 380/220 В, общих для силовой и осветительных нагрузок.

При напряжении силовых приемников 660 В должен производиться обоснованный выбор питания между самостоятельными осветительными трансформаторами 380/220 и 220/127 В, питаемыми от сети высокого напряжения, и промежуточными, питаемыми через силовые трансформаторы.

При напряжении светильников 380 В можно использовать сети 660/380 В.

Применение самостоятельных осветительных трансформаторов необходимо лишь тогда, когда силовая нагрузка вызывает недопустимые колебания напряжения или напряжение 380/220 В — 220/127 В нельзя принять по условиям безопасности (некоторые подземные выработки, где не применяют напряжение более 3×127 В). Совмещение трансформаторов для силовой и осветительной нагрузок уменьшает их общее число и суммарную установленную мощность, сокращает количество аппаратуры и объем помещений подстанций, а также позволяет упростить общую схему электроснабжения.

Питание установок малого напряжения (12—42 В) производится от одно- и трехфазных понижающих трансформаторов, питаемых напряжением 220, 380/220 или 3×220 В от тех же источников, что и общее освещение.

Местное освещение станков осуществляется от осветительных понижающих трансформаторов, поставляемых комплектно с электрооборудованием станка и питаемых от его силовой сети.

У трехфазных понижающих трансформаторов, применяемых для питания осветительных установок малого напряжения (12—42 В), соединяют обмотки на стороне низшего напряжения в звезду или треугольник без выведения нулевой точки. Светильники, питаемые от таких трансформаторов, включают на их линейное напряжение.

§ 6.2. Схемы питания

Требования к надежности питания, качеству напряжения, удобству и безопасности эксплуатации, а также и экономичности осветительных установок могут быть удовлетворены вариантами схем питания. Выбор схемы питания производится только по совокупности всех показателей применительно к конкретным условиям освещения.

Осветительные сети внутреннего освещения разделяются на линии: *питающую*, прокладываемую от трансформаторных подстанций до групповых щитков, и *групповую* — от групповых щитков до светильников.

По надежности электроснабжения осветительные установки делятся на три категории.

I категория — перерыв в электроснабжении не допускается или допускается только на время автоматического включения резерва.

Питание этих установок следует обеспечивать от двух независимых источников. Если же перерыв в работе электроснабжения может привести к разрушению особо важного технологического оборудования, угрозе жизни многих людей и т. п., то осветительные установки выделяют в «особую» группу и питаются они от двух независимых источников с переключением части

светильников (или включением дополнительных светильников) на третий независимый источник при полном (или частичном) отключении установки. Такими аварийными источниками могут быть: дизельные станции, бензиновые двигатели, аккумуляторные батареи, а также электрические связи с ближайшими независимыми источниками, которые остаются в работе при обесточении предприятия, а в нормальном режиме не используются.

II категория — допускается перерыв в электроснабжении на время, необходимое для ручного включения резерва дежурным персоналом или выездной бригадой.

Такие установки практически обеспечиваются автоматическим вводом резерва (АВР).

III категория — все прочие осветительные установки, в которых допускается перерыв в работе на время ремонта или замены поврежденного элемента в течение суток.

В осветительных установках сохранение полного освещения при выходе из строя одного из источников питания или одной из линий не требуется, поэтому необходимая степень резервации питания установки осуществляется устройством аварийного освещения.

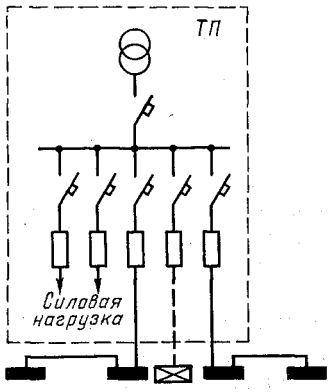


Рис. 6.1. Схема питания осветительной установки от одной автотрансформаторной подстанции:

— щиток рабочего освещения;

— щиток аварийного освещения

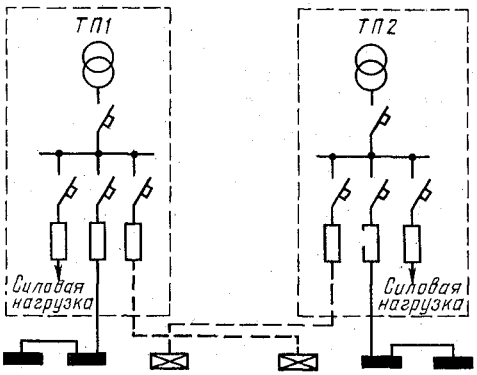


Рис. 6.2. Схема питания осветительной установки от двух подстанций:

— щиток рабочего освещения;

— щиток аварийного освещения

Питание нагрузок III категории может производиться от одной однотрансформаторной подстанции. Все виды нагрузки (силовая, рабочее и аварийное освещение) питаются самостоятельными линиями от шин низшего напряжения подстанции (рис. 6,1) или от ввода в здание.

Погасание всего освещения возможно только при обесточивании трансформатора, т. е. при одновременном отключении

силовой нагрузки, когда отпадает необходимость в аварийном освещении. В отдельных зданиях с небольшой нагрузкой можно ввести только одну питающую линию. Аварийное освещение в таких случаях должно питаться от места ввода самостоятельной сетью. Если в здании кроме осветительного предусмотрен электросиловой ввод, аварийное освещение можно подключать к электросиловому вводу.

Для осветительных установок II категории используется более надежная схема питания. Практически электронагрузки этой категории имеют ту же схему питания, что и нагрузки I категории. В такой ситуации аварийное освещение зданий или их частей питается от одной подстанции, а рабочее от другой (рис. 6.2). Если трансформаторы имеют независимое питание, то данная схема полностью удовлетворяет требованиям к установкам с аварийным освещением. Ее можно рекомендовать и для эвакуационного освещения. Питающие линии аварийного освещения, показанные на рис. 6.2, могут быть присоединены к питающей электросиловой сети.

Широко распространено питание от одной двухтрансформаторной подстанции, когда рабочее и аварийное освещение питаются раздельными сетями от самостоятельных трансформаторов (рис. 6.3).

Так же как и в предыдущей схеме, щитки аварийного освещения могут питаться не самостоятельной сетью, а подключаться к силовой питающей сети. В данной схеме трансформаторы также можно рассматривать в качестве независимых источников питания, если они получают его по независимым системам от разных генераторов. В этом случае схема в отношении надежности не уступает предыдущей с однотрансформаторными подстанциями. Преимущество двухтрансформаторных подстанций заключается в том, что при обесточивании одного из трансформаторов возможно питать нагрузку, в частности рабочее освещение, от другого за счет использования его перегрузочной способности.

Такая схема с автоматическим замещением распространена на встроенных подстанциях производственных предприятий или пристроенных к ним помещениях комплектных трансформаторных подстанций (КТП) заводского изготовления. Они бывают не только двух-, но и однотрансформаторные и состоят из нескольких соединенных между собой стальных шкафов, в которых размещаются трансформаторы, вводные, межсекционные и линейные автоматы.

В питающих сетях освещения применяются как магистральные, так и радиальные схемы в зависимости от мощности и расположения щитков. При магистральных схемах питания одной линией рекомендуется питать не более 5 щитков.

Ограниченность числа защитных аппаратов на распределительных щитах подстанций и большие значения их номинальных токов в ряде случаев делают необходимым питание групповых щитков от распределительного через магистральный, на котором происходит разделение мощного фидера подстанции (рис. 6.4).

Вводы в здание должны быть оборудованы вводными или вводно-распределительными устройствами.

Для зданий, имеющих КТП, такими устройствами могут быть распределительные щиты подстанций, обслуживаемые персоналом потребителя.

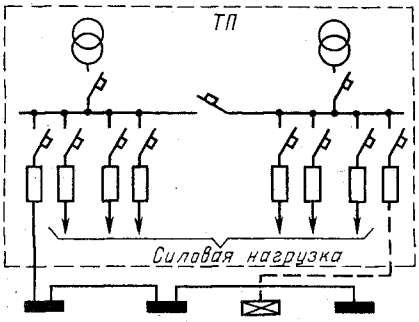


Рис. 6.3. Схема питания осветительной установки от одной двухтрансформаторной подстанции:

— щиток рабочего освещения; — щиток аварийного освещения

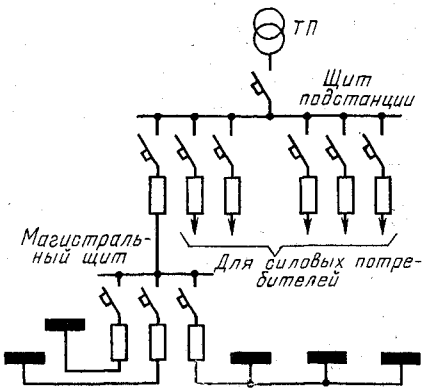


Рис. 6.4. Схема питания освещения через магистральный щиток:

— щиток рабочего освещения

§ 6.3. Групповые осветительные сети

Групповые щитки для питания групповых осветительных сетей следует располагать в таком месте, чтобы обеспечить возможно более рациональное и экономичное построение сети с учетом размещения источников питания, управления и т. д.

Щитки рекомендуется располагать в местах постоянно доступных и удобных для обслуживания. Располагая на щитках систему управления освещением, надо разместить их вблизи основного входа в помещение, чтобы видеть управляемые светильники.

Конструктивное выполнение щитков должно соответствовать условиям окружающей среды. Щитки следует выносить из помещений с тяжелыми условиями среды, а также из взрыво- и пожароопасных помещений и располагать их в помещениях с более благоприятными условиями среды, в помещениях станций управления и на лестничных клетках.

Групповые линии, отходящие от щитков, при трехфазных системах с нулевым проводом можно выполнять: двухпроводными однофазными (рис. 6.5 *а, б*); трехпроводными двухфазными (рис. 6.5 *в*); четырехпроводными трехфазными (рис. 6.5 *г, д*).

В начале каждой групповой линии сети освещения устанавливают аппараты защиты на всех незаземленных проводах, а во взрывоопасных помещениях класса В-I также и на нулевых проводах

двухпроводных групп. В остальных случаях на нулевых заземленных проводах установка аппаратов защиты запрещается.

Автоматы для трехфазных групповых линий могут быть одно- и трехполюсными (рис. 6.5 *г, д*).

Достоинство однополюсных автоматов в том, что они позволяют выключать светильники отдельными группами и уменьшают число отключаемых при коротких замыканиях и других неисправностях в светильниках и групповых линиях. Трехполюсные автоматы применяются в том случае, когда: необходимо одновременно отключать все светильники, питаемые трехфазными четырехпроводными группами; к трехфазной групповой линии присоединяется трехфазный конденсатор для повышения коэффициента мощности; необходимо применять автоматы на токи более 50 А, для которых однополюсные автоматы не изготовляются. Трехполюсные автоматы применяются также для линий, питающих трехфазные понижающие трансформаторы. В трехфазных системах без нейтрали, а также с нулевым проводом при питании светильников не фазным,

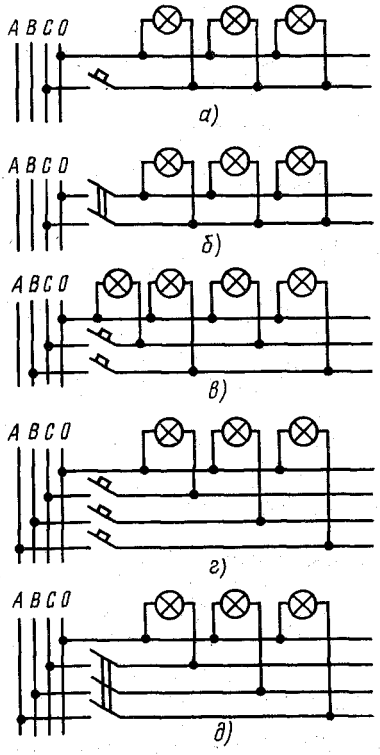


Рис. 6.5. Схемы групповых линий при трехфазной системе с нулевым проводом: *а* — двухпроводная; *б* — двухпроводная для взрывоопасных помещений класса В-I; *в* — трехпроводная; *г* — четырехпроводная, защищаемая однополюсными автоматами; *д* — четырехпроводная, защищаемая трехполюсным автоматом

а линейным напряжением, применяются двухпроводные (двухфазные) (рис. 6.6 *а*) и трехпроводные (трехфазные) (рис. 6.6 *б*) групповые линии, для защиты которых рекомендуется применять двух- и трехполюсные автоматы, при необходимости допускаются и однополюсные.

Питание групповых линий малого напряжения 12—42 В от однофазных трансформаторов осуществляется по схеме рис. 6.6 *а*, а при питании от трехфазных трансформаторов по схеме рис. 6.6, *б*.

Количество и мощность светильников, питаемых одной групповой линией, ограничивается нормируемой ПУЭ величиной тока расцепителей автоматов или плавких вставок предохранителей. Так, номинальный ток плавких вставок предохранителей или уставок автоматов, применяемых для защиты линий групповой сети, не должен превышать 25 А.

В группах, питающих газоразрядные лампы единичной мощностью 125 Вт и более или лампы накаливания 500 Вт и выше, а также в сетях напряжением не выше 42 В, допускается применение аппаратов защиты с номинальным током до 63 А, а в группах, питающих лампы единичной мощностью 10 кВт и более,— с номинальным током, соответствующим силе тока лампы. В этом случае каждая лампа должна питаться отдельной групповой линией. Кроме того, ПУЭ ограничивается числом ламп на каждую групповую линию. Так, каждая групповая линия должна содержать на фазу не более 20 ламп накаливания, ДРЛ, МГЛ или натриевых ламп, в это число включаются также и штепсельные розетки.

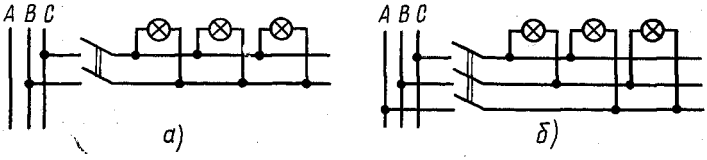


Рис. 6.6. Система групповых линий при трехфазной системе без нулевого провода:
а — двухпроводная; *б* — трехпроводная

Для групповых линий, питающих световые карнизы, панели и т. д., а также светильники с люминесцентными лампами, допускается присоединение до 50 ламп на фазу; для линий, питающих многоламповые люстры, число ламп на фазу не ограничивается. При выборе числа фаз групповых линий следует руководствоваться преимуществами, характеризующими каждую из них: трехфазные четырехпроводные линии по сравнению с однофазными позволяют иметь втрое большую нагрузку при одинаковых токах аппаратов защиты, в шесть раз меньшую потерю напряжения в линии при одинаковых моментах нагрузки и сечениях проводов линии, но при вдвое большей протяженности проводов. При трехфазных группах облегчается чередование светильников, что позволяет уменьшить коэффициент пульсации освещенности для газоразрядных ламп типа ДРЛ, МГЛ и НЛВД. Эти преимущества трехфазных линий делают их особенно экономичными в больших производственных помещениях при значительной мощности общего освещения, в помещениях большой протяженности (туннели, галереи и т. п.), а также в помещениях, освещаемых лампами ДРЛ, МГЛ, НЛВД, а в некоторых случаях и люминесцентными лампами, когда не обеспечивается требуемый по нормам коэффициент пульсации освещенности.

Однофазные группы питания целесообразны для небольших помещений с малым количеством светильников небольшой мощности. При большом числе помещений в производственных зданиях общее освещение рекомендуется питать трехфазными группами с однофазными ответвлениями в отдельные помещения.

В цехах большой протяженности при отсутствии необходимости управления освещением по отдельным участкам рекомендуется

применение системы распределительных магистралей, прокладываемых вдоль цеха и выполняемых шинопроводами или на изолирующих опорах проводами в трубах.

Токовая нагрузка и число светильников для распределительных магистралей не ограничиваются, но на ответвлениях от них к отдельным светильникам или к их блокам должны устанавливаться аппараты защиты и управления.

В осветительных сетях следует предусматривать компенсацию реактивной мощности с доведения коэффициента мощности до значения не менее 0,9. Такая компенсация в установках с люминесцентными лампами осуществляется конденсаторами в составе ПРА для этих ламп, а с лампами ДРЛ, МГЛ и НЛВД, не имеющими конденсаторов в составе ПРА, установленными у щитков трехфазными конденсаторами отдельно на каждой отходящей группе.

Необходимость компенсации в установках с лампами ДРЛ и МГЛ определяется в зависимости от общего коэффициента мощности в системе электроснабжения предприятия. Если активная мощность присоединенных к трансформатору ламп ДРЛ или МГЛ не превышает 10% его номинальной мощности, компенсацию производить не рационально.

Ограничить пульсацию освещенности до норм, предусмотренных СНиПом для люминесцентных ламп, можно, применяя компенсированные ПРА; в установках с лампами ДРЛ, МГЛ, НЛВД обязательно использование трехфазных групповых линий с поочередным присоединением ламп к различным фазам сети. При расстоянии между светильниками меньше рекомендуемого предпочтительно устанавливать в тех же точках блоки из двух, трех светильников, присоединенных к различным фазам сети.

Трассировка линий групповой сети должна обеспечивать удобство монтажа, а при открытой проводке — наглядность и доступность проводки. Для линий, прокладываемых в одном помещении, следует принимать совмещенную трассу и применять объединение нулевых проводов (преимущественно для линий, принадлежащих разным фазам сети). Объединение нулевых проводов рабочего и аварийного освещения, а также нулевых проводов, имеющих защиту, недопустимо.

Линии скрытой проводки рекомендуется прокладывать по кратчайшим расстояниям без соблюдения принципа параллельности строительным линиям. Общие для нескольких линий нулевые провода должны прокладываться в трубах совместно с фазными, а при проводке кабелями или многожильными проводами — заключаются в общую оболочку со всеми фазными проводами или с частью из них. При распределении между фазами однофазных нагрузок следует ограничивать разницу в токах наиболее и наименее нагруженной фазы величиной не более 30% в пределах одного щитка и 10% в начале питающей линии.

В схемах питания освещения помещений производственных и общественных зданий, в которых согласно требованиям СНиПа

или отраслевых норм предусматриваются линии аварийного или освещения безопасности, следует использовать схемы автоматического переключения освещения с основного (нормального) источника питания на резервный (аварийный) при исчезновении напряжения в основном источнике. Такие переключения имеют место в сетях аварийного освещения для продолжения работы на особо ответственных объектах, например, в операционных блоках, а также для эвакуационного освещения из зданий.

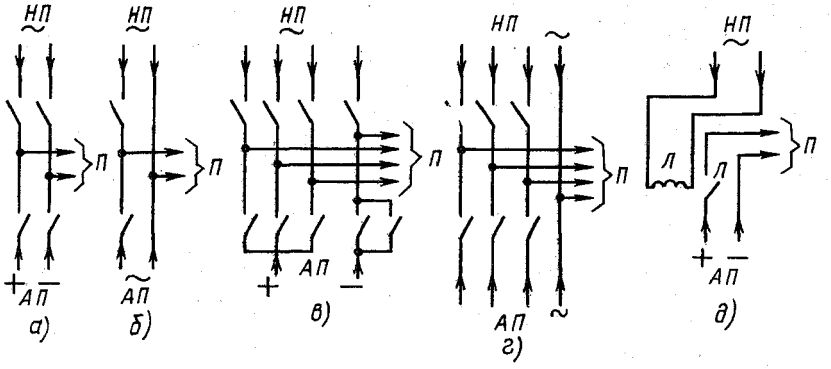


Рис. 6.7 Схема главных цепей станции аварийного переключения:
НП — нормальное питание; АП — аварийное питание; П — потребитель; Л — контактор автоматического включения аварийного освещения

На рис. 6.7, *а—г* показаны схемы главных цепей станций, применяемых для осветительных сетей. Источником питания рабочего освещения во всех схемах является переменный ток, тогда как для аварийного освещения или освещения безопасности может применяться переменный и постоянный ток. В практике проектирования имеет место схема питания, при которой аварийное освещение при действии рабочего отключено и питание аварийного автоматически подключается только при отключении рабочего (рис. 6.7, *д*).

Станции аварийного переключения обеспечивают обратное автоматическое переключение (или отключение) освещения при появлении напряжения на основном источнике питания.

§ 6.4. Защита осветительных сетей и выбор аппаратов защиты

Защиту от токов короткого замыкания должны иметь все осветительные сети. Отсутствие защиты может привести к перегреву проводов и кабелей, вызывая пожары, ожоги, поражения током. Защита от перегрузок также необходима во всех случаях, но она значительно повышает стоимость сети, поэтому используется лишь тогда, когда перегрузки наиболее вероятны, а опасность пожара особенно велика. Защита от перегрузок применяется в электри-

ческих сетях жилых и общественных зданий, служебно-бытовых, пожаро- и взрывоопасных помещениях промышленных зданий, а также взрывоопасных установках наружного освещения. В остальных производственных помещениях защищать от перегрузок, согласно ПУЭ, надо сети, выполненные открыто проложенными незащищенными изолированными проводами с горючей оболочкой, например АПР, ПРД и т. д.

Защита осветительных сетей осуществляется аппаратами защиты — автоматическими выключателями (автоматами) или плавкими предохранителями, автоматически отключающими линии при аварийном режиме, т. е. токе короткого замыкания. Защитное действие автомата основано на отключении цепи при прохождении по ней тока короткого замыкания или перегрузки, что осуществляется расцепляющим механизмом автомата.

Основной характеристикой автомата является зависимость полного времени отключений сети от значения протекающего тока. В автоматах с тепловыми и комбинированными расцепителями время срабатывания зависит от тока перегрузки или короткого замыкания: чем больше ток, тем быстрее автомат отключает линию (автоматы с обратно зависимой от тока характеристикой). Автоматы с мгновенно действующими расцепителями начинают действовать только после того, как ток достигнет определенного для данного расцепителя значения; обычно этот ток в 6—8 раз больше номинального.

Для защиты осветительных сетей используются автоматы с тепловыми и комбинированными нерегулируемыми расцепителями и только на щитах подстанций применяются автоматы с комбинированными регулируемыми расцепителями. Аппараты защиты должны надежно отключать значительные перегрузки и не производить ложных отключений.

Номинальные токи аппаратов защиты должны быть не менее расчетных токов защищаемых участков сети, близкими к ним, и не отключать электроустановку при включении ламп.

В табл. 6.1 данные, предложенные Г. М. Кнорringом, приведены ориентировочно по выбору плавких вставок предохранителей и уставок автоматов с учетом пусковых токов мощных ламп накаливания и ламп ДРЛ.

При установке нескольких автоматов с тепловыми или комбинированными расцепителями в шкафах или ящиках их номинальные токи должны быть снижены на 10—20% в зависимости от числа и загрузки автоматов (из-за возможного перегрева, так как расцепители рассчитаны для температуры 25°С).

Защитные аппараты отключают линии при токах короткого замыкания в минимальное время и с соблюдением требования селективности. В сетях, защищаемых от перегрузки, защита при коротких замыканиях надежно осуществляется аппаратами, выбранными по условиям возможной перегрузки.

Для сетей, не защищенных от перегрузок (выполненных защищенными проводами, кабелями, проводами в трубах в производст-

венных помещениях, не опасных для пожара и взрыва), в установках с глухим заземлением нейтрали при замыканиях в двух- и трехфазных сетях с изолированной нейтралью отключение обеспечивается, если ток короткого замыкания превышает номинальный плавкой вставки предохранителя или расцепителя автомата не менее чем в три раза (автоматы с тепловыми или комбинированными расцепителями).

Таблица 6.1

Тип аппаратов защиты	Отношение номинального тока плавкой вставки или уставки теплового расцепителя автомата к рабочему току линии не менее, для ламп		
	накаливания	ДРЛ	люминесцентных
Плавкие предохранители	1,0	1,2	1,0
Автоматические выключатели с тепловыми расцепителями с уставками менее 50 А	1,0	1,4	1,0
С уставками 50 А и выше	1,0	1,0	1,0
Автоматические выключатели с комбинированными расцепителями с уставками менее 50 А	1,4	1,4	1,0
С уставками 50 А и выше	1,4	1,0	1,0

Во взрывоопасных помещениях это соотношение должно быть не менее: 4— при предохранителях и 6— при автоматах.

При обеспечении соотношения между длительно допустимым током проводника и номинальным током защитного аппарата (табл. 6.2) расчетная проверка кратности токов короткого замыкания необязательна. В этой же таблице приведены аналогичные соотношения при защите сетей от перегрузки. Если сечения, определяемые условиями защиты, оказываются большими, чем необходимые по расчетному току, то можно принять ближайшие меньшие сечения (но не меньше, чем необходимые по расчетному току). Защита в осветительных сетях должна действовать селективно, т. е. аппараты защиты отключают не питающую его линию, а только поврежденный или перегруженный участок сети.

Селективность обеспечивается, когда фактическое время срабатывания аппарата защиты в высшем звене сети значительно больше, чем аппарата в низшем. Для получения селективности необходимо, чтобы время отключения бо́льшего предохранителя превышало время отключения меньшего не менее чем в три раза.

Аппараты защиты должны устанавливаться в начале головных участков осветительной сети, а также во всех местах сети, где сечение уменьшается: на линиях, отходящих от щитов, щитков и других распределительных устройств; на вводах в здание при

питании от отдельно стоящих подстанций; в местах уменьшения сечений проводников по направлению к электроприемникам; на стороне высшего и низшего напряжений понижающих трансформаторов.

Таблица 6.2

Проводники	Характеристика помещений, где требуется защита проводников	Нормируемое соотношение $I_п/I_з$ для аппаратов защиты			
		плавкие предохранители	автоматические выключатели с обратно зависимой от тока характеристикой		автоматические выключатели с максимальными мгновенно действующими расцепителями
			нерегулируемый расцепитель	регулируемый расцепитель	
Сети, защищаемые: *от токов короткого замыкания*					
Проводники всех типов	Все помещения	⩾0,33	⩾1,0	⩾0,66	⩾0,22
от перегрузки					
Открыто проложенные изолированные провода с горючей оболочкой	Производственные невзрывоопасные помещения	⩾1,0			
	Другие помещения	⩾1,25	⩾1,0	⩾1,0	⩾1,25
Защищенные провода, кабели с резиновой и пластмассовой изоляцией, провода в трубах	Производственные пожароопасные помещения	⩾1,0			
	Помещения: торговые, служебно-бытовые промышленных предприятий; общественные и жилые здания; взрывоопасные установки	⩾1,25	⩾1,0	⩾1,0	⩾1,25
Кабели с бумажной изоляцией	Помещения: пожароопасные, торговые, служебно-бытовые промышленных предприятий, общественные и жилые здания; взрывоопасные установки	⩾1,0	⩾1,0	⩾0,8	⩾1,0

По требованию ПУЭ аппараты защиты должны устанавливаться в местах присоединения защищаемых проводников к питающей линии. Допускается отнесение их от места присоединения на рас-

стояние до 3 м, а при ответвлениях в труднодоступных местах — до 30 м. Незащищенные участки следует выполнять кабелями с негорючей оболочкой или проводами в стальных трубах, при длине более 3 м они должны иметь пропускную способность не менее 10% пропускной способности защищенного участка магистрали.

Во всех случаях сечение проводов незащищенного участка должно пропускать расчетный ток ответвления и быть не меньше сечения проводника после защитного аппарата. В нулевых проводниках защитные и отключающие аппараты не устанавливаются, за исключением нулевых проводников двухпроводных линий во взрывоопасных помещениях классов В-1.

В производственных зданиях широко распространены автоматы разных типов, которыми укомплектовываются щитки и распределительные пункты.

Достоинство автоматов заключается в возможности их использования не только как защитных автоматов, но и как отключающих элементов для управления освещением.

§ 6.5. Управление освещением

Способы управления освещением, т. е. его включением и отключением, выбирают с учетом удобства эксплуатации, простоты и экономичности. Всегда необходимо учитывать наличие естественного освещения и характер его использования. В зависимости от обеспечения зон помещения естественным освещением решается, какими частями должно отключаться искусственное. Аппараты управления рекомендуется устанавливать в местах, удобных для использования, а также в наиболее благоприятных условиях среды; иногда для этого отводится специальное помещение.

Применяемые способы управления освещением разделяются на четыре вида: местное, централизованное, дистанционное и автоматическое управление.

Местное управление применяется для небольших помещений и выполняется выключателями, переключателями или другими простыми аппаратами. Приборы управления располагают у входов в помещение со стороны дверной ручки или внутри помещения на высоте около 1,5 м от пола. Вне помещений выключатели устанавливают, если внутри условия среды тяжелее, чем снаружи (например, душевые), а также для помещений, часто находящихся закрытыми (кладовые, склады, вентиляционные камеры и т. п.).

Для местного управления наиболее распространены однополюсные выключатели на 6 и 10 А для открытой и скрытой проводки. Местное управление трехфазными понижающими трансформаторами обычно производится трехполюсными выключателями, устанавливаемыми вблизи трансформаторов.

В помещениях с повышенной опасностью и особо опасных при напряжении 3×220 и 220/127 В и питании светильников напряжением 220 В с целью повышения электробезопасности

для местного управления применяются двухполюсные пакетные выключатели.

В крупных помещениях целесообразно *централизованное* управление, осуществляемое с групповых щитков автоматами, защищающими групповые линии. Если же эксплуатация допускает включение освещения всего помещения одновременно, то для этого можно использовать вводные аппараты на щитках или аппараты в начале питающих линий.

В очень крупных цехах, где общее освещение питается от нескольких подстанций, по условиям производственной работы и естественного освещения допускается централизованное управление, рекомендуется устройство дистанционного централизованного управления освещением здания или группы зданий из одного места, например, диспетчерской, электромашинного помещения, конторы начальника цеха и т. п.

При устройстве централизованного диспетчерского дистанционного управления (ЦДУ) необходимо продумать распределение нагрузок между щитками и щитков — между цепями управления, с тем чтобы одновременно включалось освещение помещений с одинаковыми условиями естественного освещения и режимом производственной работы.

Дистанционное управление осуществляется магнитными пускателями или контакторами, установленными на щитах станций управления (ЩСУ) или в шкафах управления (ШУ), включенными в цепи линий питающей осветительной сети. В пункте управления предусматривается сигнализация состояния освещения, питаемая через каждый из пускателей или контакторов.

При *автоматическом* управлении включение и отключение искусственного освещения производится без участия человека в зависимости от изменения осветительных условий, создаваемых в помещениях естественным освещением, или по заданному суточному графику. Для местного освещения применяются индивидуальные отключающие аппараты, устанавливаемые на рабочих местах.

При проектировании управления общим рабочим освещением следует: в помещениях с боковым естественным освещением предусматривать отключение светильников рядами, параллельными окнам; на один выключатель объединять светильники, требующие одновременного действия по условиям производства; в помещениях с несколькими входами, посещаемых специальным персоналом (например, водопроводные, кабельные и теплофикационные туннели), предусматривать управление освещением от каждого входа или части входов.

В производственных помещениях, где работа производится в три смены, могут быть участки, на которых работа в отдельные промежутки времени может не выполняться. Тогда необходимо предусматривать возможность раздельного управления освещением для наиболее вероятных вариантов организации работ по отдельным зонам и участкам помещения.

Следует учитывать необходимость создания пониженной освещенности в нерабочее время для ремонтных и наладочных работ, для этого включают не все светильники сразу, а часть их, например, путем поочередного подключения светильников в трехфазных четырехпроводных и двухфазных трехпроводных групповых линиях или чередования отдельно управляемых рядов светильников.

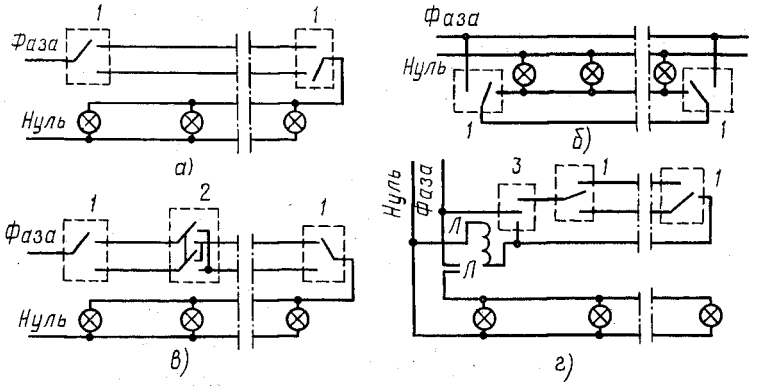


Рис. 6.8. Схема управления освещением:
а — из двух мест; *б* — из двух мест с транзитной фазой; *в* — из трех мест; *г* — с помощью пускателей, реле или контакторов (для управления их катушками применяются схемы *а, б, в*)

Для протяженных помещений с несколькими входами, не используемыми как постоянные проходы (кабельные галереи и туннели, галереи шинопроводов и т. п.), управление рекомендуется осуществлять со всех возможных входов по «коридорной» схеме (рис. 6.8, *а*) при использовании однополюсного переключателя на два направления без нулевых положений.

При схеме рис. 6.8, *б*, применяемой только для управления из двух мест, потеря напряжения в линии больше, чем при схеме рис. 6.8 *а*, но возможно подключать нагрузки, не управляемые по «коридорной» схеме без прокладки дополнительных проводников.

В схеме рис. 6.8, *в* используется переключатель двухполюсный на два направления без нулевых положений.

При токах нагрузки, превышающих допустимые для переключателей (более 6—10 А), а также при двух- и трехфазных линиях управляются не светильники, а катушки магнитных пускателей, реле или контакторов (рис. 6.8, *г*), где используется переключатель однополюсный с нулевым положением.

При управлении магнитными пускателями и подобными аппаратами в цепи катушек устанавливают не кнопки, а выключатели или переключатели для восстановления освещения после временного перерыва питания.

Аппараты управления обычно устанавливают на всех фазных проводах и на обоих проводах сети постоянного тока. Для двухпроводных линий 12—42 В выключатели помещают только в одной

из фаз (полюсов). Незаземленные фазы линий, питающих щитки, трансформаторы и другое электрооборудование должны отключаться одновременно. При этом аппараты управления располагают в непосредственной близости от этого оборудования, а если такая возможность отсутствует, то в местах, доступных только для обслуживающего персонала. При управлении двух- и трехфазными линиями в системах с глухозаземленной нейтралью, питающими однофазные приемники, рекомендуется применять однополюсные автоматы. Установленные на групповых линиях конденсаторы и обслуживаемые ими светильники должны отключаться одновременно и на всех полюсах, т. е. трехполюсным автоматом.

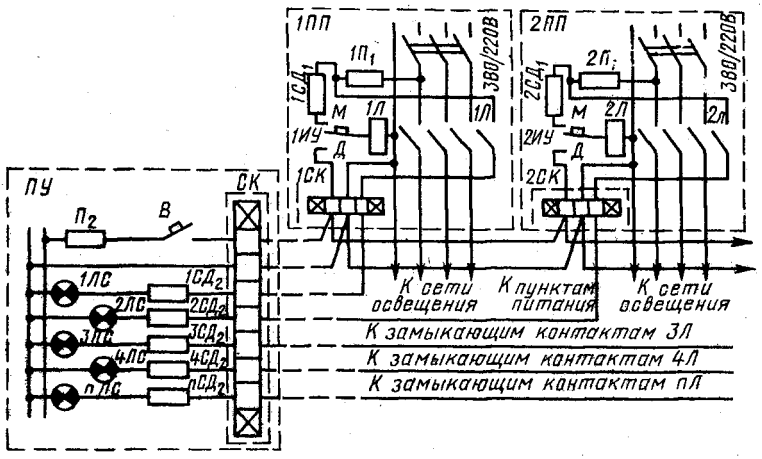


Рис. 6.9. Схема дистанционного управления по сильноточным проводам с применением избирателя управления

Во взрывоопасных помещениях класса В-1 аппараты управления и защиты устанавливают и на нулевых проводах двухпроводных линий. При ПДУ должна сохраняться возможность местного (со щитков или отдельными выключателями) управления освещением. Схемы обычного ПДУ выполняют на переменном токе с прокладкой сильноточных кабелей (рис. 6.9) или на постоянном с использованием жил кабелей телефонной сети. ПДУ включает в себя: пункты управления (ПУ), где устанавливается пункт или щит управления и необходимые для этого приборы, оборудование и блок питания; исполнительные пункты управления (ИП), где размещается сильноточная или слаботочная аппаратура; количество и месторасположения исполнительных пунктов соответствуют количеству и месторасположению пунктов питания управляемой осветительной установки; каналы связи между пунктами управления и исполнительными пунктами. Пункт управления обычно располагается в помещении, где есть дежурный персонал, производящий включение и отключение освещения. В пункте, в зависимости

от принятой схемы питания, должен быть надежный источник постоянного или переменного тока. Надежность питания переменным током обеспечивается от двух независимых источников питания. При аварийном отключении основного источника питания автоматически включается резервное. Сигнальные лампы (ЛС), установленные на блок-контакторах, позволяют контролировать напряжение на участках электрической цепи.

При работе сети дистанционного управления на постоянном токе в пункте управления имеется аккумуляторная батарея или вентильный выпрямитель. Каналы связи пунктов управления с исполнительными пунктами, совмещенными с пунктами питания осветительной установки, выполняют как самостоятельные кабельные или воздушные линии, а также используя телефонную сеть. Отдельные специальные линии управления освещением удобны и надежны в эксплуатации, но их устройство требует больших затрат. Поэтому во всех местах, где это возможно, используются телефонные сети.

Для сильноточных линий дистанционного управления применяются различные контрольные кабели с алюминиевыми жилами, а с медными используются только в виде исключения на ответственных объектах. В менее ответственных воздушных сетях управления, например в сетях управления наружным освещением различных поселков, небольших городов и территорий фабрик и заводов, иногда применяются стальные провода диаметром 3—5 мм. Широко распространенная схема управления освещением по сильноточным проводам показана на рис. 6.9. В каждом пункте питания *1ПП, 2ПП, 3ПП*... на отходящих осветительных линиях дополнительно к автоматам или рубильникам устанавливаются контакторы или магнитные пускатели *1Л, 2Л, 3Л*..., катушки которых питаются от специальной сети с пункта управления (ПУ). В цепь сети управления включен однополюсный выключатель или рубильник *В*, который управляет осветительной установкой. На управляемом пункте питания для контроля за состоянием установки находятся сигнальные лампы *1ЛС, 2ЛС, 3ЛС*..., которые горят при включенном замкнутом положении рабочих контактов магнитных пускателей, так как подключаются через замыкающие блок-контакты магнитных пускателей. Сигнализацию осветительной установки не устраивают на небольших освещаемых объектах, когда горение источников света может наблюдаться визуально, это приводит к упрощению схемы управления и снижению ее стоимости. Для управления освещением с пункта питания при частичном включении осветительной установки (для производства ремонтных работ части территории или отдельного помещения) на каждом пункте питания устанавливают избиратели управления *1ИУ, 2ИУ, 3ИУ*..., представляющие собой нормальные однополюсные пакетные переключатели, например, типа ППМ1—10/Н2 на два направления с нулевым положением. При изображенном положении переключателя *М* обеспечивается местное питание катушки магнитных пускателей вне зависимости от положения

выключателя *В* на пункте управления. При положении *Д* управление производится с пункта централизованного управления. Среднее положение переключателя отключает цепь питания катушки магнитного пускателя и обеспечивает невозможность ее включения с пункта управления, что особенно важно для безопасности при производстве ремонтных работ или смене ламп.

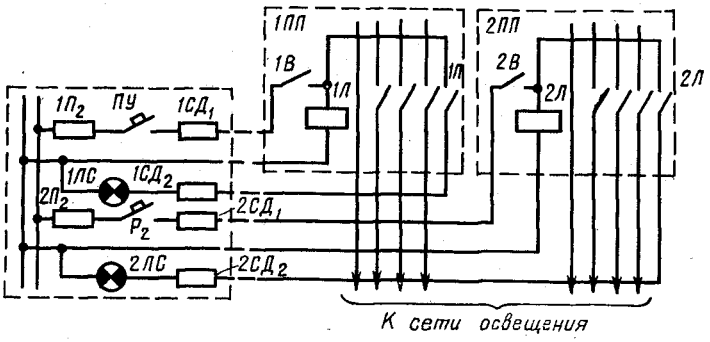


Рис. 6.10. Схема дистанционного управления по сильноточным проводам (при фазном напряжении)

При необходимости согласования подводимого напряжения с паспортными данными катушек устанавливают добавочные сопротивления *1СД, 2СД*,..., выбираемые по характеристикам применяемых типов сигнальных ламп (рис.. 6.10). Установка избирателя управления на пунктах питания лишает возможности диспетчера с *ПДУ* определять режим работы осветительной установки. При установке избирателя управления в положение «местное управление» диспетчер не сможет включить или отключить освещение, что недопустимо для установок наружного освещения. В этом случае вместо переключателей *1ИУ, 2ИУ*... устанавливают однополюсный рубильник или выключатель *1В, 2В* (см. рис. 6.10). Автоматическое управление осуществляется с помощью автоматов с часовыми механизмами, фотоэлементами и фоторезисторами. Автоматы с часовыми механизмами включают и отключают освещение в определенное время суток, распространены реле *2РВ* (однопрограммные) и *2РВМ* (двухпрограммные). Принцип работы реле основан на вращении программного диска, в резьбовые отверстия которого ввертываются установочные штифты по заданной программе, вращение диска осуществляется пружинным двигателем с часовым механизмом. Штифты включают и отключают микровыключатель, а тем самым и освещение. При токе в линии более 10—15 А микровыключатель управляет катушкой пускателя или контактора.

Более удобными и перспективными в эксплуатации являются фотоэлектронные автоматы, включающие и отключающие искусственное освещение в зависимости от естественной освещенности. Основными элементами таких автоматов являются газонаполненные или вакуумные фотоэлементы или фоторезисторы. Значение

их сопротивлений обратно пропорционально падающему на них световому потоку. С увеличением освещенности естественным светом сопротивление фотодатчиков уменьшается, и в цепи появляется ток. Так как значение тока недостаточно для включения катушки контактора, то в автомат к цепи сигнала подключается усилитель, усиливающий сигнал до значений, достаточных для срабатывания реле. В наиболее распространенных автоматах используется устройство сравнения, сопоставляющее поступающие от фотопреобразователя данные об освещенности объекта с заданным уровнем освещенности и передающее сигналы последующим элементам схемы. Во избежание попадания прямых солнечных лучей на поверхность фотоэлементов и фоторезисторов автоматы устанавливают таким образом, чтобы отверстие в кожухе прибора, предназначенное для прохождения света, было ориентировано на север или затенялось каким-либо сооружением.

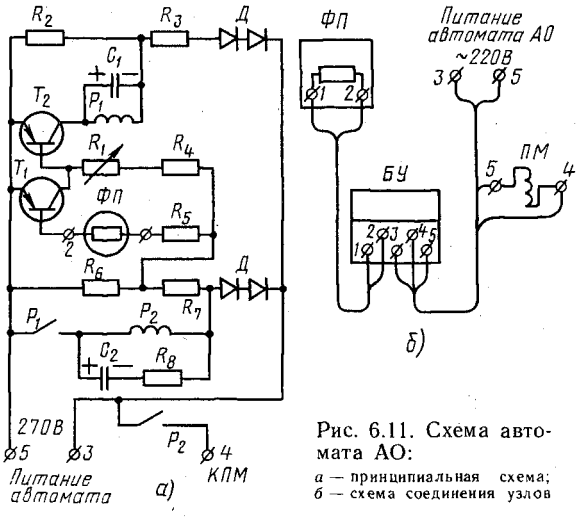


Рис. 6.11. Схема автомата АО:
а — принципиальная схема;
б — схема соединения узлов

На рис. 6.11 приведена принципиальная схема автомата типа АО, состоящего из трех основных узлов: фотопреобразователя *ФП*, блока управления *БУ* и магнитного пускателя *ПМ*. Схема соединения этих узлов показана на рис. 6.11, *б*. В качестве фотопреобразователя в автомате используется фоторезистор *ФСКГ-Г1*, включенный в цепь базы транзистора, являющегося управляющим элементом для более мощного транзистора T_2, управляющего реле P_1, контакты которого включают или отключают выходное реле P_2, к замыкающим контактам последнего подключена катушка магнитного пускателя *ПМ*. Питание схемы выпрямленным напряжением осуществляется через диоды *Д* от делителей напряжения R_2—R_3 и R_6 — R_7. Настройка автомата на включение освещения при заданной освещенности осуществляется изменением сопротивления R_1. Отключается освещение при естественной освещенности, превышающей освещенность включения на 5—10 лк. Массово изготовлен-

ные автоматы настроены на включение при освещенности 5 ± 2 лк и отключение при освещенности 8—15 лк. Элементы временной задержки (конденсатор C_2 и резистор R_8 совместно с замедленным реле P_2) предотвращают срабатывание при кратковременных случайных изменениях освещенности.

Максимально допустимый ток выходных контакторов блока управления (контакты реле P_2) равен 0,5А, предельная мощность при напряжении сети 380 В, отключаемая магнитным пускателем *ПМ*, поставленным с автоматом, составляет 5 кВт.

Кроме автоматов АО промышленность выпускает типы автоматов Ф-2, ФРМ—62А и др.

Автоматическое управление является дополнением к ручному и необходимо для включения и отключения освещения в аварийных и специальных режимах.

Глава 7

ОСВЕЩЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ

§ 7.1. Общие требования

Каждое помещение производственного здания имеет определенное функциональное назначение, и электрическое освещение должно создавать условия работы, необходимые для успешного решения поставленных задач.

Выполнить это условие можно только при изучении технологии производства в той мере, которая необходима для устройства осветительных установок, особенно при работе с рельефными объектами, видимость которых в значительной мере определяется пространственным распределением светового потока. В этом случае выбор светораспределения осветительных приборов и их размещение в помещении могут быть решающими в создании наиболее благоприятных условий для работы зрения.

Это можно осуществить при соблюдении норм освещенности и показателей качества освещения, бесперебойности действия освещения, удобства обслуживания осветительных установок и управления ими, а также соответствия осветительных установок требованиям эстетики.

В основу проектирования осветительных установок промышленных предприятий положена «Инструкция по проектированию силового и осветительного электрооборудования промышленных предприятий» (СН 357—77).

Осветительные установки должны удовлетворять требованиям действующих ПУЭ, «Правилам технической эксплуатации электроустановок потребителей» и «Правилам техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей» (ПТЭ и ПТБ).

Общие требования к осветительным установкам (выбор источников света, светильников и их расположения, варианта осветительной установки по экономическим показателям, системы освещения, а также вопросы эксплуатации), рассмотрены в гл. 5.

§ 7.2. Надежность работы установок в условиях окружающей среды

Выбор светильника определяется не только экономичностью осветительной установки, но и надежностью ее работы, определяемой соответствием характеристики светильника окружающей среде. При выборе светильников по степени их защиты от воздействия окружающей среды следует использовать ГОСТ «Светильники. Виды и обозначения» и ГОСТ «Электрическое оборудование напряжением до 1000 В. Оболочки. Степени защиты», а при выборе светильников для различных климатических районов необходимо руководствоваться также ГОСТ «Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории и условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды».

Нормальные условия среды, в которой эксплуатируется светильник (работа светильника в закрытом отапливаемом помещении в районе умеренного климата), характеризуются рабочей температурой в пределах 35—1°С (со средним значением 25°С и предельным верхним значением температуры 40°С), относительной влажностью до 65% при 20°С в течение 12 мес (предельное верхнее значение влажности 80% при 25°С), содержанием пыли, дыма и копоти не более 15 мг/м^3, атмосферным давлением 0,085—0,105 МПа.

В ПУЭ все помещения делятся на сухие (относительная влажность не более 60% при 20°С, температура не более 30°С), влажные, сырые и особо сырые (относительная влажность не более 75%, более 75% и близка к 100% при $t \leqslant 30$°С), жаркие ($t \geqslant 30$°С), пыльные, в которых по условиям производства выделяется технологическая пыль, при этом может быть токопроводящей и токонепроводящей.

Защищенность световых приборов от вредных воздействий окружающей среды — одна из важнейших характеристик, определяющих срок службы и надежность работы приборов. Защита от пыли, воды и агрессивных сред обеспечивается выбором соответствующих конструкций и светотехнических материалов, а также герметизацией всего объема прибора или отдельных его полостей (в основном полости расположения электрических контактов).

Согласно классификации электротехнического оборудования установлены степени защиты его от попадания пыли, защиты от соприкосновения с элементами, расположенными внутри оболочки изделий, находящихся под напряжением.

Степень защиты светильников в пыльных помещениях зависит от количества и характера пыли. В пыльных и с химически активной средой эффективно применение ламп накаливания с диффузной или зеркальной колбой, а также рефлекторных ламп типа ДРЛР и ЛБР. Их следует устанавливать в открытой арматуре со степенью защиты, рекомендуемой для данных условий среды.

В помещениях с техническими этажами (электронная, радиотехническая промышленность, точное приборостроение и т. д.)

рекомендуется использовать совмещенные системы освещения, вентиляции и кондиционирования. Под нормальным исполнением светильников понимают открытые или перекрытые приборы, в которых отсутствует специальная защита от пыли и воды. Такие светильники предназначаются для работы в помещениях с нормальными условиями среды.

§ 7.3. Требования к освещению взрывоопасных и пожароопасных помещений

В некоторых помещениях промышленных зданий выполнение технологических процессов сопровождается выделением паров и газов, образующих взрыво- и пожароопасные смеси. К взрывоопасным относятся помещения многих отраслей промышленности и особенно предприятий химической промышленности. Взрывы в ряде случаев могут привести к серьезным разрушениям и человеческим жертвам. Пожароопасность помещений характеризуется обрабатываемыми в них материалами и зависит от строительной конструкции. Взрыв или пожар могут произойти из-за неосторожного обращения с огнем, самовозгорания, статического электричества, неисправности электропроводки и т. д. Значительное число пожаров и взрывов связано с электротехническими установками, в частности с осветительными. Причиной взрыва и пожара могут быть перегрев проводов, короткое замыкание, искрение и т. п.

Для устранения причин, вызывающих взрывы и пожары, необходимо применять оборудование и проводки в соответствии с условиями среды и указанным на нем напряжением; не допускать перегрева (сверх нормы) проводов, кабелей и оборудования, надежно обеспечивать защиту от короткого замыкания и перегрузок (правильно подбирать предохранители и автоматы); обеспечивать надежность соединения проводов между собой и присоединения их к контактам аппаратов (обеспечивать отсутствие искрения при длительной эксплуатации).

Согласно Правилам устройства электроустановок все взрывоопасные помещения в зависимости от условий среды (выделяются горючие газы или пары, обладающие способностью образовывать с воздухом или другим окислителем взрывоопасные смеси при нормальных недлительных режимах работы; взрывоопасные смеси образуются только в результате аварий и неисправностей и т. д.) делятся на классы по степени взрывоопасности, в зависимости от принадлежности к которым выбирается степень защиты от взрыва.

Основные требования к взрывозащищенным светильникам регламентируются «Правилами изготовления взрывозащищенного и рудничного электрооборудования», а также ГОСТ 1227020—76 «Электрооборудование взрывозащищенное». К этим требованиям относятся: защита от внешних воздействий; максимально допустимая температура нагрева элементов (поверхностей) светильников; защита источника света от механических повреждений прочным светопропускающим элементом.

§ 7.4. Установки искусственного ультрафиолетового облучения

Ультрафиолетовое излучение, содержащееся в естественном свете, оказывает биологическое воздействие на организм человека. Длительное отсутствие или недостаток ультрафиолетового облучения приводит к снижению защитных сил организма, ухудшению самочувствия, снижению работоспособности и т. д. При работе людей в помещениях без естественного света или с недостаточным освещением уменьшается ультрафиолетовая облученность организма и возникает необходимость компенсации ультрафиолетовой недостаточности.

В действующих «Санитарных нормах проектирования промышленных предприятий» (СН 245—71) содержится требование к установкам искусственного ультрафиолетового облучения (УФ). Проектирование установок ультрафиолетового облучения производится на основании утвержденных Министерством здравоохранения СССР и согласованных с Госстроем СССР «Указаний по проектированию и эксплуатации установок искусственного ультрафиолетового облучения».

Установки УФ облучения предусматриваются на всех объектах, расположенных севернее Северного полярного круга. Их устанавливают в помещениях промышленных зданий без естественного света или с недостаточным освещением (КЕО менее 0,1%). Искусственное облучение осуществляется эритемными лампами, спектр излучения которых содержит УФ-излучение с длиной волны более 280 нм, так как излучение с более короткими длинами волн отрицательно влияет на организм.

Ультрафиолетовое излучение в пределах от 280 до 400 нм называется эритемным, единицей измерения которого принят эр. 1 эр соответствует потоку излучения с длиной волны 297 нм мощностью 1 Вт. Это значение достаточно большое и для практических целей удобнее пользоваться 1/1000 эр, называемой миллиэром (мэр). Эритемная облученность определяется в мэр/м^2 и характеризуется не только плотностью излучения на единицу площади, но также и временем воздействия облученности, т. е. дозой облученности, определяемой количеством облучения в единицу времени (мэр·ч/м^2).

В эритемных облучательных установках источниками излучения являются эритемные лампы типа ЛЭ мощностью 15 и 30 Вт, по размерам и конструктивным особенностям аналогичные прямым трубчатым люминесцентным лампам мощностью 15 и 30 Вт, и типа ЛЭР мощностью 30 и 40 Вт, также аналогичные трубчатым люминесцентным рефлекторным лампам. Включаются в сеть эритемные лампы с помощью тех же приборов, что и люминесцентные. Основные характеристики эритемных ламп приведены в табл. 7.1.

Ультрафиолетовые облучательные установки действуют в осенне-зимний и ранний весенний периоды годы. Так, в районах севернее Северного полярного круга они должны работать с 1 ноября по 1 апреля; в средней полосе (50—60° северной широты) —

с 1 ноября по 1 марта; в южных районах (45—50° северной широты) с 1 декабря по 1 марта.

Таблица 7.1

Тип лампы	Мощность, Вт	Эритемная облученность на расстоянии 1 м, мэр/м²	Срок службы, ч	Размеры, мм	
				длина	диаметр
ЛЭ-15	15	35	5000	451,6	30
ЛЭЗО-1	30	85	5000	908,8	30
ЛЭР-30	30	120	3000	908,8	30
ЛЭР-40	40	140	3000	1214,4	38

По времени воздействия эритемные установки делятся на установки длительного действия (облучение производится в течение всего рабочего дня ультрафиолетовым потоком небольшой интенсивности); кратковременного действия (облучение осуществляется в специальных помещениях — фотариях в течение нескольких минут при высоких уровнях эритемной облученности). По своему воздействию на организм человека облучательные установки длительного действия являются более эффективными, чем фотарии. Облучательные установки длительного действия проектируются совместно с осветительными; их выполняют двух видов: прямого и отраженного облучения.

В установках *прямого* облучения выходные отверстия облучателей направляются вниз и облучение осуществляется прямым потоком, а отраженного облучения облучатели направляют поток вверх на потолок и облучение производится потоком, отраженным от потолка. Применяемые облучатели должны иметь защитный угол 25° в поперечной и продольной плоскостях. Применение открытых ламп без отражателей не допускается.

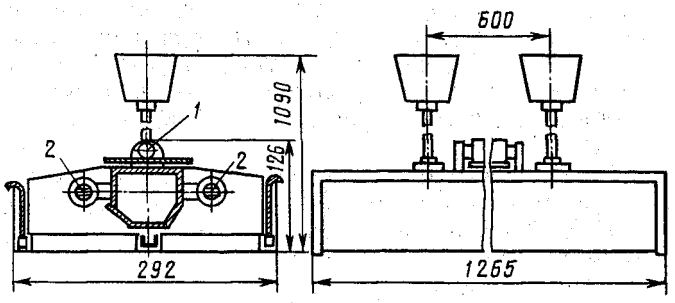


Рис. 7.1. Светильник ЛСО02·30/Р:
1— эритемная лампа мощностью 30 Вт; *2*— люминесцентная лампа мощностью 40 Вт

Для помещений общественных зданий широко применяется светильник ЛСО 02×40 (1×30) Р с двумя люминесцентными лампами по 40 Вт и одной эритемной ЛЭ-30-1 мощностью 30 Вт, устанавливаемой над корпусом светильника для отраженного облучения (рис. 7.1).

Облучательные установки длительного действия должны создавать определенную облученность и дозу в соответствии с нормами. Нормируемые уровни эритемного облучения указаны в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Длительность облучения, ч	Облученность, мэр/м^2			Доза за сутки, мэр·ч/м^2		
	минимальная	максимальная	рекомендуемая	минимальная	максимальная	рекомендуемая
8	1,5	7,5	5,0	12	60	40

Установки длительного действия рекомендуется применять в производственных помещениях, в которых одновременно работает не менее 10 человек при условии, что на одного работающего приходится не более 6 м^2 площади помещения. При бо́льшей площади, приходящейся на одного человека, и меньшем числе работающих устройство установок длительного действия экономически неэффективно, и тогда целесообразно предусмотреть установку кратковременного действия.

Расчет облучательных установок длительного действия сводится к определению мощности, числа и размещения эритемных облучателей. Расчет эритемной облученности производится точечным методом аналогично расчету освещенности установок общего люминесцентного освещения.

Установки длительного действия не рекомендуется применять в цехах с интенсивным пылевыделением, а также в производственных помещениях с химически активной средой и материалами. При расчете установок отраженного света необходимо учитывать коэффициенты ультрафиолетового отражения различных материалов; из них наибольшие значения имеют следующие виды окраски: известковая побелка 0,3—0,4; меловая побелка —0,4—0,8; белая силикатная краска —0,5—0,6.

Эритемные облучательные установки кратковременного действия (фотарии) предусмотрены в зданиях, где устройство установок длительного действия недопустимо по производственным технико-экономическим или гигиеническим показателям.

В фотариях люди подвергаются кратковременному и интенсивному ультрафиолетовому воздействию в те же месяцы, что и при использовании установок длительного действия. Для фотариев установлены время действия и дозы облучения. Источниками облучения являются эритемные лампы, используемые в установках длительного действия.

Фотарии являются специальными технологическими установками и их проектированием проектировщики-светотехники не занимаются.

§ 7.5. Электрическая безопасность в осветительных установках

При нарушении изоляции и различных повреждениях оказаться под напряжением и стать источником опасности могут любые проводящие части осветительной установки. Опасным может стать прикосновение к металлическим корпусам светильников, аппаратов, защитным кожухам щитков, трансформаторов и различных коробок и т. д. Согласно требованиям ПУЭ все помещения в отношении поражения человека током разделяются на три группы.

1. Помещения с повышенной опасностью поражения током: сырые, имеющие токопроводящие полы или пыль; высокую температуру (свыше +30°С), в которых, с одной стороны, не исключена возможность одновременного прикосновения рабочего к соединенным с землей металлоконструкциям здания, технологическим аппаратам, механизмам и т. д., а с другой — к металлическим корпусам электрооборудования.

2. Особо опасные помещения по поражению током, характеризуемые одним из следующих показателей: особо сырые (влажность близка к 100%); химически активная среда, действующая разрушающе на изоляцию и токопроводящие части оборудования; одновременное наличие двух и более признаков, указанных в первой группе.

3. Помещения без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, указанные в п. 1 и 2.

К «нормальным помещениям» согласно ПУЭ по условиям электробезопасности относятся сухие (относительная влажность не более 60%), нежаркие, непыльные помещения без химически активной среды. Однако и «нормальные» по электробезопасности помещения также могут быть разделены на помещения без повышенной опасности; с повышенной опасностью и особо опасные.

В нормативных документах основной мерой защиты от поражения током при прикосновении к проводящим частям установки, нормально не находящимся под напряжением, является их заземление или зануление. Это необходимо во всех помещениях, относящихся к категориям с повышенной опасностью и особо опасных; а также в наружных установках при напряжении осветительной сети более 42 В (при постоянном токе более 110 В); во взрывоопасных помещениях они требуются при любом напряжении.

В помещениях без повышенной опасности не следует заземлять или занулять металлические нетокопроводящие части электроустановок. В этих случаях при прикосновениях к получившим напряжение металлическим частям ток через человека не достигает опасных значений. В то же время заземление или зануление всегда вносит дополнительную опасность при случайных одновременных прикосновениях к токоведущим и заземленным частям, которой в данном случае можно избежать.

Если устройство заземления или зануления невозможно или нецелесообразно, ПУЭ допускает обслуживание электрооборудо-

вания с изолирующих площадок или устройство защитного отключения. Заземление и зануление осветительных установок должно выполняться в соответствии с требованиями ПУЭ и Инструкции по устройству сетей заземления и зануления в электроустановках. Защитное заземление применяется в сетях с изолированной нейтралью, где опасность прикосновения обусловливается сопротивлениями путей утечки, сопротивлением изоляции сети и ее емкостью.

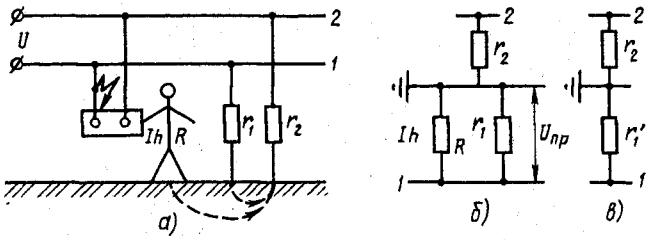


Рис. 7.2. Схема прикосновения к сети с изолированной нейтралью:

а — принципиальная; *б*, *в* — эквивалентные

В двухфазной сети (рис. 7.2) ток, проходящий через человека,

$$I_h = \frac{Ur_1}{R(r_1 + r_2) + r_1 r_2}, \tag{7.1}$$

а для трехфазной сети

$$I_h = \frac{\sqrt{3}Ur_1\sqrt{r_2^2 + r_2 r_3 + r_3^2}}{R(r_1 r_2 + r_2 r_3 + r_3 r_1) + r_1 r_2 r_3}, \tag{7.2}$$

где r_1, r_2, r_3 — сопротивления соответствующих фаз по отношению к земле, Ом; R — сопротивление тела человека, Ом; U — фазное напряжение сети, В; I_h — ток, проходящий через человека, А.

При r_2 или $r_3 = 0$ ток, проходящий через человека, в сетях однофазной

$$I_h = U/R, \tag{7.3}$$

трехфазной

$$I_h = (\sqrt{3}\,U)/R, \tag{7.4}$$

т. е. ток может достигнуть опасного значения.

Для устранения такой опасности применяется защитное заземление, т. е. преднамеренное электрическое соединение металлических нетоковедущих частей установки с заземлителем, имеющим определенное достаточно малое сопротивление растеканию $r_з$ (рис. 7.3). За счет введения параллельно R сопротивления $r_з$ уменьшается эквивалентное сопротивление $r_э$ и снижается возможное напряжение прикосновения $U_{пр}$ до значения $U_{пр} = I_з r_з$, где $I_з$ — ток замыкания при аварийном пробое на корпус.

Исходя из допустимого значения $U_{пр}$, можно подобрать значение $r_з$, обеспечивающее безопасность установки. Значение $r_з$ по действующим нормам не должно превышать 4 Ом. При этом значении $r_з$ практически обеспечивается безопасность в осветительных установках. Если проверка $r_з$ по условиям безопасности при переходе высшего напряжения в цепь низшего дает меньшее значение, то его и принимают. В наружных установках металлические опоры и стальная арматура железобетонных опор должны быть заземлены. При устройстве заземлителей надо использовать естественные заземлители (металлические трубопроводы, обсадные трубы артезианских скважин и т. д.). Для сети заземления должны прокладываться специальные провода, а в удобных случаях использоваться естественные токопроводы (подкрановые пути, фермы, стальные трубы электропроводок и т. д.).

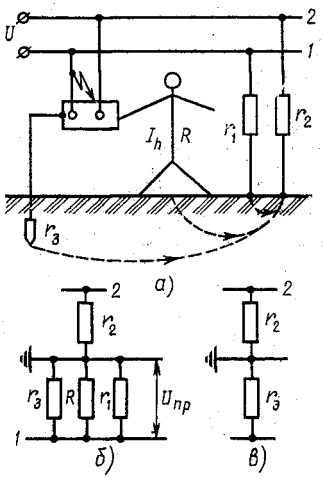


Рис. 7.3. Схема защитного заземления:

а — принципиальная; *б,в* — эквивалентные

Сечения заземляющих проводников должны составлять не менее $^1/_3$ сечения фазных проводников, а при проводниках из разных металлов иметь проводимость не менее $^1/_3$ проводимости фазных проводников. Минимальные сечения составляют: 1) *голые* проводники при открытой прокладке: алюминиевые — 6 мм^2; медные — 4 мм^2. Стальные круглые проводники диаметром 5 мм; стальные трубы с толщиной стенки: водо-газопроводные — 2,5 мм; тонкостенные — 1,5 мм; 2) *изолированные* провода: алюминиевые — 2,5 мм^2; медные 1,5 мм^2. 3) *заземляющие* жилы кабелей или многожильных проводов в общей защитной оболочке с фазными жилами: алюминиевые — 1,5 мм^2, медные — 1 мм^2. 4) в любых случаях можно не применять сечения больше 100 мм^2 для стали, 35 мм^2 — для алюминия и 25 мм^2 — для меди.

В сетях напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью защитное заземление не применяется, так как при пробое на корпус оно не обеспечивает безопасного значения напряжения прикосновения и не в состоянии быстро ликвидировать опасное состояние установки. Вместо этого устраивают защитное зануление.

Если пренебречь сопротивлением фазного провода и переходным сопротивлением места замыкания, то ток замыкания при пробое на корпус и применении защитного заземления (рис. 7.4) можно определить по упрощенной формуле

$$I_з = U_ф / (r_н + r_з), \qquad (7.5)$$

где $r_н$ — сопротивление рабочего заземления нейтрали, Ом (его

значение по ПУЭ не должно превышать 4 Ом). Для обеспечения защиты в осветительных сетях напряжением 1000 В и более $r_з$ следует принимать меньше 4 Ом. В сетях 380/220 В при $r_н = r_з = 4$ Ом получающиеся значения $I_з$ слишком малы ($I_з = 27{,}5$ А) и не в состоянии обеспечить быстрое отключение аппаратов защиты. Следовательно, аварийный режим будет длительнее, причем в течение его $U_{пр}$ будет недопустимо большим (например, при $r_н = r_з$ значение $U_{пр} = 0{,}5U_ф$).

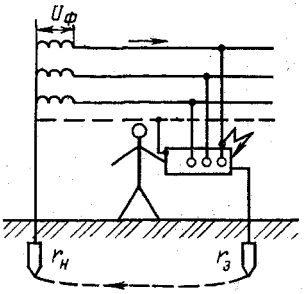


Рис. 7.4. К недопустимости применения защитного заземления в сетях с заземленной нейтралью

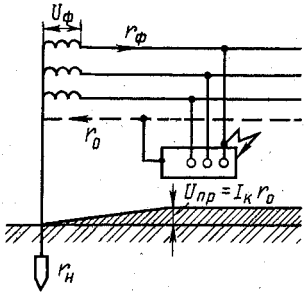


Рис. 7.5. Схема защитного зануления

В сетях с глухозаземленной нейтралью применяется не защитное заземление, а исключительно защитное зануление, т. е. преднамеренное электрическое соединение металлических нетоковедущих частей с заземленным нулевым проводом (рис. 7.5). При занулении пробой на корпус приводит к короткому замыканию сети через фазный и нулевой провода. Относительно малые сопротивления проводов обеспечивают большие токи замыкания и быстрое срабатывание аппаратов защиты, чем ликвидируется опасное состояние установки. Обеспечение быстрого отключения электрической сети при пробоях на металлические нетоковедущие части установки является основной идеей защитного зануления.

Расчет достаточности сечения проводов по условиям безопасности производят по формуле

$$I_k = \frac{U_ф}{\sqrt{(r_ф + r_0)^2 + r_x^2 + r_т/3}} \geqslant I_в, \qquad (7.6)$$

где r_x — реактивное сопротивление петли фазный — нулевой провода, принимаемое для линий с проводами из цветных металлов из расчета 0,6 Ом/км; $r_т$ — сопротивление трансформаторов, приведенное к напряжению низшей стороны для токов прямой, обратной и нулевой последовательностей; $I_в$ — ток плавкой вставки предохранителя или уставки в автомате с тепловым расцепителем.

В сетях, где токи аппаратов защиты не превышают допустимых токов нагрузки, расчетную проверку обеспечения отключения сетей можно не производить.

Кратковременно, до отключения защиты на заземленных частях оборудования, могут создаваться опасные потенциалы, обусловливаемые соотношением сопротивлений фазного и нулевого проводов, определяемые в предельно неблагоприятном случае выражением

$$U_{пр} = I_к r_0. \qquad (7.7)$$

Теоретически, даже при равенстве сечений фазного и нулевого проводов, напряжение прикосновения имеет еще опасное значение $U_{пр} = 0{,}5U_ф$.

Практически в цехах с встроенными или близко расположенными подстанциями, достаточно насыщенных технологическим оборудованием, $U_{пр}$ при замыканиях на корпус не превышает 10—12 В вследствие дополнительной проводимости, создаваемой многочисленными связями с землей через зануленные металлические части электроустановок и имеющийся с ними электрический контакт и трубопроводы различных коммуникаций. Однако для удаленных от подстанции небольших объектов без водопровода $U_{пр}$ сохраняет опасное значение. Для снижения опасности эффективно устройство дополнительных местных очагов повторного заземления нулевого провода, выполняемых в виде контурного заземления. Одновременно можно рекомендовать устройство защитного отключения при появлении потенциала на корпусе зануленного оборудования. В отдельных случаях опасность устраняется устройством дополнительных связей с заземлителем нейтрали. Безопасность в сетях с заземленной нейтралью обеспечивается только при непрерывности цепи нулевого провода. Обрыв нулевого провода в осветительных установках приводит к выносу потенциала на заземленное электрооборудование через нить лампы или сопротивление нагревательного прибора (рис. 7.6) даже при отсутствии пробоя на корпус. Поэтому в цепи нулевого провода, когда он используется в качестве зануляющего, не применяются разъединяющие аппаратуры или аппараты защиты.

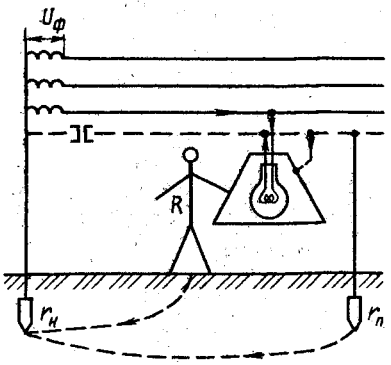


Рис. 7.6. Схема повторного заземления нулевого провода

Для снижения опасности при возможном обрыве нулевого провода должно предусматриваться его повторное заземление $r_п$ на концах воздушных линий и ответвлений протяженностью более 200 м, а также в середине линии и ответвления длиной 500 м. Сопротивление каждого повторного заземления принимается не более 10 Ом. В худшем случае при одном повторном заземлении и обрыве

нулевого провода напряжение прикосновения $U_{пр}$ на металлических частях электроустановок не будет превышать значения:

$$U_{пр} = \frac{U_ф}{r_н + r_п} r_п. \qquad (7.8)$$

Для рабочего и повторных заземлений нейтрали рекомендуется использовать естественные заземлители, так же как при устройстве защитного заземления.

В производственных помещениях с нормальной средой (механические, сборочные и другие цехи) в групповых сетях 127—220 В в качестве нулевого провода рекомендуется использовать стальные трубы открытых электропроводок, тросы для подвешивания проводов, металлические корпуса открыто установленных токопроводов и металлические конструкции зданий, а также конструкции производственного назначения (фермы, колонны, подкрановые пути) или механизмов.

В качестве рабочих нулевых проводов использование естественных токопроводов не разрешается в помещениях взрыво- и пожароопасных, с сильно агрессивной средой (электролизные цехи, агломерационные фабрики и т. п.), или же когда эти токопроводы находятся в непосредственной близости от сгораемых частей здания или конструкций. Не используют такие токопроводы тогда, когда они осуществимы только на отдельных участках трассы (на спусках и подъемах). Для безопасности нулевой провод должен присоединяться обязательно к винтовой гильзе патронов для ламп накаливания, ДРЛ, МГЛ, натриевых высокого давления и т. д., а для заземления корпусов светильников при открытой прокладке незащищенных проводов необходимо предусмотреть специальную гибкую перемычку между заземляющим контактом светильника и нулевым проводом в месте его крепления на ближайшей опоре. Зануление корпуса присоединением к ответвлению, питающему данный светильник, недопустимо, так как при нарушении контакта в цепи данного нулевого провода корпус светильника находится под напряжением без какой-либо защиты (рис. 7.7), а внешние признаки указывают только на перегорание лампы и необходимость ее замены.

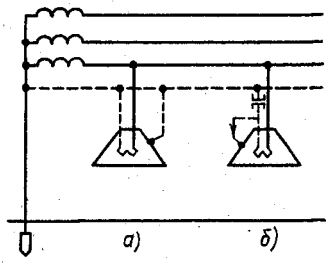


Рис. 7.7. Выполнение защитного зануления корпуса светильника:
а — правильное; *б* — неправильное

В линиях аварийного освещения, постоянно питаемых или переключаемых на питание от сети постоянного тока, для зануления используются нулевые провода близрасположенных линий рабочего освещения или прокладываются специальные проводники. Использовать для зануления нулевой провод аварийного освещения в данном случае нельзя, так как это приводит к заземлению одного из полюсов аккумуляторной батареи.

Согласно СН 357—77 заземление или зануление корпусов светильников общего освещения должно выполняться в сетях: а) с заземленной нейтралью при вводе в светильник кабеля, защищенного провода, незащищенных проводов в трубе или металлорукаве или при скрытой проводке без труб — ответвлением от нулевого рабочего провода внутри светильника; б) с заземленной нейтралью при вводе в светильник открытых незащищенных проводов — гибким изолированным проводом, присоединенным к заземляющему винту корпуса светильника и рабочему нулевому проводу у ближайшей к светильнику неподвижной опоры или коробки; в) с изолированной нейтралью при любых способах ввода в светильник — гибким проводом, присоединяемым к заземляющему винту корпуса светильника и заземляющему проводнику.

Корпус светильника с газоразрядными лампами при вынесенных пускорегулирующих аппаратах допускается заземлять или занулять перемычкой между заземляющими винтами пускорегулирующего аппарата и светильника.

Глава 8
ОСВЕЩЕНИЕ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

§ 8.1. Общие требования

В помещениях общественных зданий рекомендуется система общего освещения. Исключения составляют некоторые производственные помещения, где выполняются работы высокой точности (ремонт часов, телевизоров, радиоаппаратуры и т. д.), в которых применяется система комбинированного освещения (общее + местное). В этом случае за счет системы общего освещения на рабочем месте должно создаваться не менее 10% нормируемой освещенности.

Общее освещение в общественных зданиях должно, как правило, выполняться равномерным.

Локализованное освещение предусматривается в помещениях со стационарным крупным оборудованием (торговые залы магазинов, архивы, книгохранилища и т. п.); в выставочных помещениях с фиксированными плоскостями экспозиции, в помещениях, где рабочие места расположены группами, сосредоточенными на отдельных участках (пошивочные и ремонтные мастерские и т. п.); в помещениях, на различных участках которых выполняются работы различной точности, требующие разных уровней освещенности. Основные требования к осветительной установке должны обусловливаться прежде всего функциональным назначением помещения.

Лучше всего должны быть освещены рабочие поверхности (классная или аудиторная доска, столешница столов и парт в учебных зданиях, чертежная доска кульмана в конструкторских бюро, рабочий стол в административно-конторском помещении), а меньше — второстепенные поверхности (полы в проходах, вспомогательное оборудование и т. д.).

В любом помещении при выполнении норм по количественным и качественным показателям осветительных установок необходимо

использовать все имеющиеся возможности для повышения архитектурных качеств интерьера помня, что архитектура должна оказывать эстетическое воздействие во всем. При проектировании освещения архитектурные и светотехнические задачи должны решаться комплексно.

В зависимости от архитектурных требований к отделке помещения в нем могут применяться светильники определенного стиля или нейтральные. Архитектурно обработанные светильники используют в качестве активного элемента декора интерьера. Как правило, такие светильники требуют специального изготовления и резко повышают стоимость осветительной установки. Эти расходы могут быть компенсированы за счет сохранения других декоративных элементов интерьера. Даже в самой примитивной установке необходимо стремиться повысить ее эстетические качества, поэтому устройство освещения интерьеров является одним из элементов архитектурного решения.

Размещение светильников в установках архитектурного освещения определяется не только расчетными данными, но и архитектурно-художественными требованиями.

Возможности размещения светильников определяют конструктивным решением здания (система проемов, кессонов, балок). Архитектурно-художественные соображения определяют окончательный выбор типа светильников и их размещение.

Весьма существенным является выбор модуля (шага) при размещении светильников. Ритм размещения светильников должен быть увязан с ритмом архитектурным.

Требования к освещению архитектурных элементов интерьера должны учитывать, что в зависимости от способа освещения архитектурная форма воспринимается совершенно различно. Поверхность (потолок, пол) только тогда воспринимается плоской, если она освещена равномерно. Уменьшение яркости в центре потолка создает впечатление его провисания, а потолок, имеющий повышенную яркость в центре, воспринимается в виде свода.

Вогнутая или выпуклая поверхность в естественных условиях не бывает освещена равномерно. Поэтому равномерно яркий купол воспринимается не куполом, а плоскостью.

Усиливая яркость в центре, можно придать куполу кажущуюся большую кривизну, создать иллюзию повышения высоты помещения. Увеличение яркости по периметру вызовет ощущение понижения купола (обычно результат неправильного устройства световых карнизов).

Вертикально вогнутые членения (каннелюры, ниши и т. д.) также не должны освещаться равномерно. Односторонние мягкие тени способствуют правильному восприятию их формы. Например, при системе отраженного освещения пилястры почти незаметны и дорогостоящая отделочная работа оказывается бесполезной. При подвеске редко расположенных светильников создаются односторонние тени, блики, что хорошо выявляет раскреповку пилястр и способствует восприятию их формы и фактуры.

Освещение кессонов потолка является сложной задачей. При системе крупных кессонов, когда число светильников можно принять равным их числу, она решается удовлетворительно. Если же кессоны мелкие, то светильники, размещенные через 2—3 кессона, неизбежно создадут в промежутках между ними неприятные тени. Наилучшего результата можно достигнуть при освещении кессонированного потолка напольными светильниками, установленными в соответствии с модулем кессонов. Для освещения настенного декора (фризов, лепки) рекомендуется неравномерное распределение яркости — снижение ее сверху вниз.

Поэтому при наличии декоративных поясов в верхней части стен желательно, чтобы светильники располагались непосредственно у потолка или применялась система отраженного освещения. При малом рельефе лепной отделки отраженное освещение ухудшает восприятие лепки.

Особо выбирают освещение для помещения, в котором находится скульптура. Для выявления формы и фактуры скульптурных произведений освещение должно создавать мягкие односторонние тени, направленные под некоторым углом сверху вниз.

Освещением можно усилить или ослабить впечатление от основной идеи интерьера. Оно влияет на настроение человека под воздействием архитектурных форм.

Парадное освещение театрального или дворцового зала создает соответствующее настроение, усиливает впечатление празднества. Подсветкой свода можно создать иллюзию большой высоты помещения и наоборот: цветовая гамма играет важную роль и в восприятии интерьера. Применение люминесцентных ламп в фальшивых проемах стен и потолков может создать впечатление яркого солнечного дня в здании, лишенном естественного света.

Совместная работа архитектора и светотехника проходит в такой последовательности. В соответствии с архитектурным замыслом выбирают систему освещения и источник света. Ориентировочно определяют мощность ламп и рассматривают варианты размещения светильников различных классов и типов. Проверяют целесообразность и возможность устройства встроенных, а также применения стандартных светильников. При этом учитывают, что изготовлять специальные светильники можно только для уникальных объектов или при отсутствии подходящих стандартных, затем производят окончательный выбор светильников.

В последнее время для архитектурно-художественного освещения распространены светильники прямого света, используемые при освещении картинных галерей (Эрмитаж в Ленинграде, новое здание Третьяковской галереи в Москве и т. д.). Достоинствами этих светильников являются их малая стоимость, хорошее экранирование источников света. Широко применяются зеркальные люминесцентные светильники. Зеркальные отражатели позволяют направить основную часть светового потока на нижнюю часть стен с картинами и обеспечивают равномерное освещение всех экспонатов. В ряде случаев светильники прямого света желательно

«утопить» в потолке. Все большее распространение получают световые потолки. Световые проемы в потолках начали использовать для естественного освещения очень давно. С развитием строительной техники и повышением требований к освещению размеры проемов постепенно возрастали, и теперь часто потолок светится полностью. При этом возникает возможность легко скрыть источники искусственного света за рассеивателями. Часто встречаются светящие потолки искусственного света, а естественное освещение осуществляется только через боковые светопроемы. В помещениях общественных зданий наиболее распространенными и достаточно экономичными являются светильники рассеянного света, создающие приблизительно равномерное распределение яркости в помещении в зависимости от коэффициентов отражения стен и мебели. Для обеспечения достаточной яркости верхней части стен и потолка необходимо, чтобы доля светового потока, направляемая в верхнюю полусферу, составляла не менее 30—50%.

Применение люминесцентных ламп в светильниках рассеянного света позволяет получить значительно меньшую яркость рассеивателей, чем при лампах накаливания. Для освещения вертикальных поверхностей люминесцентные лампы устанавливают в вертикальной плоскости.

К светильникам рассеянного светораспределения относятся и различные световые устройства, встроенные в стены: окна, ниши, и т. п. С помощью световых окон с люминесцентными лампами легко создать иллюзию дневного освещения, особенно в помещениях, расположенных под землей.

Глубина световых окон обычно ограничена по строительным соображениям, а их слепящее действие сказывается сильнее, чем при устройстве светового потолка той же яркости. Поэтому яркость световых окон не должна превышать 250—500 кд/м^2 и только в благоприятных условиях (светлый окружающий фон) — 1000 кд/м^2.

При устройстве световых окон большое значение имеет расположение ламп. Необходимо наиболее равномерно распределять яркость на светящей поверхности окна; этого можно достигнуть, удаляя лампы от рассеивателя и сокращая расстояния между ними. Хороший результат дает использование ниш отраженного света (рис. 8.1).

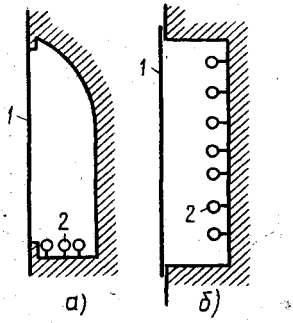


Рис. 8.1. Световые окна: *а* — световая ниша; *б* — витраж: *1* — остекление; *2* — лампа в коробчатом горбыле

Светильники отраженного света по ограничению слепящего действия во многих случаях полностью исключает блескость и практически не создают теней. Эксплуатация установки отраженного освещения сложнее и дороже по сравнению с установками прямого и рассеянного освещения. Потребляемая мощность при отраженном освещении возрастает в два-три раза по сравнению с мощностью прямого освещения, но иногда отраженное и рас-

сеянное освещение по мощности оказывается равноценным. Некоторую монотонность отраженного освещения можно устранить с помощью дополнительных светильников другого светораспределения или специальных декоративных. Следует заметить (хотя нормы этого и не учитывают), что при устройстве отраженного освещения для создания некоторого уровня видимости достаточна значительно меньшая освещенность, чем при прямом и рассеянном освещении.

§ 8.2. Архитектурно-художественное освещение, выполненное световыми карнизами и потолками

Архитектурное освещение светящими поверхностями равномерной яркости, выполняют в виде установок отраженного света или светящих панелей. К ним предъявляются требования: обеспечение заданного уровня освещенности в расчетной плоскости; равномерное распределение яркости по светящей поверхности и в поле зрения.

Обеспечение этих требований определяется размещением светящих поверхностей в поле зрения, а также расположением источников света или светильников относительно отражающей поверхности в установках отраженного света или относительно рассеивателя в светящих панелях. В осветительных установках отраженного света со световыми карнизами основными отражающими поверхностями являются потолок и часть стен, расположенная выше уровня карниза. В таких установках выполнение первого требования определяется равномерностью распределения яркости вдоль светящего карниза, значительно меньшие требования к распределению яркости предъявляются в направлении перпендикуляра к светящему карнизу.

Выполнение второго требования включает также экранирование источников света и светильников, используемых в карнизах, по отношению к полю зрения наблюдателя, находящегося в освещаемом помещении.

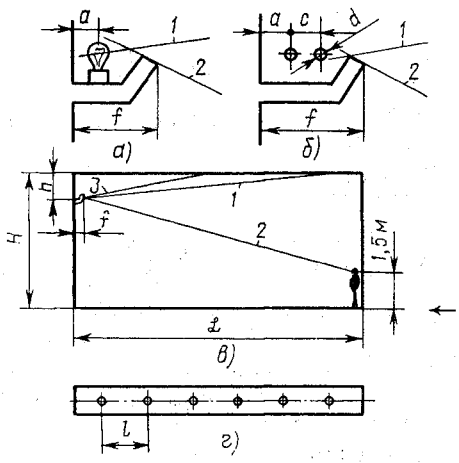
Установки отраженного света можно выполнять в виде светящего потолка, отдельных светящих ниш, расположенных в плоскости потолка или стен.

Световые карнизы размещаются вдоль четырех стен помещения или двух продольных на определенном расстоянии от потолка.

Значение к. п. д. осветительной установки отраженного света зависит от коэффициентов отражения карниза, потолка и стен помещения, расположенных выше карниза, а также его формы (карниз должен быть достаточно широким и по возможности мелким). При этом лампы и другое оборудование карнизов следует располагать ниже визирной линии (рис. 8.2), т. е. линии, проведенной через верхний край козырька карниза и глаз человека, расположенного в наибольшем удалении от карниза. Кроме того, козырек карниза не должен экранировать прямых лучей, падающих на потолок от лампы или светильника, т. е. располагаться ниже створной линии, соединяющей нижнюю точку светящего элемента лампы или светильника (трубки люминесцентной лампы, нити лампы

накаливания) с противоположным краем потолка, или при наличии двусторонних карнизов — с продольной осевой линией потолка (дополнительная створная линия).

Равномерность распределения яркости по отражающей поверхности зависит: от типа источников света (светильников)



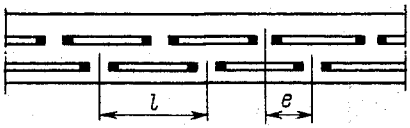


Рис. 8.3. Установка люминесцентных ламп в карнизе

Рис. 8.2. Принципиальная схема светового карниза:

а — разрез по карнизу с одним рядом ламп; *б* — разрез по карнизу с несколькими рядами ламп; *в* — разрез по помещению со световым карнизом; *г* — план карниза; *1* — створная линия; *2* — визирная линия; *3* — дополнительная створная линия

и их размещения в световом карнизе; ширины помещения $\mathscr{L}$, высоты размещения потолка над световыми карнизами (над световым центром лампы) h, от типа светового карниза (одно- и двусторонний, замкнутый); расстояний: центра ближайшей лампы до стены a; между световыми центрами соседних ламп l; рядами люминесцентных ламп (их осями) c; максимального расстояния от карниза до стены f; сдвига патронов соседних рядов люминесцентных ламп e (рис. 8.2 и 8.3).

Люминесцентные лампы обычно монтируют на панелях, где установлены ПРА, патроны и стартерные колодки. Отражателями являются панель, поверхность карниза, стена и потолок. Требуемая равномерность распределения яркости обеспечивается при соотношениях $\mathscr{L}/h \leqslant 5$ при двусторонних карнизах и $\mathscr{L}/h \leqslant 2$ — при одностороннем. Для увеличения этих соотношений применяются плоские зеркальные вставки, которые позволяют увеличить указанные соотношения до 7 и 3. Расположение и размер зеркальной вставки определяют согласно рис. 8.4.

Створная линия составляет угол α с горизонталью, проведенной через центр лампы. Края зеркальной пластины определяются построением (рис. 8.4), где углы α и β образуются пересечением касательных к лампе с основанием карниза. При этом минимальная ширина зеркала определяется параллельными прямыми AB и CD, максимальная CE — углом β. Увеличение размера зеркала до CE означает, что сила света будет усилена в пределах более широкого угла. Зеркало не должно быть видно с любых точек наблюдения в помещении. Лучшие результаты достигаются при использо-

вании криволинейных зеркал или зеркальных светильников (рис. 8.5).

Значительно проще создать требуемое распределение яркости при наличии сферических или цилиндрических сводов. В этом случае удовлетворительное распределение яркости наблюдается при любых расстояниях h от карниза до основания свода (рис. 8.2),

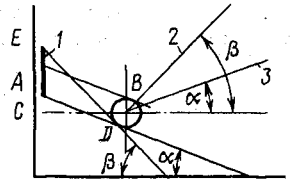


Рис. 8.4. Световой карниз с зеркальной вставкой:

1 — зеркало; *2* — направление к четверти ширины потолка; *3* — направление на удаленный край или центр потолка.

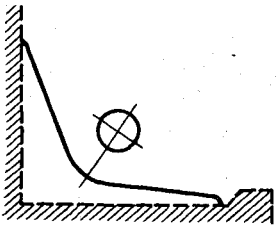


Рис. 8.5. Зеркальный отражатель для карнизов

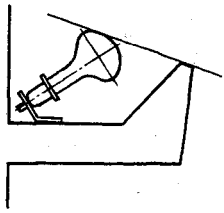


Рис. 8.6. Установка в карнизах зеркальных ламп

так как при этом отпадает необходимость создания равномерного распределения яркости. Достаточная равномерность распределения яркости тогда обеспечивается при соотношении $h/a \leqslant 3{,}5$. Даже при его увеличении распределение яркости допустимо, однако увеличение ведет к резкому снижению коэффициента использования. Расстояние от лампы до стены a при однорядном расположении ламп должно находиться в пределах 120—150 мм, при многорядном не менее 75 мм. Для избежания при многорядном расположении ламп возможного снижения яркости стены напротив разрыва между ними используется сдвиг патронов разных рядов ламп на 80—100 мм одной относительно другой по длине карниза.

Зеркальные лампы глубокого светораспределения применяются при карнизном освещении и позволяют создавать равномерное распределение яркости по поверхности потолка освещаемого помещения ближе к его центру, что особенно важно для широких помещений. Недостатком применения этих ламп является наличие ярких пятен, создаваемых ими на потолке вблизи карниза, для исключения которых необходимо располагать карниз возможно дальше от потолка, при $h \geqslant 1{,}5$ м. Для сокращения ширины карниза f патроны ламп следует устанавливать возможно ближе к стене. Оптическая ось лампы должна быть направлена на противоположный край потолка как при одностороннем, так и при двустороннем расположении карнизов (рис. 8.6). Соотношение $\mathscr{L}/h$ при зеркальных лампах и двустороннем расположении карниза увеличивается до 7,5. Зеркальные лампы устанавливают со значительными разрывами, достигающими 2 м. Поэтому при их использовании применяется одиночная установка патронов на скобах, обеспечивающих регулирование угла наклона лампы.

Лампы накаливания общего применения также используются в карнизах. Требования, изложенные относительно применения люминесцентных ламп, справедливы и для ламп накаливания.

Расстояния от стены a желательно по возможности увеличить, минимальное значение a принимается равным 150 мм. Использование ламп в матированной колбе незначительно повышает равномерность распределения яркости. Максимальное отношение l/h не должно превышать 1,5. При горизонтальном расположении ламп в карнизе l/h допускается увеличивать до двух при лампах в прозрачной колбе. Минимальная мощность ламп, применяемых в карнизе, 40—60 Вт. Так как лампы повышенной мощности имеют более высокую световую отдачу, их использование предпочтительно.

К. п. д. карниза с обычными лампами накаливания или с люминесцентными находят по формуле, учитывающей форму свода

$$\eta_к = 1 - \xi \frac{1 - \varrho}{1 - \varrho\left(1 - \frac{S_{вых}}{S}\right)}, \qquad (8.1)$$

где ξ — доля потока источников света, падающая на отражающую поверхность карниза; ϱ — коэффициент отражения поверхности карниза; $S_{вых}$, S — площадь выходного отверстия и отражающей поверхности карниза.

Практика расчета и эксплуатации карнизов показала, что к. п. д. карнизов имеет значение, близкое к 0,6. Его рекомендуется принимать равным 0,5, учитывая в карнизах наличие проводов и плохо отражающих конструктивных частей. При карнизном освещения коэффициент z, характеризующий неравномерность освещения, не учитывается, так как этот вид освещения создает достаточно высокую равномерность и рассчитывается на среднюю освещенность.

Широко распространены световые потолки в виде сплошной светящей поверхности или световых полос. Для светящих поверхностей используются источники света, установленные в коробе, перекрытом рассеивателем (молочным органическим стеклом), или светильники, расположенные в чердачном помещении над рассеивателем такого же типа. Выбор типа светящей поверхности определяется ее размерами и строительными особенностями освещаемого помещения.

При ширине светящей панели, превышающей 2 м, и достаточной высоте над рассеивателем целесообразно использовать светильники, так как это увеличивает к. п. д. светового устройства. Основное требование к светящим поверхностям заключается в равномерном распределении яркости по ним. Предельно допустимой величиной яркости для светящего потолка следует считать 2000 кд/м^2 в высоких и 1000 кд/м^2 в низких помещениях (при высоте менее 6 м). Равномерное распределение яркости по светящему потолку благоприятнее воспринимается глазом.

При наличии над световым потолком высокого чердака часто применяются светильники прямого света с люминесцентными, реже с лампами накаливания, подвешиваемые над светящей поверхностью потолка. Расположение светильников или рядов светильников должно быть таким, чтобы обеспечивалось равно-

мерное распределение яркости по светящему потолку. Для выполнения этого условия наибольшее относительное расстояние между соседними светильниками или их сплошными рядами не должно превышать значений, указанных в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Светильник	Кривая силы света	Отношение l/h	
		рекомендуемое	допустимое
Точечный	Глубокая	0,7	0,9
»	Косинусная	1	1,5
»	Равномерная	1,2	1,8
Линейный	Косинусная	1,2	1,8
»	Равномерная	1,4	2,4

При подвесных потолках лампы обычно устанавливают без арматуры, роль отражателя выполняет побеленная поверхность несущего перекрытия. Такое устройство удобно применять с люминесцентными лампами. Для светящего потолка или светящих полос следует использовать светильники прямого света.

Светильники с люминесцентными лампами устанавливают сплошными рядами над органическим рассеивающим стеклом панели. На чердаке светильники можно крепить непосредственно к кровле, подвешивать на тросах или устанавливать на металлических стойках, используемых и для натяжки проводов электрической сети. Для обслуживания осветительной установки на чердаках над остеклением устраивают переходные мостики, по которым можно подойти к любому светильнику. Мостики, расположенные близко к остеклению, могут создавать затенение под ним, а расположенные на достаточной высоте над остеклением, мало удобны для обслуживания светильников. Поэтому используются передвижные мостики или просто укладываются деревянные трапы на время обслуживания светильников. При обслуживании светящего потолка из помещения органическое стекло рассеивателя, имеющее малый вес, легко сдвигается в сторону.

Кроме молочного органического стекла применяют рифленые рассеиватели. При большой мощности ламп, размещенных в световом потолке, выделяется значительное количество теплоты, для устранения которой необходимо устройство вентиляции чердака или полости, где размещены лампы.

Наравне с рассеивающим свет органическим стеклом используют экранирующие решетки, при которых наблюдается значительно меньшая температура воздуха в зоне расположения ламп. Решетки изготовляют литьем из различных пластмасс или собирают из отдельных элементов (рис. 8.7). Для литья используется полистирол прозрачный или затуманенный, литьевое оргстекло и другие материалы.

Экономичность осветительного устройства мало зависит от материала решетки и соотношения его коэффициентов пропускания и отражения. Значение имеет только коэффициент поглощения. Определяющим при расчете размеров элементов решетки является заданный защитный угол, который для помещений общественных

зданий принимается равным 30 и 45°. Решетки с углом в 45° лучше экранируют лампы и другие монтажные элементы, они имеют более декоративный вид, хотя и понижают к. п. д. установки. Так как защитный угол в основном определяется отношением высоты и ширины элемента решетки, то при изменении этих

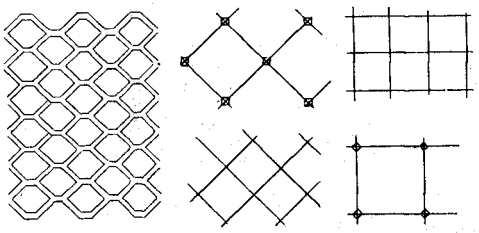


Рис. 8.7. Различные виды экранизирующих решеток

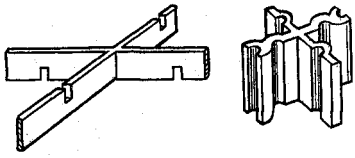


Рис. 8.8. Элементы ячеек решеток

элементов в равном отношении величина защитного угла остается постоянной, к. п. д. светового потолка также не изменяется. Это позволяет требования к размерам элементов решетки выбирать по архитектурным и конструктивным показателям. На рис. 8.8 показаны элементы ячеек решетки; размер ячеек 80×100 мм, высота планок 70 мм, защитные углы 35—41°. Необходимо помнить, что мелкие ячейки создают концентрированное светораспределение, более крупные и высокие — широкое.

Основным требованием к взаимному расположению ламп и решеток является равномерное распределение яркости по поверхности решетки, для этого необходимо, чтобы каждая планка решетки была освещена с двух сторон. При соблюдении этого требования и обеспечении защитных углов решетка может иметь любой произвольный рисунок, что создает широкое поле деятельности архитектора для создания самых разнообразных решеток.

§ 8.3. Освещение лечебных учреждений

В лечебных учреждениях освещение помимо обеспечения условий работы медицинского персонала должно создавать такую психофизиологическую световую среду, которая способствовала бы выздоровлению больных.

Основные нормативные требования к проектированию и устройству освещения изложены в СНиП II-69—78 «Лечебно-профилактические учреждения». В электротехническом разделе этого документа приведены уровни освещенности и качественные показатели осветительных установок для помещений лечебно-профилактических учреждений.

Основные помещения больниц: кабинеты врачей, палаты, операционные и перевязочные.

В больницах наибольшая площадь отведена под палаты, в поликлиниках — под кабинеты врачей. Палаты являются местом постоянного пребывания больных, причем больные значительное время находятся в лежачем положении. Поэтому при проектировании освещения палат необходимо предусматривать, чтобы

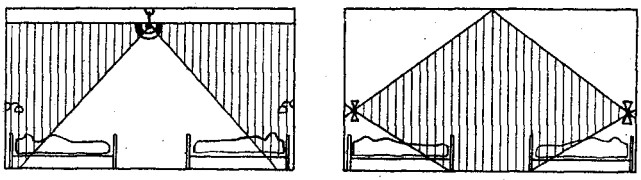


Рис. 8.9. Освещение палаты:
а — потолочным и местным светильниками; *б* — комбинированными прикроватными

пятна повышенной яркости (источники света и блеские части светильников) не попадали в поле зрения больных.

Схема распределения света показана на рис. 8.9, *а, б*. При таком распределении световой поток направляется на потолок и вниз в центр комнаты, а зона изголовий кроватей остается затененной. Дополнительно над кроватями на стенах устанавливаются светильники также с непрозрачными отражателями (рис. 8.10). Каждый светильник состоит из двух непрозрачных отражателей, свет одного направлен на потолок для общего отраженного освещения, другого — для местного освещения изголовий. Удобны светильники для местного освещения, прикрепляемые непосредственно к кровати (рис. 8.11), которые можно использовать как переносные при осмотре больного. Светильники, изображенные на рис. 8.10 и 8.11, дают возможность больным читать в лежачем положении. Для освещения палат следует предусматривать светильники общего освещения, установленные в центральной части потолка, вместе со светильниками, установленными у изголовья.

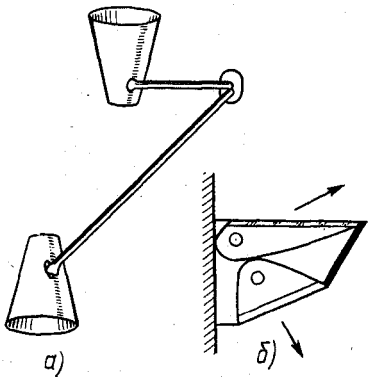


Рис. 8.10. Настенные прикроватные светильники:
а — с лампами накаливания; *б* — с люминесцентными

К требованиям по освещению операционных относятся создание высоких уровней освещенности и одновременно исключение на операционном столе теней от рук и головы хирурга. При этом не допускается тепловой нагрев оперируемого и головы хирурга. В нашей стране для освещения операционных широко распространены светильники типа «Свет 15» (рис. 8.12), в которых каждый источник света перекрыт теплопоглощающим фильтром. Такие

светильники обеспечивают на операционном поле освещенность порядка 10—15 клк. Освещенность можно регулировать, изменяя расстояние от светильника до больного. Часто в клиниках производится телевизионный показ операций для студентов; применяемые осветительные установки должны обеспечивать возмож-

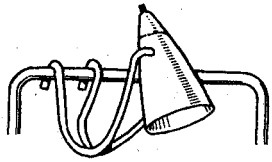


Рис. 8.11. Кроватный светильник для палат

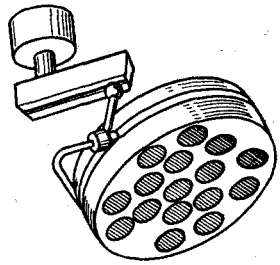


Рис. 8.12. Бестеневой светильник «Свет 15»

ность получения хороших и четких изображений при телепередачах. Кроме специального операционная должна иметь общее освещение, создаваемое светильниками рассеянного света, встроенными в потолок для уменьшения их запыления.

В операционной необходимо предусматривать аварийное освещение, обеспечивающее возможность продолжения операции при аварийном отключении рабочего освещения. В многоламповых светильниках типа «Свет» часть ламп включается в сеть аварийного освещения. Питание такого освещения осуществляется от аккумуляторных батарей, на которые автоматически переключается сеть аварийного освещения при аварии с основным источником электроснабжения.

Освещение кабинетов врачей должно обеспечивать наилучшие условия для установления диагноза. В практике проектирования принята система отраженного, полуотраженного или рассеянного света. Местное освещение удобно в специализированных кабинетах: глазных, кожных, урологических и т. д. Это освещение в рентгеновском кабинете устанавливается на столе врача и рентгенотехника, кроме того, там должно быть световое устройство для просмотра снимков на просвет. В кабинетах врачей рекомендуется обязательное использование люминесцентного освещения с лампами типа ЛДЦ, которые не только создают световой комфорт, но и облегчают диагностику болезней, когда симптомом заболевания является изменение цвета кожи, раствора и т. п.

§ 8.4. Освещение школ

Освещение школьных классов значительно влияет на формирование организма школьника. Важную роль играют и качественные характеристики освещения (не только выполнение требований по дискомфорту и пульсации, предусмотренные нормами). На правильное распределение яркости на деке парты и классной доске

влияет и распределение яркости по помещению, определяемое коэффициентами отражения, фактурой и цветом поверхностей потолка, стен, парт, пола и т. д. Эти показатели оказывают также влияние и на освещенность рабочих поверхностей.

Создание комфортной световой среды возможно только при соблюдении ряда общих технических требований. Рекомендуемые

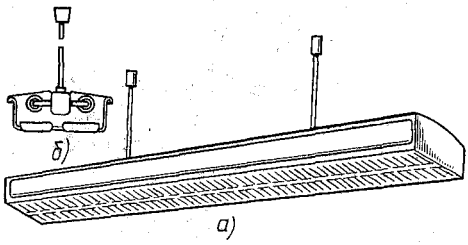


Рис. 8.13. Светильники для освещения школьных классов:
а — ЛСО02; *б* — ЛПО01

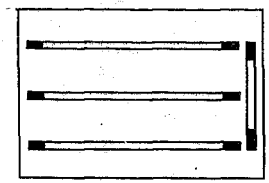


Рис. 8.14. Типовое расположение светильников в школьном классе

коэффициенты отражения потолка, стен и пола должны быть соответственно не менее 70, 50 и 30%. Классная доска и деки парт также не должны быть темными. Экспериментально определены соотношения между яркостями поверхностей, находящихся в поле зрения учащихся: так соотношения яркостей между тетрадью, книгой и декой парты должно быть не более 3:1; тетрадью, книгой и дальним фоном (стеной, полом) 10:1; светильником и его фоном 20:1 и любыми элементами в поле зрения 40:1.

Для создания комфортных условий среды из поля зрения учащихся необходимо полностью исключить зеркально отражающие поверхности.

Для освещения классных аудиторий обычно применяется люминесцентное освещение с лампами типа ЛБ, как наиболее экономичными. В кабинетах рисования, лепки и т. п., где существенной является цветопередача, рекомендуется применять лампы ЛДЦ, ЛЕ. Для освещения классов рационально использование светильников рассеянного света типа ЛСО02 и ЛПО01 (рис. 8.13).

На рис. 8.14 показаны типовое расположение светильников в классе. Ряды светильников размещены непрерывными светящими линиями, параллельными стене со светопроемами. Для освещения классной доски устанавливаются специальные светильники: ЛПО-12 (на кронштейнах над доской) или светильники ЛПО-13 на потолке, обеспечивающие требуемую освещенность на вертикальной плоскости доски. Для освещения школьного спортивного зала следует применять светильники, имеющие защитную решетку, обеспечивающую защиту источников света от удара мячом. При освещении школ, расположенных на Крайнем Севере или в Заполярье, следует предусматривать облучение школьников ультрафиолетом. Это осуществляется применением для осве-

щения классов светильников типа ЛПО02, имеющих на корпусе эритемную лампу типа ЛЭР-30, ориентированную на потолок.

§ 8.5. Освещение проектных и административных зданий

В помещениях административных и проектных зданий работает большое количество людей и выполняется напряженная зрительная работа, поэтому к осветительным установкам в таких помещениях предъявляются высокие требования. При конторской и чертежной работе большое значение имеет распределение яркости в поле зрения и устранение отраженной блескости, которая возникает на полированной поверхности столешницы, кальке или глянцевой бумаге. Поэтому при выборе расположения светильников необходимо учитывать расположение рабочих поверхностей.

В настоящее время для освещения проектных и конторских помещений используется система общего освещения с применением люминесцентных ламп, одним из положительных качеств которых является сравнительно малая яркость, позволяющая успешно бороться с прямой и отраженной блескостью.

Система отраженного освещения является наиболее благоприятной с точки зрения снижения блескости и распределения яркостей в поле зрения. Однако она имеет низкую экономичность и поэтому не применяется в практике проектирования. В действующих и проектируемых осветительных установках используют устройства отраженного или рассеянного, иногда даже прямого света при светлой отделке помещения и мебели. Практика освещения общественных зданий позволила заключить, что бóльшего светового комфорта можно достичь, используя систему общего, а не комбинированного освещения. Светильники размещают на потолке таким образом, чтобы обеспечить многостороннее освещение рабочих столов при основном направлении света сверху вниз из-за спины чертежника.

В помещениях чертежных, оборудованных вертикально расположенными чертежными досками, светильники размещают вдоль помещения по проходам, что ограничивает отраженную блескость, но при этом наличие рассеивателя является обязательным.

Применение в конторских помещениях общего освещения и диффузно отражающих столешниц столов позволяет создать комфортную световую среду. В этих случаях возможно как продольное, так и поперечное размещение светильников. Поперечное размещение светильников часто выбирают по архитектурным и конструктивным решениям помещения (например, наличие балок). Продольное параллельно стене с окнами выбирают при значительной глубине заложения помещения. Это позволяет включением наиболее удаленного от окон ряда светильников обеспечивать необходимые для работы освещенности для зон помещений с недостаточным естественным освещением.

В конторских помещениях, где устранение бликов не вызывает особых затруднений, рекомендуется использовать светильники массового ассортимента: при высоте помещения до 3 м — пото-

лочные светильники с рассеивателями, при большей — подвесные рассеянного света.

Организация световой среды в машинописных бюро имеет специфические особенности. Они заключаются в наличии быстро движущихся частей печатных машинок, а также частом и быстром изменении линии зрения — переводе зрения с машинки на рукопись и обратно, что требует ужесточения требований к ограничению пульсации освещенности.

Кроме того, части машинки, особенно клавиатура, имеют большую зеркальную составляющую в отражении, что может привести к наличию блескости. Ограничение пульсации освещенности можно достигнуть, применяя компенсированные пускорегулирующие аппараты в светильниках и включая поочередно рядом стоящие светильники в разные фазы сети трехфазного тока. Ограничение отраженной блескости достигают выбором взаимного расположения пишущих машинок, светильников и линии зрения машинисток.

В книгохранилищах, архивах, где основным оборудованием являются шкафы и стеллажи, необходимо освещать вертикальные плоскости почти на уровне пола, где находятся нижние полки. Расстояние между стеллажами или шкафами редко превышает 1 м. В современных архивах применяются подвижные стеллажи, расположенные вплотную друг к другу и передвигаемые по направляющим при необходимости. Создание вертикальной освещенности при малом выносе светильника по отношению к освещаемому стеллажу предоставляет значительные трудности. Наилучший результат можно получить при использовании зеркальных люминесцентных светильников типа «Кососвет», направляющих основной световой поток на вертикальную плоскость. Схематическое расположение светильника относительно освещаемых стеллажей показано на рис. 8.15. Можно применять светильники ЛПО-13 на потолке по линии проходов между стеллажами.

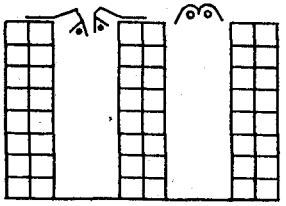


Рис. 8.15. Освещение шкафов и стеллажей

Для повышения освещенности на нижних полках стеллажей имеют значение световые потоки, отраженные от пола, поэтому желательно иметь светлые полы с высоким коэффициентом отражения. Для освещения книгохранилищ применяются маломощные зеркальные лампы накаливания с резко выраженным максимумом кривой силы света. Использование их рационально, так как при направлении максимума излучения на нижнюю полку создается нормируемая освещенность по всей высоте стеллажа. В помещениях книгохранилищ, архивов запрещается применение переносных светильников, удлинителей, штепсельных соединений и т. д. Электрическая сеть в этих помещениях должна полностью отключаться на нерабочее время (выключатели следует располагать за пределами освещаемого помещения).

§ 8.6. Освещение магазинов

Торговые залы магазинов предназначаются для показа и продажи товаров. Основными объектами для освещения в них являются прилавки и открытые витрины. Светильники желательно располагать близко к витринам и прилавкам. Для освещения прилавков, стендов и шкафов применяют зеркальные светильники с лампами накаливания и шарнирным креплением (рис. 8.16). Благодаря шарнирам у таких светильников можно изменять направление максимальной силы света, что позволяет создавать на прилавках и стендах высокие уровни освещенности.

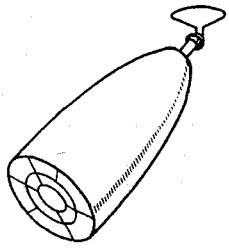


Рис. 8.16. Светильник с зеркальной лампой и шарнирным креплением

Для освещения торговых залов магазинов распространены люминесцентные светильники. Их рекомендуется располагать непосредственно над прилавками и у открытых витрин с товарами. Светильники с рассеивающими решетками защищают глаза покупателей и продавцов от слепящего действия источников света и ярких частей отражателя.

Оптимальным является равномерное умеренное освещение торгового зала отраженным светом и повышенное освещение прилавков и полок лампами небольшой мощности. При этом светильники располагают таким образом, чтобы источники света не попадали в поле зрения покупателей.

Для витрин готового верхнего платья, расположенных в вертикальных плоскостях, требуемые уровни освещенности обеспечиваются при использовании светильников прямого света, создающих высокие освещенности в вертикальной плоскости. Особое внимание обращается на освещение примерочных кабин в магазинах. Светильники в них удобно устанавливать на потолке или стенах выше зеркала. На потолке светильники устанавливают так, чтобы свет на покупателя падал спереди под углом 30—40° на уровне груди. Лучше освещать кабину применением светового потолка небольшой яркости порядка 3000—4000 кд/м^2.

Выбор источников света для торговых залов магазинов основывается на хорошей цветопередаче. На цветность источников света следует обращать внимание при освещении продуктовых магазинов по продаже мяса, фруктов, кондитерских изделий и т. п. Эти требования можно удовлетворить при использовании люминесцентных ламп типа ЛДЦ, ЛБЦТ. В ювелирных, а также в магазинах по продаже хрусталя и художественного стекла более пригодны лампы накаливания, так как они вызывают «игру» света в бриллиантах, драгоценных камнях, полированном драгоценном металле, что способствует лучшему показу товаров. В булочных, магазинах по продаже хозяйственных товаров и т. д. цветность излучения источников света не является основным требованием, и поэтому выбирать источники света можно по минимуму приведенных затрат.

Особо строгие требования предъявляются к эвакуационному освещению торговых залов магазинов и выходов из них из-за наличия большого количества людей и материальных ценностей. Устройство эвакуационного освещения следует предусматривать в торговых залах площадью 90 м^2 и более, а также на путях эвакуации из помещений с общей площадью 90 м^2, во всех залах с самообслуживанием и транспортных тоннелях. Питание эвакуационного освещения больших магазинов должно осуществляться от независимых источников питания типа аккумуляторных батарей.

В небольших магазинах аварийное освещение может питаться от отдельной сети, начиная с главного щита, при возможности отдельного ввода. При общей площади торговых залов 180 м^2 и более, а также в магазинах самообслуживания площадью 110 м^2 и более выходы должны быть отмечены световыми указателями.

Глава 9
НАРУЖНОЕ ОСВЕЩЕНИЕ ГОРОДОВ

§ 9.1. Единство светового облика города

Осветительные установки в городах, поселках городского типа и сельских населенных пунктах должны обеспечивать не только требования безопасности движения транспорта и людей, но и быть частью гармонической композиции вечернего облика города.

В искусственном освещении города различаются отдельные элементы, действующие совместно, большей частью одновременно, активно влияющие друг на друга и зависящие один от другого, которыми являются: освещение проезжей части города; световые указатели, сигнализация; освещение архитектурных сооружений (малые формы архитектуры, монументы, зеленые насаждения и т. д.), информационное и рекламное освещение (освещение витрин магазинов, ресторанов и различных учреждений культуры и отдыха). Праздничное освещение тоже взаимодействует с другими элементами освещения города. Освещение улиц и прилегающих к ним тротуаров осуществляется не только светильниками уличного освещения: значительная часть светового потока на них попадает и от светильников архитектурного освещения фасадов зданий, освещенных витрин и световой рекламы.

На фасад здания, со специальным освещением падает свет от светильников уличного освещения, от рекламных огней, витрин здания, находящегося напротив освещаемого, и т. д.

В осветительных установках городов необходимо определить рекомендуемые типы источников света и светильников, распределить их по площадям и улицам города, установить высоту их размещения относительно проезжей части улицы или площади, выбрать высоту и конструкцию опор. Необходимо выявить степень влияния освещенной витрины на освещенность тротуара и проезжей части улицы, а также фасада здания противоположной стороны улицы.

В комплексе с освещением улицы разрабатывают освещение фасадов зданий исторического или культурного назначения. После этого разрабатывают световые рекламу и информацию. Рекламное решение надо рассматривать в связи со всем световым решением города. Реклама и световая информация — одно из средств выразительности в решении общей задачи создания световой архитектуры. К рекламному и агитационно-информационному освещению относится и праздничное освещение города: крупномасштабные агитационные световые панно, содержащие не только надписи, но и сюжетные темы, выполненные с помощью стационарных средств рекламного освещения. Стационарные световые панно со сменяемой программой можно использовать для рекламного, информационного и праздничного освещения. Важно правильно выбрать место расположения световых панно, найти их масштаб. Поэтому при разработке информации и рекламы необходимо решить следующие проблемы: выбрать выразительные средства рекламы в зависимости от ее содержания, определить гармоническое сочетание цветов светящих объектов, наблюдаемых на темном фоне.

При освещении садов, бульваров и скверов следует учитывать, что в районе зеленых насаждений обычно отсутствуют дополнительные световые потоки, обусловленные архитектурным, рекламным и витринным освещением.

В архитектурно-художественном аспекте сложный комплекс искусственного освещения представляет собой гармонически связанное художественное произведение, в котором архитектурное решение освещения улицы зависит не столько от уровней освещенности, сколько от гармонического сочетания и стилевого единства отдельных частей осветительной установки и степени уменьшения блескости в поле зрения.

§ 9.2. Освещение улиц, дорог и площадей

Проектирование наружного освещения городов следует выполнять в соответствии с СН541—82. (Инструкция по проектированию наружного освещения городов, поселков городского типа и сельских населенных пунктов).

В установках наружного освещения городов при средней яркости покрытия 0,4 кд/м^2 и выше и средней освещенности 4 лк и выше следует применять газоразрядные источники света — преимущественно лампы ДРЛ, МГЛ, НЛВД. В Москве и в других городах для освещения площадей используют ксеноновые лампы ДКсТ. Лампы накаливания применяют только в поселках или на городских улицах местного значения. Люминесцентные лампы используют редко, в основном в южных курортных небольших городах, так как эксплуатация их в средней и северной климатических зонах затруднительна.

Транспортные и пешеходные тоннели освещают газоразрядными источниками света, пешеходные тоннели преимущественно

люминесцентными лампами типа ЛБ. Освещение транспортных тоннелей рекомендуется выполнять закрытыми светильниками, имеющими струезащищенное исполнение. Для освещения улиц и дорог с нормированной яркостью 0,4 кд/м^2 и выше или средней освещенностью 4 лк применяют светильники, имеющие широкое или полуширокое светораспределение.

В таблице 9.1 указаны светильники, применяемые для уличного освещения.

Таблица 9.1

Тип светильника	Источник света, мощность, Вт	Светораспределение
	Лампы ДРЛ	
РКУ-250	250	Широкое несимметричное
РКУ-400	400	» »
СКЗР-2×250	250	Широкое, несимметричное, осевое
СПОР-250	250	Симметричное полуширокое
СЗПР-250М (б)	250	Несимметричное боковое
СЗПР-250М (ц)	250	Несимметричное осевое
СППР-125М	125	Широкое симметричное
РСУ-250	250	Широкое несимметричное
	Люминесцентные лампы	
СКЗЛ-2×40	40	Широкое несимметричное
СКЗЛ-2×80	80	» »
СКЗЛ-3×40	40	» »
СКЗЛ-3×40М	40	Широкое несимметричное осевое
СКЗЛ-3×80	80	» »
СКЗЛ-2×80М	80	Широкое несимметричное
СПЗЛ-3×40М	40	Широкое несимметричное осевое
СПЗЛ-2×80М	80	Широкое несимметричное
СПЗЛ-3×80М	80	» »
СПЗЛ-2×40	40	Широкое несимметричное осевое
СПЗЛ-3×40	40	» »

Освещение аллей, пешеходных и прогулочных дорожек выполняется обычно венчающими светильниками рассеянного или преимущественно прямого света. Широко распространены светильники типа СВР с лампами ДРЛ мощностью 125 и 250 Вт. Узкие проезды, тротуары и площадки, расположенные у зданий, освещаются светильниками, установленными на стенах зданий, при условии обеспечения удобного доступа к ним, например, типа РБУ с лампой типа ДРЛ мощностью 125 Вт.

Светильники для освещения улиц крепятся на специальных опорах, которые изготовляют из стали, алюминия, железобетона и дерева. В отечественной практике в основном применяются железобетонные опоры. Деревянные опоры применяют только в поселках, на небольших улицах. Совокупность опоры, кронштейнов

и светильников представляет собой фонарь уличного освещения (рис. 9.1, *а—г*).

Различают фонари венчающего и консольного типов, отличающиеся способом крепления светильников. Узкие улицы (шириной до 20 м) с периметральной застройкой целесообразно осве-

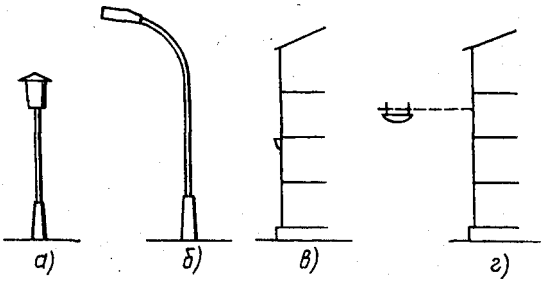


Рис. 9.1. Схемы установки уличных фонарей: *а* — венчающего; *б* — консольного; *в* — настенного; *г* — подвесного

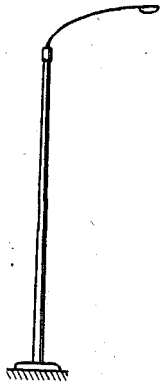


Рис. 9.2. Уличный фонарь с железобетонной опорой и стальной консолью

щать приборами, подвешенными к тросам, а также прикрепленными к зданиям на кронштейнах. При свободной застройке жилых кварталов освещение монтируется на опорах.

Широко распространены фонари, опора которых изгибается под углом 15°, и эта изогнутая часть служит консолью для крепления светильника. Большинство современных консольных светильников рассчитано на установку с таким наклоном. В некоторых из них имеется изогнутый патрубок. Такие светильники должны устанавливаться на горизонтальных консолях. Не допускается устанавливать светильник под углом 30—40°. Типичный уличный фонарь с железобетонной опорой и стальной трубчатой консолью показан на рис. 9.2.

При установке светильников на тросовых растяжках часто возникает их вибрация, передающаяся зданиям, к которым они крепятся. Во избежание этого тросы следует крепить с помощью специальных амортизаторов. Типы опор наружного освещения должны применяться в соответствии с техническими правилами по экономному расходованию основных строительных материалов. Рассмотрим основные требования к расположению опор, предъявляемые в СН541—82.

Расстояние от лицевой грани бортового камня до наружной поверхности цоколя опоры должно быть не менее 0,6 м. Это расстояние внутри жилых кварталов допускается уменьшать до 0,3 м при отсутствии автобусного и троллейбусного движения, а также движения тяжелых грузовых машин. Опоры на пересечении улиц и дорог рекомендуется устанавливать до начала закругления тро-

туаров и не ближе 1,5 м от различного рода въездов, не нарушая единого строя линии установки опор. Расстояние между опорой и подземными коммуникациями принимается согласно требованиям СНиПа по планировке и застройке городов, поселков и сельских населенных пунктов; по наружным сетям и сооружениям; по электротехническим устройствам. Опоры для светильников на наружных инженерных сооружениях (мосты, путепроводы, эстакады, дамбы и т. д.) следует устанавливать в створе ограждений, стальных станинах или на фланцах, прикрепляемых к несущим элементам инженерного сооружения. Для мостов и дамб, чтобы обеспечить требуемый уровень освещения, устанавливают большое количество фонарей, которые часто по рисунку и масштабу не подходят к архитектуре моста. Сокращение их числа приводит к применению нерациональных технически многоламповых фонарей, не обеспечивающих достаточную равномерность освещения. Поэтому начали применять осветительные устройства, встроенные в ограждение мостов и других инженерных сооружений.

На улицах с трамвайным или троллейбусным движением светильники размещают на опорах контактной сети, на которых следует осуществлять подвес светильников с воздушной электрической сетью общего пользования.

Аллеи скверов и пешеходные дорожки не требуют интенсивного освещения, так как на них нет движения транспорта. Часто можно ограничиться освещением только главных аллей и проходов. Следует учитывать, что на бульвар обычно попадает свет от прилегающих улиц. Для садов и бульваров целесообразно применять фонари торшерного типа с венчающими светильниками, при этом опоры следует располагать вне пешеходной части дорожек (на газонах в ряду с деревьями, скамейками и т. д.).

Над проезжей частью улиц, дорог и площадей светильники должны устанавливаться на высоте не менее 6,5 м. Высота подвеса светильников при их расположении над контактной сетью трамвая должна быть 8 м от головки рельсов и при расположении над контактной сетью троллейбуса — 9 м от уровня проезжей части.

В осветительных установках для освещения мостов и путепроводов, при использовании светильников с защитным углом не менее 10° и исключения возможности доступа к лампам без специального инструмента высота их установки не ограничивается; в транспортных тоннелях при таком же защитном угле высота установки светильника должна быть не менее 4 м.

В пешеходных тоннелях рекомендуется использовать светильники с защитным углом 15° и более для люминесцентных ламп суммарной мощностью 80 Вт и ламп ДРЛ мощностью 125 Вт; допускается использование светильников с матированными и молочными рассеивателями без отражателей для ламп ДРЛ мощностью 125 Вт.

В СН541—82 предусмотрено несколько оптимальных схем размещения светильников на улице (рис. 9.3). В зависимости от ширины и категории улиц применяются различные схемы расположения светильников: односторонняя, двухрядная в шахматном по-

рядке, двухрядная прямоугольная, осевая, двухрядная прямоугольная по осям движения, двухрядная прямоугольная по оси улицы. Схемы *1—3* и *6* соответствуют случаям установки фонарей, а *4* и *5*— подвеске светильников на тросах. На закруглениях улиц и дорог с радиусом кривых в плане по оси проезжей части 60—125 м фонари

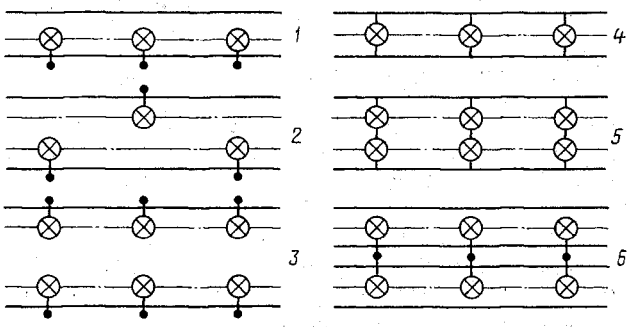


Рис. 9.3. Схема расположения фонарей в осветительных установках улиц и дорог:

1 — односторонняя; *2* — двухрядная в шахматном порядке; *3* — двухрядная прямоугольная; *4* — осевая; *5* — двухрядная прямоугольная по осям движения; *6* — двухрядная прямоугольная по оси улицы

при одностороннем расположении должны размещаться по внешней стороне улицы согласно рис. 9.4, *а*.

Освещение железнодорожных переездов и пешеходных переходов в одном уровне должно обеспечиваться светильниками, располагаемыми на схемах, соответствующим рис. 9.4, *б, в*.

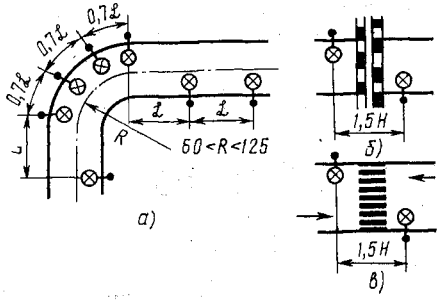


Рис. 9.4. Схема расположения светильников:

а — на закруглении; *б* — на железнодорожном переезде; *в* — на пешеходном переходе; *L* — шаг светильников; *H* — высота установки светильников; *R* — радиус кривизны в плане по оси дороги

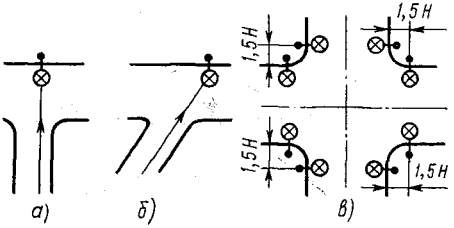


Рис. 9.5. Схемы расположения светильников на пересечениях:

а, б — на примыканиях; *в* — на перекрестке; *H* — высота установки светильников

Освещение пересечений в одном уровне рекомендуется выполнять в соответствии со схемами, приведенными на рис. 9.5. Для освещения больших площадей, когда желательно сократить

число опор или полностью от них отказаться, применяются светильники с лампами ДКсТ большой единичной мощности (20 кВт), устанавливаемые на мачтах высотой 25 м. Для той же цели (освещения площадей) используются и прожекторы, размещаемые на крышах зданий. Основным недостатком прожекторного освещения является слепящее действие, оказываемое им на пешеходов, водителей, а также мешающее воспринимать архитектуру площади в вечернее время.

§ 9.3. Типовые решения освещения улиц и дорог

На основе СН541—82 ЦНИИЭП инженерного оборудования и АКХ им. К. Д. Памфилова были разработаны «Типовые решения освещения улиц и дорог», что позволило без трудоемких расчетов определять основные параметры осветительных установок улиц и дорог городов и населенных пунктов в зависимости от нормы яркости дорожного покрытия, распределения яркости и показателя ослепленности, а также оценивать и сравнивать различные осветительные установки при составлении технико-экономических обоснований архитектурно-планировочных и инженерных решений застройки.

Типовые решения содержат схемы расположения, тип светильников и источников света, рекомендуемую высоту их установки, шаг и число светильников (опор) на 1 км дороги, установленную мощность осветительной установки на 1 км дороги, на 1 м^2 освещаемой проезжей части дороги, а также установленную мощность, приведенную к 1 кд/м^2 нормируемой средней яркости или 1 лк/м^2 нормируемой средней освещенности, в зависимости от ширины проезжей части. Установленная мощность осветительной установки, отнесенная к 1 м^2 проезжей части и единице нормы освещения, позволяет выбрать наиболее рациональные по расходу электроэнергии светильники для создания нормы средней яркости или освещенности.

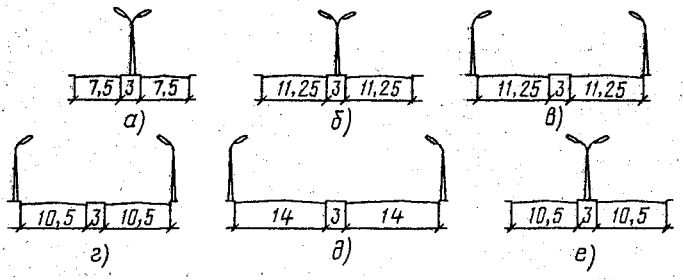


Рис. 9.6. Схема расположения светильников:
а, б, е — двухрядная прямоугольная по оси улицы; *в, г, д* — двухрядная прямоугольная

Окончательный выбор варианта освещения должен производиться по технико-экономической оценке с учетом стоимостных показателей по утвержденным (действующим) ценникам.

Типовые решения составлены для наиболее распространенной системы освещения, при которой светильники установлены на опорах или подвешены на тросе на высоте 6,5—15 м в соответствии со схемами расположения, показанными на рис. 9.3.

Таблица 9.2

Ширина проезжей части, м	Схема расположения светильников	Типы		Число светильников на опоре	Высота светового центра светильника, м	Шаг светильников, м	Число светильников на 1 км	Удельная мощность установки		
		светильника	источника света					Вт/км	Вт/м^2	Вт·м$^{-2}$ / кд·м$^{-2}$
7,5	Односторонняя	СКЗР 2×250	ДРЛ-250	1	9	28	36	19,45	2,59	1,62
7,5	»	РКУ-250	ДРЛ-250	2	9	28	36	19,45	2,59	1,62
7,5	»	РКУ-400	ДРЛ-400	1	9	24,5	41	17,4	2,32	1,45
11,25	Двухрядная	СКЗР-2×250	ДРЛ-250	1	10	41	50	27	2,4	1,5
11,25	»	РКУ-250	ДРЛ-250	1	9	23	88	23,7	2,1	1,32
11,25	»	РКУ-400	ДРЛ-400	1	10	38,5	52	22,1	1,96	1,22
14	»	РКУ-400	ДРЛ-400	1	10	34	60	25,5	1,78	1,11
14	»	СКЗР-2×250	ДРЛ-250	1	10	38	54	29,2	2,08	1,3
15	»	РКУ-400	ДРЛ-400	1	10	33	62	26,35	1,72	1,08
22,5	»	РКУ-400	ДРЛ-400	1	10	24	84	35,7	1,59	1
22,5	»	СКЗР-2×250	ДРЛ-250	1	10	26	78	42,2	1,88	1,17
22,5	Двухрядная по оси улицы	СКЗР-2×250	ДРЛ-250	2	11	34,5	58	31,3	2,09	1,31
22,5	»	РКУ-400	ДРЛ-400	2	11	31	66	28	1,87	1,17
22,5	»	СКЗР-2×250	ДРЛ-250	2	12,5	24	84	45,3	2,01	1,26
22,5	»	РКУ-400	ДРЛ-400	2	12,5	23,5	86	36,55	1,61	1,01
27,5	Двухрядная	СКЗР-2×250	ДРЛ-250	1	10	25	80	43,2	1,92	1,2
22,5	»	РКУ-400 и РКУ-250	ДРЛ-400 ДРЛ-250	1	10	36	112	38,9	1,73	1,07

Выбор параметров осветительных установок в зависимости от ширины проезжей части, с учетом категории и планировки улиц, архитектурных требований и т. д. производится по таблицам, приведенным в «Типовых решениях освещения улиц и дорог», на основании технико-экономической оценки.

Варианты осветительных установок улиц и дорог рассчитаны для ширины дорожного покрытия, соответствующего требованиям СНиП II-60—75* «Планировка и застройка городов, поселков и сельских населенных пунктов» для профилей улиц и дорог, показанных на рис. 9.6 с использованием выпускаемых отечественной промышленностью светильников. В табл. 9.2 приведены решения осветительных установок для

дорожного покрытия из гладкого и шероховатого асфальтобетона при нормируемой яркости $L_н = 1{,}6$ кд/м^2. Аналогичные таблицы построены и для других светильников и других нормируемых уровней яркости и освещенности, указанных в главе СНиПа; для дорожного покрытия из шероховатого асфальтобетона и многих других покрытий дорог, включая простейшие.

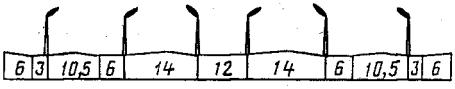


Рис. 9.7. Поперечный профиль магистральной улицы общегородского значения

Кроме того, «Типовые решения» содержат примеры освещения улиц различного профиля. Для профиля, показанного на рис. 9.7, приведены данные в табл. 9.3.

В расчетах осветительных установок приняты значения световых потоков, предусмотренные действующими ГОСТами на источники света. Высота установки и шаг светильников рассчитаны для каждого значения нормы с учетом равномерности распределения яркости (L_{max}/L_{min}) или освещенности (E_{max}/E_{min}) и ограничения ослепленности. Установленная мощность осветительных установок с газоразрядными источниками света рассчитана с учетом потерь в пускорегулирующей аппаратуре (ПРА).

Таблица 9.3

Элементы осветительной установки улицы	Проезжая часть при норме яркости $L_н$, кд/м^2					Тротуар при норме освещенности 4 лк
	магистральных проездов			местных проездов		
	1,6	1,2	0,8	0,4	0,4	
Схема расположения светильников	Двухрядная			Односторонняя		
Тип светильника	РКУ-400	РКУ-250	СКЗЛ-2×80	РКУ-250	СКЗЛ-3×40	Норма обеспечивается во всех вариантах
Тип источника света	ДРЛ-400	ДРЛ-250	ЛЛ 80 Вт	ДРЛ-250	ЛЛ 40 Вт	
Число светильников на опоре	1	1	1	1	1	
Высота светового центра светильника, м	10	8,5	10	10	8,5	
Шаг светильников, м	34	27	27	34	27	
Число светильников на 1 км	60	74	74	30	37	
Удельная мощность установки:						
кВт/км	25,5	19,98	14	8,56	5,73	
Вт/м^2	1,79	1,43	1	0,62	0,545	
Вт·м$^{-2}$/кд·м$^{-2}$	1,11	1,19	1,25	1,55	1,36	

В дополнение к «Типовым решениям освещения улиц и дорог» разработаны «Методические рекомендации по проектированию на-

ружных осветительных установок в районах Крайнего Севера». В этих Рекомендациях даны типовые решения осветительных установок улиц и дорог с учетом продолжительных неблагоприятных погодных условий (туманы, метели).

В «Указаниях по эксплуатации установок наружного освещения городов, поселков городского типа и сельских населенных пунктов» содержатся требования по поддержанию технически исправного состояния установок наружного освещения, при котором их количественные и качественные показатели соответствуют заданным нормируемым параметрам. В документ включены требования по централизованному включению и отключению наружного освещения (НО); рациональному использованию электроэнергии и средств, выделенных на содержание установок; обеспечению безопасности эксплуатационного персонала и населения; максимальной механизации обслуживания установок НО и повышения производительности труда эксплуатационно-ремонтного персонала.

§ 9.4. Управление наружным освещением

Система управления наружным освещением городов является централизованной телемеханической или дистанционной и включает освещение автоматически при снижении уровня естественной освещенности до 20 лк и отключает при повышении естественного освещения до 10 лк.

Переключение освещения пешеходных тоннелей с дневного режима на вечерний и ночной или с ночного на дневной должно производиться одновременно с включением и отключением наружного освещения.

Включение дневного режима освещения транспортных тоннелей регламентируется повышением естественной освещенности до 100 лк, перевод на вечерний и ночной режим осуществляется при снижении уровня естественной освещенности до 100 лк.

Централизованную систему управления сетями наружного освещения (телемеханическую или дистанционную) выбирают в зависимости от количества жителей в городе. При этом предусматривается: а) централизованное телемеханическое управление при числе жителей более 50 тыс.; б) централизованное телемеханическое или дистанционное управление при числе жителей от 20 до 50 тыс.; в) централизованное дистанционное управление при числе жителей до 20 тыс.

Управление наружным освещением городов осуществляется из одного центрального или центрального и нескольких районных диспетчерских пунктов. Районные диспетчерские пункты предусматриваются в крупнейших городах, территории которых разобщены естественными преградами (рельеф местности, лесные массивы и т. д.).

Между центральным и районными диспетчерскими пунктами обеспечивается прямая телефонная связь. В качестве дублирующей оперативной связи, а также для связи с оперативными автомаши-

нами предусматривается связь на УКВ (радиосвязь на ультракоротких волнах).

Управление наружным освещением микрорайонов осуществляется от системы управления наружным освещением всего населенного пункта. Управление наружным освещением территорий: детских яслей-садов, общеобразовательных школ, школ-интернатов, больниц, госпиталей и т. д. осуществляется от системы управления наружным освещением населенного пункта, в котором они расположены. При этом для установок наружного освещения с самостоятельным режимом работы должно быть местное отключение.

В системах централизованного телемеханического управления предусматривается двусторонний обмен информацией между диспетчерскими и исполнительными пунктами, достаточный для нормального функционирования установок наружного освещения. В системах централизованного телемеханического и дистанционного управления в сетях наружного освещения широко применяются каскадные схемы управления. В воздушно-кабельных сетях в один каскад допускается включать до 10 пунктов питания, а в кабельных — до 15. Сеть каскадного управления наружным освещением должна строиться таким образом, чтобы улицы, дороги и площади категорий А и Б входили в головной участок каскада или в участок, ближайший к головному.

Для централизованного управления освещением с диспетчерского пункта используются устройства телемеханического управления сетями наружного освещения типов ТОЛ, УТУ-I и УТУ-IV, позволяющие включать и отключать наружное освещение в соответствии с графиком, а также отключать в ночное время часть светильников при снижении интенсивности движения транспорта и пешеходов.

Устройства управления обеспечивают индивидуальное и групповое управление головными пунктами питания каскадированной части сети наружного освещения, позволяют контролировать действие оборудования головного пункта питания (наличие напряжения на вводе, положение контактов и исправность предохранителей отходящих направлений) и каскадно включаемых участков сети наружного освещения, а также индивидуальную сигнализацию о возникновении аварийного режима в головном или каскадном пункте питания и осуществлять контроль за состоянием канала связи.

Устройство состоит из пульта управления, установленного в диспетчерском пункте и предназначенного для передачи приказов управления и воспроизведения сигналов, характеризующих состояние наружного освещения; из исполнительных пунктов, предназначенных для исполнения приказов управления и передачи сигналов состояния наружного освещения.

Число исполнительных пунктов, подключаемых к одному пульту управления, зависит от модификации устройства. В устройствах: УТУ-I — 10 пунктов (модификация УТУ-I—10); в УТУ-IV 10, 20,

30, 50 пунктов (модификации УТУ-IV—10; УТУ-IV—20; УТУ-IV—30 и УТУ-IV—50).

Устройство ТОЛ состоит из диспетчерского пункта, рассчитанного на телемеханизацию до 192 каскадов сети наружного освещения исполнительных пунктов. В основу конструкции положен блочный принцип, что позволяет изготовлять устройства ТОЛ и вводить их в эксплуатацию поэтапно, комплектами по 24 исполнительных пункта.

В качестве каналов связи используются прямые провода, абонируемые у городской телефонной сети, или специально прокладываемые проводные линии связи, соединяющие диспетчерский пункт с исполнительным. При этом можно устанавливать прямую телефонную связь между диспетчером и персоналом.

§ 9.5. Освещение архитектурных объектов

В СНиП II-4—79 кроме норм освещения городов предусмотрены также и указания по архитектурному освещению объектов.

Архитектурное освещение предназначается для обеспечения выразительности объемно-планировочной и цветовой композиции ансамблей и отдельных объектов и подчеркивает их идейно-художественные, функциональные и пластические особенности и градостроительную значимость.

Объектами архитектурного освещения являются крупные и важные в композиционном отношении общественные здания и сооружения; системы общественных центров, включающие общегородской и специализированные центры планировочных и жилых районов, промышленных районов и зон отдыха; общественные центры местного значения (микрорайонные, поселковые), а также памятники архитектуры и культуры.

Свет позволяет лучше выявлять архитектурный образ здания, подчеркивать композицию ансамбля и отдельные наиболее интересные детали, при этом не нарушая общего облика здания и заложенной в нем идеи.

Архитектурное освещение главных площадей города следует осуществлять на основе предварительно разработанных и утвержденных в архитектурно-планировочном управлении проектов, учитывающих исторические, природные и архитектурные особенности.

Световая архитектура сохраняет архитектурно-пространственную композицию площади, акцентирует ее значение в архитектуре города, что обеспечивается соответствующим уровнем и распределением яркости на площади и окружающих ее зданиях.

Художественное качество световой панорамы города зависит от умения выделить светом его архитектурные ансамбли. Их сочетание со световой архитектурой инженерных и промышленных сооружений (мостов, башен, труб и т. д.), а также со световой графикой набережных, автомагистралей, транспортных развязок образует светоцветовую композицию города.

По характеру световой архитектуры различают площади: а) со сплошной периметральной застройкой; их рекомендуется освещать заливающим светом с дополнительным локализованным, а также светом, проходящим через окна зданий; б) с выраженным главным архитектурным объектом (доминантой); в вечернее время свет выявляет архитектуру главного здания; в) не представляющие архитектурно-художественной ценности, но имеющие большое транспортное значение: в этом случае световой акцент переносится на архитектуру осветительных установок (опор, подвесов и т. д.), либо малых форм или рекламу, проектируемую как часть архитектуры площади. Проект архитектурного освещения улиц разрабатывают с учетом их общественного значения и особенностей общей планировочной структуры города.

Световую архитектуру города создают: подсвечиванием опорных общественных, административных и торговых зданий; светом, проходящим через остекление фасадов; подсвечиванием входов в общественные здания, отели, рестораны, жилые дома; светящими малыми архитектурными формами и указателями, располагаемыми на перекрестках улиц; фонарями уличного освещения, образующими метрическое членение улицы по ее длине; витринами магазинов; светящими призывами и рекламами.

Применяющиеся осветительные приборы (на опорах, подвесные, пристроенные и т. д.) обеспечивают нормируемые яркости или освещенности на проезжей или пешеходной зонах, а также на фасадах зданий.

Схема расположения опор, их ритм, высота, форма и спектральный состав излучаемого света должны удовлетворять не только функциональным, но и архитектурным требованиям.

Норма средней яркости фасадов зданий и сооружений определяется в зависимости от структуры, коэффициента отражения и цвета, применяемого для облицовки фасада материала; от категории улиц и площадей, на которых они находятся. Наличие зеленых насаждений на территории расположения здания также влияет на уровень освещения фасада здания (табл. 9.4, 9.5). Чаще всего для освещения фасадов используют общее равномерное освещение, при котором отношение максимальной освещенности к минимальной не должно превышать 3, а для смежных фасадов в зависимости от требуемого художественного эффекта — в пределах от 3 до 5.

Таблица 9.4

Расположение освещаемого объекта	Характерная яркость фона, кд/м^2	Средняя яркость освещаемого фасада, кд/м^2
Улицы или площади категорий		
А	Более 5	10
Б	От 1 до 5	6
В	Менее 1	4
Парк, бульвар	Менее 1	4

Высвечивание отдельных элементов и деталей здания применяется в тех случаях, когда требуется создать специальный

Таблица 9.5

Материал облицовки или окраски фасада здания, памятника	Коэффициент отражения материала	Наименьшая средняя освещенность, лк, при яркости фона, кд/м², характерной для улиц и площадей					
		фасада здания			памятника		
		Категории					
		В — менее 1	Б — 1—5	А — более 5	В — менее 1	Б — 1—5	А — более 5
Белый	Более 0,6	20	30	50	30	50	75
Светлый	Св. 0,45 до 0,6	30	50	75	50	75	100
Средней светлоты	Св. 0,3 до 0,45	50	75	100	75	100	150
Темный	0,15—0,3	75	100	150	100	150	200
Черный	Менее 0,15	100	150	200	150	200	300

Примечания: 1. При расположении объекта освещения вне городской территории и наблюдении его на фоне неба или неосвещенной зелени расчетная яркость фона принимается менее 1 кд/м². 2. При расположении объекта освещения вблизи зданий с большими светящими поверхностями (например, здания со значительными площадями остекления, через которые видны освещенные интерьеры) расчетную яркость фона следует принимать более 5 кд/м². 3. Освещенности, данные в таблице, допускается увеличивать при освещении зданий и сооружений, обозреваемых с расстояния больше 1 км и памятников, обозреваемых с расстояния более 300 м, а также зданий с архитектурными деталями малых размеров, имеющими существенное значение для восприятия архитектуры зданий в целом. 4. Среднюю вертикальную освещенность памятников, расположенных вне городской территории или рассматриваемых на фоне зелени, неба, и т. д., допускается уменьшать вдвое по сравнению с величинами, приведенными в таблице.

световой акцент, например подчеркнуть какую-либо историческую деталь.

Лучший результат дает применение комбинированного способа освещения, когда равномерному освещению фасада сопутствует высвечивание отдельных деталей, что позволяет создавать нужный световой акцент и устранять нежелательные тени в лоджиях, портиках и других западающих частях сооружения.

Монументы и памятники, имеющие самостоятельное архитектурное значение и многосторонний обзор, освещают с нескольких сторон с четко выраженным основным направлением освещения, определяющим главную вертикальную плоскость. Остальные памятники, как правило, должны освещаться со стороны основного направления наблюдения. Среднюю освещенность памятников в главной вертикальной плоскости следует принимать по табл. 9.5. Освещенность в других плоскостях устанавливается в зависимости от требуемого художественного эффекта.

Выбор источников света и светофильтров (при цветном освещении) для осветительных приборов производится с учетом цветовых и отражательных характеристик фасадов объектов и зеленых насаждений, а также цветопередачи лиц людей, находящихся в освещенной зоне.

Для объектов, имеющих «холодные» цветовые оттенки поверхностей, и зелени рекомендуется применять источники света с высокой цветовой температурой (лампы типов ДРЛ, МГЛ, люминесцентные — лампы ЛХБ и т. д.). Для объектов, окрашенных

в «теплые» цвета, а также зон с интенсивным пешеходным движением используют источники света с низкой цветовой температурой (лампы накаливания в том числе галогенные, люминесцентные типов ЛБ, НЛВД и др.).

Глава 10

ОСВЕЩЕНИЕ МЕСТ ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ ВНЕ ЗДАНИЙ И СПОРТИВНЫХ СООРУЖЕНИЙ

§ 10.1. Область применения наружного освещения

Осветительные установки наружного освещения широко применяются для освещения строительных площадок при строительно-монтажных работах на объектах промышленного, гражданского, транспортного строительства, на карьерах по добыче полезных ископаемых открытым способом, на спортивных сооружениях.

В основу проектирования таких установок положены: для строительных площадок СН 81—80, для освещения карьеров СН 466—74, для освещения спортивных сооружений ВСН-1—73.

Эти осветительные установки объединяются общими требованиями к осветительным приборам, применяемым источникам света и их расположению относительно освещаемых объектов, требованиями к их эксплуатации и т. п.

Осветительные установки строительных площадок и открытых карьеров по добыче полезных ископаемых отличаются от всех остальных временным характером их использования: демонтируются или перемещаются с завершением выработки забоя или перемещением фронта работ.

Поэтому наряду со стационарными осветительными установками на карьерах и строительных площадках значительную долю составляют типовые передвижные инвентарные осветительные установки.

Наличие различных инвентарных осветительных устройств особенно важно для строительных площадок, карьеров и участков, где производятся взрывные и аварийно-восстановительные работы. Широко распространены портативные установки различных типов — от легких переносных треножников с двумя, тремя лампами малой мощности, снабженными отражателями, до тяжелых трайлеров с телескопическими мачтами высотой до 35 м, несущими несколько мощных прожекторов, а часто и с собственным генератором. Многие мачты монтируются на салазках или колесах и передвигаются на буксире трактором или автомашиной. При перемещении мачты ей поворотным устройством придается горизонтальное положение.

Переносные устройства для установки одного прожектора (рис. 10.1) применяются на строительных площадках при освещении ремонтных и аварийных работ в сетях различных коммуникаций строительной площадки или карьера. Дополнительное освещение на участке производства работ создается осветительны-

ми установками наружного освещения, которыми оборудованы строительные машины и механизмы.

В основу разработки осветительных установок стадионов положены требования, не только регламентирующие создание комфортных условий освещения спортсменам, судьям и зрителям при проведении соревнований в вечернее время, но и обеспечивающие высококачественные цветные телевизионные репортажи, что требует создания высоких уровней освещенности в различных плоскостях. В табл. 10.1 приведены основные положения требований, регламентирующие условия получения высококачественного телевизионного изображения.

§ 10.2. Выбор источников света и осветительных приборов для наружного освещения

Для освещения открытых пространств применяются лампы накаливания, преимущество которых отмечается простотой устройства, малой стоимостью, надежностью и удобством эксплуатации. Недостатком этих источников света является низкая световая отдача и сравнительно короткий срок службы. Применяемые для освещения строительных площадок мощные галогенные лампы накаливания (4, 10 и 20 кВт) имеют срок службы в два раза больше, чем лампы накаливания общего назначения, на 15—20% большую световую отдачу и значительно меньшее снижение световой отдачи в процессе эксплуатации.

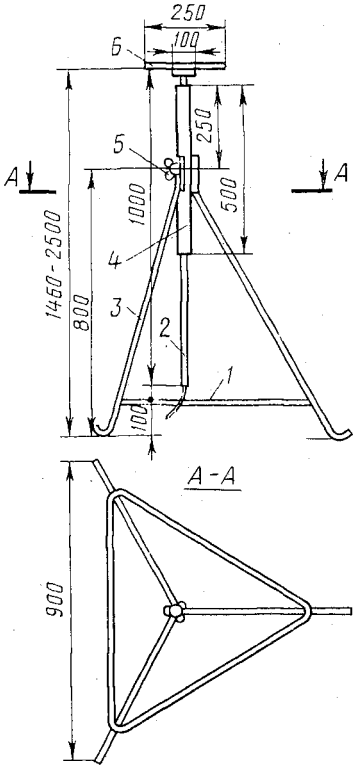


Рис. 10.1. Переносная опора для установки прожектора:
1 — распорка для ножек; 2 — подвижная стойка; 3 — ножка; 4 — опорная труба; 5 — стопорный винт; 6 — площадка для установки прожектора

Широко применяются газоразрядные лампы высокого давления типа ДРЛ. Их отличает высокая экономичность — световая отдача составляет 50 лм/Вт.

Достоинством ксеноновых ламп, имеющих световую отдачу 30 лм/Вт, является их большая единичная мощность; для освещения больших наружных пространств используются лампы мощностью 10, 20 и 50 кВт, выпускаемые отечественной промышленностью. Нашей промышленностью осваивается производство ламп мощностью 100 кВт.

В ближайшие годы широкое распространение будут иметь

Таблица 10.1

Параметры освещения	Количественное выражение
$E_{\text{верт min}}$	1000 лк
$E_{\text{гор}} / E_{\text{верт}}$	Не более 2
$E_{\text{верт max}} / E_{\text{верт min}}$	»
$E_{\text{гор max}} / E_{\text{гор min}}$	»
Цветовая температура $T_{\text{цв}}$	6000 К
Индекс цветопередачи R_a	Не менее 75

Примечание: Вертикальные плоскости ориентированы параллельно продольной и поперечной осям спортарены.

газоразрядные лампы типа МГЛ, световая отдача которых достигает 100 лм/Вт и срок службы порядка 10 000 ч.

Натриевые лампы высокого давления имеют еще большую световую отдачу, достигающую 130 лм/Вт, и срок службы до 10 000 ч, что позволяет значительно снизить расход электроэнергии и капитальные затраты.

Основным недостатком газоразрядных ламп является необходимость использования пускорегулирующего аппарата (ПРА) для их включения в сеть. Такие устройства сложны в изготовлении и эксплуатации; недостатком этих ламп является наличие пульсации светового потока во времени, возникающей при питании ламп током промышленной частоты (50 Гц), что отрицательно влияет на условия работы зрения.

В основу выбора источников света для освещения строительных площадок, карьеров по добыче полезных ископаемых и других мест работы вне зданий положена возможность обеспечения эффективных условий для работы зрения с целью повышения производительности труда, качества выполняемой работы, снижения брака продукции и т. д.

Все бóльшее внимание уделяется экономической оценке освещения с учетом не только абсолютной стоимости самой осветительной установки, но и зрительной эффективности освещения.

На рис. 10.2, 10.3, 10.4 приведены графики зависимости экономических показателей осветительной установки (удельной мощности, капитальных затрат, эксплуатационных расходов) от ширины площадки для различных типов источников света. Согласно графику рис. 10.2 наименьший расход электроэнергии, наименьшая удельная установленная мощность $P_{\text{у}}$ в зависимости от ширины площадки *(а)* наблюдается при использовании ламп МГЛ-700,

КГ-20 000, ДРЛ-700 и ламп накаливания; наибольшая — при ксеноновых лампах. Такое соотношение в расходе электроэнергии объясняется светотехническими характеристиками источников света и прожекторов, а также уровнем расчетной освещенности. На основании этих исследований можно установить рекомендации по использо-

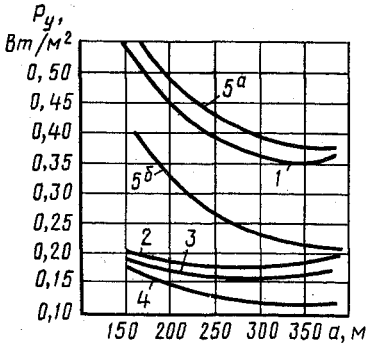


Рис. 10.2. Зависимость удельной мощности осветительной установки от типа применяемых источников света и ширины освещаемой площадки a ($E = 2$ лк.):

1 — лампы накаливания; *2* — лампы ДРЛ; *3* — лампы накаливания галогенные (КГ); *4* — лампы МГЛ; *5а* — лампы ДКс Т-20 000 при высоте установки $H = 30$ м; *5б* — лампы ДКсТ-20 000 при высоте установки $H = 50$ м

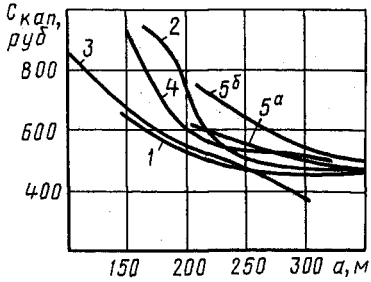


Рис. 10.3. Зависимость капитальных затрат от ширины освещаемой площадки a для разных источников света ($E = 2$ лк):

1 — лампы накаливания; *2* — лампы ДРЛ; *3* — лампы КГ; *4* — лампы МГЛ; *5а* — лампы ДКсТ-10 000 ($H = 30$ м); *5б* — лампы ДКсТ-10 000 ($H = 50$ м)

ванию источников света для общего равномерного освещения в зависимости от ширины освещаемой площадки. Светильники с лампами накаливания — при ширине строительной площадки до 20 м; осветительные приборы с лампами типа ДРЛ — до 150 м; прожекторы с лампами накаливания и МГЛ — от 150 до 300 м; осветительные приборы с ксеноновыми лампами с коэффициентами усиления силы света не менее 10— при ширине площадки свыше 300 м с установкой их на высоте 50 и более метров.

Снижение капитальных затрат по мере увеличения ширины площадки (см. рис. 10.3) объясняется более эффективным использованием дорогостоящих прожекторных мачт. Эксплуатационные расходы (см. рис. 10.4) и приведенные затраты ($0{,}12C_к + C_{экс}$), имеющие такой же ход кривых, подтверждают разработанные рекомендации.

Для освещения открытых пространств применяются прожекторы или светильники прожекторного типа с различными источниками света: ПЗС, ПСМ, ПФС для ламп накаливания общего назначения; ПКН, ИТЖ, ИСУ для галогенных ламп накаливания; ПЗП, ПЗС-45, ПСМ-50 для ламп ДРЛ; ПГП, ПГЦ для ламп МГЛ; осветительные устройства типа ККУО2; СКсН; ОУКсН и ОУКсНФ для ксеноновых ламп.

Прожекторы характеризуются следующими светотехническими показателями, необходимыми при проведении расчетов: кривой силы света, углами рассеяния, коэффициентом усиления и к.п.д. Основной характеристикой прожектора является кривая силы света, представляющая собой радиусы-векторы, числовое значение которых равно силе света в данном направлении, а начало ее расположено в световом центре источника света.

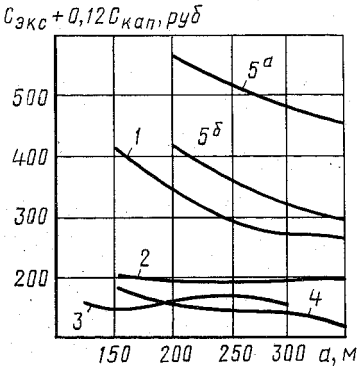


Рис. 10.4. Зависимость приведенных затрат осветительной установки $C_{экс} + 0{,}12C_{кап}$) от ширины освещаемой площадки a ($E = 0{,}5$ лк) для разных источников света:
1 — лампы накаливания; *2* — лампы ДРЛ; *3* — лампы (КГ); *4* — лампы ДРИ; *5а* — лампы ДКсТ-20 000 при высоте установки $H = 30$ м; *5б* — лампы ДКсТ-20 000 при высоте установки $H = 50$ м

Способы изображения кривых силы света могут быть разные. На рис. 10.5 кривая силы света изображена в полярной системе координат. Однако для прожекторов, световой поток которых распределяется в пределах небольшого телесного угла, удобнее пользоваться кривой света в прямоугольной системе координат (рис. 10.6). При этом за ось ординат принимается направление оптической оси прожектора, а по оси абсцисс откладываются значения углов в горизонтальной $\beta_г$ или вертикальной $\beta_в$ плоскости. Для светильников, имеющих несимметричное распределение светового потока, используется семейство кривых сил света (рис. 10.7), представляющих собой изображение сил света при сечении светового тела прожектора под разными углами $\beta_г$ и $\beta_в$. Световое тело прожектора представляет собой конус, в вершине которого расположено тело накала источника света. Сила света в этом пучке максимальна в направлении оптической оси прожектора. Границы пучка обычно расплывчаты.

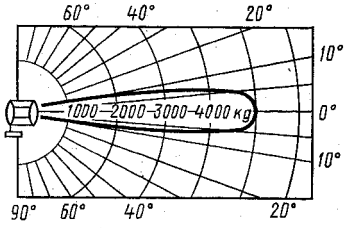


Рис. 10.5. Кривая силы света прожектора в полярной системе координат

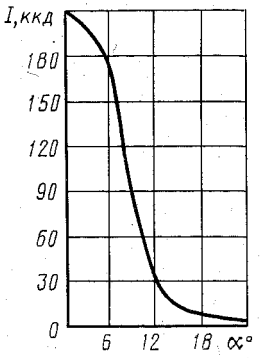


Рис. 10.6. Кривая силы света прожектора в прямоугольной системе координат

Угол рассеяния характеризуется двумя параметрами: номинальным и полезным углами рассеяния.

Угловую ширину светового пучка прожектора, в пределах которой сила света снижается до 0,1 максимальной силы света, называют номинальным углом рассеяния, а угловую ширину, в пределах которой обеспечивается необходимая освещенность для заданных условий применения прожектора — полезным углом рассеяния. Концентрируя в узком пучке световой поток прожектора, получают меньший угол рассеяния и за счет этого большую максимальную силу света, позволяющую создавать необходимые освещенности на удаленных расстояниях от источника света.

Отношение максимальной силы света прожектора к средней сферической силе света источника света, установленного в прожекторе, называется усилением прожектора ($k_у$). Отношение светового потока, излучаемого в пределах полезного угла рассеяния, ко всему световому потоку источника света (лампы) называют коэффициентом полезного действия η прожектора.

Для улучшения условий видимости и ограничения слепящего действия внутри некоторых прожекторов устанавливаются жалюзийные решетки.

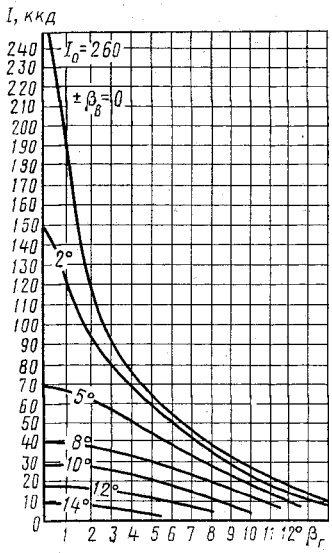


Рис. 10.7. Семейство кривых силы света прожектора в разных плоскостях

§ 10.3. Прожекторные мачты

Для установки прожекторов и светильников прожекторного типа применяются мачты высотой от 10 до 50 м, изготовленные из дерева, металла, железобетона.

Прожекторные мачты по способу установки разделяются на стационарно устанавливаемые и передвижные. Первые применяются для освещения территорий предприятий, открытых спортивных сооружений, а также устанавливаются по периметру карьера или строительной площадки. Вторые применяются для кратковременных осветительных установок и их рекомендуется использовать как сборно-разборные мачты многократного применения, составные части которых должны быть транспортабельными. На типовой мачте высотой 45 м (рис. 10.8) предусмотрена установка прожекторов как с лампами накаливания, так и с другими источниками света, например, ксеноновыми. Ствол мачты изготовлен в виде решетчатой пространственной фермы с основанием, имеющим квадратную пирамидальную форму с нижним основанием квадрата

2,6×2,6 и верхним 4×4 м. Мачты собираются из секций высотой 6,8 м и заканчиваются площадкой для установки прожекторов (40 штук в два ряда). Фундаменты для мачт изготавливают из отдельных железобетонных блоков массой от 5 до 15 т, размеры которых определяются в зависимости от грунта и высоты мачты. Подводка питания к прожекторным мачтам осуществляется кабелем или по воздуху.

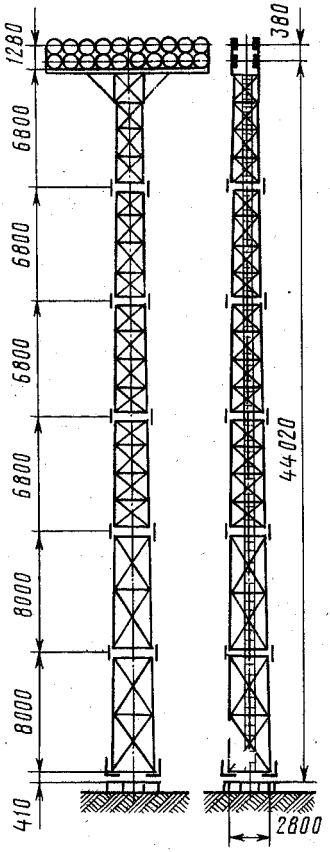


Рис. 10.8. Прожекторная мачта высотой 45 м

Внизу мачты на металлических конструкциях устанавливаются вводные ящики с трехполюсными или однополюсными автоматами и расцепителями, а при использовании кабеля — кабельные ящики, в которых производится сухая разделка кабелей. На каждый автомат подключается не более пяти прожекторов.

Заземление мачты производится присоединением нулевого провода, ее металлических частей и устанавливаемой аппаратуры, находящихся в обычных условиях без напряжения, к самостоятельному заземляющему контуру с максимально допустимым сопротивлением не более 10 Ом.

При разработке металлоконструкций мачт учитываются ветровые нагрузки, имеющие различное значение в зависимости от района их использования, при этом определяющим является скорость ветра.

Для создания на освещаемой территории высокой освещенности (100 лк и более), например, на стадионах, на каждую мачту приходится большое количество прожекторов. В этих случаях ствол мачты выполняется из угловой стали, а внутри предусмотрена лестница, позволяющая обслуживать осветительную установку. Конструкция железобетонных мачт разработана на основе применения для ствола мачт типовых центрифугированных опор контактной сети железнодорожного транспорта и опор линий электропередачи. Ствол мачты запроектирован из центрифугированной конической опоры контактной сети длиной 13,6 м. Прожекторная площадка крепится с помощью металлического наголовника; хомутами из полосовой стали к стволу прикрепляется лестница и ее ограждение (рис. 10.9). Деревянная мачта высотой 15 м (рис. 10.10) выполнена из трех бревен; одно высотой 11 м и два по 8,5 м. Она предусмотрена для

Рис. 10.9. Железобетонная прожекторная мачта с лестницей для обслуживания

установки шести прожекторов. Ее конструкция проста, и она может быть изготовлена на любом объекте.

Прожекторные мачты (высотой 50 м и более) для безопасности полетов самолетов и вертолетов должны иметь светоограждение. При расположении таких мачт вблизи аэродромов минимальная высота расположения светоградительных огней определяется территориальными управлениями ГВФ или командованием ВВС данного района.

Прожекторные мачты должны иметь светоградительные огни в верхней точке и ниже до высоты, которая не является препятствием для полетов самолетов и вертолетов. Мачты высотой 50 м, расположенные вне зоны аэропорта, должны иметь светоградительные огни только на своей верхней площадке. Прожекторные мачты меньшей высоты сигнальными огнями не отмечаются. Для светоградительных огней со всех сторон устанавливаются четыре светильника с лампами мощностью 100 Вт и более с колпаком красного цвета (длина волны $\lambda = 610$ нм, насыщенностью 95%). Обычно это светильники типа РН-100 с красным колпаком, имеющие водонепроницаемое исполнение или специально предназначенные для светозаграждения типа 30Л—2М с колпаком из красного стекла и лампой СГ-7, 130 Вт 220 В. Светильники светоограждения имеют самостоятельное питание, начиная от вводного щита, и самостоятельное управление, независимое от управления питанием прожекторов. Заградительные огни включаются после захода и выключаются после восхода солнца и работают в дневное время при плохой видимости: туман, снегопад и т. д.

§ 10.4. Проектирование установок прожекторного освещения

Расчет осветительной установки сводится к определению: числа прожекторов, необходимых

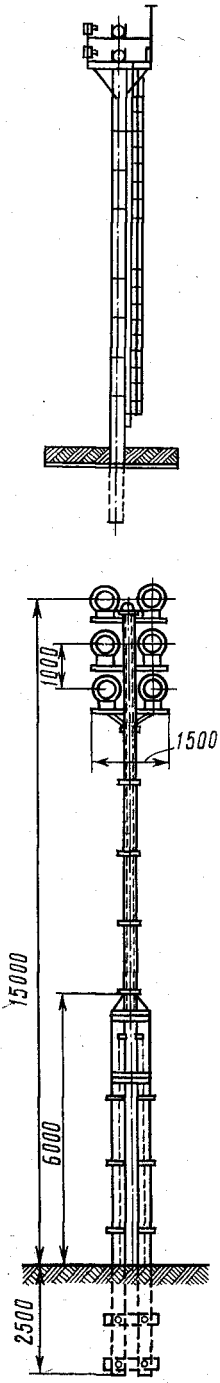


Рис. 10.10. Деревянная прожекторная мачта высотой 15 м

для создания на освещаемой поверхности нормируемой освещенности; мест установки прожекторных мачт и прожекторов; высоты установки прожекторов над освещаемой поверхностью; углов наклона и поворота прожекторов в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Для ориентировочных расчетов можно пользоваться методом светового потока или удельной мощности. Коэффициент запаса при расчете прожекторных установок наружного освещения (при сроке очистки проборов два раза в год) принимается равным 1,5 при лампах накаливания, 1,7 при газоразрядных источниках света.

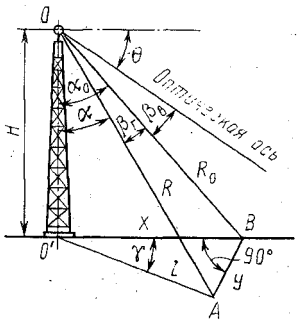


Рис. 10.11. Схема установки прожектора:
A — расчетная точка

Как правило, расчет прожекторного освещения производится для нормируемой освещенности в горизонтальной плоскости. Рассчитывают вертикальную нормируемую освещенность редко, в основном при расчете освещенности стадионов, фасадов зданий, охранного освещения и т. д. При установке прожекторов с углом наклона θ (рис. 10.11) у подножия мачты создается неосвещенная (темная) зона. Она тем больше, чем меньше угол θ. Это объясняется тем, что корпус прожектора экранирует нить лампы и часть отражателя в пределах угла 45—50° по направлению оптической оси прожектора. Протяженность неосвещенной зоны на расстоянии от основания мачты — l определяется по формуле

$$l = H\mathrm{tg}\ (45° - \theta),$$

где H — высота установки прожектора; θ — угол между горизонталью и осевой силой прожектора, град.

Практически в «темную» зону попадает часть рассеянного светового потока, поэтому, если у подножия мачты и вблизи ее нет рабочих мест, требующих повышенной освещенности, не нужно дополнительное освещение.

При определении мест расположения прожекторов, углов их наклона и поворота в горизонтальной плоскости следует учитывать наиболее вероятное направление линии зрения работающих и принимать меры, исключающие ослепляющее действие осветительной установки.

Для ограничения слепящего действия минимально допустимая высота установки прожекторов и осветительных приборов прожекторного типа в зависимости от принятых уровней освещенности не должна превышать значений, указанных в табл. 10.2. На окончательный выбор высоты установки прожекторов влияет также и наличие высоких объектов, на которые можно установить прожекторы, условия тенеобразования, а также необходи-

Таблица 10.2

Типы		Максимальная сила, ккд	Минимально допустимая высота установки прожекторов м, при нормируемой освещенности, лк							
прожектора	лампы		0,5	1	2	3	5	10	30	50
ПСМ-50-1	Г220-1000	120	35	28	22	20	17	13	7	6
	ДРЛ-700	52	23	19	14	13	11	8	5	4
	ДРЛ-400	19,5	14	11	9	8	7	5	3	3
ПСМ-50-2	ПЖ220-1000	640	—	65	50	45	40	30	17	13
ПСМ-40-1	Г220-500	70	25	21	17	15	13	10	5	4
ПСМ-40-2	ПЖ220-500	280	50	43	33	30	25	20	11	9
ПСМ-30-1	Г220-200	33	18	15	11	10	9	7	4	3
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
	ДРЛ-700	30	17	14	11	10	8	6	4	3
	ДРЛ-400	14	12	10	7	7	5	4	3	3
	МГЛ-700	600	—	65	50	45	40	30	16	13
ПЗМ-35	Г220-500	50	22	18	14	13	11	8	5	4
ПЗМ-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	30	25	20	17	15	11	6	5
ПКН-1500-2	КГ220-1500	45	20	17	13	12	10	8	5	4
ПКН-1000-1	КГ220-1000-5	52	23	19	14	13	11	8	5	4
ПКН-1000-2	КГ220-1000-5	30	17	14	11	10	8	6	4	3
ИСУ02×5000/КО302	КГ220-5000-1	200	45	35	28	25	22	17	10	8
ИСУ01×2010/К63-01	КГ220-2000-4	71	26	22	17	15	13	10	6	5

мые соотношения между вертикальной и горизонтальной освещенностями. При увеличении высоты установки прожекторов возрастает стоимость прожекторных мачт.

Угол наклона прожектора (θ) оказывает влияние на освещенность, форму и размеры светового пятна, создаваемого прожектором.

В зависимости от соотношения угла θ и углов рассеяния в вертикальной плоскости световое пятно имеет разную форму (рис. 10.12). Коэффициент использования будет наибольшим

при $\theta > \beta_в$, так как весь световой поток прожектора попадает на освещаемую поверхность. Однако не всегда выполнение этого требования создает оптимальные осветительные условия. При освещении удаленных объектов, а также для создания освещенности в вертикальной плоскости преимущество несомненно остается за малыми углами наклона $\theta \leqslant \beta_в$.

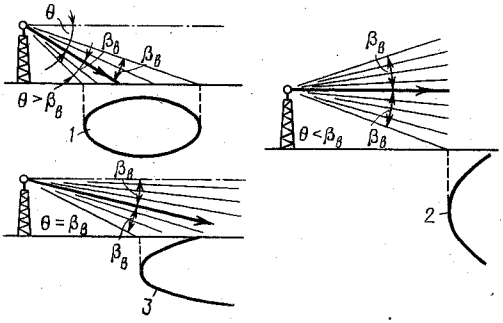


Рис. 10.12. Изменение формы светового пятна в зависимости от соотношения угла наклона прожектора θ и углов рассеяния в вертикальной плоскости $\beta_в$:
1 — эллипс; *2* — гипербола; *3* — парабола

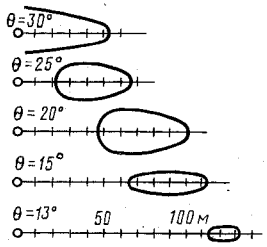


Рис. 10.13. Форма и размер светового пятна в зависимости от угла наклона прожектора θ

При изменении угла наклона θ изменяется площадь, ограниченная кривой равной освещенности (изолюксов), и расположение светового пятна относительно мачты прожектора (рис. 10.13): с уменьшением угла наклона световое пятно удаляется от прожекторной мачты и приобретает эллиптическую форму. Как видно из рис. 10.13, площадь светового пятна сначала увеличивается до определенного предела, а затем начинает уменьшаться. Угол θ, при котором световое пятно с заданной освещенностью имеет максимальную площадь, называется наивыгоднейшим. Наивыгоднейшее значение угла наклона θ при заданной горизонтальной освещенности $E_г$, равной средней освещенности площади $E_{ср}$ ($E_{ср} = E_г$) можно определить по формулам Р. А. Сапожникова

$$\theta = \arcsin 0{,}01 \sqrt{m + n(eH^2)^{2/3}}, \qquad (10.1)$$

при освещении вертикальных поверхностей

$$\theta = \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{I_0}{eH^2}}, \qquad (10.2)$$

где e — освещенность (для данной изолюксы), лк; H — высота установки прожектора над освещаемой поверхностью, м; I_0 — осевая сила света, кд; m, n — постоянные, определяемые в зависимости от углов рассеяния прожектора в горизонтальной и верти-

кальной плоскостях ($\beta_г$ и $\beta_в$) и светового потока прожектора Φ в пределах расчетного угла рассеяния, лм:

$$m = \sin^2 \beta_в; \tag{10.3}$$

$$n = \left(\frac{\pi \sin 2\beta_в \operatorname{tg} \beta_г}{2\Phi}\right)^{2/3}. \tag{10.4}$$

По предложению Г. М. Кнорринга, наивыгоднейший угол наклона прожектора следует определять по максимальному значению произведения eg, где g — площадь, ограниченная кривой равной освещенности.

Предложения Р. А. Сапожникова и Г. М. Кнорринга справедливы при использовании одиночных прожекторов и не могут быть рекомендованы при групповом расположении прожекторов.

Решающее влияние на выбор угла наклона прожекторов оказывают: возможная высота установки прожекторов и расстояние от прожекторной мачты до освещаемого участка.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Таблица П.1.1

Светотехнические характеристики светильников с лампами ДРЛ (отнесены к потоку ламп 1000 лм)

α, град	Сила света, кд, светильников типа					
	УПД ДРЛ	РСП05/К03; С35 ДРЛ	РСП08/Г03; РСП08/Г53	РСП05/Г03; С34 ДРЛ	РСП07; РСП08/Л00; РСП08/Л5'0;	РСП05/Д03; СД2РТС; РСП08/Д03; РСП08/Д5'3; СД2 ДРЛ
0	284	1050	470	630	147	290
5	280	980	465	625	147	290
15	277	830	465	570	140	285
25	258	530	430	475	152	265
35	228	215	330	320	188	235
45	181	80	195	150	201	185
55	106	38	80	45	162	118
65	56	8	15	8	85	60
75	26		5		5	28
85	6				5	5
90	2				5	
95	4				5	
105	4				20	
115	4				30	
125	5				38	
135	5				42	
145	5				34	
155	4				18	
165	4				7	
175	3	—	—	—	2	—
180	3	—	—	—	—	—
К. п. д., %	72	80	80	80	80	72

Примечание: Защитный угол 15°.

Приложение 2

Таблица П.2.1

Технические данные ламп накаливания общего назначения (по ГОСТ 2239—79)

Тип ламп*	Расчетное напряжение, В	Номинальные значения		Диаметр колбы D, мм	Длина лампы L, мм	Высота светового центра мм
		мощность, Вт	световой поток, лм			
Б 215-225-200	220	200	2 920	81	166,5	128
Г 215-225-200						
Г 220-230-200	225					
Г 230-240-200	235		2 890			
Г 125-135-300	130	300	4 900	111	240	178
Г 125-135-300-1						
Г 215-225-300	220		4 610			
Г 215-225-300-1						
Г 220-230-300	225					
Г 220-230-300-1						
Г 125-135-500	130	500	8 700			
Г 215-225-500	220		8 360			
Г 220-230-500	225					
Г 230-240-500	235		8 225			
Г 215-225-750	220	750	13 100	151	309	225
Г 220-230-750	225					

Таблица для определения индекса помещения

Форма помещения		Расчетная							
A/B	1—1,5	1,8	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3	3,2
	1,5—2,5	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	2,8	3
	2,5—3,5	1,6	1,8	1,9	2,1	2,3	2,5	2,6	2,8
	S, м^2	4	5	6	7,2	8,5	9,7	11,2	12,7
		5,6	6,9	8,3	10	11,8	13,5	15,6	17,7
		7,5	9,2	11,1	13,2	15,6	18	20,7	23,5
		9,5	11,8	14,3	17	20,1	23,2	26,7	30
		11,9	14,8	17,8	21,2	25	29	33	37,7
		14,6	17,6	22	26	30	35,2	40	46
		18	23	27	33	37	44	51	58
		25	31	37	45	52	61	70	80
		35	43	52	62	73	85	97	110
		47	57	69	83	97	112	130	147
		60	73	89	107	125	144	168	189
		75	92	111	134	156	180	209	236
		101	124	150	180	210	244	280	317
		139	172	208	250	295	340	390	440
		185	230	275	330	390	450	520	580
		270	330	400	480	560	650	750	850
		390	480	580	700	820	950	1070	1240

Приложение 3

Таблица П.3.1

высота h, м										
3,4	3,6	3,9	4,2	4,5	4,8	5,1	5,5	6	6,5	
3,2	3,4	3,7	4	4,3	4,6	4,9	5,2	5,7	6,2	i индекс помещения
3	3,2	3,4	3,7	4	4,2	4,5	4,8	5,3	5,7	
14,4	16,2	19	22	25	29	32,5	37	45	52	0,5
20	22,6	26,4	30,5	35	40	45	52	62	73	0,6
26,5	30	35	40	46,5	53	60	70	83	87	0,7
34	38,5	45	52	60	68	76	90	106	125	0,8
42	48	56	65	75	85	96	111	132	156	0,9
52	58	68	80	91	104	117	136	162	191	1,0
65	73	86	100	114	130	147	170	203	240	1,1
89	101	118	137	157	180	203	233	280	330	1,25
123	142	165	191	219	251	282	327	390	460	1,5
165	188	220	253	291	333	351	433	515	610	1,75
213	241	280	325	375	426	480	555	660	780	2,0
266	301	350	407	460	533	600	700	800	980	2,25
360	406	470	545	630	720	810	930	1120	1320	2,5
500	569	660	760	870	1000	1180	1300	1560	1840	3,0
660	750	830	1010	1160	1380	1500	1750	2070	2450	3,5
960	1090	1270	1470	1700	1920	2180	2550	3000	3580	4,0
1400	1580	1850	2130	2450	2800	3150	3650	4400	5100	5,0

Приложение 4.
Таблица П.4.1

Коэффициенты использования светового потока. Светильники с люминесцентными лампами

Тип светильника	ПВЛМ-Д, ЛД, ЛСП06 (05), ЛСП02 (04, 05, 06, 34—36)					ЛС002 (01, 02, 03)					ЛП002 (01-четырехламповые) ЛВ031 (02), ЛВ001 (двух- и четырехламповые)				
$\rho_{пот}$%	70	70	50	30	0	70	70	50	30	0	70	70	50	30	0
$\rho_{ст}$%	50	50	30	10	0	50	50	30	10	0	50	50	30	10	0
$\rho_{пола}$%	30	10	10	10	0	30	10	10	10	0	30	10	10	10	0
i	Коэффициенты														
0,5	28	27	21	18	16	19	19	14	11	8	19	18	15	13	8
0,6	33	32	25	22	20	23	22	18	15	10	22	21	19	16	12
0,7	38	36	30	26	24	26	25	21	18	11	25	24	22	19	14
0,8	42	39	33	29	28	29	27	23	20	23	27	26	24	21	16
0,9	46	42	37	32	31	32	30	25	22	14	30	28	27	23	18
1	49	45	40	35	34	34	32	27	24	15	32	30	28	25	20
1,1	52	48	42	38	36	36	34	28	26	16	34	31	30	27	22
1,25	55	50	45	40	39	44	40	36	33	32	36	33	32	29	23
1,5	60	54	49	45	44	42	38	32	30	19	39	36	34	32	26
1,75	63	57	52	48	47	45	41	34	32	20	42	38	36	34	28
2	65	59	55	51	49	47	42	36	34	21	43	39	38	35	30
2,25	68	62	57	53	52	49	44	37	35	22	45	41	39	37	31
2,5	70	63	58	55	54	50	45	39	36	23	47	42	40	38	33
3	73	65	61	58	56	53	47	40	38	24	49	44	42	40	34
3,5	75	67	62	60	58	54	48	41	39	24	50	45	43	41	36
4	77	68	64	61	59	56	49	42	40	25	51	46	44	42	37
5	80	70	67	65	62	59	51	44	42	26	54	47	45	44	39
$\Phi_{\smile}$%			74						31					47	
$\Phi_{\frown}$, %			0						34					5	

Приложение 5
Таблица П.5.1

Удельная мощность общего равномерного освещения. Светильники УПМ-15, «Астра —1, 11, 12»
(учтены значения $\varrho_н = 50\%$; $\varrho_с = 30\%$; $\varrho_р = 10\%$; $k = 1{,}3$; $z = 1{,}15$)

Высота h, м	Площадь S, м^2	Удельная мощность, Вт/м^2, при освещенности, лк, равной						
		5	10	20	30	50	75	100
2—3	10—15	2,5	4,5	8	11,3	18,4	26,4	33,6
	15—25	2,1	3,7	6,5	9,3	14,5	21	26,7
	25—50	1,8	3,2	5,6	7,7	12,5	17,8	22,5
	50—150	1,5	2,7	4,7	6,5	10,6	15	19,4
	150—300	1,3	2,3	4,1	5,6	9,4	13,3	17
	300	1,2	2,1	3,8	5,2	8,7	12,4	15,5
3—4	10—15	3,6	6,1	12,3	16,4	25	35,8	45,8
	15—25	2,9	4,9	9,1	12,9	21,4	28,7	38,8
	20—30	2,4	4	7,3	10,6	17,4	23,2	31
	30—50	1,9	3,3	5,8	8,5	13,4	18,8	24
	50—120	1,6	2,8	4,8	7,3	11,3	15,6	19,9
	120—300	1,3	2,3	4,1	6,1	9,5	13	16,7
	300	1,1	1,9	3,6	5,3	8,2	11	14,6
4—6	10—17	5	9,3	20,4	25,5	32,8	50	66,6
	17—25	3,7	7,1	14,6	19,3	26,9	41,6	55,5
	25—35	2,7	5,1	9,7	13,1	20,4	31,7	42,3
	35—50	2,2	3,8	7,5	10,4	16,2	24,2	32,2
	50—80	1,8	3,1	5,9	8,4	12,9	19	25,3
	80—150	1,5	2,6	5	7	10,6	15,6	20,8
	150—400	1,2	2,2	4,2	5,9	9	13,4	17,8
	400	1	1,8	3,4	4,9	7,4	10,9	14,5

Длительно допустимый ток $I_д$ для проводов и кабелей на напряжение до 1 кВ

Группа проводников	Провода с резиновой и пластмассовой изоляцией						Кабели и защищенные и пластмассовой		
характерная марка	АПР-АПРТО-АПРВ-АПВ						АВРГ-АНРГ-АВВГ-АВРБГ АНРБГ-АВВБГ-АПРФ		
Способ прокладки	открыто	в стальных трубах					в воздухе		
Сечение, мм^2	$I_д$, А	$I_д$, А, при числе проводов равном					$I_д$, А, при		
	—	2	3	4	5—6	7—9	2	3	4
2,5	24	20	19	19	15	14	21	19	17
4	32	28	28	23	22	21	29	27	24
6	39	36	32	30	26	24	38	32	29
10	60	50	47	39	38	35	55	42	38
16	75	60	60	55	48	45	70	60	54
25	105	85	80	70	65	60	90	75	68
35	130	100	95	85	75	70	105	90	81
50	165	140	130	120	105	95	135	110	100
70	210	175	165	140	130	125	165	140	126
95	255	215	200	175	—	—	200	170	153
120	295	245	220	200	—	—	230	200	190
150	340	275	255	—	—	—	270	235	212
185	390	—	—	—	—	—	310	270	243

Приложение 6
Таблица П.6.1

с алюминиевыми жилами при окружающей температуре воздуха 25 и земли 15°С

провода с резиновой изоляцией			Кабели с бумажной пропитанной изоляцией						Голые провода
АВВБ-АНРБ-АВВБ			ААГ-АСГ-ААБГ-АСБГ			ААБ-АСБ			А
в земле			в воздухе			в земле			открыто вне помещений
числе жил (одножильных проводов), равном									в помещениях
2	3	4	2	3	4	2	3	4	
34	29	26	23	22	—	35	31	—	—
42	38	35	31	29	27	46	42	38	—
55	46	42	42	35	35	60	55	46	—
80	70	63	55	46	45	80	75	65	—
105	90	81	75	60	60	110	90	90	105/75
135	115	104	100	80	75	140	125	115	135/105
160	140	126	115	95	95	175	145	135	170/130
205	175	158	140	120	110	210	180	165	215/165
245	210	190	175	155	140	250	220	200	265/210
295	255	230	210	190	165	290	260	240	320/255
340	295	266	245	220	200	335	300	270	375/300
390	335	302	290	255	230	385	335	305	440/355
440	385	347	—	290	260	—	380	345	500/410

ЛИТЕРАТУРА

1. Мешков В. В. Основы светотехники.— М.: Энергия, 1979.
2. Мешков В. В., Епанешников М. М. Осветительные установки.— М.: Энергия, 1972.
3. Волоцкой Н. В. Светотехника.— М.: Стройиздат, 1979.
4. Кнорринг Г. М. Светотехнические расчеты в установках искусственного освещения.— Л.: Энергия, 1973.
5. Кнорринг Г. М., Оболенцев Ю. Б., Берим Р. И., Крючков В. М. Справочная книга для проектирования электрического освещения.— Л.: Энергия, 1976.
6. Гусев Н. М. Основы строительной физики.— М.: Стройиздат, 1975.
7. Дадиомов М. С. Прожекторное освещение.— Л.: Энергия, 1978.
8. Волоцкой Н. В., Кнорринг Г. М., Рябов М. С., Шайкевич А. С. Электрическое освещение производственных и гражданских зданий. Под ред. Г. М. Кнорринга.— М.— Л.: Энергия, 1964.
9. Клюев С. А. Освещение производственных помещений.— М.: Энергия, 1979.
10. Гуторов М. М. Основы светотехники и источники света.— М.: Энергоатомиздат, 1983.
11. Айзенберг Ю. Б. Световые приборы.— М.: Энергия, 1980.
12. Скобелев В. М., Афанасьева Е. И. Источники света и пускорегулирующая аппаратура.— М.: Энергия, 1973.
13. СНиП II-4—79. Естественное и искусственное освещение. Нормы проектирования.— М.: Стройиздат, 1980.
14. СН 357—77. *Инструкция по проектированию силового и осветительного* электрооборудования промышленных предприятий.— М.: Стройиздат, 1977.
15. СН 543—82. Инструкция по проектированию электрооборудования общественных зданий массового строительства.— Светотехника, 1982, № 7, с. 2—17.
16. СН 81—80. Инструкция по проектированию электрического освещения строительных площадок.— М.: Стройиздат, 1980.
17. Правила устройства электроустановок (ПУЭ—76). Раздел VI Электрическое освещение.— М.: Атомиздат, 1977.
18. СН 541—82. Инструкция по проектированию наружного освещения городов, поселков городского типа и сельских населенных пунктов.— М.: Стройиздат, 1982.
19. Руководство по разработке отраслевых норм освещения.— М.: Стройиздат, 1977.
20. Типовые решения освещения улиц и дорог.— М.: Стройиздат, 1976.
21. Указания по эксплуатации установок наружного освещения городов, поселков городского типа и сельских населенных пунктов.— М.: Стройиздат, 1978.
22. ГОСТ 17677—82. Светильники. Общие технические условия.— М.: Госстандарт, 1982.
23. ГОСТ 8607—82. Светильники для жилых и общественных зданий. Общие технические условия.— М.: Госстандарт, 1982.
24. ГОСТ 8045—82. Светильники для наружного освещения. Общие технические условия.— М.: Госстандарт, 1982.
25. ГОСТ 1227020—76. Электрооборудование взрывозащитное. Термины и определения. Классификация. Маркировка.— М.: Госстандарт, 1982.
26. ГОСТ 15597—82. Светильники для производственных помещений. Общие технические условия.— М.: Госстандарт, 1982.
27. СНиП II-69—78. Лечебно-профилактические учреждения. Нормы проектирования.— М.: Стройиздат, 1978.
28. Кроль Ц. И., Мамсурова Е. И. Определение слепящего действия осветительных установок в производственных помещениях.— Светотехника, 1979, № 11, с. 1—6.

29. Перова Н. С., Ундасынов Г. Н., Федюкина Г. В. Оценка слепящего действия осветительных установок общественных зданий по дискомфорту.— Светотехника, 1979, № 11, с. 6—7.

30. Тищенко Г. А. Нормирование освещения с учетом производительности труда. Труды НИИСФ, Строительная светотехника. Вып. 13, 1975, с. 17—24.

31. Гусев Н. М., Тищенко Г. А., Кочнев О. П. Искусственное освещение в цехах предприятий промышленности строительных материалов.— Промышленное строительство, 1973, № 1, с. 20—22.

32. Серебрякова Л. В., Тищенко Г. А. Производительность труда и условия освещения.— Светотехника, 1974, № 1, с. 13—15.

33. Тищенко Г. А., Котлярова Н. И. Предложения к нормированию освещения в школах Крайнего Севера. Труды НИИСФ, вып. 20, 1978, с. 43—49.

34. Лазарев Д. Н. Оздоровительное облучение в системе общего освещения помещений.— Светотехника, 1974, № 1, с. 8—11.

35. СН 102—76. Инструкция по устройству сетей заземления в электроустановках.— М.: Стройиздат, 1979.

36. СН 202—76. Инструкция по разработке проектов и смет для промышленного строительства.— М.: Стройиздат, 1976.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . 3
Введение . . . 4
Глава 1. Условия видимости объектов . . . 5
§ 1.1. Глаз и его работа . . . 5
§ 1.2. Контрастная чувствительность зрения . . . 8
§ 1.3. Разрешающая способность глаза . . . 10
§ 1.4. Скорость зрительного восприятия . . . 11
§ 1.5. Устойчивость ясного видения и адиспаропия . . . 12
§ 1.6. Видимость объектов . . . 13
§ 1.7. Видимость объектов в условиях неравномерного распределения яркости . . 14
§ 1.8. Влияние блескости на зрительные функции . . . 16
§ 1.9. Постоянство освещенности во времени . . . 18
§ 1.10 Влияние освещения на производительность труда . . . 18
Глава 2. Нормирование освещения . . . 21
§ 2.1. Выбор параметров нормирования . . . 22
§ 2.2. Классификация осветительных установок и основные требования к ним . . . 23
§ 2.3. Общие положения . . . 25
§ 2.4. Естественное и совмещенное освещение . . . 32
§ 2.5. Искусственное освещение зданий, площадок предприятий и мест производства работ вне зданий . . . 38
§ 2.6. Наружное освещение городов, поселков и сельских населенных пунктов . . . 49
§ 2.7. Отраслевое нормирование освещения . . . 54
Глава 3. Светотехнический расчет осветительных установок . . . 68
§ 3.1. Общие положения . . . 68
§ 3.2. Расчет прямой составляющей освещенности от точечных излучателей с симметричным светораспределением . . . 71
§ 3.3. Расчет прямой составляющей освещенности от точечных излучателей с несимметричным светораспределением . . . 77
§ 3.4. Расчет прямой составляющей освещенности от светящих линий . . . 82
§ 3.5. Расчет освещенности от светящих поверхностей равномерной яркости . . . 88
§ 3.6. Расчет освещенности с учетом многократных отражений . . . 91
§ 3.7. Выбор метода расчета . . . 97
§ 3.8. Пульсация излучения . . . 99
§ 3.9. Показатель ослепленности . . . 103
§ 3.10. Инженерные методы расчета показателя дискомфорта . . . 107
§ 3.11. Цилиндрическая освещенность . . . 111
Глава 4. Расчет электрических осветительных сетей . . . 113
§ 4.1. Общие положения . . . 113
§ 4.2. Расчет сетей по потере напряжения . . . 114
§ 4.3. Расчет электрических осветительных сетей на минимум проводникового материала . . . 123
§ 4.4. Расчет сети по току нагрузки . . . 125
§ 4.5. Наименьшие сечения проводов, допускаемые по условиям механической прочности . . . 126
Глава 5. Светотехническая часть проекта осветительных установок . . . 128
§ 5.1. Объем и содержание проектов освещения . . . 128
§ 5.2. Рабочие чертежи и технорабочие проекты . . . 130
§ 5.3. Выбор варианта осветительной установки по экономическим показателям . . . 139

§ 5.4. Выбор источников света . . . 144
§ 5.5. Выбор системы освещения . . . 147
§ 5.6. Выбор освещенности, коэффициента запаса и типа светильника . . . 149
§ 5.7. Размещение осветительных приборов . . . 155
§ 5.8. Эксплуатация осветительных установок . . . 158
Глава 6. Проектирование электрической осветительной сети . . . 162
§ 6.1. Выбор напряжения и источников питания . . . 162
§ 6.2. Схемы питания . . . 164
§ 6.3. Групповые осветительные сети . . . 167
§ 6.4. Защита осветительных сетей и выбор аппаратов защиты . . . 171
§ 6.5. Управление освещением . . . 175
Глава 7. Освещение производственных помещений промышленных зданий . . . 182
§ 7.1. Общие требования . . . 182
§ 7.2. Надежность работы установок в условиях окружающей среды . . . 183
§ 7.3. Требования к освещению взрывоопасных и пожароопасных помещений . . . 184
§ 7.4. Установки искусственного ультрафиолетового облучения . . . 185
§ 7.5. Электрическая безопасность в осветительных установках . . . 188
Глава 8. Освещение общественных зданий . . . 194
§ 8.1. Общие требования . . . 194
§ 8.2. Архитектурно-художественное освещение, выполненное световыми карнизами и потолками . . . 198
§ 8.3. Освещение лечебных учреждений . . . 203
§ 8.4. Освещение школ . . . 205
§ 8.5. Освещение проектных и административных зданий . . . 207
§ 8.6. Освещение магазинов . . . 209
Глава 9. Наружное освещение городов . . . 210
§ 9.1. Единство светового облика города . . . 210
§ 9.2. Освещение улиц, дорог и площадей . . . 211
§ 9.3. Типовые решения освещения улиц и дорог . . . 216
§ 9.4. Управление наружным освещением . . . 219
§ 9.5. Освещение архитектурных объектов . . . 221
Глава 10. Освещение мест производства работ вне зданий и спортивных сооружений . . . 224
§ 10.1. Область применения наружного освещения . . . 224
§ 10.2. Выбор источников света и осветительных приборов для наружного освещения . . . 225
§ 10.3. Прожекторные мачты . . . 229
§ 10.4. Проектирование установок прожекторного освещения . . . 231
Приложения . . . 236
Литература . . . 244

Галина Александровна Тищенко

Осветительные установки

Зав. редакцией Л. А. Романова. Редактор Е. А. Орехова. Художественный редактор Т. М. Скворцова. Переплет художника А. И. Шаварда. Технический редактор З. А. Муслимова. Корректор В. В. Кожуткина. Младший редактор Т. В. Шеганова

ИБ № 4001

Изд. № ЭР-336. Сдано в набор 01.06.83. Подп. в печать 23.03.84. Т-07323. Формат 60×90¹/₁₆. Бум. тип. 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Объем 15,5 усл. печ. л. 15,5 усл. кр.-отт. 16,20 уч.-изд. л. Тираж 20 000 экз. Зак. № 2761. Цена 80 коп.

Издательство «Высшая школа», 101430, Москва, ГСП-4, Неглинная ул., д. 29/14

Республиканская ордена «Знак Почета» типография им. Анохина Государственного комитета Карельской АССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 185630, г. Петрозаводск, ул. «Правды», 4.