

ББК 31.294
К53
УДК 628.921.95

Рецензент С. А. Клюев

К $\frac{30310-125}{051(01)-81}$ 141—81(Э).2302060000

ББК 31.294 6П2.19

© Энергоиздат, 1981

ПРЕДИСЛОВИЕ

С установками искусственного освещения повседневно приходится сталкиваться всем, и из всех инженерных устройств они являются, пожалуй, наиболее массовыми. Их осуществление и эксплуатация требуют больших затрат материальных средств, электроэнергии и человеческого труда, но эти затраты с избытком окупаются тем, что обеспечивается возможность нормальной жизни и деятельности людей в условиях отсутствия или недостаточности естественного освещения. Более того, искусственное освещение решает ряд задач, вообще недоступных естественному освещению, от особенностей же устройства искусственного освещения, подчас кажущихся весьма незначительными, во многом зависят и производительность труда, и безопасность работы, и сохранность зрения, и архитектурный облик помещения.

В нашей стране, ведущей в небывалых масштабах промышленное и культурно-бытовое строительство, только в проектировании осветительных установок принимают участие многие тысячи специалистов, число же лиц, связанных с эксплуатацией освещения, не поддается даже приблизительной оценке.

Предлагаемая книга рассматривает вопросы проектирования, устройства и эксплуатации осветительных установок и в основном предназначена служить практическим пособием для работников проектных организаций, энергетиков промышленных предприятий и санитарных инспекторов. Примерно совпадая по своему содержанию с учебной программой курса «Осветительные установки», читаемого для студентов техникумов специализации 0632 «Осветительные приборы и установки», она может также служить учебным пособием по указанному курсу.

Назначение и объем книги заставляют подчеркнуть, что она никоим образом не является курсом светотехники вообще и рассчитана на лиц, знакомых с основами светотехники, а также имеющих общие сведения об источниках света и осветительных приборах. Лишь в порядке краткого напоминания в начале книги приведен перечень основных понятий и соотношений светотехники.

Не следует рассматривать книгу и как справочное пособие: объем справочных материалов, необходимых только для проектирования освещения, превышает весь объем данной книги, а их частая изменчивость оправдывает сложившуюся практику выделения их в самостоятельные издания.

Достаточно частым изменениям подвергаются и некоторые нормативно-руководящие материалы, поэтому автор старался, насколько возможно, больше внимания уделять принципиальной стороне вопросов, а не пересказу официальных требований и рекомендаций.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ УСТРОЙСТВА ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

1-1. ОСНОВНЫЕ СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЕ ЕДИНИЦЫ И СООТНОШЕНИЯ

В результате преобразования подводимой к телам энергии, в частности тепловой или электрической, в ряде случаев возникает электромагнитное излучение, количественно характеризующееся мощностью — лучистым потоком. Та часть лучистого потока, которая воспринимается зрением человека как свет, называется световым потоком Φ и измеряется в люменах (лм).

Световой поток может быть различно распределен в пространстве. Интенсивность его излучения в любом направлении характеризуется силой света I , определяемой отношением светового потока к телесному углу ω , в пределах которого он распространяется:

$$I = \Phi/\omega. \quad (1-1)$$

В свою очередь телесный угол определяется отношением площади S , вырезаемой им из сферы произвольного радиуса R , к квадрату последнего:

$$\omega = S/R^2. \quad (1-2)$$

Полный телесный угол пространства, окружающего точку, равен 4π ср (стерадиан); телесный угол каждой из полусфер, верхней и нижней, равен 2π ср. Единица сила света — кандела (кд) — это световой поток в люменах (лм), испускаемый точечным источником в телесном угле 1 ср (лм/ср). Понятие силы света приложимо только к точечным источникам, размеры которых малы по сравнению с расстоянием до них.

Падая на поверхность площадью S , световой поток Φ создает ее освещенность E , определяемую соотношением:

$$E = \Phi/S. \quad (1-3)$$

Единица освещенности — люкс (лк) — это освещенность поверхности площадью 1 м^2 световым потоком 1 лм (лм/м²). Освещенность поверхности не зависит от ее световых свойств.

Зрительное восприятие в основном определяется яркостью L равномерно светящейся плоской поверхности площадью 1 м^2

кривые имеют резко выраженный максимум: для колбочек $\lambda = 0,555$ мкм (дневное зрение); для палочек $\lambda = 0,515$ мкм (ночное зрение). Причем палочки, в отличие от колбочек, вообще не различают цветов.

Очень велик диапазон светочувствительности глаза, в котором он сохраняет работоспособность. Подсчитано, что наименьшее пороговое ощущение света человек получает при лучистой энергии, нагревающей 1 г воды на 1 К за 60 млн. лет; наибольшее пороговое ощущение, которое еще безопасно для глаза, происходит при той же лучистой энергии, но выделяемой за 1/2 ч. Таким образом, кратность предельных значений мощности достигает тысячи миллиардов.

При очень малых уровнях яркости диссоциация светочувствительного вещества в нервных окончаниях происходит редко, но так как палочки «включены параллельно» большими группами, то на малые яркости реагируют именно они, а не колбочки, «включенные поодиночке». Напротив, при высоких яркостях колбочки работают хорошо, палочки же почти выключаются из работы, так как быстрый расход светочувствительного вещества не компенсируется его медленной регенерацией.

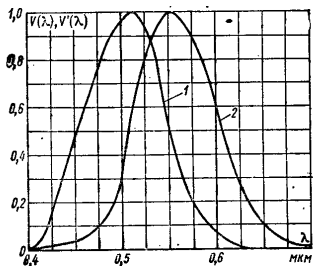


Рис. 1-3. Кривые спектральной чувствительности

Отсюда ясно, что имеют место дневное, ночное и сумеречное зрение. Дневное зрение — зрение нормального глаза при адаптации его к уровням яркости, начиная примерно с 10 кд/м^2 , т. е. освещенности поверхности с коэффициентом отражения 0,6 не менее 50 лк; ночное зрение — при яркости менее $0,01 \text{ кд/м}^2$, т. е. при освещенности не более 0,05 лк той же поверхности. В промежутке существует область, где происходит главный переход от одного вида зрения к другому, т. е. имеет место «сумеречное» зрение.

Различие спектральной чувствительности палочек и колбочек вызывает еще одно явление, известное под названием «эффекта Пуркина». Это явление проявляется при переходе от дневного к ночному зрению и заключается в том, что происходит уменьшение светлоты красного света по сравнению со светлотой синего света, когда яркости уменьшены в одинаковой пропорции без изменения спектрального состава. (Хотя цвета при этом не различаются, но относительно более яркими кажутся синие, красные тона — более темными, почти черными.)

Приспособление глаза к различению данного объекта в данных условиях осуществляется путем трех процессов, происходящих без участия воли человека:

1) аккомодация, т. е. изменение кривизны хрусталика таким образом, чтобы изображение предмета оказалось в плоскости сетчатки («наводка на фокус»);

2) конвергенция, т. е. поворот осей зрения обоих глаз так, чтобы они пересекались на объекте различения;

3) адаптация, т. е. приспособление глаза к данному уровню яркости.

Для техники освещения имеет особое значение процесс адаптации, и именно ему глаз обязан столь широким диапазоном своей работоспособности. Хорошо известно, что при переходе из светлого помещения в темное способность различать детали возникает медленно и постепенно и, наоборот, при выходе из темного помещения на яркий свет первоначально возникает состояние ослепленности.

Процесс адаптации глаза к повышенной яркости заключается в изменении площади зрачка («зрачковый рефлекс», особенно хорошо заметный у кошек), подавлении палочек и уменьшении количества светочувствительного вещества в колбочках, а при высоких яркостях — частичном экранировании нервных окончаний клетками пигментного эпителия, расположенного в глубине сетчатки. При адаптации глаза к малым яркостям происходят обратные явления.

При переходе от высоких яркостей к практической темноте процесс адаптации происходит медленно и заканчивается за 1—1,5 ч. Обратный процесс идет быстрее и длится 5—10 мин. В обоих случаях речь идет о «полной переадаптации»; при изменении яркости не более чем в 5—10 раз переадаптация происходит практически мгновенно. Следует помнить, что в период осуществления адаптации глаз работает с пониженной работоспособностью, поэтому необходимо избегать создания условий, требующих частой и «глубокой» переадаптации.

Применительно к работе зрительного аппарата известный психофизический закон Вебера—Фехнера утверждает, что как равные воспринимаются приращения яркости, одинаковые не по своему абсолютному значению, а по их отношению к исходному уровню яркости, т. е. не равные ΔL , а равные $\Delta L : L$. Отсюда может быть сделан вывод, что уровень зрительного ощущения пропорционален не яркости, а ее логарифму. В силу ряда причин фактическая зависимость зрительного ощущения (т. е. так называемой «светлоты») от яркости более сложна, однако в первом приближении можно считать, что светлота возрастает в арифметической прогрессии при возрастании яркости в геометрической прогрессии.

В этом отношении характерно, что хотя между освещенностями 150 и 30 лк пятикратная разница, но при некоторых опросах наблюдатели признавали первую из этих освещенностей удовлетворительной, а вторую — лишь «несколько недостаточной». Если в установках архитектурного освещения хотим получить бросающуюся в глаза разницу яркостей двух поверхностей («световой акцент»), то надо, чтобы эти яркости отличались в несколько раз.

Работоспособность глаза характеризуется несколькими показателями. Они теснейшим образом связаны между собой и лишь в порядке общего ознакомления с ними рассмотрим их по отдельности.

Деталь (д) различима на фоне (ф), если она отличается от него по яркости или по цветности. Ограничим рассмотрение яркостным контрастом; некоторые сведения о цветовом контрасте даны в § 1-4.

в перпендикулярном к ней направлении при силе света 1 кд; определяющее уравнение $L = I/S$ является частным случаем более общего уравнения

$$L = \frac{I}{S \cos \alpha}. \quad (1-4)$$

Единица яркости — кандела на квадратный метр (кд/м²). Яркость освещенных поверхностей зависит от их световых свойств, от степени освещенности, а в большинстве случаев также от угла, под которым поверхность рассматривается.

В расчетах иногда фигурирует светимость M , равная отношению светового потока, отражаемого или пропускаемого поверхностью, к ее площади:

$$M = \Phi/S. \quad (1-5)$$

Световая лучеиспускаемость измеряется в люменах на квадратный метр и равна освещенности, умноженной на коэффициент отражения или коэффициент пропускания поверхности.

Световые свойства поверхностей характеризуются коэффициентами отражения ρ , пропускания τ и поглощения a , причем во всех случаях $\rho + \tau + a = 1$.

Поверхности, яркость которых в отраженном или пропущенном свете одинакова во всех направлениях, называются диффузными. Для них имеют место соотношения:

$$I_\alpha = I_0 \cos \alpha = LS \cos \alpha; \quad (1-6)$$

$$\Phi = I_0 \pi = LS\pi; \quad (1-7)$$

$$E = \frac{E\rho}{\pi} \quad \text{или} \quad L = \frac{E\tau}{\pi}. \quad (1-8)$$

Здесь I_0 — сила света в направлении нормали к поверхности, I_α — то же, под углом α к нормали.

Близки по свойствам к диффузным поверхностям и часто приравниваются к последним в отраженном свете матовые поверхности бумаги, ткани, дерева, необработанные металлы, побеленные поверхности и штукатурка; в проходящем свете — только молочные стекла.

Поверхности, не являющиеся диффузными, характеризуются коэффициентом яркости β , равным отношению яркости поверхности в данном направлении к яркости в тех же условиях диффузной поверхности, имеющей $\rho = 1$. Яркость недиффузных поверхностей может быть определена по формуле (1-8) с заменой ρ на β .

Зависимость силы света I_α от меридионального угла α (угол между данным направлением и вертикалью) задается или в табличной форме или в виде кривой силы света, т. е. геометрического места концов отрезков, изображающих в принятом масштабе значения силы света в различных направлениях (примеры кривых силы света даны в § 2-6). Для сопоставимости кривые силы света

осветительных приборов чаще всего относятся к потоку установленной в них лампы (или суммарному потоку нескольких ламп) 1000 лм.

Излучатели, у которых кривые силы света одинаковы для всех меридиональных плоскостей, называются круглосимметричными. Светораспределение большинства светильников с трубчатыми лампами имеет две взаимно перпендикулярные плоскости симметрии и характеризуется, соответственно, продольной и поперечной кривыми силы света.

В ряде случаев для разного рода анализов удобно пользоваться математическим выражением зависимости $I_\alpha = f(\alpha)$. Так, светораспределение диффузной плоской поверхности любой формы, а также плоского выходного отверстия светильников с диффузными отражателями изображается зависимостью

$$I_\alpha = I_0 \cos \alpha; \quad (1-9)$$

светораспределение диффузного шара или математической точки

$$I_\alpha = I_0; \quad (1-10)$$

светораспределение диффузного полушара с несветящим основанием

$$I_\alpha = I_0 \frac{1 + \cos \alpha}{2}; \quad (1-11)$$

светораспределение диффузного вертикального цилиндра с несветящимися основаниями

$$I_\alpha = I_{90} \sin \alpha. \quad (1-12)$$

Светораспределение многих реальных светильников может быть приближенно выражено уравнением

$$I_\alpha = I_0 \cos^m \alpha, \quad (1-13)$$

где m — эмпирически определяемый показатель, с увеличением которого возрастает степень концентрации светового потока в направлениях, примыкающих к вертикали.

При круглосимметричном светораспределении поток может быть определен по известным значениям силы света. Определение производится отдельно для каждой из кольцевых зон, ограниченных углами α_1 и α_2 , путем умножения силы света в направлении середины зоны на телесный угол зоны. Для принятой шкалы границ зон 0—10; 10—20; ...; 80—90; ...; 170—180° значения телесных углов соответственно равны 0,095—0,283—0,463—0,628—0,774—0,897—0,992—1,058—1,091 ср (в верхней полусфере — те же значения в обратном порядке).

Таким образом,

$$\Phi_{0-180} = I_5 \omega_{0-10} + I_{15} \omega_{10-20} + \dots + I_{175} \omega_{170-180}. \quad (1-14)$$

Для светильников с трубчатыми лампами, светораспределение которых имеет две плоскости симметрии, определение светового потока по кривым силы света производится в следующем порядке.

Сила света в направлениях 5, 15, 25, ..., 85° продольной плоскости умножается на следующие значения телесного угла: 0,0303—0,0294—0,0276—0,0249—0,0215—0,0174—0,0129—0,0079—0,0027 ср. Делением удвоенной суммы произведений на осевую силу света находится вспомогательный коэффициент k_f . Находится сумма значений сил света ΣI_α в направлениях 5, 15, ..., 85° поперечной плоскости, после чего искомый поток нижней полусферы рассчитывается по выражению

$$\Phi_{\ominus} = 2k_f \Sigma I_\alpha. \quad (1-15)$$

Аналогично определяется поток верхней полусферы.

В случаях когда зависимость $I_\alpha = f(\alpha)$ задана аналитически, световой поток оказывается равным: πI_0 — для диффузной плоскости, $4\pi I_0$ — для диффузного шара, $2\pi I_0$ — для диффузного полушара, $\pi^2 I_{90}$ — для диффузного цилиндра. При светораспределении, отвечающем условию (1-13),

$$\Phi = \frac{2\pi I_0}{m+1}. \quad (1-16)$$

Во многих случаях расчета освещенность точки той или иной поверхности определяется по силе света источника, с которой она связана соотношением

$$E = \frac{I_\alpha \cos \alpha}{r^2}, \quad (1-17)$$

где E — освещенность, лк; I — сила света, направленная к точке, кд; α — угол между лучом и нормалью к поверхности в точке падения луча; r — расстояние от источника света до точки. Для точки A , принадлежащей горизонтальной поверхности (рис. 1-1), выражение (1-17) можно записать в следующем виде:

$$E = \frac{I_\alpha \cos^3 \alpha}{h^2} = \frac{I_\alpha h}{r^2} = \frac{I_\alpha \cos \alpha \sin^2 \alpha}{d^2}. \quad (1-18)$$

В ряде случаев освещенность негоризонтальной поверхности удобно определять умножением освещенности горизонтальной поверхности на переходный коэффициент ψ . Значение последнего определяется на основании теоремы о том, что освещенности в общей точке двух поверхностей относятся как длины перпендикуляров, опущенных из источника света на каждую из этих поверхностей (больше освещенность той поверхности, для которой перпендикуляр длиннее). Для вертикальной плоскости I на рис. 1-1, перпендикулярной проекции освещающего ее луча, $\psi = \operatorname{tg} \alpha$, в общем случае для плоскости II $\psi = p : h$.

1-2. ЗРЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

С помощью зрения человек получает подавляющую часть информации, поступающей из окружающего мира.

Светооптическая часть глаза состоит в основном из двояковыпуклой линзы — хрусталика, диафрагмированного отверстием

в радужной оболочке — зрачком. Хрусталик создает на светочувствительной поверхности сетчатки, устилающей глазное дно, действительное, уменьшенное, обратное изображение фиксируемых предметов.

Схема получения этого изображения представлена на рис. 1-2. Если яркость предмета L , а площадь его проекции на плоскость, перпендикулярную оси зрения, S , то к глазу направлена сила света LS . При расстоянии до предмета R и площади зрачка q на зрачок падает световой поток $\Phi = LSq : R^2$; до сетчатки доходит тот же поток, умноженный на общий коэффициент пропускания τ глазных сред. Этот поток распределяется по площади изображения предмета s , которая при фокусном расстоянии глаза f определяется соотношением $s = Sf^2 : R^2$ и создает в соответствующем месте сетчатки освещенность $E = \Phi : s = L\tau q : f^2$. Считая очевидным, что зрительное ощущение определяется освещенностью сетчатки, приходим к выводу, что оно зависит от яркости объекта и не зависит, в частности, от его удаленности.

Сетчатая оболочка (сетчатка) — светочувствительная оболочка, выстилающая глазное дно. Сетчатка имеет сложное строение, состоящее собственно из приемников света (палочек и колбочек) и нервных клеток, от которых возбуждение передается зрительному нерву, который связывает глазное яблоко с головным мозгом. Всего сетчатка содержит примерно 130 000 000 палочек и 7 000 000 колбочек, которые различаются как по своей форме, так и по свойствам. Одновременно с расходом светочувствительного вещества происходит процесс его регенерации.

На оптической оси глаза расположена центральная ямка (от ее латинского названия *fovea centralis* происходит термин «фовеальное зрение», в отличие от «периферийного»), в которой сосредоточены только колбочки. Угловой размер этой ямки около 1,5°. Она является центром «желтого пятна», в пределах которого колбочки преобладают, но концентрация их уменьшается в направлении к периферии, концентрация же палочек, наоборот, возрастает. Вне желтого пятна резко преобладают палочки.

Палочки присоединены к волокнам зрительного нерва большими группами, т. е., образно говоря, включены параллельно, колбочки присоединены к этим волокнам по отдельности (в пределах центральной ямки) либо по несколько штук. Благодаря этому четкое различие достигается лишь фовеальным зрением.

Процесс регенерации светочувствительного вещества происходит в палочках значительно медленнее, чем в колбочках, различна также чувствительность тех и других к различным длинам волн воспринимаемого излучения. На рис. 1-3 представлены кривые относительной спектральной эффективности излучения для дневного $[V(\lambda)]$ и ночного $[V'(\lambda)]$ зрения. В обоих случаях

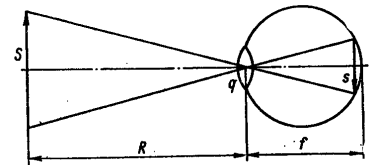


Рис. 1-2. Получение изображения на сетчатке глаза

месте. Чтобы оценить его значение в реальных случаях, вводится коэффициент сверхпорогового контраста c (примерно 1,8—2). Так как зависимость зрительного процесса от яркости носит логарифмический характер, удобно и видимости придать логарифмическую шкалу. Наконец, чтобы на границе «вижу — не вижу» значение видимости оставалось равным единице, в уравнение видимости вводится множитель 10 и ее окончательное выражение получает вид

$$V = \lg \frac{10K}{cK_{\text{пор}}},$$

где K — контраст, фактически имеющий место; $K_{\text{пор}}$ — пороговый контраст для того же объекта различения (чтобы не усложнять изложения мы не рассматриваем здесь вероятности различения P).

Для каждого данного объекта различения может быть определено предельное максимальное значение видимости, соответствующее таким условиям освещения, при которых пороговый контраст достигает минимального значения ξ :

$$V_{\text{max}} = \lg \frac{10K}{c\xi},$$

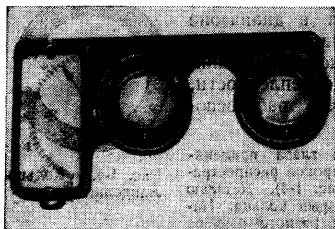


Рис. 1-5. Измеритель видимости

Степень соответствия данных осветительных условий тем, при которых пороговый контраст достигает минимума, характеризуется значением относительной видимости

$$V_0 = V/V_{\text{max}},$$

которая в данное время может считаться наиболее удобным критерием для оценки осветительных условий.

Для измерения видимости в разное время предлагались и применялись различного рода приборы (визанблиметры и запасеры), основанные на том, что видимость доводилась до пороговой путем помещения между объектом или дополнительной яркости, уменьшающей контраст, или нейтрального («серого») светофильтра, уменьшающего яркость. В нашей стране получил распространение бинокулярный измеритель видимости, разработанный Л. Л. Дашкевичем (рис. 1-5).

В каждое из отверстий прибора вмонтированы двупреломляющая призма и поляризатор. Первая дает два изображения детали, образованные пучками света, поляризованными во взаимно перпендикулярных плоскостях. При повороте оправы согласованно поворачиваются поляризаторы обоих отверстий, в результате чего яркость фона остается постоянной, но одно из изображений детали усиливается, а другое ослабевает. Когда видимость одного изображения доведена до пороговой, по шкале прибора прочитывается видимость в условных единицах. При фактической яркости фона L показания прибора будут составлять 0,35L вследствие поглощения света оптикой прибора.

До сих пор мы говорили о характеристиках зрения как о статических, относящихся к определенному моменту наблюдения. Динамика их изменения за время работы может служить важной характеристикой трудности зрительной задачи и условий освещения. Чаще, однако, для этой цели используется особая характеристика — устойчивость ясного видения (УЯВ). Если глаз достаточно долго фиксирует деталь, находящуюся на пороге различимости, то периоды отчетливого видения непроизвольно чередуются с паузами, когда деталь не различается. В качестве объекта различения выбирается кольцо Ландольта, размер которого и расстояние до глаз подбираются так, чтобы разрыв кольца был еле различим.

Наблюдателю предлагается фиксировать это кольцо в течение 180 с и в моменты, когда разрыв виден, называть букву «с», когда же он не различается — букву «о». Экспериментатор подсчитывает суммарное время различения разрыва и определяет у. я. в. как отношение этого времени ко всей длительности опыта, т. е. к 180 с.

Снижение у. я. в. в продолжение работы дает количественное суждение о степени зрительного утомления.

1-3. ПРИНЦИПЫ НОРМИРОВАНИЯ ОСВЕЩЕНИЯ

Уровень зрительных характеристик и психологическое восприятие окружения определяются яркостью как рабочих поверхностей, так и всего поля зрения, и, казалось бы, было правильно выбрать именно яркость в качестве основной нормируемой величины.

В практике это создало бы, однако, значительные трудности, так как в поле зрения одновременно находятся поверхности, имеющие самые различные коэффициенты яркости, к тому же обычно точно неизвестные, а в разные моменты времени могут фиксироваться рабочие поверхности, обладающие различными свойствами. Нормирование яркости привело бы, например, к тому, что освещенность для чтения пришлось бы устанавливать в зависимости от качества бумаги, на которой отпечатана книга. Поэтому общепринятым в мировой практике является нормирование освещенности, значение которой, однако, устанавливается с учетом отражающих свойств рабочих поверхностей.

Нормирование освещения существенно отличается от нормирования других физических факторов внешней среды, например температуры. Человек чувствует себя хорошо в пределах изменения последней примерно от 18 до 22 °С, и нормирование теплового режима помещений не встречает особых затруднений, с освещенностью же дело обстоит совершенно иначе.

Можно, хотя и не рекомендуется, длительно читать книжный текст уже при освещенности 0,1 лк; можно, но также не рекомендуется, выполнять эту работу при ярком солнечном свете, когда освещенность превышает 50 000 лк. Установить в этих пределах норму освещенности — задача очень сложная, и, хотя этому

кривые имеют резко выраженный максимум: для колбочек $\lambda = 0,555$ мкм (дневное зрение); для палочек $\lambda = 0,515$ мкм (ночное зрение). Причем палочки, в отличие от колбочек, вообще не различают цветов.

Очень велик диапазон светочувствительности глаза, в котором он сохраняет работоспособность. Подсчитано, что наименьшее пороговое ощущение света человек получает при лучистой энергии, нагревающей 1 г воды на 1 К за 60 мин. лет; наибольшее пороговое ощущение, которое еще безопасно для глаза, происходит при той же лучистой энергии, но выделяемой за 1/2 ч. Таким образом, кратность предельных значений мощности достигает тысячи миллиардов.

При очень малых уровнях яркости диссоциация светочувствительного вещества в нервных окончаниях происходит редко, но так как палочки «включены параллельно» большими группами, то на малые яркости реагируют именно они, а не колбочки, «включенные поодиночке».

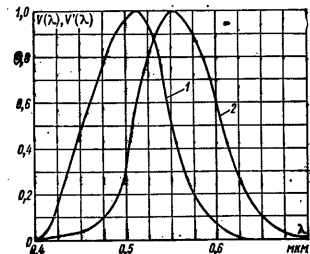


Рис. 1-3. Кривые спектральной чувствительности

При очень малых уровнях яркости диссоциация светочувствительного вещества в нервных окончаниях происходит редко, но так как палочки «включены параллельно» большими группами, то на малые яркости реагируют именно они, а не колбочки, «включенные поодиночке». Напротив, при высоких яркостях колбочки работают хорошо, палочки же почти выключаются из работы, так как быстрый расход светочувствительного вещества не компенсируется его медленной регенерацией.

Отсюда ясно, что имеют место дневное, ночное и сумеречное зрение. Дневное зрение — зрение нормального глаза при адаптации его к уровням яркости, начиная примерно с 10 кд/м², т. е. освещенность поверхности с коэффициентом отражения 0,6 не менее 50 лк; ночное зрение — при яркости менее 0,01 кд/м², т. е. при освещенности не более 0,05 лк той же поверхности. В промежутке существует область, где происходит главный переход от одного вида зрения к другому, т. е. имеет место «сумеречное» зрение.

Различие спектральной чувствительности палочек и колбочек вызывает еще одно явление, известное под названием «эффекта Пуркина». Это явление проявляется при переходе от дневного к ночному зрению и заключается в том, что происходят уменьшение светлоты красного света по сравнению со светлотой синего света, когда яркости уменьшены в одинаковой пропорции без изменения спектрального состава. (Хотя цвета при этом не различаются, но относительно более яркими кажутся синие, красные тона — более темными, почти черными.)

Приспособление глаза к различению данного объекта в данных условиях осуществляется путем трех процессов, происходящих без участия воли человека:

1) аккомодация, т. е. изменение кривизны хрусталика таким образом, чтобы изображение предмета оказалось в плоскости сетчатки («наводка на фокус»);

2) конвергенция, т. е. поворот осей зрения обоих глаз так, чтобы они пересекались на объекте различения;

3) адаптация, т. е. приспособление глаза к данному уровню яркости.

Для техники освещения имеет особое значение процесс адаптации, и именно ему глаз обязан столь широким диапазоном своей работоспособности. Хорошо известно, что при переходе из светлого помещения в темное способность различать детали возникает медленно и постепенно и, наоборот, при выходе из темного помещения на яркий свет первоначально возникает состояние ослепленности.

Процесс адаптации глаза к повышенной яркости заключается в изменении площади зрачка («зрачковый рефлекс», особенно хорошо заметный у кошек), подавлении палочек и уменьшении количества светочувствительного вещества в колбочках, а при высоких яркостях — частичном экранировании нервных окончаний клетками пигментного эпителия, расположенного в глубине сетчатки. При адаптации глаза к малым яркостям происходят обратные явления.

При переходе от высоких яркостей к практической темноте процесс адаптации происходит медленно и заканчивается за 1—1,5 ч. Обратный процесс идет быстрее и длится 5—10 мин. В обоих случаях речь идет о «полной переадаптации»; при изменении яркости не более чем в 5—10 раз переадаптация происходит практически мгновенно. Следует помнить, что в период осуществления адаптации глаз работает с пониженной работоспособностью, поэтому необходимо избегать создания условий, требующих частой и «глубокой» переадаптации.

Применительно к работе зрительного аппарата известный психофизический закон Вебера — Фехнера утверждает, что как равные воспринимаются приращения яркости, одинаковые не по своему абсолютному значению, а по их отношению к исходному уровню яркости, т. е. не равные ΔL , а равные $\Delta L : L$. Отсюда может быть сделан вывод, что уровень зрительного ощущения пропорционален не яркости, а ее логарифму. В силу ряда причин фактическая зависимость зрительного ощущения (т. е. так называемой «светлоты») от яркости более сложна, однако в первом приближении можно считать, что светлота возрастает в арифметической прогрессии при возрастании яркости в геометрической прогрессии.

В этом отношении характерно, что хотя между освещенностями 150 и 30 лк десятикратная разница, но при некоторых обзорах наблюдатели различали первую из этих освещенностей удовлетворительной, а вторую — лишь «несколько недостаточной». Если в установках архитектурного освещения хотим получить бросающуюся в глаза разницу яркостей двух поверхностей («световой акцент»), то надо, чтобы эти яркости отличались в несколько раз.

Работоспособность глаза характеризуется несколькими показателями. Они теснейшим образом связаны между собой и лишь в порядке общего ознакомления с ними рассмотрим их по отдельности.

Деталь (д) различима на фоне (ф), если она отличается от него по яркости или по цветности. Ограничим рассмотрение яркостным контрастом; некоторые сведения о цветовом контрасте даны в § 1-4.

10

В зависимости от того, что светлее — деталь или фон, контраст определяется по формулам:

$$K = \frac{L_{\phi} - L_d}{L_{\phi}} \quad \text{или} \quad K \approx \frac{L_d - L_{\phi}}{L_d}$$

Некоторые авторы пользуются во всех случаях первой формулой, понимая под числителем абсолютное значение разности яркостей; тогда значение контраста лежит в пределах от 0 до ∞ . Предпочтительно помещать в знаменатель большую из яркостей и получать значения K в пределах от 0 до 1.

Наименьший различимый глазом контраст называется пороговым контрастом, обратная ему величина — контрастной чувствительностью.

При всех остальных наиболее благоприятных условиях глаз различает контраст начиная от 0,01—0,015, что соответствует контрастной чувствительности до 100 единиц.

Для того чтобы те или иные детали различались как отдельные, они должны быть разделены определенным промежутком. Наименьший размер последнего определяет разрешающую способность глаза. Последняя численно выражается как отношение наименьшего различаемого размера к расстоянию до глаза и измеряется в угловых или относительных единицах. Величина, обратная разрешающей способности глаза, называется остротой зрения. Нормальное зрение в благоприятных условиях имеет остроту около 3500 (разрешающая способность около 1'); у отдельных лиц острота зрения может быть и значительно больше.

Если глаз фиксирует одиночные, очень малые по сравнению с расстоянием до них, предметы, то как бы ни было мало их изображение на сетчатке, часть нервных окончаний получит повышенную или пониженную яркость по сравнению с соседними и это будет замечено. Таким образом с расстояния 1 м мы «видим» волос диаметром 0,1 мм, или, скорее, замечаем его присутствие; таким же образом видны звезды, которые даже в мощный телескоп кажутся точками, так как и в этом случае их изображение на сетчатке слишком мало, чтобы возбудить несколько волокон зрительного нерва.

Процесс видения происходит быстро, но все же не мгновенно. Время различения имеет значение для скорости работы, а иногда, будучи лимитированным обстоятельствами, играет решающую роль.

При условиях, близких к пороговым в отношении размера детали, контраста и времени, различение становится недостоверным и при многократном повторении опыта происходит только в части случаев. Поэтому наряду с другими параметрами рассматривается вероятность различения p .

Изучение характеристик работы глаза имеет большое значение и ему уделяется значительное внимание. Надо, однако, подчеркнуть тесную взаимную связь этих характеристик. Нельзя говорить о контрастной чувствительности вообще, не сопоставляя ее значений в определенном размере деталей, времени и вероятности различения. То же относится и к остальным характери-

кам. Поэтому более правильно говорить о существовании некоторой обобщенной функции

$$V_k = f(\alpha, L, t, p),$$

где V_k — контрастная чувствительность; α — угол различения; L — яркость; t — время различения; p — вероятность различения.

Для техники освещения особое значение имеет зависимость характеристик работы глаза от яркости фона L . Все показатели, характеризующие работоспособность глаза, повышаются с ростом яркости сначала быстро, потом замедленно, постепенно достигая предельного уровня. В зависимости от того, какая функция исследуется, а также от значения параметров, поддерживаемых в процессе опыта неизменными, стабилизация яркости наступает в диапазоне 10—1000 кд/м², что соответствует освещенности 50—5000 лк. При чрезмерном увеличении яркости наступает состояние ослепленности, характеризующееся понижением работоспособности глаза.



Рис. 1-4. Кольцо Ландольта

Для исследования характеристик глаза применяются различные тесты, из которых широко распространены кольца Ландольта (рис. 1-4). Деталью различения в этом случае является разрыв кольца. Наблюдателю предлагается набор колец разного размера (или по-разному контрастирующих с фоном) и с различной ориентацией разрыва. Самое малое или самое малоконтрастное кольцо, для которого наблюдатель может указать место разрыва, определяет значение исследуемой функции. Для той же цели применяются наборы букв разной величины, специальные таблицы — миры с различной штриховкой. Для определения скорости различения применяются особые приборы — тахистоскопы, в которых между глазами наблюдателя и объектом (кольцом Ландольта) помещается падающая пластина или поворачивающийся диск с вырезом.

Наиболее современными характеристиками взаимосвязи условий освещения и работоспособности глаза являются видимость и относительная видимость.

В принципе видимость может быть определена как имеющаяся в данных условиях значение той или иной характеристики глаза по сравнению с ее наименьшим уровнем, необходимым для решения данной зрительной задачи. Например, если по характеру работы необходима разрешающая способность глаза 500, а при данных условиях освещения она достигает 1500, то видимость равна 3. При видимости, равной 1, состояние глаза находится на границе «вижу — не вижу». Так как основной характеристикой глаза сейчас признается контрастная чувствительность, в данное время видимость принято определять именно по этой функции.

В применении к задачам нормирования освещения понятие видимость несколько усложняется. Пороговый контраст изучается в лабораторных условиях, на тренированных наблюдателях, ожидающих появления определенной детали в определенном

стадионов, чтобы увеличить прибыль, отбив посетителей у конкурентов.

В результате в данное время можно говорить только о нормах, которые, не будучи ни оптимальными, ни экономически наивыгоднейшими, лежат где-то между значениями минимума и оптимума. Уровень этих норм должен, очевидно, определяться технико-экономическими возможностями и повышаться по мере роста последних, что и происходит во всех странах, включая СССР. Таким образом, следует рассматривать существующие нормы освещенности как компромисс между желаемым и возможным.

Значительная часть исследований в области нормирования освещения посвящена обоснованию этих «промежуточных» норм, и именно здесь неизбежно принятие волевых решений, о которых было сказано ранее. Критерием для установления нормы могут быть определенные уровни видимости, относительной видимости, утомляемости, достоверности различения и т. д. Поскольку этот уровень выбран, относительно несложно построить всю шкалу освещенности, но самый выбор исходного уровня едва ли поддается строгому обоснованию.

В основу английского светотехнического кодекса 1961 г. были положены исследования зрительной работоспособности, выполненные Вестоном. Под зрительной работоспособностью здесь понимается произведение скорости различения на вероятность правильного опознавания. Для каждого тест-объекта эта величина зависит от условий освещения и при определенной освещенности достигает максимума. Отношение зрительной работоспособности в данных условиях к максимальной — относительная зрительная работоспособность — характеризует степень соответствия условий освещения оптимальным. Значение этого отношения было принято Вестоном равным 0,9.

Для этого случая и для среднего контраста, равного 0,25, эмпирически получено выражение для нормы освещенности:

$$E = \frac{1930}{\rho \alpha^{1,5}},$$

где ρ — коэффициент отражения фона; α — угловой размер различаемых деталей, ...'. Расчет по этой формуле дает значения освещенности в пределах от 76 лк при $\rho = 0,8$ и $\alpha = 10'$ до 19300 лк при $\rho = 0,1$ и $\alpha = 1'$.

В США основная работа по нормированию освещения была выполнена Блекуэллом. При опытах производилось различение деталей определенного размера, причем требовалось, чтобы за 0,2 с эти детали различались с вероятностью 0,99.

При переходе от выводов лабораторных исследований к практическим рекомендациям введен так называемый коэффициент сверхпорогового контраста, учитывающий, что в реальных условиях многие обстоятельства становятся недействительными, так как в лаборатории испытывались наблюдатели с нормальным зрением, знавшие, когда где и какая деталь должна появиться.

Действующие в СССР нормы [1] определены исходя из обеспечения заданного значения относительной видимости (0,7), причем это значение, хотя и представляется разумным, строгого обоснования не имеет.

Каковы бы ни были показатели, положенные в основу норм освещенности, одинаковый уровень этих показателей для различных работ достигается при различных уровнях освещенности

и всякое нормирование должно дифференцированно учитывать характеристики зрительного процесса.

Таковыми характеристиками являются:

- 1) точность работы, т. е. либо наименьший угловой размер различаемых деталей, либо их линейный размер в сочетании с расстоянием, с которого они рассматриваются;
- 2) коэффициент отражения фона, на котором различаются детали, определяющий при данной освещенности его яркость;
- 3) контраст между деталями и фоном;
- 4) необходимость поиска деталей (в случае неопределенности места их появления) и наличие посторонних, отвлекающих деталей;
- 5) подвижность рабочей поверхности, затрудняющая различение деталей;
- 6) относительная длительность зрительного напряжения в продолжение рабочего времени. Этот фактор имеет очень большое значение. Периодически определять время по часам можно и при лунном свете, но непрерывный контроль того или иного процесса требует большого напряжения зрения. Чертежник, хотя и занят точной зрительной работой большую часть рабочего времени, имеет возможность произвольных перерывов в работе для отдыха глаза, рабочий же, осматривающий изделия, непрерывно движущиеся по конвейеру, такой возможности лишен.

Не являются характеристиками зрительного процесса, но имеют значение и учитываются (или могут учитываться) при нормировании освещения также следующие факторы:

- 1) опасность прикосновения к предметам, находящимся в рабочей зоне: режущему инструменту, токоведущим частям и т. п.;
- 2) наличие в поле зрения самосветящихся поверхностей, резко контрастирующих с фоном; контраст, в данном случае вредный, может быть уменьшен, если яркость и детали и фона увеличить в одно и то же число раз, т. е. сильно осветить рабочее место;
- 3) повышенные санитарно-гигиенические требования к работе;
- 4) отсутствие или недостаточность естественного освещения, что может быть отчасти компенсировано увеличением освещенности искусственного освещения;
- 5) возраст работающих; с одной стороны, зрение детей и подростков желательнее поставить в наиболее благоприятные условия, с другой стороны, как показали некоторые исследования, с возрастом увеличивается потребность в освещении, уже к 30 годам повышаясь в 1,5 раза.

Возможны и осуществляются две системы построения норм: составление значений освещенностей для конкретно поименованных рабочих мест и помещений или составление таблицы, в которой освещенность дается в функции признаков, характеризующих зрительный процесс, без указания конкретных рабочих мест.

Первая система позволяет наиболее полно учесть все индивидуальные особенности каждого производственного процесса, но

вопросу посвящены сотни исследований, все реализованные до сих пор предложения в той или иной степени основаны на волевых решениях. Вместе с тем важность нормирования освещенности неоспорима и определяется, с одной стороны, теми затратами, которых требует устройство и эксплуатация освещения, с другой — гигиеническим, производственным и экономическим эффектом, который достигается хорошим освещением.

В силу этого во всех развитых странах существуют нормы освещения, в ряде случаев имеющие силу закона или стандарта. В СССР в 1928 г. утверждены первые в мире обязательные нормы освещенности, составленные проф. П. М. Тиходеевым.

Обратимся снова к диапазону освещенности, в пределах которого возможно, в частности, чтение (точнее — работа, по зрительной сложности равноценная чтению, например корректура). Будем повышать освещенность начиная с 0,1 лк. Условия зрительной работы будут улучшаться, это вызовет снижение утомления, как зрительного, так и общего, и увеличение скорости работы. Настанет момент, начиная с которого утомление не будет превышать пределов, принятых за допустимые, и работоспособность будет восстанавливаться после отдыха. Такую освещенность можно назвать гигиеническим минимумом, и для чтения она была определена П. М. Тиходеевым равной 50 лк. С дальнейшим ростом освещенности будет происходить дальнейшее улучшение условий труда, и так будет продолжаться до момента, о котором можно сказать: меньшая освещенность — хуже, но и большая — уже не лучше, если не хуже. Такую освещенность можно назвать оптимальной, и ее не так уж сложно определить методом экспертных оценок или путем изучения производственно-гигиенических или физиологических показателей. Здесь, правда, еще не все ясно, так как за основу могут быть приняты различные показатели, дающие не совпадающие результаты.

Укажем, что в ФРГ были проведены исследования для работ средней точности, причем наименьшее утомление наблюдалось при освещенности около 1200 лк, рост же производительности труда не прекращался и при освещенности 2000 лк. В некоторых других исследованиях оптимальная освещенность для работ средней точности также оказывалась в диапазоне 1500—2000 лк, так что хотя бы о порядке этого значения можно говорить с достаточной уверенностью. Очевидно, оптимальную освещенность следует рассматривать как верхний предел возможных норм освещенности, в целом пока трудно достижимый.

К нормированию освещения можно подойти и с экономической точки зрения.

Улучшение освещения не только имеет большое гигиеническое и физиологическое значение, не только ведет к снижению производственного травматизма, но в большинстве случаев вызывает и увеличение производительности труда. Нельзя недооценивать это обстоятельство. Речь идет не о том, что при переходе от оценки «темно, работать трудно» к достаточному освещению естественно увеличивается скорость работы. Сотни, если не тысячи исследова-

ний, выполненных и в нашей стране, и за рубежом, показали, что переход от, казалось бы, достаточного освещения к еще более лучшему, например от сотен люксов к тысячам, вызывает весомое увеличение производительности труда, чаще всего в пределах от 5 до 20%.

При увеличении производительности предприятия из-за улучшения условий освещения приходящаяся на единицу продукции стоимость сырья и энергии, расходуемой на технологические нужды, а также прямая зарплата (при сдельной оплате труда) остаются неизменными. Расходы на освещение, отнесенные к затратам на единицу продукции, возрастают, так как производительность труда растет медленнее, чем затраты на освещение. Но так как расходы на амортизацию здания, на его отопление и вентиляцию, на оплату административного персонала и т. д. остаются неизменными, то их доля в себестоимости изделия уменьшается и эта доля при некоторой освещенности достигает минимума, хотя и не резко выраженного. В аналогичной зависимости от освещенности находится и получаемая предприятием масса прибыли, хотя условия, при которых достигается минимум себестоимости и максимум прибыли, не вполне совпадают.

Таким образом, можно говорить об экономически наивыгоднейшей освещенности, или, более широко, о наивыгоднейших условиях освещения. Эта освещенность зависит от многих обстоятельств, из которых особо надо выделить степень зависимости производительности труда от освещения, в свою очередь определяемую долей не полностью механизированных операций и степенью участия в них зрительного анализатора.

Предложения основывать нормирование освещения на теории наивыгоднейших осветительных условий не получили в нашей стране признания по многим причинам.

Во многих случаях преобладающее значение имеют факторы, лежащие вне сферы экономики: безопасность труда, культура производства, гигиена зрения и т. д. При широко осуществляемой механизации и автоматизации производства во все большем числе случаев производительность труда становится мало зависящей от освещения, хотя его роль не уменьшается. Условия оптимальной освещенности с точки зрения экономики подвержены изменению и во времени, так как они должны корректироваться при каждом изменении учитываемых нами факторов, и в пространстве, так как они зависят от тарифных ставок, транспортных расходов, тарифа на энергию и т. д., а все эти показатели различны для различных районов страны.

Тем не менее следует помнить, что в определенных пределах улучшение условий освещения вполне оправдано экономически, и поддержать мысль, высказываемую некоторыми авторами, что дорого стоит плохое, а не хорошее освещение. В литературе капиталистических стран, где прибыль ставится во главу угла, можно найти сведения о том, например, что при увеличении освещенности с 350 до 1000 лк дополнительные затраты на освещение с лихвой окупались, или (что, правда, не относится к производительности труда) рекомендацию повышать освещенность частных

РЕЧИЦКИЙ
МЕТИЗНЫЙ ЗАВОД
г. Бачкиа, Бомельской обл.

стадионов, чтобы увеличить прибыль, отбив посетителей у конкурентов.

В результате в данное время можно говорить только о нормах, которые, не будучи ни оптимальными, ни экономически наиболее выгодными, лежат где-то между значениями минимума и оптимума. Уровень этих норм должен, очевидно, определяться технико-экономическими возможностями и повышаться по мере роста последних, что и происходит во всех странах, включая СССР. Таким образом, следует рассматривать существующие нормы освещенности как компромисс между желаемым и возможным.

Значительная часть исследований в области нормирования освещения посвящена обоснованию этих «промежуточных» норм, и именно здесь неизбежно принятие волевых решений, о которых было сказано ранее. Критерием для установления нормы могут быть определенные уровни видимости, относительной видимости, утомляемости, достоверности различения и т. д. Поскольку этот уровень выбран, относительно несложно построить всю шкалу освещенности, но самый выбор исходного уровня едва ли поддается строгому обоснованию.

В основу английского светотехнического кодекса 1961 г. были положены исследования зрительной работоспособности, выполненные Вестоном. Под зрительной работоспособностью здесь понимается произведение скорости различения на вероятность правильного опознавания. Для каждого тест-объекта эта величина зависит от условий освещения и при определенной освещенности достигает максимума. Отношение зрительной работоспособности в данных условиях к максимальной — относительная зрительная работоспособность — характеризует степень соответствия условий освещения оптимальным. Значение этого отношения было принято Вестоном равным 0,9.

Для этого случая и для среднего контраста, равного 0,25, эмпирически получено выражение для нормы освещенности:

$$E = \frac{1930}{\rho \alpha^{1,5}},$$

где ρ — коэффициент отражения фона; α — угловой размер различаемых деталей, ...'. Расчет по этой формуле дает значения освещенности в пределах от 76 лк при $\rho = 0,8$ и $\alpha = 10'$ до 19 300 лк при $\rho = 0,1$ и $\alpha = 1'$.

В США основная работа по нормированию освещения была выполнена Блекуэллом. При опытах производилось различение деталей определенного размера, причем требовалось, чтобы за 0,2 с эти детали различались с вероятностью 0,99.

При переходе от выводов лабораторных исследований к практическим рекомендациям введен так называемый коэффициент сверхпорогового контраста, учитывающий, что в реальных условиях многие обстоятельства становятся недействительными, так как в лаборатории испытывались наблюдатели с нормальным зрением, знавшие, где и какая деталь должна появиться.

Действующие в СССР нормы [1] определены исходя из обеспечения заданного значения относительной видимости (0,7), причем это значение, хотя и представляется разумным, строго обоснования не имеет.

Каковы бы ни были показатели, положенные в основу норм освещенности, одинаковый уровень этих показателей для различных работ достигается при различных уровнях освещенности

и всякое нормирование должно дифференцированно учитывать характеристики зрительного процесса.

Такими характеристиками являются:

- 1) точность работы, т. е. либо наименьший угловой размер различаемых деталей, либо их линейный размер в сочетании с расстоянием, с которого они рассматриваются;
- 2) коэффициент отражения фона, на котором различаются детали, определяющий при данной освещенности его яркость;
- 3) контраст между деталями и фоном;
- 4) необходимость поиска деталей (в случае неопределенности места их появления) и наличие посторонних, отвлекающих деталей;
- 5) подвижность рабочей поверхности, затрудняющая различение деталей;
- 6) относительная длительность зрительного напряжения в продолжение рабочего времени. Этот фактор имеет очень большое значение. Периодически определять время по часам можно и при лунном свете, но непрерывный контроль того или иного процесса требует большого напряжения зрения. Чертежник, хотя и занят точной зрительной работой большую часть рабочего времени, имеет возможность произвольных перерывов в работе для отдыха глаза, рабочий же, осматривающий изделия, непрерывно движущиеся по конвейеру, такой возможности лишен.

Не являются характеристиками зрительного процесса, но имеют значение и учитываются (или могут учитываться) при нормировании освещения также следующие факторы:

- 1) опасность прикосновения к предметам, находящимся в рабочей зоне: режущему инструменту, токоведущим частям и т. п.;
- 2) наличие в поле зрения самосветящихся поверхностей, резко контрастирующих с фоном; контраст, в данном случае вредный, может быть уменьшен, если яркость и детали и фона увеличить в одно и то же число раз, т. е. сильно осветить рабочее место;
- 3) повышенные санитарно-гигиенические требования к работе;
- 4) отсутствие или недостаточность естественного освещения, что может быть отчасти компенсировано увеличением освещенности искусственного освещения;
- 5) возраст работающих; с одной стороны, зрение детей и подростков желательнее поставить в наиболее благоприятные условия, с другой стороны, как показали некоторые исследования, с возрастом увеличивается потребность в освещении, уже к 30 годам повышаясь в 1,5 раза.

Возможны и осуществляются две системы построения норм: составление значений освещенностей для конкретно поименованных рабочих мест и помещений или составление таблицы, в которой освещенность дается в функции признаков, характеризующих зрительный процесс, без указания конкретных рабочих мест.

Первая система позволяет наиболее полно учесть все индивидуальные особенности каждого производственного процесса, но

так как число отраслей промышленности и различных рабочих мест в каждой из этих отраслей чрезвычайно велико, она требует исключительно большого объема исследований, которые, даже продолжаясь непрерывно, едва ли смогут успевать за развитием производства.

Вторая система позволяет составить нормы в виде относительно компактных таблиц, универсальных в том отношении, что по ним можно выбрать норму освещенности и для таких производств, которых вообще не существовало еще в момент утверждения норм. Вместе с тем в таких нормах практически невозможно учесть все индивидуальные характеристики каждой отдельной работы. В мировой практике в той или иной степени имеют применение обе системы.

При второй системе нормирования имеет значение вопрос о полноте учитываемых характеристик и о степени их количественной дифференциации. Чем больше характеристик учтено, чем на большее число интервалов разбиты их количественные признаки, тем, казалось бы, «точнее» могут быть нормы. Но из ранее сказанного ясно, что требовать от норм точности вообще нет оснований, с другой же стороны, усложнение норм многими характеристиками, да еще разбитыми на мелкие интервалы, не только увеличивает объем норм, но и затрудняет пользование ими.

Поясним это: легко определить на глаз, лежит ли возраст малоизвестного человека в пределах от 20 до 30, от 30 до 40 лет и т. д., но очень трудно оценить его возраст с точностью до одного года. Подобно этому, даже будучи знакомым с той или иной работой, нелегко определить, различие деталей какого размера и при каком контрасте с фоном является основной зрительной задачей, в то же время легко оценить эту работу, как требующую, в целом, большого, среднего или малого зрительного напряжения. Примером норм, в основу которых положено разделение работ на ограниченное количество групп со словесной характеристикой трудности зрительной задачи, являются нормы ФРГ ДИН 5035.

Нормы освещенности, действующие в СССР, более подробно рассматриваемые в § 2-1, построены по второй системе, т. е. в функции обобщенных характеристик зрительной задачи с их достаточно дифференцированным учетом. Непосредственный выбор освещенности по этим нормам представляет определенные трудности, и поэтому на основании общих норм составляются и утверждаются нормы освещенности для отдельных отраслей промышленности, содержащие уже расписание освещенностей для конкретно названных помещений и рабочих мест. При составлении отраслевых норм в отдельных случаях допускаются обоснованные отступления от общих норм. Таким образом, в СССР осуществляется, можно сказать, комбинированная система нормирования.

Остановимся кратко на принципах нормирования качественных характеристик освещения, впервые введенного у нас в 1971 г. [1]. (Осуществности нормируемых качественных характеристик указано в § 1-5.)

Для показателя ослепленности, показателя дискомфорта и коэффициента пульсации нормами устанавливаются наибольшие допустимые значения.

Всякое значение первого из этих показателей, большее единицы, уже свидетельствует об ухудшении условий работы зрения. Почти так же обстоит дело с показателем дискомфорта, хотя здесь ощущение неприятности начинается,

по-видимому, со значений примерно 15—20. Коэффициент пульсации отрицательно проявляет себя начиная от значений примерно 5—10%.

Между значениями этих трех показателей и материально-энергетическими затратами не существует такой однозначной связи, как между тем же затратами и освещенностью, но все же снижение их до заведомо безвредных значений связано с определенными трудностями, имеющими ценностное выражение. В результате здесь, как и при нормировании освещенности, приходится искать компромисс между желаемым и возможным и для каждого случая устанавливать такое предельное значение показателя, которое можно считать приемлемым для данных условий. При этом, естественно, работы, требующие большего зрительного напряжения, должны быть обеспечены лучшими условиями.

Пульсации освещенности вредны, помимо прочего, тем, что могут быть причиной так называемого «стробоскопического эффекта», т. е. неправильного восприятия движущихся или вращающихся предметов. При этом поступательно движущиеся предметы приобретают многократные контуры, вращающиеся — могут показаться остановившимися или изменившими направление вращения. Возможность возникновения стробоскопического эффекта учитывается при нормировании коэффициента пульсации.

Относительно просто обстоит дело с нормированием цилиндрической освещенности. Методом экспертных оценок нетрудно установить, при каких ее значениях степень насыщенности пространства светом субъективно оценивается как большая, повышенная или нормальная, и регламентируются эти значения. Нормирование цилиндрической освещенности осуществляется для таких помещений, в которых одной из зрительных задач, или основной задачей, является обзор окружающего пространства.

1.4. ЦВЕТ В ТЕХНИКЕ ОСВЕЩЕНИЯ

В теории светотехники понятие «цвет» рассматривается в двух аспектах: с точки зрения количества — яркость и качества —

цветность, причем последняя также имеет вполне определенную числовую оценку. В практике, однако, часто пользуются словом «цвет», имея в виду цветность; в дальнейшем изложении эти понятия также четко не разделяются*.

Полной характеристикой излучения источников света в отношении цветности является кривая распределения энергии в их спектре, дающая для различных значений длины волны λ значения излучаемой мощности Φ_λ .

Примеры таких кривых показаны на рис. 1-6. Аналогичной характеристикой отражающих или пропускающих свет поверхностей являются кривые, изображающие зависимость от длины волны коэффициента отражения ρ_λ или коэффициента пропускания τ_λ .

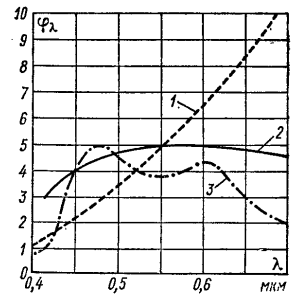


Рис. 1-6. Кривые распределения энергии в спектре
1 — лампы накаливания; 2 — рассеянный дневной свет; 3 — люминесцентные лампы (в среднем)

* В данной книге приводится лишь краткое рассмотрение вопросов цвета применительно к технике освещения. Более подробно они рассмотрены в [2 и 3].

Характеристикой излучения, отраженного или пропущенного данной поверхностью при освещении ее определенным источником, служит кривая, ординаты которой для каждого значения λ получены путем умножения φ_λ на ρ_λ или τ_λ . Уже отсюда видно, что цветность поверхностей определяется свойствами не только их самих, но и освещающих их источников.

Если характеристика φ_λ или соответствующие характеристики ρ_λ , τ_λ являются прямыми, параллельными оси λ , то излучение или поверхности признаются «белыми». Однако, кроме такого «равноэнергетического» белого, признается белым и излучение некоторых стандартных источников, кривая распределения которых имеет иную форму. Серый цвет рассматривается как белый цвет уменьшенной яркости.

Будучи важными и, в частности, необходимыми для расчетов цветности, кривые спектрального распределения не дают, однако, наглядного представления о результитивной цветности. Более того, одна и та же цветность может быть получена при неограниченном множестве различных кривых распределения (обратное положение не имеет места). По этим причинам количественная оценка цветности основана на иных принципах.

«Полный излучатель», т. е. абсолютно черное тело, при повышении температуры нагрева изменяет характер излучения, которое из красного становится желтым, белым и наконец синеватым, но никогда не бывает, например, зеленым или коричневым. Поэтому многие, но не все, цветности могут быть охарактеризованы цветовой температурой T_c , т. е. той температурой, при которой излучение черного тела имеет цветность, совпадающую с данной. Цветовая температура T_c может не иметь ничего общего с физической температурой излучателя. Так, приписывая определенной люминесцентной лампе температуру $T_c = 4850$ К, а синему небосводу — $T_c = 11\,000$ К, мы знаем, что эти излучатели подобной температуры не имеют. Вместе с тем при достаточном опыте значения T_c наглядно характеризуют излучатели.

Известно, что смешением трех основных цветов: красного, зеленого и синего могут быть получены почти все существующие цвета. Чтобы получить все цвета без исключений, удобно вообразить (и представить в графической и аналитической форме), что происходит смешение трех условных, не существующих в природе цветов X , Y , Z , более насыщенных, чем соответственно красный, зеленый и синий. Тогда, если доля каждого из этих цветов в смеси равна соответственно x , y , z , то любой цвет может быть выражен уравнением

$$\Phi = xX + yY + zZ.$$

Размерности величин выбираются так, чтобы сумма $x + y + z$ была равна единице, и тогда для характеристики цветности достаточно знать лишь две координаты цветности: x и y , которые и указываются в стандартах на излучатели, альбомах цветов и т. д.

Графическим изображением поля цветов и законов их смешения является цветовой треугольник (рис. 1-7).

Замкнутая линия, проведенная на графике, ограничивает все множество существующих цветов, причем точки, лежащие на ее криволинейной части между R и B , соответствуют чистым спектральным цветам, характеризующимся определенной длиной волны, а точки нижней прямой — пурпурным цветам, образу-

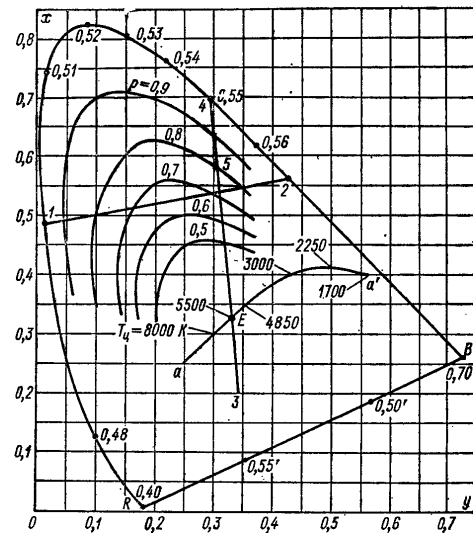


Рис. 1-7. Цветовой треугольник

ющимся при смешении синего и красного цветов. Пурпурные цвета отсутствуют в спектре, но нередко встречаются в жизни. Тогда E в центре соответствует равноэнергетическому белому цвету.

График и отображаемые им явления характеризуются следующими свойствами:

1) цвет, образующийся в результате смешения двух цветов, например 1 и 2, изображается точкой на линии, соединяющей смешиваемые цвета, положение которой определяется соотношением цветов в смеси;

2) один и тот же цвет может быть получен неограниченным числом способов, так как через данную точку можно провести множество хорд;

3) хотя один и тот же цвет, будучи полученным разными способами, одинаково воспринимается зрением, но, имея разный спектральный состав, он может, в зависимости от последнего, создать разную цветность освещаемых поверхностей;

4) цвета, лежащие на противоположных концах хорды, проведенной через точку E , создают при смешении в определенной пропорции белый цвет и называются дополнительными;

5) цвет смеси двух цветов, не лежащих на прямолинейной части графика, изображается точкой, приближенной к точке E , т. е. уменьшает свою чистоту, как бы разбавляясь белым.

С последним обстоятельством связан третий, удобный и распространенный способ оценки цветности. Проведем прямую 3—4 через точки E и данного цвета. Точка 5 на этой прямой может рассматриваться как цвет, полученный в результате смешения цвета 4 с белым цветом. Длина волны, соответствующая цвету 4, будет определять цветовой тон точки 5, а степень удаленности точки 5 от E — чистоту цвета p .

Пурпурные цвета, а также цвета точек, лежащих между линией пурпурных цветов и точкой E , условно характеризуются длиной волны λ' , соответствующей λ для точки на конце линии, проведенной через данную точку и точку E .

На графике линией $a - a'$ показана также совокупность точек, через которые проходит цвет полного излучателя при повышении его температуры, т. е. те цветности, которые точно могут быть характеризованы значением T_c .

Цветности, изображаемые весьма близкими точками на графике, визуально не отличимы друг от друга. Минимально различимая разница в цветности называется цветовым порогом. Цветовой треугольник можно перестроить таким образом, чтобы расстояние между точками двух цветов непосредственно в масштабе давало число цветовых порогов; в этом случае шкалы x и y получаются неравномерными.

Определение цветовых координат или также цветового тона и чистоты цвета производится на основе кривых спектрального распределения и стандартных характеристик среднего глаза и здесь не рассматривается.

В лабораторных условиях для измерения цветности применяются специальные приборы, в практике же часто применяются различные альбомы цветов, в которых приведены выкраски с известными цветовыми характеристиками, сопоставляемые с исследуемыми образцами.

Психологическое и отчасти физиологическое воздействие на человека цветности излучения источников света, а также цветности окружающих поверхностей, несомненно в значительной степени связано с теми световыми условиями, к которым человечество приспособилось за время своего существования. Далекое и холодное голубое небо, создающее в течение большей части светового дня высокие освещенности, вечером — близкий и горячий желто-красный костер (а затем пришедшие ему на смену, но родственные ему «лампы сгорания»), создающий, однако, низкие освещенности, — таковы световые режимы, приспособлением к которым, вероятно, объясняются следующие факты. Более работоспособное состояние человека днем, при свете относительно холодных оттенков и преимущественный отдых вечером, при теплом, красноватом свете, вероятно, привели к тому, что и в современных, несколько изменившихся условиях холодные оттенки искусственного

света признаются преимущественно благоприятствующими работе, а теплые — отдыху. Возможно, это одна из причин того, что люминесцентные лампы до сих пор не нашли массового применения в квартирах.

Независимо даже от уровня работоспособности при увеличении освещенности наступает момент, когда человек признает освещение комфортным, при очень же высоких освещенностях наблюдается верхняя граница зрительного комфорта. Положение этих границ оказалось сильно зависящим от цветовой температуры излучения (рис. 1-8), что опять-таки можно объяснить привычкой человека к высоким освещенностям при дневном освещении и низким — при искусственном. В какой-то степени спектрально воспроизводя дневное освещение при люминесцентных лампах, мы, оказывается, должны приблизиться к последнему и в отношении уровней освещенности, слабое же люминесцентное освещение психологически воспринимается как дневное освещение в сумерки или перед грозой. Этот «сумеречный эффект» является одной из причин повышения норм освещенности при газоразрядных источниках света.

В частности, при лампах типа ЛД последние следы сумеречности исчезают при освещенности только примерно 400—500 лк, а при освещенностях менее 100—150 лк люминесцентное освещение иногда признавалось менее благоприятным для работы, чем освещение лампами накаливания при такой же освещенности.

Любопытно подсчитать, что залы дворцов, в которых проходили балы в XVIII—XIX столетиях и которые обычно описываются как залитые светом тысяч свечей, в действительности не могли иметь больше мизерной по современным понятиям освещенности 10—30 лк.

Достаточно известно, что поверхности голубых тонов, а также очень темные поверхности воспринимаются как «отступающие», т. е. представляются расположенными дальше, чем в действительности (что иногда ведет к кажущемуся увеличению размеров помещения), красные же тона представляются «выступающими». Некоторые тона, как, например, сине-фиолетовые, производят раздражающее впечатление и способствуют утомлению человека, другие, в частности зеленые, дают противоположный результат. Есть мнение, по-видимому, достаточно обоснованное, что субъективное восприятие человеком таких факторов внешней среды, как температура, шум и даже запахи, в определенной степени зависит от цветности поверхностей, находящихся в поле зрения.

Частным случаем роли спектрального состава излучения источников света в оформлении интерьера помещений является зависимость от него цветности стен и других поверхностей помещения. Принято считать, что цветовой тон

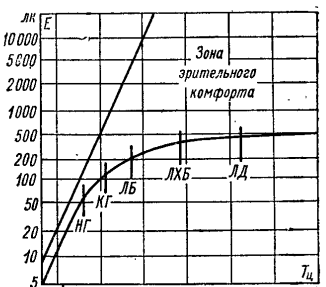


Рис. 1-8. Границы светового комфорта (у засечек указаны типы ламп: ЛГ — накаливания газонаполненная; КГ — кварцевая галогенная; ЛБ — люминесцентная белого света; ЛХБ — люминесцентная холодного-белого света; ЛД — дневного света)

отделка интерьера должен соответствовать цветовому тону излучения ламп, но это правило не является исчерпывающим и в ответственных случаях следует производить пробные выкраски поверхностей при свете тех источников, которые намечается установить в данном помещении.

От источников света чаще всего требуется, чтобы цвета освещаемых ими поверхностей выглядели «правильно», т. е. так же, как при условиях освещения, которые можно считать нормальными. Такими условиями обычно считается естественное дневное освещение.

Известно, что темно-синяя ткань при свете ламп накаливания кажется черной, желтый цветок грязно-белым и т. д. Есть, однако, предметы, которые люди привыкли видеть преимущественно вечерами, при искусственном освещении, и, например, золотые украшения «естественнее» выглядят при свете ламп накаливания, чем при свете люминесцентных ламп.

В тех отраслях промышленности, где производится выбор или проверка цветности поверхностей, в частности во многих цехах текстильной, швейной, меховой, полиграфической промышленности, вопросы цветопередачи имеют большое значение. Не меньшее значение они имеют при освещении музеев и выставок, многих магазинов и т. д. Качество передач цветного телевидения также в сильной степени зависит от цветности освещения.

При преобладании в освещаемых поверхностях определенного цветового тона наиболее важна цветопередача в данной области спектра, в общем случае — по всему спектру.

Для оценки источников света по их цветопередаче получил определенное применение индекс цветопередачи, который упрощенно можно определить как среднюю для многих участков спектра степень соответствия результирующей цветности образца эталонным условиям. Из числа массово применяемых источников света наибольший индекс, около 96, имеют ксеноновые лампы, наименьший — 25 — натриевые лампы высокого давления.

Встречаются случаи, когда в противоположность вышесказанному оправдано сколь угодно низкое качество цветопередачи, но требуется повышение цветовых или яркостных контрастов между деталями и фоном.

Пусть цветовой тон деталей λ_d , а фона λ_f , причем эти значения мало различаются между собой (мал цветовой контраст), а коэффициенты отражения деталей и фона, соответственно ρ_d и ρ_f , также близки друг к другу.

Тогда если $\rho_d < \rho_f$, то контраст будет усилен, когда в падающем свете имеет место возможно меньшее излучение в области λ_d , если же $\rho_d > \rho_f$, то следует иметь минимальное излучение в области λ_f . В подобных случаях не исключается снабжение источников света цветными светофильтрами. Как пример укажем, что желтые цветоделенные отпечатки на белой бумаге (при многоцветной печати в полиграфии) контрастно выделяются при синем свете.

1.5. КАЧЕСТВО ОСВЕЩЕНИЯ

Под качеством осветительной установки в широком смысле понимается совокупность всех ее признаков, включая, конечно, и уровень освещенности. Обычно, однако, термину «качество освещения» придается более узкий смысл, а именно: под ним понимается вся совокупность характеристик осветительной установки, определяющая условия зрительной работы, кроме уровня освещенности.

Характеристики качества освещения имеют не меньшее, а нередко большее значение, чем уровень освещенности, и случается, что при достаточной освещенности осветительная установка оказывается неэффективной или вовсе непригодной именно из-за ее низкого качества в узком смысле слова. В принципе все характеристики качества освещения могут иметь численную оценку, которая в некоторых случаях регламентируется нормами.

Ниже приводится перечень качественных характеристик освещения и указываются способы их улучшения. Отмечается, что часть этих характеристик является взаимосвязанной и нередко одна и та же особенность осветительной установки оказывает влияние на несколько характеристик. В данном параграфе вопрос рассматривается, в основном, применительно к внутреннему освещению; специфике освещения открытых пространств посвящен § 7.5.

Прямая блескость. Находящиеся в поле зрения человека поверхности высокой яркости, в частности источники света и осветительные приборы, могут производить неприятное, дискомфортное ощущение или даже вызывать состояние ослепленности, характеризующееся уменьшением работоспособности. Свойство больших яркостей производить слепящее действие называется блескостью.

В зарубежной литературе иногда различают психологическую блескость, вызывающую только ощущение дискомфорта, и физиологическую блескость, характеризующуюся снижением зрительных функций.

Начиная с первых же редакций отечественных светотехнических норм, в них обращалось серьезное внимание на задачу ограничения блескости, для чего регламентировались наименьшие высоты установки светильников в зависимости от тех или иных их характеристик. С 1971 г. в нормы [1] введены количественные требования к ограничению слепящего действия высоких яркостей путем регламентации показателя ослепленности P — для производственных зданий и показателя дискомфорта M — для общественных зданий.

Показатель P характеризует степень снижения контрастной чувствительности, т. е. соответственно видимости, вызванной наличием в поле зрения высокой яркости, показатель M — снижение субъективно оцениваемой степени зрительного неудобства.

Подчеркивается, что речь идет не о двух разных явлениях, а о разных степенях или формах одного явления. Зона ослепленности, при которой наблюдается

снижение контрастной чувствительности, также может быть охарактеризована соответственно повышенными значениями M , и в принципе для оценки вредного воздействия блескости могла бы быть принята единая характеристика.

Механизм изменения контрастной чувствительности можно представить себе как появление в поле зрения так называемой вуалирующей пелены, снижающей эффективный контраст между деталями и фоном (см. ниже расчет для случая отраженной блескости). Если яркость поля адаптации L_a и яркость вуалирующей пелены β , то показатель ослепленности

$$P = \frac{\beta}{L_a} 10^3.$$

Множитель 10^3 введен для удобства расчетов, так как в практических случаях речь идет о снижении контрастной чувствительности не более чем на 8%.

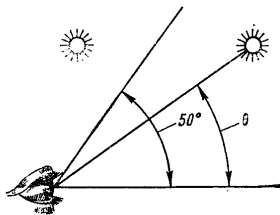


Рис. 1-9. Угол, определяющий положение в поле зрения слепящей яркости

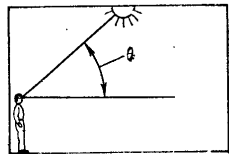


Рис. 1-10. «Естественный» защитный угол

Что касается яркости вуалирующей пелены, то она определяется освещенностью E_z плоскости зрачка и углом θ между осью зрения и направлением на блестящий источник (рис. 1-9):

$$\beta = m \frac{E_z}{\theta^2},$$

где m — коэффициент, зависящий от уровня слепящей яркости.

Из формулы видно, какую важную роль играет угол θ , с увеличением которого ослепленность резко уменьшается, а при $\theta \geq 50^\circ$ — практически прекращается, так как слепящая яркость уже не попадает в поле зрения. Для светильников, имеющих защитный угол γ (§ 2-6, рис. 2-11), наименьший угол θ , под которым лампа может попасть в поле зрения, равен этому защитному углу. В помещениях небольшой площади и достаточной высоты наименьшее значение θ определяется сочетанием размеров помещения, которое создает так называемый естественный защитный угол (рис. 1-10).

Исследованию вопросов ослепленности и дискомфорта посвящено громадное число работ, но вопросы эти столь сложны, что их изучение отнюдь нельзя считать законченным.

Нормирование показателей, характеризующих слепящее действие источников света, не менее, а скорее более сложная задача, чем рассмотренная в § 1-3 задача нормирования освещенности, и так же как последняя, неизбежно требующая волевых решений.

При кажущейся простоте исходных формул расчет этих показателей оказывается очень сложной задачей, которая не может быть рассмотрена в рамках данного руководства.

Дело в том, что слепящее действие одиночного блестящего источника при детальном рассмотрении определяется большим количеством факторов, в числе которых:

- характеристики блестящего источника: яркость, сила света, видимая поверхность в различных направлениях пространства;
- направление осей зрения работающих, которое приходится оценивать условно, учитывая неизбежную подвижность этих осей;
- расположение источника в поле зрения, причем, помимо упомянутого угла θ , имеет значение, хотя и меньшее, азимутальный угол, т. е. смещение источника в боковом направлении;
- уровень и характер распределения яркости во всем поле зрения, что определяется значением освещенности и отражающими свойствами всех поверхностей.

При обычном наличии в поле зрения многих блестящих источников степень слепящего действия должна определяться отдельно для каждого из них, общий же результат должен определяться на основе законов суммирования, не вполне еще изученных.

Все сказанное почти в равной степени относится как к ослепленности, так и к дискомфорту.

При практической невозможности индивидуально рассчитывать степень слепящего действия приходится идти различными путями, как, например:

- регламентировать, как уже сказано выше, наименьшую высоту установки светильников, дифференцируя ее по тем или иным признакам;

- регламентировать, также дифференцированно, габаритную (среднюю по поверхности) яркость блестящих источников по отдельным зонам;

- пренебрегая теми или иными второстепенными факторами и допуская разумные усреднения, составлять более или менее обширные таблицы, ограничивающие область применения светильников этого типа при данной высоте установки и коэффициентах отражения поверхностей определенными отношениями $L : h$ (см. § 2-5).

Уменьшение слепящего действия может быть достигнуто:

- увеличением высоты установки светильников;
- уменьшением яркости светильников путем закрытия источников света светорассеивающими стеклами;

- ограничением силы света в направлениях, образующих значительные углы с вертикалью, путем применения светильников с достаточным защитным углом;

уменьшением мощности каждого отдельного светильника за счет соответствующего увеличения их числа, что, однако, связано с удорожанием установки и усложнением ее обслуживания;

увеличением коэффициентов отражения всех поверхностей, находящихся в поле зрения.

Отраженная блескость. Отраженная блескость является крупнейшим недостатком многих осветительных установок, и принятие мер для ее устранения должно рассматриваться как одна из важнейших задач.

Даже диффузные поверхности при очень больших освещенностях и достаточно высоком коэффициенте отражения могут производить слепящее действие, если размеры таких поверхностей велики. Встречаются случаи, когда для части поверхностей, находящихся в поле зрения, но не являющихся основными рабочими поверхностями, специально выбираются материалы с уменьшенным коэффициентом отражения. Наибольшая опасность возникает при освещении поверхностей, не являющихся диффузными.

В этих случаях, если свет падает на рабочие поверхности таким образом, что глаза работающих находятся на направлении зеркального отражения лучей, то работающие видят либо зеркальное отражение источника света, либо размытое, но очень яркое световое пятно. В обоих случаях может возникнуть состояние ослепленности, чаще же всего уменьшается эффективный контраст между деталями и фоном.

Рассмотрим случай освещения поверхности, например картины в остекленной раме, большой светящей поверхностью при следующих конкретных данных: картина имеет диффузную поверхность со средним значением коэффициента отражения фона 0,4 и деталей 0,2, т. е. характеризуется контрастом (0,4—0,2): 0,4 = 0,5. Коэффициент зеркального отражения остекления 0,08, яркость светящей поверхности 300 кд/м², освещенность картины 100 лк.

Действительная яркость деталей $\frac{100 \cdot 0,2}{3,14} \approx 6,4$ кд/м² и фона 12,8 кд/м², но если светящая поверхность отражается в остеклении, то на обе эти яркости накладывается дополнительная яркость $300 \cdot 0,08 = 24$ кд/м². Сама по себе эта яркость заведомо не является слепящей, но с ее учетом видимая глазу яркость деталей составит около 30 кд/м² и фона 37 кд/м², в результате чего контраст окажется равным $(37 - 30) : 37 = 0,19$, т. е. снизится в $0,5 : 0,19 = 2,6$ раза.

Задача устранения отраженной блескости относительно легко решается при местном и локализованном освещении. В большинстве случаев для этого достаточно выбрать такое расположение светильников, чтобы зеркально отраженные поверхностью лучи не попадали в глаза работающего, т. е. чаще всего осуществить боковое или заднебоковое направление света.

В более редких случаях, когда фон обладает блеском, а детали, будучи темнее фона, не блестят (риски и другие дефекты на металле или пластмассе), может оказаться целесообразным, наоборот, направить зеркально отраженные лучи в глаза работающего, если светящая поверхность имеет большие размеры и малую яркость. Имеется рекомендация применения в таких слу-

чаях светильников с люминесцентными лампами, перекрытых рассеивающим стеклом, однако в светильниках с трубчатыми лампами такое стекло лишь незначительно снижает яркость. Более желательно применение специальных осветителей уменьшенной яркости и увеличенной площади. Применение белого

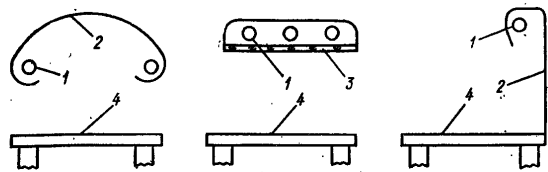


Рис. 1-11. Светящие поверхности увеличенных размеров
1 — лампа; 2 — диффузная отражающая поверхность; 3 — диффузное стекло; 4 — освещаемая поверхность

экрана, светящего отраженным светом, или светильников увеличенных размеров получили некоторое применение (рис. 1-11).

Одной из часто встречающихся задач является ограничение отраженной блескости при освещении вертикальных поверхностей, например электрических щитов или музейных экспозиций. Наблюдения показали, что при рассмотрении этих поверхностей человек выбирает такую позицию, чтобы направление взгляда на верхние точки образывало с горизонтально угол не более 45° (рис. 1-12). Соответственно осветительные приборы должны быть расположены так, чтобы свет на верхние точки рассматриваемых поверхностей падал под углом не менее 45° с нормалью к поверхности.

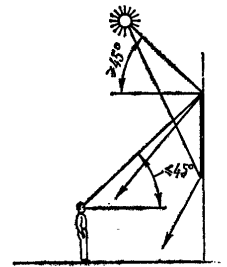


Рис. 1-12. Отраженная блескость при освещении вертикальных поверхностей

При общем освещении отраженная блескость снижается, если стены и потолки имеют достаточную яркость, и сильно уменьшается при отраженном освещении или при освещении светящими потолками. Однако в этом случае отражение светящих поверхностей в освещаемых может привести к образованию «световой дымки», снижающей эффективный контраст между деталями и фоном (см. пример выше).

Некоторые частные задачи ограничения отраженной блескости рассмотрены в гл. 7.

Контраст между деталями и фоном. Уже из ранее сказанного ясно, что контраст между деталями и фоном, в наибольшей степени определяющий условия видимости деталей, не всегда является заданным и может быть увеличен или уменьшен средствами освещения.

Если детали рельефны (шероховатости на поверхности, риски на металле, наколы циркуля на ватмане и т. п.), то контраст между ними и фоном может быть увеличен путем создания при определенном направлении света микротеней. Если детали и фон обладают различными пространственными яркостными характеристиками, т. е. разной степенью блеска в одинаковом направлении, то это также может быть использовано для увеличения контраста. Как пример укажем работу на станках для лощения черной кожи: если свет направлен так, что лучи, зеркально отраженные лощеной частью кожи, не попадают в глаза, то лощеная часть кажется светлее лощеной, в противном же случае она кажется темнее. Здесь, как видим, контраст может менять не только значение величины, но и ее знак.

Одним из эффективных средств для повышения контраста является искусственный фон (чаще всего — светлый). Так, при намотке катушек реле сделать хорошо видимой проволоку между падающей и принимающей катушками легче всего, поместив за проволокой светлый фон. Такой же фон часто приносит пользу при работах, связанных с различением нитей в текстильном производстве. При лекальных работах просвет между деталью и лекалом хорошо просматривается на светлом фоне; так как яркость светильника или лампы велика, для этой цели целесообразно пристроить к светильнику местного освещения специальный экран.

Разновидностью искусственных фонов являются световые столы, на которых поверхности просматриваются в проходящем свете и которые используются при копировке с темных оригиналов, а также при ретушевалых и монтажных работах в фото- и кинотехнике.

Самой собой разумеется, что при определенных условиях могут использоваться не только светлые, но и темные искусственные фоны. Если детали и фон отличаются по цветности, то для увеличения контраста могут использоваться приемы, указанные в § 1-4.

Тени. В технике освещения различаются собственные тени, образованные рельефом поверхности, и тени, падающие от предметов, находящихся вне поверхности: конструкции оборудования, корпус и руки работающего и т. д.

Собственные тени, как уже отмечалось, могут быть во многих случаях полезными. Падающие тени (считая даже, что в затененных местах обеспечена нормированная освещенность) вредны почти всегда, за исключением редких случаев, когда необходимо специально притенить ту или иную поверхность, например, для обнаружения слабых свечений.

Вред падающих теней состоит в том, что они создают в поле зрения ненужный в данном случае контраст, отвлекают внимание, могут привести к тому, что яркость периферийной части поля зрения окажется выше яркости его центральной части и т. д. Поучителен случай, когда на трикотажной фабрике подбор чулок по цвету был крайне затруднен тем, что на часть поверхности чулка падала тень от корпуса работницы, создавая ложный контраст. По вполне понятным причинам особенно вредны движущиеся тени.

32

Если в освещении данной поверхности участвует несколько светильников, то образуются многократные тени. Глубина таких теней, естественно, меньше, чем однократных, но при большом числе светильников могут образоваться особо неприятные «всерные» тени (рис. 1-13).

Так, при освещении чертежно-копирсвальных работ очень хорошие результаты дают поперечные по отношению к направлению осей зрения световые полосы, дающие заднебоковое освещение рабочих столов. В этих полосах устанавливаются сплошные ряды люминесцентных ламп; когда же в них размещались часто установленные лампы накаливания, то вместе с чертежным инструментом перемещался целый веер теней, что очень мешало работе.

Опасность возникновения всерных теней — одна из причин того, что при люминесцентном освещении следует избегать размещения светильников в виде рядов с небольшими разрывами и принимать либо сплошные ряды, либо многоламповые светильники, установленные относительно далеко друг от друга.

Неприятное, отвлекающее воздействие производят также разноокрашенные тени, которые появляются если рабочее место с разных сторон освещается спектрально различными источниками света.

Устранение или ограничение вредных теней в основном осуществляется правильным выбором направления света. Известно, например, что когда человек пишет или чертит правой рукой, он смотрит на рабочую точку слева и с этой же стороны должен падать свет при направленном освещении.

Тени размазываются при увеличении размеров осветительных приборов, смягчаются при обеспечении достаточно высокой яркости стен и потолков и почти исчезают при отраженном освещении, когда, однако, ухудшается различимость рельефных объектов.

Насыщенность помещения светом. Хотя в практике эффективность осветительных установок чаще всего оценивается по значению освещенности горизонтальной поверхности, давно и хорошо известно, что одна только освещенность какой бы то ни было поверхности не определяет впечатления насыщенности светом, которое получает человек. Были предложены и частично получили применение пространственные характеристики освещения, основанные на учете светового потока во всех направлениях, проходящего через данную точку. Из числа подобных характеристик в нормы СССР [1] с 1971 г. для некоторых помещений общественных зданий вошла цилиндрическая освещенность $E_{ц}$. Основываясь на предположении, что эффективность излучений пропорциональна косинусу угла между горизонталью и направлением лучей, это понятие определено как отношение светового потока, падающего на боковую поверхность элементарно малого вер-

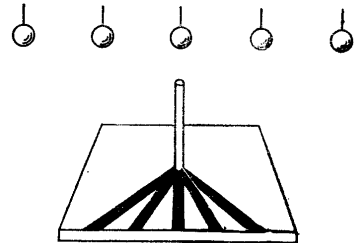


Рис. 1-13. Всерные тени

тикального цилиндра, к площади этой поверхности. Математическое определение $E_{ц}$ имеет вид:

$$E_{ц} = \lim_{d, l \rightarrow 0} \left| \frac{\Phi}{\pi d l} \right|,$$

где d, l — диаметр и высота цилиндра.

Опытами установлено соотношение между значением $E_{ц}$ и впечатлением насыщенности светом, и при характеристике насыщенности как «большая», «повышенная» и «нормальная» установлены, соответственно, значения освещенности $E_{ц}$, равные 150, 100 и 75 лк.

Можно согласиться с тем, что определенный уровень освещенности $E_{ц}$ является необходимым для создания впечатления насыщенности светом, но достаточным он не является. Любое значение $E_{ц}$ может быть достигнуто, например, с помощью светильников, встроенных в черный потолок при плохо отражающих стенах, или же при освещении помещения только с одной из стен. В обоих случаях никакого впечатления насыщенности светом не будет достигнуто. В более общем виде можно сказать, что никаким одним числом не может быть оценено это впечатление.

Яркость вторичных полей адаптации. При достаточной яркости рабочей поверхности одновременное присутствие в поле зрения темных поверхностей помещений (стен и потолков) создает затруднения адаптации. От яркости этих поверхностей также в значительной степени зависит впечатление насыщенности помещения светом, и ту составляющую $E_{ц}$, которая создается светом, отраженным от этих поверхностей, можно считать наиболее (если не единственно) ценной.

Когда в помещении установлены подвесные светильники прямого света, верхняя зона помещения остается темной, что приводит к неприятному эстетическому и даже психологическому впечатлению. Кроме того, при достаточной яркости стен и потолков обеспечивается смягчение теней и ослабление блескости. Таким образом, во всех возможных случаях следует требовать светлой окраски или отделки стен и потолков, а для общего освещения применять светильники, излучающие определенную (желательно не менее 15%) часть светового потока в верхнюю полусферу.

К сказанному надо сделать две оговорки. Во-первых, речь, конечно, не идет о высоких, пыльных цехах, где направленный в верхнюю полусферу поток будет бесполезно теряться. Во-вторых, большую роль в данном вопросе играет уровень освещенности и коэффициент отражения пола и других, низко расположенных поверхностей: чем выше значения этих показателей, тем не только больше абсолютное значение яркости потолка, но и тем меньше контраст между потолком и светящимися поверхностями светильников.

Постоянство освещенности во времени. С некоторой условностью можно говорить о трех формах зависимости освещенности от времени: медленные и плавные изменения, относительно частые колебания и быстрые пульсации.

Медленные изменения могут быть вызваны постепенным изменением сетевого напряжения, а также теми факторами, которые вызывают общее снижение освещенности в процессе эксплуатации

и учитываются коэффициентом запаса. Поскольку во всех случаях предполагается сохранение освещенности на уровне не ниже нормированного, эти изменения не являются вредными.

Одной из возможных причин колебаний освещенности рабочего места являются случайные перемещения светильников, в связи с чем следует ограничивать возможность раскачивания светильников общего освещения, светильники же местного освещения необходимо укреплять так, чтобы они жестко сохраняли положение, придаваемое им в процессе работы.

Более частой и важной причиной колебаний освещенности являются колебания напряжения в сети, порождаемые изменениями нагрузки. На каждый процент изменения сетевого напряжения источники света отвечают изменением в ту же сторону своего светового потока: лампы накаливания — на 3,7%, люминесцентные лампы — на 1%, лампы типа ДРЛ — на 3%. Идеальной была бы такая степень постоянства напряжения, при которой мгновенные изменения светового потока были бы визуально неразличимы, что соответствует амплитуде колебаний напряжения не более 1—1,5%. Практически приходится допускать и большие по амплитуде колебания напряжения, ограничивая их частоту. Нормативные требования по этому вопросу приведены в § 6-1, здесь же отметим, что по данным наших исследований (1975 г.) при частоте около 1 Гц признавались неприятными колебания с амплитудой в пределах 1,1—4,7% (в среднем 2,9%) без определенной зависимости от типа источника света и уровня освещенности. Разброс данных объясняется не только субъективными особенностями подопытных (испытывалось 15 чел.), но и их психофизиологическим состоянием в момент испытаний.

Крайняя неприятность больших и частых колебаний напряжения общезвестна, но интересно, что до сих пор попытки получить объективные характеристики их вредности, в частности обнаружить их влияние на производительность труда, не дали результатов. Возможной причиной этого является недостаточная длительность опытов или тот факт, что не исследовались физиологические показатели, на которые эти колебания могут влиять.

Третий вид изменений освещенности — это пульсации, обусловленные малой инерционностью излучения газоразрядных ламп, световой поток которых пульсирует при переменном токе с удвоенной частотой последнего, т. е. в обычных условиях 100 Гц. Эти пульсации неразличимы при фиксировании глазом неподвижной поверхности, но могут быть измерены специальным прибором и легко обнаруживаются при рассматривании движущихся предметов. Так, если в условиях пульсирующего освещения быстро провести карандашом на контрастирующем фоне, то карандаш представляет ясно видимые многократные контуры. Еще эффективнее пользоваться для этой цели стробоскопическим волчком (рис. 1-14), который можно выполнить из белого картона и на его поверхности нанести радиусы через равные углы. Если при вращении волчка время его перемещения на угол, равный углу между

соседними радиусами, равно периоду пульсаций или в целом число раз меньше его, то волчок покажется остановившимся. При незначительном увеличении скорости волчка он покажется вращающимся в действительном направлении, но очень медленно, при уменьшении скорости — изменившим направление вращения. Все подобные явления известны под названием стробоскопического эффекта. Практическая опасность этого эффекта состоит в том, что вращающиеся части механизмов могут показаться неподвижными и стать причиной травматизма.

Однако пульсации освещенности вредны и при работе с неподвижными поверхностями, вызывая утомление зрения и головную боль. В первые годы применения люминесцентного освещения, когда вред пульсаций недооценивался и для их ограничения не принималось мер, несколько хороших в остальном осветительных установок были скомпрометированы именно из-за пульсаций.

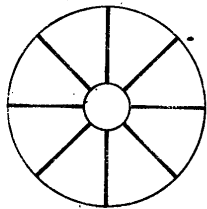


Рис. 1-14. Стробоскопический волчок

Есть основания считать, что к пульсациям особенно чувствительно периферийное зрение и что поэтому они более опасны при общем освещении, чем при местном (при нормировании этот факт не учитывается).

Ограничение пульсаций до безвредных значений достигается равномерным чередованием питания ламп от разных фаз трехфазной сети или равномерным чередованием ламп, питаемых током, отстающим и опережающим по фазе от напряжения; в отдельных случаях применяется питание ламп током повышенной частоты.

Равномерность освещения. Резкое различие яркостей, одновременно находящихся в поле зрения, вызывает неустойчивое состояние адаптационного аппарата; если поверхности различной яркости попадают в поле зрения последовательно, то происходит переадаптация, связанная с временным понижением работоспособности.

Значение этих факторов не следует, однако, переоценивать. Как уже было сказано, при изменении яркости в 5—10 раз переадаптация происходит практически мгновенно. При комбинированном освещении десятикратная разница между освещенностью рабочего места и окружающих поверхностей установлена нормами. Как будет показано дальше, в условиях нормирования наименьшей освещенности поверхностей неравномерность освещения в значительно большей степени ограничивается экономическими, а не гигиеническими соображениями. В случаях когда нормируется средняя освещенность, регламентация неравномерности обязательна, так как иначе при соблюдении заданной средней освещенности нельзя было бы гарантировать инкакого определенного значения освещенности отдельных точек.

Помимо перечисленного, к категории качества освещения, безусловно, относятся вопросы спектрального состава света, особо рассмотренные в § 1-4.

В некоторых случаях для повышения качества освещения применяются различные специальные приемы, трудно поддающиеся классификации. В числе таких приемов могут быть указаны, например, нанесение на большую поверхность излучателя сетки, по местному искажению отражения которой в бракуемой зеркальной поверхности можно судить о дефектах последней, получение увеличенного изображения мелких деталей на специальном экране и т. д.

Из всего сказанного ясно, сколь сложны и многогранны вопросы качества освещения. Учесть их в полном объеме при проектировании и устройстве освещения не всегда удается, и по возможности следует использовать типовые решения, выработанные ведущими исследовательскими и проектными организациями. При отсутствии таких решений в сложных случаях желательно проверять первоначально намеченные решения путем осуществления опытных установок.

ГЛАВА ВТОРАЯ

СВЕТОТЕХНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

2-1. ВЫБОР ОСВЕЩЕННОСТИ

Первые в СССР обязательные нормы освещенности были разработаны в 1928 г. проф. П. М. Тиходевым и утверждены Народным комиссариатом Труда. С того времени нормы многократно пересматривались в сторону повышения, причем одновременно расширялся круг регламентируемых ими вопросов. В настоящее время действуют нормы освещенности СНиП II-4-79 [1] *.

Эти нормы охватывают естественное и искусственное освещение промышленных предприятий, работ на открытом воздухе, общественных и жилых зданий, улиц, дорог и площадей населенных пунктов.

Основные принципы построения норм освещенности с 1928 г. изменились лишь незначительно. За редкими исключениями нормы устанавливают наименьшую освещенность. Это следует понимать так, что во все время нормальной эксплуатации осветительной установки и во всех точках освещаемой поверхности освещенность не должна быть ниже установленных нормами значений. Вместе с тем произвольное увеличение освещенности сверх этих значений не должно допускаться.

В дальнейшем, для краткости, нормы [1] будем называть «нормами СНиП» или просто «СНиП».

Нормы промышленного освещения построены на основе классификации работ по определенным количественным признакам. Ведущим признаком, определяющим разряд работ, является наименьший размер различаемых деталей, что при расчетном расстоянии до глаз 0,5 м определяет их угловой размер. При размере деталей менее 0,15 мм работы относятся к разряду I, при больших размерах — соответственно к разрядам II—VI, причем последний разряд относится к работам, при которых различаются детали более 5 мм.

Каждый разряд разбит на 4 подразряда (от «а» до «г») в зависимости от коэффициента отражения фона и контраста между деталями и фоном. Разряд VI подразрядов не имеет. Для остальных, низших, разрядов дается лишь словесная характеристика работ. К разряду VII, в частности, относятся работы с самосветящимися поверхностями. Здесь относительно высокая освещенность необходима для уменьшения контраста между деталями и фоном, без чего первые могут стать слепящими (достаточно вспомнить, что светящая нить лампы накаливания на фоне снега, освещенного солнцем, почти не видна).

Разряд VIII относится к работам, где требуется лишь общее наблюдение за производственным процессом.

Для высших разрядов, до Vб включительно, устанавливаются различные значения освещенности в зависимости от того, применяется ли система общего или комбинированного освещения (см. § 2-2). Как было сказано, нормы освещенности могут рассматриваться как компромисс между желаемым и возможным, при комбинированном же освещении легче создать высокие освещенности, чем при общем, тем более, что материальные затраты на устройство местного освещения мало зависят от уровня освещенности. Есть и другая причина: хотя при комбинированном освещении относительно легче выполнить некоторые специальные требования к качеству освещения, в гигиеническом отношении оно несколько хуже, чем общее, что и компенсируется повышением норм освещенности.

Основные нормы СНиП относятся к установкам с газоразрядными источниками света, для случая же применения ламп накаливания устанавливаются пониженные значения освещенности. Это опять-таки объясняется тем, что при малоэкономичных лампах накаливания компромисс между желаемым и возможным наблюдается при меньших освещенностях. Вторая причина, имеющая место в основном для работ низших разрядов, — это сумеречное впечатление, которое производит люминесцентное освещение при низких освещенностях.

Некоторые нормы СНиП для освещения производственных помещений приведены в табл. 2-1.

Дополнительные факторы, имеющие значение при выборе освещенности, было бы сложно включить в таблицу, и они учитываются особо: при их наличии выбранная по нормам освещенность понижается или повышается на одну ступень.

Таблица 2-1

Характеристика зрительной работы	Наименьший размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Фон	Освещенность, лк	
						комбинированное освещение	общее освещение
Наивысшая точность	Менее 0,15	I	а	Малый	Темный	5000	1500
			б	Малый, средний	Средний, темный	4000	1250
			в	Малый, средний, большой	Светлый, средний, темный	2500	1000
			г	Средний, большой	Светлый, средний	1500	400
Грубая (очень малой точности)	более 5	VI	—	Независимо от характеристики фона и контраста объекта с фоном	—	150	
Общее наблюдение за ходом производственного процесса: постоянное	—	VIII	а	Независимо от характеристики фона и контраста объекта с фоном	—	75	
			б	То же	—	50	
			в	»	—	30	

периодическое, при постоянном пребывании людей в помещении

периодическое, при периодическом пребывании людей в помещении

пень (шкала стулени для внутреннего освещения: 5—7—10—20—30—50—75—100—150—200—300 лк и т. д.). К повышающим факторам относятся: удаленность рабочей поверхности от глаза до 1 м (при больших расстояниях применяется особая таблица), непрерывный характер работы, повышенная опасность травматизма, повышенные санитарные требования, отсутствие или недостаточность естественного освещения, предназначенность помещения для работы или обучения подростков. Понижающими факторами являются кратковременность пребывания людей в помещении и наличие оборудования, не требующего постоянного наблюдения. Нормами предусмотрен определенный порядок совместного учета этих признаков.

В таблице норм освещенности для работ, выполняемых вне зданий, характеристикой разрядов являются только угловые размеры различаемых деталей. Эти нормы даются только для системы общего освещения и сохраняются неизменными при любых источниках света. Для дорог и проездов на территории предприятий нормы устанавливаются в зависимости от назначения освещаемого объекта. О нормах освещения населенных пунктов см. в § 7-5.

Для выбора освещенности по основной таблице СНиП надо знать характеристики рабочего процесса, но даже такое знание не всегда позволяет уверенно выбрать разряд и подразряд работы. Если при лабораторных исследованиях легко воссоздать работы с точно известными характеристиками, то на практике это далеко не так. В процессе одной и той же операции фактически приходится различать детали разных угловых размеров, резко контрастирующие с фоном, и чем более дифференцированы нормы, тем труднее ими пользоваться.

Поэтому нормы СНиП в основном используются как первоисточник для составления отраслевых норм или ведомственных рекомендаций, которые содержат значения освещенности и других характеристик освещения уже для конкретных помещений и рабочих мест. При составлении этих «вторичных» документов допускаются, по согласованию с утверждающими инстанциями, и отдельные отступления от норм СНиП, если работа имеет особенности, не учтенные последними. В практике проектирования, эксплуатации и надзора используются почти исключительно вторичные документы.

Уже и в самих нормах СНиП содержатся таблицы, устанавливающие освещенность для производственных помещений и участков открытых пространств «поименно», в дальнейшем же предполагается включить в состав СНиП нормы освещенности для типичных рабочих поверхностей всех отраслей промышленности.

Нормы освещенности для производственных помещений содержатся в Инструкции по проектированию электрооборудования общественных зданий массового строительства ВСН 19-74 [4].

Нормирование освещенности для производственных помещений как в СНиП так и в ВСН 19-74 имеет некоторые особенности. Освещенность устанавливается только для системы одного общего освещения, которое здесь является основным, хотя в некоторых случаях может дополняться местным освещением (см. § 2-2). Значения освещенности указаны только для освещения газоразряд-

ными лампами, но отмечена возможность понижения их на две ступени при использовании ламп накаливания.

Сколько бы обширной и авторитетной ни была документация, посвященная нормированию освещения, ее не следует считать исчерпывающей. Можно только приветствовать критическую оценку норм в процессе эксплуатации установок, а также в отдельных случаях установление целесообразного значения освещенности путем индивидуальных исследований.

В последнее время в практику нормирования и устройства осветительных установок внедряется термин **совмещенное освещение**, требования к которому отражены в последней редакции норм СНиП.

Совмещенное освещение — освещение, при котором недостаточное по нормам естественное освещение дополняется **искусственным**, т. е. искусственное освещение функционирует и в светлое время суток.

Нормы как естественного, так и совмещенного освещения содержат требования к значению коэффициента естественной освещенности (КЕО), под которым понимается отношение естественной освещенности в данной точке помещения и в данный момент времени к освещенности в тот же момент под полностью открытым небосводом.

В строительном отношении обеспечение нормированных значений КЕО часто оказывается затруднительным. В нормах допускается предусматривать совмещенное освещение в производственных помещениях, где выполняются работы I и II разрядов; где по условиям технологического процесса, организации производства или климата требуются объемно-планировочные решения, которые не позволяют обеспечить нормированных значений КЕО, а также для отдельных сооружений ряда отраслей промышленности, утвержденных в установленном порядке.

Совмещенное освещение допускается предусматривать в помещениях жилых, общественных и вспомогательных зданий, когда это требуется в строительном отношении. Нормы запрещают применение совмещенного освещения для жилых комнат, помещений для пребывания детей, учебных помещений, палат лечебных и профилактических заведений и т. п.

При выполнении совмещенного освещения искусственное освещение должно выполняться источниками света, спектр которых настолько возможно по условиям среды приближен к спектру естественного света. Требования, предъявляемые к искусственному освещению, — общие для всех случаев и выбираются в соответствии с требованиями соответствующих разделов СНиП.

Поскольку нормированные значения освещенности должны быть обеспечены во все время нормальной эксплуатации установок, а ряд причин вызывает постепенное уменьшение освещенности, начальная освещенность должна быть больше нормированной, а именно равна последней, умноженной на коэффициент

запаса k , значения которого также регламентированы СНиП. Этот коэффициент учитывает снижение потока источников света к концу срока службы, загрязнение светильников, старение последних, т. е. ухудшение характеристик, не восстанавливаемое очисткой, и снижение коэффициентов отражения стен и потолков помещений. Общий признак этих факторов — их монотонное уменьшающее воздействие на освещенность в ходе времени. Другие факторы, не отвечающие этому признаку, или не учитываются, или по возможности исключаются, или учитываются особо. Так, не учитываются кратковременные отклонения напряжения, длительные же отклонения должны или устраняться, или учитываться принятием при расчете уменьшенного потока ламп; замутнение атмосферы некоторых цехов может учитываться отдельным коэффициентом и т. д.

Необходимый коэффициент запаса зависит от количества и характера пыли в воздухе, степени старения данного типа источников света (в связи с чем для газоразрядных ламп коэффициент запаса повышается), типа светильников, и, конечно, периодичности очистки последних. При установлении нормативных значений коэффициента запаса сопоставляется стоимость очистки при разной ее частоте и затраты, связанные с увеличением значений k , так что последние, в принципе, должны соответствовать оптимальному режиму эксплуатации.

В зависимости от указанных обстоятельств значение k обычно принимается в пределах 1,3—2. Не оправдано излишнее дифференцирование значений k , так как влияющие на него факторы известны лишь приближенно и поскольку самые нормы освещенности не могут быть обоснованы с высокой точностью.

2.2. СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ

Задача освещения помещения и находящихся в нем рабочих мест может быть решена путем устройства или общего освещения, или комбинированного освещения, т. е. совокупности общего и местного освещения.

Общим называется освещение, светильники которого освещают всю площадь помещения, как занятую оборудованием и рабочими местами, так и вспомогательную, местным — освещение, предназначенное только для определенного рабочего места и не создающее необходимой освещенности даже на прилегающих к нему площадях.

Устройство одного только местного освещения запрещено нормами: не говоря уже о том, что практически всегда необходимо осветить не только зону непосредственной работы, но и примыкающие к ней площади, при одном местном освещении затрудняется работа глаза, в поле зрения которого оказываются значительные контрасты. Исследованиями показано, что при неизменной суммарной освещенности рабочего места увеличение, в известных

пределах, доли освещенности, создаваемой общим освещением, ведет к повышению производительности труда и уменьшению утомления.

Нормы предъявляют следующие требования к освещенности, создаваемой общим освещением в системе комбинированного освещения.

В помещениях, имеющих естественное освещение, общее освещение в системе комбинированного должно создавать на рабочих поверхностях 10% освещенности, установленной нормами для комбинированного освещения, и, кроме того, эта освещенность должна быть не менее 150 лк при газоразрядных лампах и не менее 50 лк при лампах накаливания. Не требуется создавать общим освещением более 500 лк при газоразрядных лампах или 100 лк при лампах накаливания. В производственных помещениях с постоянным пребыванием работающих при отсутствии в них естественного освещения доля общего освещения в системе комбинированного приведена в табл. 2-2 [1].

Таблица 2-2

Разряд зрительной работы	Освещенность, лк, от светильников общего освещения в системе комбинированного	
	при газоразрядных лампах	при лампах накаливания
Ia	750	300
Iб, IIa	600	300
Iв, IIб	500	300
Iг	300	200
IIв, IIIa	400	300
IIIг, IIIб, IIIв, IIIг, IV Va, Vб	200	150

Приведенные значения вычисляются от освещенности, нормированной для тех источников света, которые применены для местного освещения.

Пусть, например, в помещении с естественным освещением выполняются работы разряда IIв и местное освещение выполняется лампами накаливания. Нормы комбинированного освещения составляет 2000 лк, откуда 10% составит 200 лк. Если общее освещение выполняется газоразрядными лампами, то принимается именно это значение если же освещение выполняется лампами накаливания, то учитывается, что освещенность может не превышать 100 лк.

Выбор между устройством одного общего или комбинированного освещения — достаточно сложная задача, решение которой всегда очевидно и должно основываться на учете ряда факторов: физиологических, физиологигиенических, экономических, конструктивных и даже социальных.

Некоторые, преимущественно работники умственного труда, иногда высказываются в пользу одного местного освещения, которое позволяет им лучше сосредоточиться на работе. Психологически это понятно, но тем не менее вредно для зрения и не должно допускаться. Когда при реконструкции освещения некоторых библиотек, имевших ранее только местное освещение, устраивалось одно общее освещение, читатели быстро привыкали к нему и признавали его преимущество.

Устройство в помещении, где работает много людей, одного общего освещения, психологически подчеркивает единство коллектива, напротив, светильники местного освещения, установленные над столиками в ресторане, как бы отделяют данную группу людей от всех остальных.

Свойственная одному общему освещению относительная равномерность распределения яркости в поле зрения гигиенически имеет положительное значение, но получение очень высоких освещенностей при общем освещении затруднительно. Одним из основных достоинств местного освещения является возможность легко удовлетворить некоторые специфические требования к качеству освещения, например получить определенное или изменяемое по ходу работы направление света.

При общем освещении обычно не встречается затруднений ограничения пульсации освещенности на рабочем месте в случае применения газоразрядных ламп, питаемых переменным током, при местном же освещении для этого обязательно применение двухламповых светильников (при токе промышленной частоты).

Нередко недостатком местного освещения оказывается загрязнение светильником рабочей зоны, а при использовании ламп накаливания — также нагрев головы работающего тепловой радиацией.

Массовых опросов рабочих о том, какую систему освещения они предпочитают, насколько известно, не производилось, но есть основания утверждать, что если система одного общего освещения удовлетворяет всем требованиям в отношении уровня освещенности и качества освещения, то она получает высокую оценку, вплоть до того, что даже имеющиеся светильники местного освещения не используются.

В экономическом отношении вопрос также не имеет единого решения. Обычно при комбинированном освещении расход энергии меньше, чем при одном общем, так как высокая освещенность создается в пределах небольших площадей, но показатели в значительной мере зависят от плотности расположения рабочих мест.

Пусть, например, работа в помещении относится к разряду IIIб. При одном общем освещении газоразрядными лампами необходима освещенность 300 лк, для чего при определенном типе светильника и размерах помещения потребна удельная мощность 16 Вт/м². При комбинированном освещении общее освещение может быть снижено до 150 лк (8 Вт/м²), но на каждом рабочем месте устанавливаются лампы накаливания 40 Вт. Легко подсчитать, что в обоих вариантах установленная мощность будет одинаковой, если на каждое рабочее место приходится площадь 5 м².

При большей плотности рабочих мест энергетически выгоднее одно общее освещение.

Первоначальные затраты обычно выше при системе комбинированного освещения, так как стоимость устройства общего освещения снижается в меньшей степени, чем значение освещенности, стоимость же оборудования местного освещения (светильники, трансформаторы) довольно высока.

Нормы СНиП в отношении выбора системы освещения ограничиваются рекомендацией применять, как правило, систему комбинированного освещения для работ разрядов от I до Vб включительно, допуская обоснованные исключения.

Предпочтение авторами СНиП комбинированного освещения в известной степени субъективно и объясняется тем, что они преимущественно изучали работы с повышенными требованиями к качеству освещения. Действительно, при наличии таких требований и при невозможности удовлетворить их в системе одного общего освещения обязательность применения комбинированного освещения не может оспариваться, в остальных же случаях, даже для работ указанных разрядов, причинами для устройства одного общего освещения могут быть:

- доказанная экономическая предпочтительность одного общего освещения;
- большие размеры освещаемых поверхностей, делающие целесообразным применение общего локализованного освещения;
- неблагоприятные условия среды в помещении и, в частности, в рабочей зоне; этот фактор может иметь значение, так как сортament светильников общего освещения в отношении пригодности их при различных условиях среды значительно шире, чем сортament светильников местного освещения;
- конструктивная трудность или невозможность установки светильников непосредственно у рабочих мест;
- эстетические соображения.

В духе вышесказанного трактуется вопрос и в Инструкции по проектированию силового и осветительного электрооборудования производственных предприятий СН 357-77 [5].

В ряде случаев выбор системы освещения предпринимается тем, что технологическое оборудование поставляется заводами-изготовителями уже укомплектованным устройствами местного освещения, как это имеет место, в частности, в отношении металлообрабатывающих станков. В этих случаях имеется возможность подойти к конструированию системы местного освещения с наибольшей глубиной и создать рациональное типовое решение.

В помещениях, где выполнение основных работ предусматривается при одном общем освещении, могут встретиться единичные поверхности, для которых необходимо местное освещение. Так, для щитов с приборами и аппаратурой, установленных в электропомещениях, обычно предпочитается общее освещение, при установке же подобных щитов в цехе часто оказывается, что общее освещение цеха не обеспечивает необходимой освещенности на вертикальной поверхности щита и здесь необходимо местное освещение.

В помещениях конторского или лабораторного характера для общего освещения нормируется освещенность, обеспечивающая нормальные условия работы, но здесь могут встретиться отдельные рабочие места, либо неудачно расположенные по отношению

к светильникам общего освещения (стол стоит в углу и на него падает тень от корпуса работающего), либо выделяющиеся сложностью зрительной задачи (титровальные работы в лаборатории, разбор старинных манускриптов в библиотеке). Для подобных работ также необходимо местное освещение. Во всех указанных случаях местное освещение называется дополнительным и его наличие не налагает каких-либо требований на освещенность от общего освещения.

Разновидностью местного освещения является так называемое переносное (устаревший термин — ремонтное) освещение, осуществляемое ручными, переносными или переставными светильниками, включаемыми через контактные разъемные соединения.

Во многих случаях, особенно в автоматизированных цехах, нормальная работа на станках требует меньшей освещенности, чем работы, выполняемые при наладке. Крупное технологическое оборудование часто имеет внутренние полости, недоступные для общего освещения, так что при их осмотре приходится пользоваться ручными светильниками. Они необходимы также при некоторых разметочных, формовочных и других работах. В помещениях, имеющих бункеры, чаны, отстойники и прочие производственные емкости, для их освещения не всегда может быть применено постоянное встроенное освещение и часто их осмотр производится при переносном освещении.

При проектировании устройство переносного освещения имеет, помимо прочего, так называемое «страховочное» значение: если определено известно, что та или иная поверхность требует усиленного освещения, то следует освещать ее постоянными светильниками, если же такой определенности нет, то предусмотренное «на всякий случай» контактное разъемное соединение может быть использовано для присоединения не только переносных, но и стационарных светильников местного освещения.

В результате всего сказанного устройство переносного освещения можно считать необходимым в цехах и других помещениях, где имеется механическое или электрическое оборудование или же производственные емкости, а также там, где работы, хотя бы и немеханизированные, могут потребовать временного усиления освещенности. Следует, однако, отметить исключения: так, встречаются цехи, в которых для основной работы необходима высокая освещенность от общего освещения, оборудование же не имеет полостей, недоступных общему освещению, что делает такое освещение достаточным для выполнения всех работ по обслуживанию оборудования.

Нормальной считается длина шлангового провода ручных светильников 10 м, что, как правило, должно учитываться при размещении контактных разъемных соединений. Однако в пролетах большой ширины с учетом нежелательности установки разъемных соединений в полу приходится ориентироваться на неизбежное увеличение радиуса действия разъемных соединений (уточнено в Инструкции [5]). В галереях и туннелях при длине их

не более 40 м допускается установка контактных разъемных соединений только по концам.

В цехах с технологическими печами (мартеновские печи, печи для обжига или сушки материалов и т. п.) и в некоторых других случаях при ремонте одновременно используется несколько переносных светильников или даже временно устанавливаются многоламповые гирлянды; в таких случаях устанавливаются блоки контактных разъемных соединений или специальные подключательные пункты.

Помещения, в которых имеется переносное освещение, не считаются оборудованными комбинированным освещением.

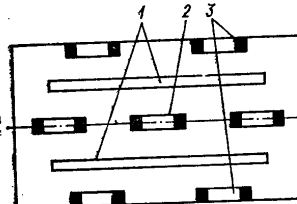


Рис. 2-1. Локализованное освещение электроцехового помещения
1 — цех; 2 — подвесные светильники;
3 — настенные светильники

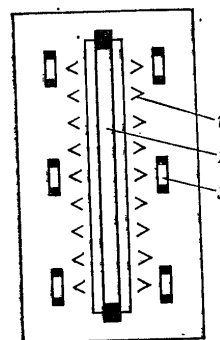


Рис. 2-2. Освещение работ у конвейера
1 — рабочие места; 2 — светильники освещения конвейера; 3 — светильники общего равномерного освещения

Общее освещение, в том числе устраиваемое в системе комбинированного освещения, может быть равномерным или локализованным. Иногда последнее определяют как общее освещение с несимметрично расположенными светильниками. Так, например, установленные вдоль одной из стен помещения и направленные на подоконник для создания отраженного освещения зеркальные лампы расположены несимметрично, но такое освещение можно признать равномерным. Наоборот, ряды светильников полусферического светораспределения, симметрично расположенные над проходами между рядами чертежных столов, скорее всего следует считать локализованным освещением.

Таким образом, определяющим признаком локализованного освещения надо признать распределение светового потока источников света с учетом расположения рабочих мест и требований, предъявляемых к их освещению.

Характерными схемами устройства локализованного освещения являются:
1. Индивидуальный выбор расположения светильников или их групп с учетом расположения рабочих мест, а также с учетом необходимости создать хотя бы в значительную освещенность по всей площади помещения. Так, на рис. 2-1 светиль-

ники, установленные перед распределительным щитом, размещены так, чтобы создать необходимую освещенность на вертикальной поверхности щита и исключить зеркальное отражение света в направлении глаз работающих, а светильники за щитом, на стене, хорошо освещают заднюю поверхность щита. Но одновременно первые светильники освещают вспомогательные площади помещения, а вторые — проход за щитом.

2. Устройство общего равномерного освещения в качестве как бы фона, к которому добавляются светильники для определенных рабочих мест. На рис. 2-2, кроме равномерно расположенных светильников, освещающих всю площадь помещения, показан ряд светильников, установленных на уменьшенной высоте и предназначенных для освещения рабочих мест, расположенных вдоль конвейера.

3. Увеличение или уменьшение мощности светильников или высоты подвеса части симметрично расположенных светильников.

В некоторых случаях помещение, не разделенное перегородками, имеет четко разграниченные участки разного назначения: станочные и сварочные, сборочные и складские и т. д. В таких случаях освещение может быть равномерным в пределах каждой части, но локализованным для помещения в целом. В подобных случаях следует, однако, в возможных пределах сохранять единство решения для помещения в целом, в частности выдерживать для всего помещения определенные продольные ряды светильников, изменяя лишь расстояния между светильниками в ряду или мощности ламп.

Создавая, как правило, повышенное качество освещения и будучи экономичнее, чем равномерное освещение, локализованное освещение почти всегда предпочтительнее (в том числе в системе комбинированного освещения) и отказ от него оправдан лишь в следующих случаях:

1) при вероятных в процессе эксплуатации перепланировках оборудования;

2) при возможности выполнения однотипных работ по всей площади помещения без определенных при этом требований к направлению света;

3) для проходных и вспомогательных помещений;

4) при необходимости в силу эстетических соображений иметь равномерное расположение по всей площади помещения светильников одного типа и мощности, например в большинстве помещений общественных зданий и административно-бытовых корпусов.

2.3. ВИДЫ ОСВЕЩЕНИЯ

Освещение, нормально функционирующее в помещениях или на открытых пространствах, называется рабочим. Во многих случаях аварийное отключение этого освещения по тем или иным причинам может вызвать нежелательные, а то и недопустимые последствия, и возникает необходимость кроме рабочего освещения иметь также аварийное или эвакуационное.

В зависимости от характера освещаемого объекта это освещение согласно нормам должно служить различным целям:

1. Обеспечить безопасное пребывание людей в помещении (или на участке территории) или их безопасную эвакуацию. Для этого во всех случаях должны быть освещены проходы в помещении, а для эвакуации людей из здания — также все пути движения по направлению к основным и запасным выходам, причем (в нормах нет такого требования для всех случаев) все промежуточные и выходные двери должны быть отмечены сигнальными фонарями или освещенными знаками.

Этот вид аварийного освещения называется аварийным освещением для эвакуации людей. Нормы требуют, чтобы в этом случае по линиям проходов была обеспечена освещенность не менее 0,5 лк в зданиях и 0,2 лк на открытых пространствах.

2. Обеспечить возможность временного продолжения работы или хотя бы доведения ее до определенного состояния. Этот вид освещения, т. е. аварийное освещение для продолжения работы, должен создавать на рабочих поверхностях 5% освещенности, нормируемой для рабочего освещения, при системе общего освещения, но не менее 2 и не более 30 лк в зданиях и, соответственно, 1 и 5 лк на открытых пространствах. Эти значения достаточны, так как при них для большинства зрительных задач видимость уже существенно больше единицы, а об остальных функциях зрения при кратковременном режиме можно не беспокоиться.

Намечается в дальнейшем для первого из указанных видов аварийного освещения принять термин «освещение безопасности», для второго же — сохранить термин «аварийное освещение».

Эвакуационное аварийное освещение в зданиях или на открытых пространствах должно устраиваться во всех случаях в местах, опасных для прохода людей (в том числе — из-за продолжения работы производственного оборудования), по путям эвакуации людей из зданий, где одновременно находится более 50 чел., во всех производственных помещениях с числом работающих более 50 чел., в непроизводственных помещениях, где одновременно находится более 100 чел., и на лестницах жилых домов высотой 6 и более этажей.

Разрешается не устраивать стационарного аварийного освещения и заменять его переносными светильниками с автономными источниками питания в одноэтажных зданиях площадью застройки не более 250 м² при отсутствии в них взрывоопасных помещений.

Аварийное освещение для продолжения работы должно устраиваться в зданиях и на открытых пространствах, если прекращение нормального обслуживания оборудования из-за погасания рабочего освещения может вызвать взрыв, пожар или отравление людей, длительное нарушение технологического процесса, нарушение работы жизненно важных центров городов и предприятий (узлы связи, объекты электро- и водоснабжения, центральные диспетчерские пульты и т. п.), опасность травматизма в местах большого скопления людей, нарушение нормального обслужи-

вания больных в операционных блоках, кабинетах неотложной помощи и приемных покоях.

Некоторых пояснений требует формулировка «длительное нарушение технологического процесса». Даже при ручных, немеханизированных работах каждый перерыв в работе ведет к недоотпуску продукции, но здесь имеется в виду другое, а именно случаи, когда перерыв в действиях персонала ведет к прекращению нормального хода процесса на время, существенно превышающее допустимую длительность этого перерыва, крупному браку, порче оборудования или сырья и т. д. Подобные обстоятельства имеют место во многих цехах металлургической, химической и некоторых других отраслей промышленности.

При достаточной четкости нормативных формулировок они не могут все же дать для всех случаев однозначное решение и поэтому конкретизируются и дополняются в отраслевых нормах. Одним из определяющих признаков необходимости устройства аварийного освещения является отнесение силовых электроприемников к первой или особой категориям по степени надежности электроснабжения, что требует обеспечить равную степень надежности и их освещения.

Необходимость установки сигнальных фонарей у выходов предусмотрена нормами только для зрелищных предприятий, для производственных помещений без естественного освещения площадью более 150 м² и других помещений, где могут одновременно находиться более 100 чел.

Бесспорно, что сигнальные фонари должны выделяться своей цветностью, однако какой именно должна быть их цветность, не вполне ясно. Прежние редакции нормативных документов и некоторые зарубежные материалы указывают на зеленый цвет, как символизирующий свободный путь, однако в практике, например, зрелищных предприятий преобладает красный цвет, менее других нарушающий состояние темновой адаптации.

Аварийное освещение только тогда оправдывает свое назначение, когда его питание электроэнергией в достаточной степени резервировано (см. § 5-2). В этой связи надо отметить, что никакое резервирование питания рабочего освещения не устраняет необходимости устройства аварийного освещения, так как авария может возникнуть в низших, обычно нерезервированных, звеньях сети рабочего освещения (щитки и групповые сети).

Одним из наиболее надежных решений является применение для аварийного освещения светильников с автономным питанием, т. е. имеющих встроенную аккумуляторную батарею. Такие светильники широко распространены за рубежом. Светильники аварийного освещения должны функционировать во все время действия рабочего освещения либо автоматически включаться при аварийном отключении последнего.

В большинстве случаев в помещениях устраивается какой-либо один вид аварийного освещения. Если оно предназначено для продолжения работы, то прежде всего должна быть обеспечена освещенность рабочих поверхностей путем установки светильников равномерного, локализованного или местного освещения; при размещении светильников должна быть учтена необходимость освещения также проходов. Эвакуационное освещение может быть ограничено установкой светильников только по линиям проходов.

Встречаются, однако, случаи, когда в пределах даже одного помещения устраиваются две отдельные сети аварийного освещения. В основном это имеет место для объектов, особая ответственность которых требует для резервирования питания аварийного освещения так называемого третьего независимого источника энергии, а последний имеет ограниченную мощность (местная аккумуляторная батарея) или территориально удален. В подобных случаях кроме обычного аварийного освещения устанавливается минимальное число маломощных светильников, автоматически включаемых в аварийном режиме.

В зданиях без естественного освещения, в помещениях, где может находиться одновременно более 100 чел., Правила устройства электроустановок (ПУЭ) [6] требуют, чтобы независимо от наличия аварийного освещения для продолжения работы по основным проходам предусматривалось эвакуационное освещение, автоматически переключаемое на третий внешний или местный независимый источник энергии.

Для аварийного освещения предпочтительно использование тех же источников света, которые применены для рабочего освещения, вообще же могут применяться любые источники, безусловно надежные в данных условиях и обеспечивающие быстрое перезажигание при мгновенных перерывах питания, происходящих при коммутационных операциях. Соответственно этому лампы накаливания могут применяться во всех случаях, газоразрядные лампы — только при условии питания их в том режиме, в котором они должны быть включены, т. е. переменным током напряжения не ниже 90% номинального, причем лампы ДРЛ и ДРИ — только в специальных схемах, обеспечивающих быстрое перезажигание.

Для аварийного освещения могут устанавливаться либо дополнительные светильники, либо может использоваться часть светильников рабочего освещения. Сравнительная экономичность обоих вариантов зависит от того, производится ли в помещении круглосуточная работа и какова мощность ламп рабочего освещения.

Дело в том, что для создания относительно небольших освещенностей, установленных для аварийного освещения, достаточны относительно маломощные, редко расположенные светильники. Светильники рабочего освещения обычно значительно мощнее, но, как следует из теории выигранный расположения светильников, расчетное расстояние между светильниками не увеличивается пропорционально мощности ламп и в случае использования для аварийного освещения части светильников рабочего освещения общая мощность аварийного освещения существенно возрастает.

Покажем это на примере. Светильники типа ППР-100, установленные на высоте 5 м, обеспечивают освещенность 0,5 лк при коэффициенте запаса 1,5, если расстояние между соседними светильниками составляет 20 м. Если для рабочего освещения применены светильники УПД с лампами 500 Вт, то для создания той же освещенности они должны быть установлены на расстоянии 30 м, так что мощность на единицу длины возрастает с 5 до 17 Вт.

Наличие дополнительных светильников аварийного освещения практически не позволяет уменьшить мощность рабочего освещения, и мощность аварийного освещения также оказывается

дополнительной. В результате в варианте дополнительных светильников несколько возрастает общая мощность ламп в помещении, в варианте же выделенных светильников возрастает мощность аварийного освещения.

Принято считать, что аварийное освещение функционирует во все темное время суток, включая нерабочее время. Отсюда вытекает рекомендация устанавливать дополнительные светильники только в зданиях с некруглосуточной работой, а в остальных случаях — для рабочего освещения используются лампы накаливания мощностью не более 150 Вт или люминесцентные лампы мощностью 80 Вт.

Установка для аварийного освещения дополнительных светильников необходима также в случаях, когда источники света, принятые для рабочего освещения, не могут быть использованы для аварийного освещения, например, когда последнее включается только в аварийном режиме, или когда оно питается от источников ограниченной мощности, или когда различны напряжения сетей рабочего и аварийного освещения.

Если светильники эвакуационного освещения выделены из числа светильников рабочего освещения и в помещении производятся круглосуточные работы, а источник питания аварийного освещения не лимитирован по мощности и не слишком удален, то увеличение мощности аварийного освещения не ухудшает экономических показателей установки. В этом случае для сети аварийного освещения часто выделяется большее число светильников, чем нужно для создания освещенности 0,5 лк, и освещенность доводится до уровня, соответствующего аварийному освещению для продолжения работы и даже выше. Это, конечно, не обязывает осуществлять соответствующее последнему виду аварийного освещения резервирование питания.

В таких случаях, а также если аварийное освещение предназначается для продолжения работы, практикуется выделение на сеть аварийного освещения целых рядов светильников, нормально осуществляющих функции рабочего освещения. При этом исключается необходимость прокладки по общей трассе двух групповых линий: рабочего и аварийного освещения. Если в этом случае для рабочего освещения применены лампы, не обеспечивающие быстрого перезажигания, то, за исключением особо ответственных случаев, можно считать допустимым присоединение к групповым линиям аварийного освещения дополнительных светильников с лампами накаливания, которые на время перезажигания ламп (для широко применяемых ламп ДРЛ и ДРИ время составляет около 10 мин) обеспечивают освещенность, соответствующую хотя бы требованиям к эвакуационному освещению.

На рис. 2-3 показаны характерные схемы устройства аварийного освещения: дополнительные светильники (а); светильники, выделенные из числа рабочих (б); выделенные на сеть аварийного освещения целые ряды светильников рабочего освеще-

ния (в); установка в этих рядах дополнительных светильников с лампами накаливания (кружки с крестиками на схеме рис. 2-3, г).

Охранное освещение заводских и других территорий и дежурное освещение помещений, строго говоря, не являются видами освещения, но с некоторой условностью могут рассматриваться как таковые.

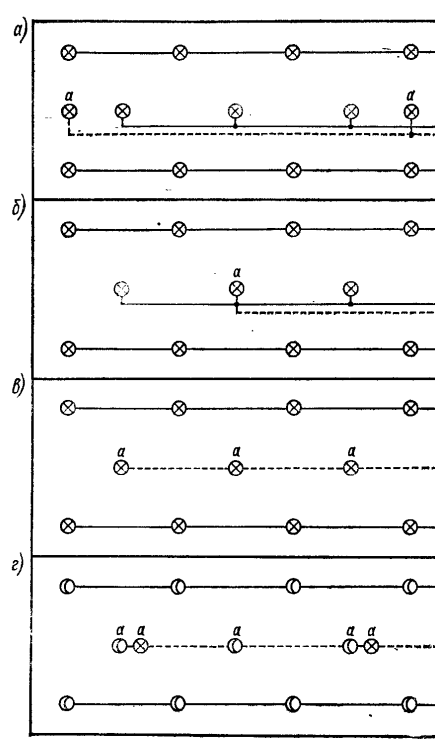


Рис. 2-3. Устройство аварийного освещения

Охранное освещение (§ 7-5) устраивается вдоль линий ограждений и необходимо в случаях, когда имеется постоянное дежурство охраны или устраивается автоматическая охранная сигнализация. Для дежурного освещения в нормах СНиП освещенность не регламентируется. При наличии аварийного освещения светильники или их часть используются в качестве дежурного освещения; в остальных случаях, например в магазинах, дежурное освещение осуществляется выделением на отдельные выключатели части светильников рабочего освеще-

или установкой дополнительных светильников. В помещениях, где в нерабочее время нет постоянного дежурства персонала, нежелательно использование для дежурного освещения люминесцентных ламп, так как повышение напряжения в ночное время может быть причиной возгорания ПРА.

2-4. ВЫБОР ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

Современная техника предоставляет возможность применения в осветительных установках разнообразных источников света, сортамент которых продолжает расширяться. При выборе светильников приходится учитывать их срок службы, световую отдачу, цветопередачу, а также целый ряд других характеристик.

Рассмотрение устройства источников света и происходящих в них физических процессов не входит в задачу данной книги, и мы ограничимся описанием их особенностей с точки зрения использования в осветительных установках.

Лампы накаливания. Основная серия, т. е. лампы общего назначения, выпускается в диапазоне мощности 15—1500 Вт на напряжения 127 и 220 В (некоторая часть ламп выпускается также для напряжений 127—135 и 220—235 В, используется в сетях, где возможно повышенное напряжение и имеет пониженные характеристики). В маркировке ламп буква В обозначает вакуумные лампы, Г — газонаполненные лампы, К — лампы с криптоновым наполнением, Б — биспиральные лампы. Лампы мощностью до 150 Вт могут изготавливаться в матированных, молочных или опалиновых колбах; лампы до 200 Вт имеют резьбовой цоколь Е-27; лампы 500 Вт и более — цоколь Е-40; лампы 300 Вт могут иметь любой из этих цоколей.

К основной серии примыкают зеркальные лампы-светильники, имеющие концентрированное, глубокое или широкое светораспределение. Широко распространены лампы местного освещения на напряжения 12—24—36 В мощностью до 100 Вт, в том числе лампы-светильники с диффузным или зеркальным покрытием на колбе. Помимо этого, выпускаются лампы самых различных назначений: для прожекторов, автомобилей, судов, иллюминационных установок и др. Эти лампы отличаются номинальными значениями мощности и напряжения, габаритами, формой колбы, типом цоколя и т. д., и, руководствуясь каталогом, можно выбрать подходящую лампу для любого конкретного случая.

Световая отдача ламп основной серии лежит в пределах 7—19 лм/Вт, при теоретическом пределе для источников белого света — около 240 лм/Вт и для светового излучения вообще — 683 лм/Вт. Световая отдача ламп данного типа повышается с увеличением их единичной мощности и снижается с увеличением номинального напряжения. Номинальный срок службы ламп 1000 ч.

По цветности излучение ламп значительно желтее естественного дневного света и при них не обеспечивается правильной цветопередачи.

Элементарная простота схемы включения делает лампы накаливания наиболее надежными источниками света. Лампы практически не критичны к изменениям условий внешней среды, вклю-

чая температуру, но очень чувствительны к отклонениям подводимого напряжения (рис. 2-4). Отклонению напряжения от номинального на 1% соответствует изменение светового потока на $\pm 3,7\%$, мощности на $+1,5\%$, световой отдачи на $\pm 2,2\%$, срока службы на $\mp 14\%$.

Разновидностью обычных ламп накаливания являются кварцевые галогенные лампы, происходящий галогидный цикл в которых обеспечивает возврат на нить накала испарившегося с нее вольфрама. В осветительных установках в основном применяются трубчатые лампы типа КГ (кварцевые галогенные), мощностью 1—1,5—2—5 кВт (ожидается увеличение единичной мощности до 20 кВт). Лампы имеют форму трубки из кварцевого стекла с цоколями или вводными проводниками по концам. Лампы исключительно компактны: лампа мощностью 2 кВт имеет диаметр 10,5 мм и длину 335 мм. Световая отдача ламп 22 лм/Вт, срок службы 2500—3000 ч.

Свет ламп КГ значительно белее, чем свет обычных ламп накаливания, и в отношении цветопередачи признается пригодным даже для освещения экспонатов в музеях.

Лампы включаются в сеть непосредственно. Зависимость их характеристик от напряжения примерно такая же, как у обычных ламп накаливания. Нормальное положение при работе — горизонтальное с отклонением на $\pm 4^\circ$.

Для специальных целей выпускаются разнообразные типы галогенных ламп накаливания, в том числе малогабаритные, со световой отдачей до 30 лм/Вт, но с укороченным сроком службы.

Люминесцентные лампы. Трубчатые люминесцентные лампы низкого давления, получившие широчайшее применение в осветительных установках, резко отличаются от ламп накаливания по всем своим характеристикам.

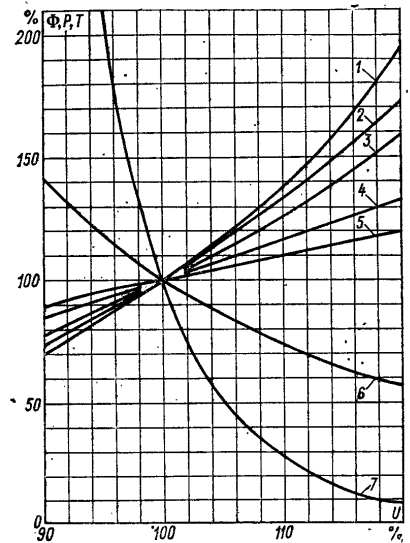


Рис. 2-4. Зависимость характеристик источников света от уровня напряжения
1 — световой поток; 2 — световой поток; 3 — мощность (лампы ДРЛ); 4 — мощность; 5 — световой поток и мощность (люминесцентные лампы); 6 — срок службы (газоразрядные лампы); 7 — срок службы (лампы накаливания)

Световая отдача ламп достигает 75 лм/Вт. Она различна для ламп разной мощности (достигает максимального значения для ламп 40 Вт) и разного спектрального типа (максимальное значение — для ламп ЛБ, минимальное — для ламп ЛДЦ). Срок службы распространенных типов ламп 10 000 ч, но к концу этого срока световой поток снижается до 60% начального, что учитывается повышенным значением коэффициента запаса.

Лампы выпускаются белого света (ЛБ), холодно-белого света (ЛХБ), дневного света (ЛД), дневного света улучшенной цветопередачи (ЛДЦ), тепло-белого света (ЛТБ), а в последнее время также холодно-белого света улучшенной цветопередачи (ЛЕ или ЛХБЦ). Для рекламы и иллюминации выпускаются также цветные лампы.

Как и все газоразрядные лампы, люминесцентные лампы при питании переменным током дают световой поток, пульсирующий с удвоенной частотой тока. Этот существенный недостаток, однако, довольно легко устраняется (§ 4-2).

Обычные типы ламп предназначены для работы при температуре окружающего воздуха 15—25 °С. При больших или меньших температурах световая отдача ламп снижается, при температурах же, меньших 10 °С, зажигания ламп не обеспечивается. Хотя существуют специальные схемы включения ламп для работы при низких температурах, но их избегают применять в северных широтах как для наружного освещения, так и для освещения неотапливаемых помещений. В жарких помещениях, а также в светильниках с тяжелым тепловым режимом применяются специальные амальгамные лампы (ЛБА), имеющие нормальную световую отдачу при высоких температурах.

Для зажигания и горения ламп необходимо включение последовательно с ними пускорегулирующих аппаратов (ПРА). Схемы и конструкции ПРА чрезвычайно разнообразны и здесь не могут быть рассмотрены подробно. В принципе различаются стартерные аппараты (УБ) и бесстартерные (АБ), причем в первых начальный подогрев электродов обеспечивается кратковременным замыканием контактов стартера, включенного параллельно лампе, во вторых — подачей на электроды напряжения от специальных витков дроссельной катушки. Ранее имевшие место недостатки стартерных схем — повышенная пожарная опасность и относительно меньшая надежность — сейчас устранены, и они имеют преимущественное применение, так как при бесстартерных схемах наблюдаются большие потери мощности в ПРА, чем в стартерных (соответственно 35 и 25%). Для бесстартерных схем изготавливаются лампы со специальной конструкцией электродов, однако могут использоваться лампы стартерного зажигания, но срок их службы сокращается. Использование бесстартерных схем целесообразно в случаях, когда необходимо более быстрое, чем в стартерных схемах, зажигание ламп, а также при затрудненности доступа к лампам для обслуживания.

Кроме того, ПРА разделяются на индуктивные (И), емкостные (Е) и компенсированные (К), на аппараты с нормальным, пониженным (П) и особо низким (ПП) уровнем шума, а также клас-

сифицируются по некоторым другим признакам. Применяются также некоторые специальные типы ПРА.

В одноламповых светильниках чаще всего устанавливаются аппараты УБИ и АБИ, в светильниках с четным числом ламп — равное число аппаратов УБИ (АБИ) и УБЕ (АБЕ) или двухламповые компенсированные аппараты 2УБК (2АБК), при которых одна из ламп питается током, отстающим, другая — опережающим напряжением по фазе.

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

Влияние отклонений напряжения на работу люминесцентных ламп сказывается меньше, чем на работу ламп накаливания (рис. 2-4), но при напряжении, меньшем 90% номинального, зажигания ламп не обеспечивается.

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

Сортамент люминесцентных ламп включает прямые лампы мощностью 4, 6, 8, 15, 20, 30, 40, 65, 80 и 150 Вт, а также U-образные лампы 8—80 Вт, W-образные лампы 30 Вт и кольцевые лампы 20—40 Вт. Для общего освещения производственных и общественных зданий наиболее широко применяются лампы мощностью 40 и 80 Вт. Такой же мощностью выпускаются рефлекторные лампы, на колбу которых в пределах двугранного угла 240° нанесен отражающий слой, придающий лампам преимущественно одностороннее светораспределение.

Лампы мощностью 80 Вт позволяют существенно уменьшить число светильников по сравнению с лампами 40 Вт, но они менее экономичны, чем последние, а вследствие их большой длины обслуживание установок с этими лампами осуществляется двумя рабочими. Специфическим преимуществом ламп 80 Вт является большее значение потока на единицу длины, что позволяет уменьшить число рядов светильников в помещении в случае, когда необходимое по расчету число светильников с лампами 40 Вт не вмещается в располагаемую длину ряда. С этой точки зрения перспективным является применение ламп мощностью 150 Вт, у которых поток на единицу длины еще больше, но пока эти лампы имеют недостаточно хорошие технические характеристики.

Внедрение люминесцентных ламп происходило в нашей стране с известной осторожностью и обосновывалось серьезными гигиеническими исследованиями. Это было тем более необходимо, что упорно распространялись слухи о вреде люминесцентного освещения. К настоящему времени эти слухи полностью опровергнуты и безусловно доказана не только безвредность, но и полезность люминесцентного освещения. Количество ультрафиолетовых лучей (избыток которых мог бы быть опасным) в излучении ламп ничтожно мало, и хотя эти лучи учитываются как разрушающий фак-

тор, например при освещении картин, с биологической точки зрения хотелось бы, чтобы лампы излучали их больше.

При освещенности начиная примерно от 100—150 лк люминесцентное освещение обеспечивает большую производительность труда, чем освещение лампами накаливания при той же освещенности. В тех случаях когда возникали жалобы на люминесцентное освещение, они всегда объяснялись его плохим устройством: недостаточной освещенностью, при которой может создаваться впечатление сумеречности, прямой или отраженной блескостью, неустраиваемыми пульсациями освещенности и, особенно, шумом ПРА старых типов.

Лампы ДРЛ. Четырехэлектродные дуговые ртутные лампы высокого давления с люминофорным покрытием на колбе выпускаются в пределах мощностей 80—2000 Вт и имеют световую отдачу 40—60 лм/Вт. Световая отдача возрастает с увеличением единичной мощности, но для чаще применяемых в установках внутреннего освещения ламп 400—1000 Вт почти одинакова.

Срок службы ламп 10 000 ч, причем к концу этого срока световой поток снижается до 70% начального. Лампы включаются через одноламповые индуктивные ПРА, потери мощности в которых составляют около 10%. Коэффициент мощности комплекта лампа — ПРА составляет в среднем 0,5. В последнее время наметилась тенденция встраивания в ПРА конденсаторов для повышения коэффициента мощности до 0,9—0,95. Лампы в комплекте с ПРА предназначены для включения на напряжение 220 В, кроме ламп 2000 Вт, включаемых на линейное напряжение системы 380/220 В. Лампы мощностью 80—125 Вт имеют цоколь Е-27, остальные — цоколь Е-40. Преимуществом ламп ДРЛ по сравнению с люминесцентными лампами является их компактность при высокой единичной мощности, существенным недостатком — плохая цветопередача их излучения, позволяющая заменять лампы ДРЛ только при отсутствии каких-либо требований к различению цветов, а также значительные пульсации светового потока (см. § 4-2).

Процесс разгорания ламп после включения длится 5—7 мин. В случае хотя бы мгновенного перерыва питания лампы гаснут и начинают вновь разгораться только после остывания в течение примерно 10 мин. К температуре внешней среды лампы ДРЛ почти не критичны: они надежно зажигаются и горят при температуре до —25 °С, а лампы специального исполнения — и при более низкой температуре. Зависимость их характеристик от напряжения представлена на рис. 2-4. Как и люминесцентные лампы, они надежно работают только при напряжении не менее 90% номинального. Гигиенические исследования не выявили противопоказаний для применения ламп ДРЛ, но привели к выводу, что при зрительных работах высокой точности применение их нежелательно.

Лампы ДКСТ. Из довольно большой серии ксеноновых ламп в осветительных установках получили применение дуговые ксеноновые трубчатые лампы с воздушным охлаждением типа ДКСТ.

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

Сортамент включает лампы мощностью 5, 10, 20 и 50 кВт (в небольшом количестве выпускаются также лампы 100 кВт). Лампы имеют форму трубок диаметром 22—42 мм и длиной 640—2610 мм. Световая отдача лежит в пределах 20—45 лм/Вт, возрастающая с увеличением единичной мощности. Срок службы различных типов ламп лежит в пределах 300—750 ч, но при стабилизации напряжения в пределах $\pm 2\%$ может достигать 3000 ч. Лампы 5 кВт включаются на напряжение 220 В попарно-последовательно, лампы 10 кВт — в сеть 220 В, более мощные лампы — в сеть 380 В.

Область применения ламп ограничивается вредным для людей избытком в их спектре ультрафиолетовых излучений. Правда, относительно недавно начат выпуск ламп в колбе из легированного кварца (лампы ДКСТЛ), в которых этот недостаток устранен.

Пульсации светового потока у ламп ДКСТ особенно велики. Помимо большой единичной мощности, достоинством ламп является тот факт, что их излучение по цветности наиболее близко к естественному, дневному свету, хотя по характеру использования ламп это достоинство обычно не используется. Температура внешней среды не оказывает влияния на зажигание и горение лампы.

Металлогалогенные и натриевые лампы. В последние годы сортамент источников света обогатился новыми типами ламп: металлогалогенными ДРИ и натриевыми высокого давления ДНАТ. Оба типа ламп, несомненно, весьма перспективны, но их сортамент и характеристики еще не установились окончательно, опыт их применения весьма невелик, и по ним могут быть приведены лишь предварительные сведения на основе, в частности, зарубежных публикаций.

Лампы ДРИ являются развитием и усовершенствованием ламп ДРЛ. Добавление в разрядную трубку галогидных соединений различных металлов позволило существенно повысить световую отдачу и улучшить спектральный состав света, который в дальнейшем может стать столь же переменным, как спектр люминесцентных ламп.

Уже выпускаемые у нас лампы ДРИ (их мощность 250—400—700—1000—2000 Вт; лампы мощностью 2000 Вт включаются на напряжение 380 В) имеют световую отдачу до 90 лм/Вт, внешне отличаются от ламп ДРЛ только отсутствием люминофора на колбе и дают достаточно белый свет.

Опубликованные как предварительные сроки службы ламп невелики (1000—5000 ч), но, судя по зарубежным данным, могут быть доведены по крайней мере до 10 000 ч (лампы ДРЛ лучших зарубежных фирм имеют срок службы 20 000 ч). Лампы включаются в сеть через ПРА, состоящее из дросселя и зажигающего

устройства УИЗУ, дающего импульсы высокого напряжения. Коэффициент мощности при некомпенсированных ПРА равен в среднем 0,5. Пульсации светового потока значительно меньше, и разгораются лампы ДРИ также несколько быстрее, чем лампы ДРЛ.

Натриевые лампы низкого давления известны уже очень давно. Они имеют рекордную световую отдачу — до 180 лм/Вт, но желтый свет, который они дают, делает их пригодными только для освещения загородных автострад. Широкое применение натриевых ламп стало возможным только после создания ламп высокого давления (ДНаТ) со значительно улучшенным спектром, но все же с преобладанием желтых лучей. По зарубежным данным их световая отдача достигает 140 лм/Вт при сроке службы 20 000 ч. Лампы включаются в сеть так же, как лампы ДРИ, через однофазные индуктивные ПРА. Коэффициент мощности комплекта лампа—ПРА в среднем 0,5. Пульсации светового потока очень велики.

Переходя непосредственно к выбору источников света, надо сказать, что в ряде случаев имеют место обстоятельства, предопределяющие отказ от того или иного источника или, напротив, обязательность его применения. Питание установки в том или ином режиме от сети постоянного тока исключает возможность применения газоразрядных ламп, так же как и вероятность значительных, более чем на 10% понижений напряжения. Необходимость обеспечить мгновенное перезажигание ламп после кратковременного перерыва питания, например при коммутационных операциях, заставляет отказываться от ламп ДРЛ и ДРИ при отсутствии соответствующих схем включения. Возможность изменения температуры окружающего воздуха ниже +10 °С является противопоказанием для применения люминесцентных ламп с обычными схемами зажигания. Необходимость питать лампы напряжением 12—36 В делает обязательным применением ламп накаливания.

В остальном определяющее значение при выборе источников света имеют вопросы цветопередачи и экономики.

В некоторых случаях цветопередачу можно считать безразличной, как, например, в цехах металлургической, машиностроительной (кроме малярных цехов) и некоторых других отраслей промышленности. В помещениях, где одним из основных объектов различения являются лица людей, речь идет не столько о правильной цветопередаче, сколько о наиболее благоприятных условиях различения этих лиц. Для этой цели вполне подходит свет ламп накаливания и люминесцентных ламп ЛТБ.

Наоборот, во многих случаях к цветопередаче предъявляются повышенные, иногда очень строгие, требования, т. е. необходимо, чтобы цвета воспринимались так же, как в средних дневных условиях. Это швейные и меховые фабрики, полиграфические предприятия цветной печати, магазины тканей и верхней одежды, музеи и выставки, а также ряд других объектов.

Все люминесцентные лампы, кроме ЛТБ, дают существенно лучшую цветопередачу, чем лампы накаливания. Так как по ряду

причин само понятие «правильная цветопередача» несколько расплывчато, трудно с полной уверенностью ранжировать люминесцентные лампы по этому признаку. В Инструкции СН 357-77 [5] они названы, от лучших к худшим, в порядке: ЛЕ—ЛДЦ-4—ЛХБ—ЛБ—ЛД. Удовлетворительную цветопередачу обеспечивают галогенные лампы накаливания КГ, которые, по-видимому, можно поставить наравне с люминесцентными лампами ЛХБ. Отечественный опыт применения ламп ДРИ еще мал, но в зарубежной литературе они получили высокую оценку. В частности, эти лампы, а также лампы КГ с успехом используются для освещения при цветных телесъемках.

Исключая лампы ДКСТ, почти не используемые для внутреннего освещения, наибольшее приближение к «идеалу» дает сейчас сочетание ламп КГ и ЛДЦ-4 примерно в равных количествах по освещенности.

По мере развития газоразрядного освещения экономические показатели все более изменяются в пользу последнего, чему способствует также сближение норм освещенности для газоразрядных ламп и ламп накаливания, произведенное в последние годы.

Первоначальная стоимость установки, отнесенная к мощности 1 кВт, при использовании газоразрядных ламп выше, чем ламп накаливания. Для люминесцентных ламп это объясняется большим числом маломощных светильников, проходящих на 1 кВт, для ламп ДРЛ — высокой стоимостью самих ламп и ПРА.

Примем, ориентировочно, стоимость оборудования мощностью 1 кВт 150 руб. для ламп накаливания и 300 руб. — для газоразрядных ламп.

Для работ III—VII разрядов по СНиП соотношение между нормами освещенности для газоразрядных ламп и ламп накаливания составляет около 1,5. Если принять соотношение световых отдач тех же ламп, с учетом потерь в ПРА, равным примерно $50 : 15 = 3,3$, то получим, что 1 кВт ламп накаливания может быть заменен 0,45 кВт газоразрядных ламп, в результате чего первоначальные затраты будут почти одинаковыми. Расход электроэнергии при газоразрядных лампах будет значительно меньшим, пониженная же стоимость замены ламп компенсируется десятикратным сроком службы этих ламп.

Лампы накаливания могут, однако, оказаться более экономичными для работ разрядов VIII, где соотношение между нормами освещенности лежит в пределах 2,5—5, а также при очень небольшом годовом числе часов использования, когда уменьшается доля, занимаемая и годовых эксплуатационных расходах стоимостью энергии.

Существует мнение, что использование в пределах одного помещения различных источников света, равно как одновременное использование искусственного и естественного освещения вредно. Исследования гигиенистов не подтверждают этого мнения, хотя в известной степени может быть психологически неприятным «двухцветное» освещение из-за различной оценки условий светового комфорта при излучателях с разной цветовой температурой. Во всяком случае нормы не ограничивают применения в одном помещении различных по спектру источников света, но обращают внимание на необходимость ограничения возможных в этом случае разноокрашенных теней. Для этого желательно, чтобы не

менее 80% всей освещенности создавалось какими-либо одними источниками либо чтобы на рабочие поверхности падал уже смешанный; однородный поток. Соответственно разные источники света могут быть применены для рабочего и аварийного освещения или для местного и общего освещения. Смещение потоков разных ламп может потребоваться и в пределах системы общего освещения, например для получения определенного спектрального состава света. В этом случае предпочтительно применять отраженное освещение или же устанавливать лампы разных типов в общих или рядом расположенных светильниках.

Дополнительным подтверждением сказанного является широкое распространение системы совмещенного освещения, при котором светопроемы рассчитываются так, что в глубине помещений естественное освещение оказывается недостаточным и предусматривается включение искусственного освещения даже в светлое время суток (см. § 2-1). В этом случае предпочтительны люминесцентные лампы, спектрально близкие к естественному свету.

Подводя итоги всему сказанному, кратко охарактеризуем применимость источников света для различных случаев.

Общее освещение производственных зданий. Основным источником света для общего освещения производственных помещений, безусловно, стали уже газоразрядные лампы. Нормы требуют применения их, как правило, для общего освещения помещений с работами разрядов I—V и VII, помещений без достаточного естественного освещения с постоянным пребыванием работающих и для общего освещения в системе комбинированного освещения.

Лампы накаливания сохраняют свое значение в основном только для помещений, где производятся грубые работы или осуществляется общий надзор за работой оборудования, особенно если эти помещения не предназначены для постоянного пребывания людей: подвалы, туннели, проходы между фундаментами машин, склады, вентиляционные установки и т. д. Они применяются также в тех случаях, когда использование газоразрядных ламп технически невозможно, например когда светильники для данных условий среды выпускаются только для ламп накаливания.

Определяющее значение при выборе типа источников света имеют высота помещения и требования к цветопередаче. При использовании люминесцентных ламп число светильников всегда значительно больше, чем при использовании ламп ДРЛ, и повышенная трудоемкость их обслуживания особенно сказывается в высоких помещениях, заставляя уже по одной этой причине переходить к лампам ДРЛ или ДРИ. С другой стороны, лампы ДРЛ имеют высокий коэффициент пульсации светового потока, а при малых высотах затруднено принятие мер для уменьшения пульсации освещенности. Оба эти фактора — высота и пульсации — действуют, можно сказать, согласованно.

Помимо малой высоты помещений, применение люминесцентных ламп может быть обусловлено повышенными требованиями

к цветопередаче и выполнением в помещении работ высокой точности, при которых лампы ДРЛ противопоказаны. Основное применение имеют лампы ЛБ, и только при специальных требованиях к цветопередаче — другие типы ламп, кроме ЛТБ.

Галогенные лампы накаливания в установках промышленного освещения не получили широкого применения. Они рекомендуются для высоких помещений при технической невозможности применения газоразрядных ламп и если потребная единичная мощность лампы превышает 1000 Вт, но могут применяться также при повышенных требованиях к цветопередаче, если почему-либо нельзя использовать люминесцентные лампы.

Область применения ламп ДРИ и ДНаТ еще не установилась окончательно. Она будет определяться уровнем их производства, сроком службы и ценами. Несомненно, что эти типы ламп будут вытеснять лампы ДРЛ в высоких помещениях, но можно ожидать, что лампы ДРИ оправдают себя и при повышенных требованиях к цветопередаче.

Эксплуатационный персонал предприятий, заинтересованный в уменьшении числа светильников, требующих обслуживания, нередко высказывается в пользу применения мощных ламп ДКСТ, против чего, однако, есть достаточно серьезные возражения. Нормы допускают их применение в исключительных случаях, по согласованию с органами санитарного надзора и при освещенности не более 150 лк, имея в виду опасность ультрафиолетового переоблучения. Если даже считать, что после расширения выпуска ламп в колбе из легированного кварца эти ограничения будут сняты, то против применения ламп ДКСТ останутся экономические показатели, связанные с их высокой стоимостью, малой световой отдачей, коротким сроком службы. Для ограничения пульсации освещенности потребовалось бы почти всегда устанавливать блоки из трех ламп (питаемых разными фазами трехфазной сети), размещая их на столь значительном расстоянии друг от друга, что создавало бы сильно неравномерное освещение с развитыми тенями. Тем не менее существуют относительно удачные, хотя и с нарушением части нормативных требований, случаи применения ламп ДКСТ в цехах высотой примерно 40 м.

Местное освещение. В настоящее время для местного освещения возможно применение только ламп накаливания или люминесцентных ламп. Последние обязательны при высоких требованиях к цветопередаче и рекомендуются для освещения рабочих мест большой протяженности, а также при работах с блестящими поверхностями. В остальных случаях, а их большинство, сказываются недостатки люминесцентных ламп: большие габариты, необходимость иметь двухламповые светильники для ограничения пульсации освещенности, питание только напряжением 220 В, что заставляет отдавать предпочтение лампам накаливания, лишенным этих недостатков.

Общественные здания. Для основных помещений общественных зданий (включая административные корпуса предприятий) применение люминесцентных ламп является обязательным. Лампы накаливания могут применяться в коридорах, санузлах, гардеробах и т. д., но в целях единообразия решений здесь также чаще всего применяются люминесцентные лампы, так что реаль-

ная область применения ламп накаливания ограничивается только подвалами, чердаками и техническими этажами.

В зарубежной литературе описан ряд случаев освещения общественных зданий лампами ДРИ (применялось отраженное освещение) и даже лампами ДНаТ, причем отмечается, что к своеобразному спектру последних люди быстро привыкают.

В установках архитектурно-художественного освещения общественных зданий выбор источников света производится в индивидуальном порядке, причем некоторое применение получили здесь также галогенные лампы накаливания.

Из числа люминесцентных ламп в общественных зданиях почти исключительно применяются лампы ЛБ. Частой ошибкой является замена в процессе эксплуатации этих ламп на лампы ЛД или ЛДЦ, что ведет к снижению освещенности, увеличению пульсации освещенности и к возможности появления впечатления сумеречности.

О выборе источников света для наружного освещения см. в § 7-5.

2.5. РАСПОЛОЖЕНИЕ СВЕТИЛЬНИКОВ

ОБЩИЕ ПРАВИЛА

Выбор расположения светильников общего освещения является одним из основных вопросов, решаемых при устройстве осветительных установок, влияющим на экономичность последних, качество освещения и удобство эксплуатации.

На рис. 2-5 представлены типичные случаи расположения светильников, где приняты следующие обозначения, которыми в дальнейшем будем пользоваться без пояснений: H — высота помещения, а при ферменном покрытии — высота до затяжки ферм; h_c — расстояние светильников от перекрытия или затяжки ферм; h_p — высота рабочей поверхности над полом; h_a — высота установки светильников над полом; $h = h_a - h_p = H - h_c - h_p$ — расчетная высота; L — расстояние между светильниками или их рядами; L_A , L_B — расстояния между светильниками в направлении вдоль и поперек помещения, если они неодинаковы; l — расстояние крайних рядов светильников от стены; все размеры указываются в метрах.

Из названных размеров H и h_p являются заданными; h_c , кроме случаев установки светильников на стенах, принимается в пределах от 0 при установке на потолке или заподлицо с фермами и обычно до 1,5 м. Большие значения h_c , как правило, не рекомендуются, и если они принимаются, то должны быть предусмотрены меры против раскачивания светильников потоками воздуха (необходим жесткий подвес). Расстояние l рекомендуется принимать около $\frac{1}{2} L$ при наличии у стен проходов и около $\frac{1}{3} L$ в остальных случаях. При безусловной необходимости обеспечить у стен такую же освещенность, как по всей площади, расстояние l

может быть уменьшено почти до нуля путем установки светильников на кронштейнах, укрепленных на стенах.

На рис. 2-5, б показан «классический» случай равномерного размещения светильников с лампами накаливания или лампами ДРЛ по вершинам квадратных полей. По условиям размещения светильников в конкретных помещениях часто приходится принимать поля прямоугольной формы, причем в этом случае желательно, чтобы отношение $L_A : L_B$ не превышало 1,5.

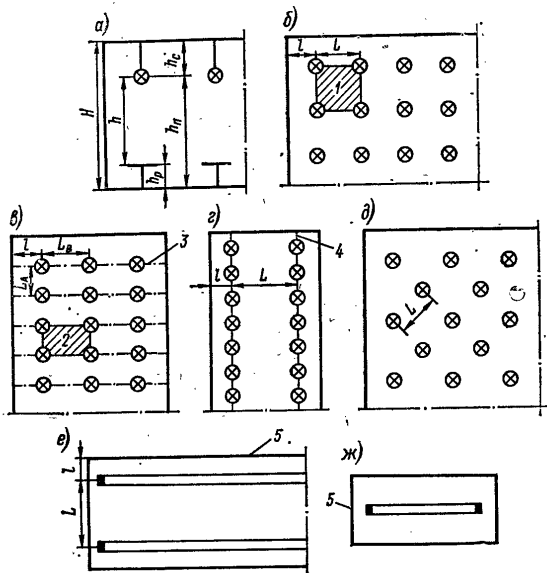


Рис. 2-5. Схемы размещения светильников: а — в разрезе; б — ж — в плане

1 — угловое поле; 2 — одно из центральных полей; 3 — оси ферм; 4 — оси мостиков обслуживания; 5 — стена с окнами

В помещениях с ферменным перекрытием (рис. 2-5, е) в большинстве случаев светильники могут устанавливаться только на фермах. В этом случае допустимы и увеличенные значения $L_A : L_B$, так как по сетевым и эксплуатационным соображениям следует по возможности сокращать число продольных рядов светильников. Особенно это важно при наличии специальных мостиков для обслуживания светильников, вдоль которых светильники размещаются, как правило, ущаченно (рис. 2-5, ж). В том же случае

нередко светильники располагаются блоками из 2—4 шт., если это необходимо для снижения коэффициента пульсации освещенности или если наибольшая возможная мощность лампы меньше требуемой по расчету.

На рис. 2-5, д показано так называемое «шахматное» расположение светильников, в данном случае по вершинам квадратных, но диагонально расположенных полей. Теоретически оптимальным является шахматное расположение по вершинам ромбов с острым углом 60°. В узких помещениях иногда неизбежно однорядное расположение светильников, но в помещениях, где производятся работы, его следует избегать, так как при нем (и при светильниках прямого света) создаются глубокие тени и не всегда обеспечивается удачное направление света.

Светильники с трубчатыми, т. е. в основном люминесцентными лампами, преимущественно размещаются рядами, желательнее параллельными стене с окнами (рис. 2-5, е) или длинной стороне узкого помещения (рис. 2-5, ж). Расположение светильников по схеме, приведенной на рис. 2-5, е, иногда оспаривается архитекторами по эстетическим соображениям как психологически подчеркивающее удлиненность помещения. Но в помещениях, предназначенных для работы, следует, как правило, настаивать на таком расположении: направление света в этом случае приближается к направлению естественного света, облегчается возможность включения в сумерки только освещения в глубине помещения, при обычной ориентации рабочих мест так, что естественный свет падает на них слева, уменьшается прямая и отраженная блескость и, наконец, оказывается меньшей протяженностью групповой сети.

В схемах на рис. 2-5, е и ж ряды предпочтительно выполнять непрерывными, т. е. составлять из стыкованных между собой светильников. Ряды с разрывами допускаются, если это необходимо согласно расчету, но их недостатком является худший внешний вид и возможность возникновения веерных теней. Светильники на 4—10 люминесцентных ламп в административно-бытовых и общественных зданиях располагаются по схеме рис. 2-5, б.

ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ НАИВЫГОДНЕЙШЕГО РАСПОЛОЖЕНИЯ СВЕТИЛЬНИКОВ

Если бы ставилась задача создания в помещении наивыгоднейшим образом средней освещенности, без регламентации степени неравномерности, то формально правильным было бы абсурдное решение: установить в центре помещения на наименьшей возможной высоте необходимое число светильников с лампами наибольшей возможной мощности; в этом случае на освещаемую поверхность была бы направлена наибольшая возможная доля всего потока ламп. В действительности в нормах СНиП [1], за редкими исключениями, нормирована наименьшая освещенность поверхности и именно она должна быть достигнута наивыгоднейшим образом.

Вопрос может ставиться по-разному, а именно: могут определяться условия, при которых для решения данной светотехнической задачи необходим минимум светового потока ламп, минимум мощности или минимум годовых эксплуатационных затрат. Соответственно этому можно говорить о светотехнически наивыгоднейшем расположении, энергетически наивыгоднейшем расположении и экономически наивыгоднейшем расположении. Величины, относящиеся к этим случаям, будем обозначать индексами «с», «э» и «о». Решением задачи является обычно определение отношения расстояния между светильниками L к расчетной высоте h , обозначаемого λ . Для нахождения λ , оптимального в определенном отношении, изучается поведение функций экономичности $\mathcal{E}_c, \mathcal{E}_э, \mathcal{E}_о$, равных или пропорциональных затратам светового потока, электроэнергии или денежных средств на эксплуатацию.

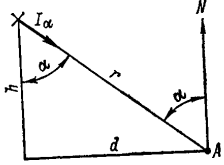


Рис. 2-6. Освещение горизонтальной поверхности

Известно, что экономичность осветительных установок наиболее полно оценивается не по годовым эксплуатационным расходам, а по приведенным затратам, которые учитывают как годовые эксплуатационные расходы, так и часть капитальных затрат, определяемую как стоимость создания осветительной установки, умноженную на нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, принимаемый в соответствии с [7] равным 0,12. Однако применительно к вопросу наивыгоднейшего расположения светильников учет капитальных затрат практически не оказывает влияния на получаемые конечные результаты, в связи с чем для упрощения расчетов оценку вариантов можно производить по годовым эксплуатационным расходам.

Предварительно рассмотрим задачу определения наивыгоднейшей высоты подвеса одиночного светильника, освещающего точку А горизонтальной поверхности, удаленную на расстояние d от проекции светильника на указанную поверхность (рис. 2-6). Примем, что светораспределение светильника подчиняется закону

$$I_\alpha = I_0 \cos^m \alpha. \tag{2-1}$$

Не требует доказательства, что при $h = 0$ освещенность E также равна нулю и что при $h \rightarrow \infty$ освещенность стремится к нулю, а значит, существует определенная высота, при которой освещенность достигает максимума. Представим выражение освещенности в следующем виде:

$$E = \frac{I_\alpha \cos \alpha}{r^2} = \frac{I_0 \cos^{m+1} \alpha}{h^2 + d^2} = I_0 \frac{h^{m+1}}{(h^2 + d^2)^{\frac{m+3}{2}}}.$$

Находя производную освещенности по высоте и приравнявая ее нулю, находим значение наивыгоднейшей высоты

$$h = d \sqrt{\frac{m+1}{2}}. \tag{2-2}$$

При $m = 0$ имеем равномерное светораспределение и $h = d : \sqrt{2}$, при $m = 1$ — косинусное светораспределение и $h = d$.

Если светильники расположены по вершинам квадратных полей и рассматривается точка, лежащая в центре поля, то $L = d\sqrt{2}$, откуда получаем соотношения: $h = L : 2$ — для равномерного светораспределения и $h = L : \sqrt{2}$ — для косинусного.

Для конкретных светильников может быть определено значение m , наиболее близко соответствующее форме кривой силы света, и по формуле (2-2) — значение h .

Возможен и другой путь. Напишем выражение освещенности в виде

$$E = \frac{I_\alpha \cos^3 \alpha}{h^2} \equiv \frac{I_\alpha \cos^3 \alpha d^2}{h^2} \equiv e \operatorname{tg}^2 \alpha, \quad (2-3)$$

причем во второй дроби введен произвольный, постоянный в данных условиях, множитель d^2 , не изменяющий условий максимума, а знак равенства заменен знаком, которым будем пользоваться для обозначения пропорциональности. Через e обозначено произведение $I_\alpha \cos^3 \alpha$, имеющее, как далее увидим, большое значение в технике светотехнических расчетов.

Построив теперь кривую функции $e \operatorname{tg}^2 \alpha = f(\operatorname{tg} \alpha)$, по положению ее максимума легко найдем наилучшее значение отношения $\operatorname{tg} \alpha = d/h$.

Этот способ универсален в том отношении, что если использовать для силы света выражение (2-1), то он может быть применен и для обобщенных расчетов.

Рассмотренная задача имеет практическое значение, но при этом не позволяет еще сказать, какое расположение будет оптимальным, если варьируется L при неизменном h , как это имеет место в большинстве случаев.

При данном световом потоке светильника светотехническая экономичность \mathcal{E}_c может быть принята пропорциональной полезному потоку, равному произведению наименьшей освещенности, т. е. освещенности центральной точки поля, на площадь поля:

$$\mathcal{E}_c \equiv EL^2 \equiv \frac{I_\alpha \cos^3 \alpha d^2}{h^2}.$$

Тождественность данного выражения и условия (2-3) показывает, что условия оптимума одинаковы независимо от того, какая величина, L или h , является переменной и подлежит выбору.

Опуская промежуточные расчеты, можно считать, что

$$\lambda_c = \frac{2}{\sqrt{m+1}}. \quad (2-4)$$

Для случая освещения светящими линиями, в частности для люминесцентных светильников, расположенных по схеме рис. 2-5, e , вывод производится несколько иначе: формула для

освещенности имеет иной вид, учитывается кривая силы света только в поперечной плоскости и экономичность \mathcal{E}_c принимается пропорциональной не L^2 , а L . Первое и последнее из указанных обстоятельств как бы взаимно компенсируется, и выражение (2-4) оказывается справедливым и для этого случая.

Для наиболее характерных значений ($m = 0$ и $m = 1$) получаем:

$\lambda_c = \sqrt{2}$ — равномерное светораспределение (при $m = 0$);

$\lambda_c = 2$ — косинусное светораспределение (при $m = 1$). Эти соотношения впервые получены Р. А. Сапожниковым.

Физический смысл наилучшего значения L заключается в том, что при увеличении площади поля начиная от нуля освещенность центральной точки сперва убывает медленнее, чем возрастает площадь поля, после же определенного момента убывание становится столь быстрым, что уже не компенсируется возрастанием площади. Существенно при этом, что наибольшая освещенность имеет место в вершине поля, создается, в основном, одним светильником и при возрастании значения L почти не изменяется, так что с возрастанием L освещение становится все более неравномерным.

В условиях нормирования наименьшей освещенности повышенная неравномерность экономически противопоказана, так как на создание всей освещенности сверх наименьшей формально неэффективно затрачивается световой поток.

Ввиду особой важности этого вопроса проиллюстрируем его также следующим рассуждением.

Пусть узкая полоса освещается рядом светильников, расположенных на наилучшем расстоянии друг от друга. Выключив светильники через один, расчетом и опытом можем убедиться, что наименьшая освещенность (в данном случае — в точках под выключенными светильниками) уменьшится не в два раза, а значительно больше, например в 5 раз. Для восстановления освещенности на прежнем уровне придется во столько же раз увеличить световой поток лампы в каждом светильнике, причем общий поток ламп в установке значительно возрастет.

При освещении лампами накаливания увеличение значения L сопровождается переходом к лампам все большей мощности и, следовательно, ростом световой отдачи ламп. Это сдвигает максимум экономичности в сторону больших значений L и приводит к несовпадению условий светотехнической и энергетической экономичности.

Приближенно можно принять, что зависимость светового потока ламп накаливания от их мощности P подчиняется выражению

$$\Phi \equiv P^n,$$

в котором для ламп 220 В значение $n \approx 1,14$.

Опуская промежуточные рассуждения, можем прийти к выводу, впрочем достаточно очевидному, что условия электрической экономичности определяются максимумом функции

$$\mathcal{E}_c \equiv \frac{I_\alpha \cos^3 \alpha}{h^2} L^{2n}.$$

Для конкретных светильников точка максимума может найдаться построением функции

$$\mathcal{E}_3 = e \operatorname{tg}^{2n} \alpha;$$

решение же задачи в общем виде дает результат

$$\lambda_3 = 2 \sqrt{\frac{n}{m+3-2n}}. \quad (2-5)$$

Для равномерного светораспределения значение λ_3 оказывается равным 2,5, для косинусного 1,6, что в обоих случаях существенно превышает λ_c .

Наибольшее значение имеет определение такого расположения светильников, при котором минимальны годовые расходы на эксплуатацию установки.

Стоимость светильников и их обслуживания с увеличением мощности лампы возрастает медленнее, чем мощность, и когда при увеличении λ сверх λ_3 мощность начинает возрастать, годовые расходы некоторое время еще продолжают уменьшаться, в результате чего всегда, в принципе, $\lambda_0 > \lambda_3$, т. е. экономически наиболее выгодное расстояние между светильниками больше энергетически наиболее выгодного. В общем виде этот вопрос не поддается анализу, так как на значение λ_0 влияет много дополнительных факторов: освещенность и высота установки светильников, их конструктивная сложность, годовое число часов использования освещения, тариф на электроэнергию и т. д. В некоторых конкретных случаях значение λ_0 определяется путем индивидуальных расчетов.

Уже имеющийся опыт таких расчетов показывает, что соотношение λ_0 и λ_3 (или λ_c) в наибольшей степени зависит от произведения нормированной освещенности на квадрат расчетной высоты: Eh^2 . С возрастанием этого произведения повышается удельный вес оплаты энергии в годовых расходах и значения λ_0 и λ_3 сближаются, иногда до почти полного совпадения. В этих случаях, что иажно подчеркнуть, отношение наибольшей освещенности к наименьшей не превышает 3. Напротив, при малом значении произведения Eh^2 величина λ_0 значительно (до 1,5 раз) превышает величину λ_3 , степень же неравномерности освещенности может достигать 10 и более.

Все приведенные ранее выводы основаны на рассмотрении изолированного поля, центральная точка которого освещается четырьмя светильниками. Но в больших помещениях может быть множество таких полей, причем центр каждого, кроме «своих» четырех светильников, освещается и всеми остальными.

Пусть увеличивается высота установки светильников, расположенных на неизменном расстоянии. Когда четыре ближайших светильника оказываются на наиболее выгодной высоте, для остальных светильников высота будет еще меньше наиболее выгодной и при дальнейшем увеличении высоты освещенность будет еще несколько увеличиваться. Аналогично в условиях изменения значения L , когда это значение, уменьшаясь, становится меньше светотехнически наиболее выгодного, экономичность \mathcal{E}_0 может продолжаться повышаться за счет удаленных светильников. Поскольку светотехническая экономичность (в том понимании, которое ей придается при рассмотрении вопроса размещения светильников) зависит только от равномерности освещенности, она достигает максимума и тот момент, как только с уменьшением λ создается полная равномерность.

Эти и некоторые другие обстоятельства искажают ранее сделанные выводы, но имеют скорее принципиальное, чем практическое значение. Анализ показывает, что учет удаленных светильников не сильно изменяет значение λ_0 (а тем более λ_0 и λ_3) и что при ранее определенных значениях λ функции \mathcal{E} если и не достигают действительного максимума, то достаточно приближаются к нему.

Дополнительно надо остановиться на роли высоты h при ее свободном выборе, тем более, что, основываясь на известной формулировке «освещенность» обратно пропорциональна квадрату высоты», верной в действительности только для точек, лежащих на одном луче, многие эту роль переоценивают.

Когда светильники локализованного освещения расположены над определенными рабочими местами, роль высоты действительно значительна, при общем же равномерном освещении она сравнительно невелика и тем меньше, чем больше площадь помещения. Для подтверждения этого рассмотрим теоретический случай, когда площадь неограниченного размера освещается множеством светильников, высота которых возрастает при сохранении значения λ неизменным.

Неизменность λ ведет к тому, что при одновременном изменении значений h и L направления от каждого из светильников на центральную точку поля сохраняются и освещенность от каждого светильника (а следовательно, и от всех светильников) уменьшается обратно пропорционально h^2 . Следовательно, в том же отношении должен увеличиваться световой поток каждого светильника для сохранения освещенности неизменной. Но так как число светильников уменьшается также пропорционально h^2 , то общий потребный поток остается неизменным; если же освещение выполняется лампами накаливания, то с увеличением значений h и L будем переходить к лампам большей мощности, т. е. со все большей световой отдачей, и суммарная мощность освещения будет уменьшаться, пока мощность лампы не достигнет предельно возможного значения.

Дополнительно рассмотрим практически важный случай освещения вертикальной поверхности светильником, подвешенным на высоте h над уровнем, на котором нормирована освещенность. Требуется выбрать оптимальное значение размера a (рис. 2-7).

В этом случае

$$E = \frac{I_0 \cos^m + 3 \alpha \operatorname{tg} \alpha}{h^2}$$

и дифференцирование этого выражения по a приводит к результату:

$$a = h : \sqrt{m+2}.$$

В подобных случаях нередко светильники наклоняются так, чтобы осевая сила света была направлена в освещаемую точку А. Это эквивалентно

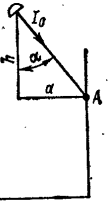


Рис. 2-7. Освещение вертикальной поверхности

установке светильников, для которых $m = 0$, и из выражения (2-6) получаем:

$$a = h : 2; \alpha = 35^\circ.$$

Если поверхность освещается целым рядом светильников, параллельным этой поверхности, при расстоянии между светильниками L , то несколько более сложный вывод приводит к результату:

$$a = \sqrt{\frac{h^2 + L^2}{m + 2}}.$$

Поучительно, что рассмотренная задача, как и некоторые другие задачи в светотехнике, может быть решена «методом поворота». Повернув рисунок на 90° по часовой стрелке сделаем вертикальную поверхность горизонтальной, причем a будет играть роль h , а h — роль a . Из ранее рассмотренного определения наиболее выгодной высоты ясно, что при установке одного светильника и $m = 0$ значение $a = h : \sqrt{2}$.

Все приведенные выше выводы из теории наиболее выгодного расположения светильников используются в практике с некоторыми оговорками, и найденные значения L в основном служат лишь для ориентировки при выборе размещения светильников. Для этого есть несколько причин.

Все кривые зависимости $\mathcal{E} = f(\lambda)$ вблизи максимума весьма пологи, и отклонение величины λ от оптимального значения в пределах примерно $\pm 30\%$ обычно допустимо. Определяющим фактором при практическом выборе значения L часто оказывается ограниченность сортамента ламп. В высоких помещениях может оказаться оптимальным очень небольшое значение L , но если при этом для создания заданной освещенности необходимы, например, лампы накаливания мощностью по 5 кВт, то волей-неволей придется уменьшать L . Правда, в производственных помещениях взамен этого часто применяется установка светильников блоками, суммарный поток каждого из которых соответствует расчетному, а при использовании люминесцентных ламп применяются вдвоенные или строенные ряды светильников. Далее, определенные ограничения на размещение светильников накладывает конструкция перекрытия, т. е. наличие ферм, балок или кессонов. Наконец, уже и сама необходимость разместить в пределах определенной длины целое число светильников уже вызывает корректировку значения L .

Пусть, например, длина помещения 12 м и теоретически определено, что $L = 5$ м. Установив на таком расстоянии два светильника, мы приходим к непомерно большим значениям l ; переходя же к трем светильникам, видим, что они удачно размещаются, если принять $L = 4,5$ м и $l = 1,5$ м.

В некоторых случаях при решении подобных задач может помочь «правило трети». Пусть вдоль стороны помещения длиной A надо разместить светильники при желательном расстоянии L и при $l = \frac{1}{3} L$.

Сначала прикидываем возможное число светильников: $n < A : L$, округляем его до целого числа и находим уточненное расстояние между светильниками:

$$L = \frac{A}{n - 1/3}.$$

Исходным значением L при выборе расположения светильников, как правило, должно приниматься соответствующее значение λ_0 при лампах накаливания и λ_c — в остальных случаях. Значение λ_0 практически для внутреннего освещения определяется лишь в редких случаях и обязательно сопровождается проверкой качества освещения и возможности его осуществления стандартными лампами.

При локализованном освещении основное значение при выборе расположения светильников имеют вопросы распределения освещенности по поверхностям и направления света. Общих указаний дать, конечно, невозможно. Отметим только, что при возможности возникновения отраженной блескости предпочтительным является боковое или заднебоковое направление света, при работах, выполняемых правой рукой, направление света преимущественно слева. В пределах группы светильников локализованного освещения, решающих общую светотехническую задачу, сохраняют силу сделанные выше выводы в отношении выбора расстояния между светильниками и высоты их установки.

ПРАКТИКА РАЗМЕЩЕНИЯ СВЕТИЛЬНИКОВ С УЧЕТОМ ДОСТУПА К НИМ ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ

Возможные места установки светильников схематически показаны на разрезе здания (рис. 2-8), применительно к которому ниже приводятся нормативные требования и указывается область применения.

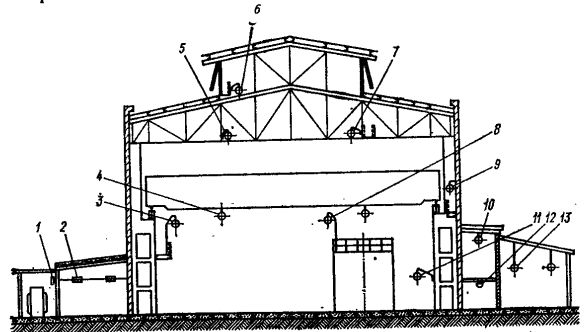


Рис. 2-8. Возможные места установки светильников

В помещениях ограниченной высоты светильники устанавливаются либо на свесах (13), либо непосредственно на потолке (12) и обслуживаются с лестниц или стремянок, причем применение тех или других разрешается при высоте подвеса h_n не более 5 м

(здесь и дальше высота указывается до нижней точки светильника). Эти светильники не должны устанавливаться непосредственно над оборудованием, лентами транспортеров и т. д., т. е. над теми местами, где нельзя установить стремянку. В помещениях, где имеются открытые токоведущие части, соприкосновение с которыми или падение человека на которые может быть опасным, значение h_n ограничивается значением $2,1 \text{ м} - 1$.

В помещениях с подшивными или подвесными потолками над последними размещается или технический этаж, в котором могут находиться люди, или непроходная техническая полость. В первом случае применяются встроенные светильники верхнего обслуживания 2, во втором, наравне со встроенными светильниками нижнего обслуживания, могут применяться подвесные или потолочные светильники.

Для светильников 10 верхних технологических площадок рекомендуется значение h_n не более 3,5 м, чтобы избежать необходимости втаскивания на эти площадки тяжелых стремянок. Для таких же площадок, но открытых со стороны цеха и имеющих ограждение, иногда практикуется установка светильников 3 на стойках — «гусаках», причем бывает целесообразным использовать эти светильники и для освещения нижних отметок цеха. Высота установки этих светильников не превышает 2,5 м. Подобные же светильники (8) могут устанавливаться на огражденных площадках технологического оборудования.

Очень широко применяется установка светильников 11 на стенах на кронштейнах при $h_n \leq 5 \text{ м}$. В ряде случаев они предназначаются для увеличения вертикальной освещенности на оборудовании; в суженных местах и проходах они позволяют осветить пол или оборудование с относительно малой высоты, в отдельных же случаях (см. ниже) они полностью заменяют собой верхнее освещение. Эти светильники, так же как светильники 7 и 8, нередко устанавливаются с наклоном в сторону освещаемых поверхностей или же выбираются одностороннего светораспределения.

В помещениях с ферменным покрытием чаще всего основную роль играют светильники 5 верхнего освещения, установленные на фермах. При возможности они обслуживаются с мостовых кранов, причем нормы требуют, чтобы они были размещены не ниже 1,8 м над настилом моста крана или же заподлицо с нижним поясом ферм.

С точки зрения обслуживания оптимальным решением является установка светильников 7 вдоль светотехнических мостиков. Они должны быть установлены на уровне настила мостиков с отклонением $\pm 0,5 \text{ м}$, так как при установке на стойках от мостиков падала бы тень на пол.

Иногда для установки светильников 6 удается использовать площадки, предназначенные для обслуживания фрагм фонарей естественного освещения. В относительно редких случаях для

светильников 9 предусматриваются специальные локальные площадки с обеспеченным доступом (лестницы, трапы), где преимущественно размещаются сосредоточенные группы наклонных светильников. Наконец, почти всегда обязательна установка светильников 4 под мостом крана для компенсации производимого последним затенения и для увеличения освещенности в зоне работы крана.

Остается сложной и не вполне еще решенной проблема освещения некоторых помещений большой высоты. Обслуживание с мостовых кранов практически обеспечивается, только если работа на них имеет монтажный или ремонтный характер, край же, непосредственно обслуживающие технологический процесс, настолько заняты, что их трудно выделить для монтера-светотехника (кроме цехов, работающих в 1—2 смены). Разного рода кран-балки непосредственно не могут быть использованы для обслуживания светильников, но они иногда приспособляются для этой цели путем устройства специальных площадок или монтерских корзин, подвесные же кран-балки подчас столь приближены к потолку, что даже установка светильников над ними невозможна.

В принципе не исключено применение светильников, индивидуально опускаемых с помощью лебедки или устанавливаемых вдоль троса и опускаемых вместе с последним. Это громоздкое и сложное решение не получило широкого применения в промышленности и используется только в общественных зданиях для многоламповых люстр.

Возможным решением вопроса является обслуживание светильников с напольных приспособлений, самоходных или несамоходных, несущих монтерскую корзину, укрепленную на телескопической стойке или на поворотной стреле. Это решение широко применяется для наружного освещения, а также в производственных сооружениях средней высоты, например на станциях метрополитена. Использование его на промышленных предприятиях ограничивается недостаточным сортаментом выпускаемых напольных устройств и в еще большей степени такой планировкой оборудования и такой загромажденностью пола в цехах, которая исключает возможность перемещения этих устройств. Кроме того, многие современные цехи имеют высоту 12—40 м, при которой вообще применение напольных устройств недопустимо.

При стечении неблагоприятных обстоятельств выход приходится искать в трех направлениях: замена верхнего освещения двумя рядами светильников, установленных на кронштейнах вдоль продольных стен или на колоннах, установка светильников на уже имеющихся или специально предусмотренных площадках, устройство светотехнических мостиков.

Хотя эксплуатационный персонал предприятий нередко высказывается в пользу первого из этих решений, оно целесообразно лишь в редких случаях. Подтвердим это расчетом. Пусть ширина помещения B , и два боковых ряда светильников установлены на наибольшей высоте, при которой возможно обслуживание с лестниц, т. е. 5 м. Пусть, далее, светильники при всех значениях B наклонены так, что их оси направлены на продольную ось помещения. Тогда из выражения (2-1) при $m = 0$ можно видеть, что высота 5 м будет наилучшей при $B = 14 \text{ м}$. При большей ширине цеха удовлетворительно осветить всю его площадь, не прибегая к верхнему освещению, затруднительно; кроме того, при любой ширине вариант бокового освещения возможен только при отсутствии крупного затеняющего оборудования.

Возможность использования существующих площадок имеется далеко не всегда. Устройство специальных площадок является, можно сказать, решением на самый крайний случай.

Оптимальным решением, при отсутствии иных возможностей, является устройство светотехнических мостиков, опыт применения которых полностью себя оправдал. Более того, даже при возможности использования для доступа к светильникам крупных мостовых кранов устройство мостиков может оказаться экономически предпочтительным. К сожалению, в данное время устройство мостиков разрешается только по согласованию с вышестоящими организациями.

Число продольных рядов мостиков следует строго ограничивать, и, как правило, в пролетах шириной до 24 м должно быть не более двух, а в пролетах большей ширины — трех рядов мостиков.

2-6. ХАРАКТЕРИСТИКИ И КЛАССИФИКАЦИЯ СВЕТИЛЬНИКОВ

Как условия применения светильников, так и предъявляемые к ним требования столь разнообразны, что выбор светильников необходимо основывать на знании целого ряда их характеристик, как светотехнических, так и конструктивных.

Осуществляемое светильниками перераспределение светового потока ламп неизбежно связано с частичными потерями светового потока, и важной (хотя не решающей) характеристикой светильников является их коэффициент полезного действия, т. е. отношение потока светильника к потоку установленной в нем лампы.

Световой поток светильника Φ может быть различно распределен между верхней (Φ_{Δ}) и нижней (Φ_{\ominus}) полусферами. По ГОСТ 13828—74, если $\Phi_{\Delta} > 80\% \Phi$, светильники относятся к классу прямого света (П), при $\Phi_{\Delta} > 60 \div 80\% \Phi$ — к классу преимущественно прямого света (Н), при $\Phi_{\Delta} = 40 \div 60\% \Phi$ — к классу рассеянного света (Р), при $\Phi_{\Delta} = 60 \div 80\% \Phi$ — к классу преимущественно отраженного света (В) и при $\Phi_{\Delta} > 80\% \Phi$ — к классу отраженного света (О).

Излучаемый в данной полусфере поток может быть различно распределен в пространстве. Его распределение по отдельным направлениям пространства характеризуется кривыми силы света, причем особое значение имеют эти кривые для нижней полусферы. Направление силы света в пространстве задается меридиональным углом α и азимутом β (рис. 2-9). Если для всех меридиональных плоскостей светораспределение одинаково, то оно называется круглосимметричным и определяется одной меридиональной кривой. Во многих случаях, например у большинства светильников с горизонтально расположенными трубчатыми лампами, светораспределение имеет две плоскости симметрии и характеризуется продольной и поперечной (по отношению к осям ламп) кривыми силы света. В общем случае, т. е. при несимметричном светораспределении, последнее характеризуется кривыми силы света в нескольких меридиональных плоскостях.

ГОСТ 13828—74 устанавливает следующие основные типы кривых силы света (в любой полусфере): К — концентрирован-

ная, Г — глубокая, Д — косинусная, Л — полуширокая, М — равномерная, Ш — широкая, С — синусная (рис. 2-10). Возможны также некоторые другие формы кривых силы света, не отраженные в ГОСТ и именуемые специальными. При несимметричном светораспределении светильники могут иметь, например, в одной из меридиональных плоскостей светораспределение Ш, а в перпендикулярной ей плоскости — светораспределение Д. В некоторых случаях, как указано в § 1-1, закон изменения силы света в функции угла α может быть выражен уравнением.

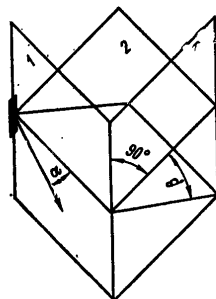


Рис. 2-9. Плоскости и углы, для которых даются значения силы света

1 — продольная плоскость; 2 — поперечная плоскость; α — меридиональный угол; β — азимут

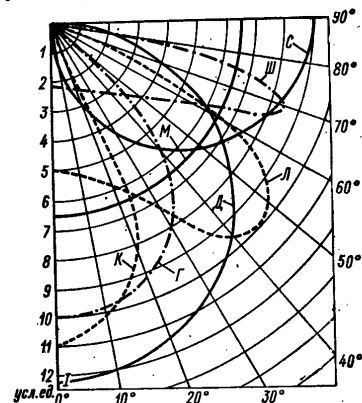


Рис. 2-10. Типовые кривые силы света

Необходимо пояснить, что кривые светораспределения конкретных выпускаемых заводами светильников могут несколько отличаться от типовых кривых, приведенных на рис. 2-10, но характер их должен соответствовать типовым кривым.

Представление кривых силы света в виде графиков, построенных в полярных координатах, наиболее наглядно, но для практических расчетов чаще используются таблицы значений силы света для различных значений α . Для сопоставимости данных как кривые, так и таблицы силы света обычно даются для светильника с условным световым потоком лампы (или суммарным потоком нескольких ламп) 1000 лм.

Блескость светильников характеризуется их яркостью, причем может указываться как габаритная яркость, т. е. отношение силы света к площади проекции светильника на плоскость, так и максимальная яркость. Большое значение для ограничения ослепленности, создаваемой светильниками, имеет защитный угол ρ (рис. 2-11), создаваемый отражателем, а в светильниках с люминесцентными лампами — также планками экранирующей решетки.

ГОСТ 13828—74 и 14254—69 классифицируют светильники также по степени защиты от пыли и воды.

Обозначение степени защиты состоит из двух прописных букв латинского алфавита — IP (начальные буквы английских слов International Protection) и двух цифр, первая из которых обозначает степень защиты от пыли, вторая — от воды (например, IP54). Для светильников, имеющих некоторые конструктивные особенности, обозначение степени защиты не имеет букв IP, а у первой цифры, указывающей степень защиты от пыли, добавляется «штрих» (например, 5'4).

По степени защиты от пыли различаются светильники открытые (2), перекрытые с неуплотненной светопроницаемой оболочкой (2'), пылезащищенные, т. е. допускающие проникновение пыли в полость светильника только в безвредных количествах (5),

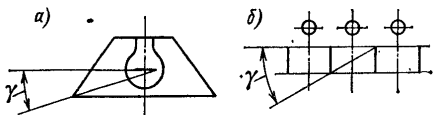


Рис. 2-11. Защитный угол, создаваемый отражателем *a* и экранирующей решеткой *б*

с ограниченной зоной пылезащиты только в пределах расположения контактных частей (5'), пыленепроницаемые (6) и с ограниченной зоной пыленепроницаемости (6').

По степени защиты от воды различаются светильники незащищенные (0), каплезащищенные (2), дождезащищенные (3), брызгозащищенные (4), струезащищенные (5) и некоторые другие.

Об исполнениях светильников для взрывоопасных помещений см. в § 7-2.

Классификация светильников по климатическому исполнению дана в ГОСТ 15150—69. В частности, светильники для умеренного климата обозначаются буквой У, для тропиков — Т и т. д. Предусмотренные тем же ГОСТ категории размещения при выборе светильников особого значения не имеют, так как к одной и той же категории относятся помещения с несопоставимо разными условиями среды.

Выпускаемые промышленностью светильники могут иметь собственное наименование («Астра»), обозначаться номером артикула (арт. 135) или маркироваться аббревиатурой (ГВЛ — пыле- и водозащищенный люминесцентный), но во всех случаях им должно присваиваться определенным образом построенное обозначение в соответствии с ГОСТ 13828—74, которое поясняется на следующем примере:

ЛСП06-2×40-013-У4.

Здесь Л — люминесцентные лампы (Н — обычные лампы накаливания, И — галогенные лампы КГ, Р — лампы ДРЛ, Г — лампы ДРИ, Ж — натриевые лампы, К — ксеноновые лампы);

С — подвесной светильник (П — потолочный, Б — настенный, В — встраиваемый, Н — настольный, Т — напольный, К — консольный и т. д.); П — светильник для промышленных предприятий (Р — для рудников и шахт, О — для общественных зданий, У — для наружного освещения и т. д.); 06 — номер серии; 2×40 — число и мощность ламп (цифра 1 не указывается); 013 — номер модификации; У4 — климатическое исполнение и категория размещения (ГОСТ 15150—69).

2-7. ВЫБОР СВЕТИЛЬНИКОВ ПО СВЕТОТЕХНИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

Из характеристик, определяющих качество освещения, от типа светильника зависит степень прямой и отраженной блескости, равномерность освещения, распределение освещенности по поверхностям помещения, соотношение горизонтальной и вертикальной освещенности, степень смягчения теней.

Ограничение прямой блескости достигается применением светильников с достаточным защитным углом, а при необходимости — с рассеивателями. Помимо прямых нормативных требований, должно обращать внимание на индивидуальные особенности освещаемого объекта. Так, если по ходу работы оси зрения могут быть направлены вверх, то необходимы более эффективные меры для ограничения блескости, чем это требуется нормами; наоборот, если по местным условиям попадание светильников в поле зрения работающих исключается, то при целесообразности для «острой» подсветки отдельных поверхностей могут использоваться даже прожекторы, обычно не рекомендуемые для внутреннего освещения.

Основными способами ограничения отраженной блескости являются выбор направления света и уменьшение яркости светильников путем снабжения их рассеивателями или даже выполнения их в виде больших светящихся поверхностей. Отмечается, что определенные преимущества имеют светильники с кривыми типа Л, обеспечивающими преимущественно боковое направление света на рабочие места, при котором направление наибольшей яркости поверхностей не совпадает с направлением осей зрения.

При общем освещении большим числом светильников неравномерность освещения не является проблемным вопросом: самый факт нормирования наименьшей на освещаемой площади освещенности вынуждает устанавливать светильники на таком расстоянии друг от друга, что необходимая степень равномерности обеспечивается.

Для наглядного сопоставления распределения освещенности при различных типовых кривых приводится рис. 2-12, на котором значения освещенности рассчитаны при одинаковом для всех светильников световом потоке нижней полусферы.

При освещении поверхности одним светильником наибольшая равномерность горизонтальной освещенности обеспечивается при кривых типов Л и Ш. Полная равномерность освещенности может быть достигнута, если сила света подчиняется уравнению

$$I_{\alpha} = \frac{K}{\cos^3 \alpha},$$

где K — постоянная величина. Форма такой кривой приведена на рис. 2-13.

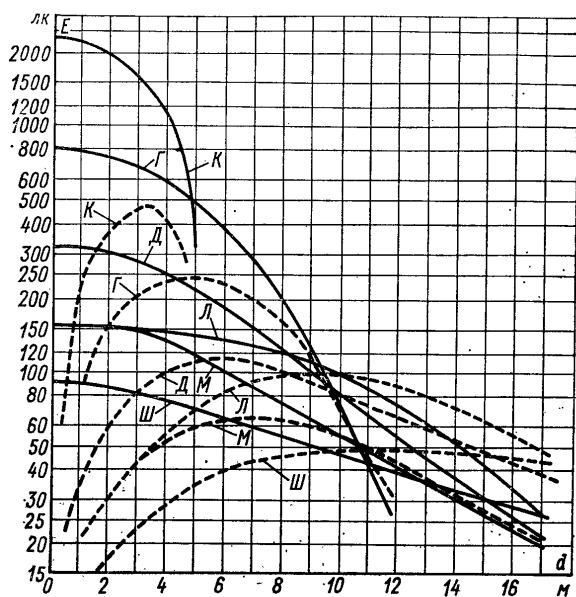


Рис. 2-12. Характер распределения освещенности при различных формах кривых силы света:

— — — — — горизонтальная; - - - - - вертикальная в плоскости, перпендикулярной проекции луча на горизонтальную плоскость; буквы у кривых — обозначение кривых сил света по рис. 2-10

Равномерное освещение по всей высоте вертикальной поверхности может быть достигнуто при той же, по существу, кривой силы света, но повернутой на 90° . Обе эти кривые технически осуществимы в пределах определенных углов α .

Подобного рода кривые в действительности используются в установках наружного освещения, где особенно важно увеличение расстояния между светильниками, при освещении же больших горизонтальных поверхностей внутри зданий они почти не находят применения. Во-первых, в этом случае на каждый светильник приходится очень большая площадь, и, умножив ее на относительно высокие значения освещенности, требуемые для внутреннего освещения, получаем столь большое значение необходимого светового потока, какого не имеет ни одна стандартная лампа. Во-вторых, в этом случае весьма неблагоприятно распределяется

вертикальная освещенность: она будет близка к нулю в точках около проекции светильника и резко возрастать по мере удаления от него. Кроме того, при таком варианте освещения будут создаваться густые, не перекрываемые другими светильниками тени.

Во многих случаях, хотя преобладающее значение имеет освещенность горизонтальных рабочих поверхностей или пола, требуется также осветить поверхности оборудования, расположенные на достаточной высоте от пола, иногда даже выше точки установки светильника: складские стеллажи, трубопроводы и т. п. В подобных случаях часто приходится выбирать светильники с типовыми кривыми М. Хотя в большинстве случаев расчет освещения ведется на горизонтальную освещенность, но почти всегда имеет значение также освещенность вертикальных поверхностей. В этом отношении типовые кривые Г и, особенно, К, оказываются наименее удовлетворительными: в точках под светильником вертикальная освещенность близка к нулю из-за большого угла падения света, в более удаленных точках она мала из-за небольших значений силы света в направлении этих точек. В силу этих причин, а также в силу того, что концентрированные кривые силы света больше других искажаются при запылении, применение этих кривых следует ограничивать случаями крайней необходимости.

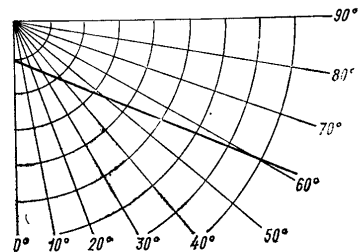


Рис. 2-13. Кривая силы света, дающая одинаковую во всех точках освещенность

из-за большого угла падения света, в более удаленных точках она мала из-за небольших значений силы света в направлении этих точек. В силу этих причин, а также в силу того, что концентрированные кривые силы света больше других искажаются при запылении, применение этих кривых следует ограничивать случаями крайней необходимости.

Не меньшее значение, чем выбор типа кривой силы света, имеет выбор класса светораспределения. С увеличением доли потока, направляемого светильником в верхнюю полусферу, смягчаются, а затем почти исчезают тени, уменьшается блескость, как прямая, так и отраженная (последняя в некоторых случаях заменяется вуалирующей световой дымкой), улучшаются условия освещения различно ориентированных в пространстве поверхностей. Существенным является также общее улучшение вида помещения, когда стены и потолки имеют достаточную яркость. В сфере качества освещения всему этому противостоит только одно отрицательное обстоятельство: ухудшение видимости и пространственного восприятия рельефных поверхностей из-за смягчения собственных теней. Этот недостаток не следует, однако, переоценивать. Значительно важнее то, что с увеличением доли потока в верхней полусфере почти всегда возрастает потребная мощность установки.

С учетом сказанного в производственных помещениях с незапыленными, хорошо отражающими стенами и потолками реко-

мендуется применение светильников класса Н. Нормы для общественных зданий требуют, чтобы в помещениях этих зданий, предназначенных для работы, светильники, как правило, не менее 15% своего потока направляли в верхнюю полусферу. Остальные классы светильников, т. е. Р, В, О, применяются сравнительно редко, чаще всего в силу архитектурно-эстетических соображений, а классы В и О — кроме того, при высоких требованиях к качеству освещения и невозможности выполнить их другим путем.

Распределение яркости по поверхностям верхней зоны помещения и контраст между поверхностями светильников и потолком сильно зависят от уровня освещенности и коэффициентов отражения поверхностей нижней зоны, особенно пола.

При установке в помещении, например, одного потолочного светильника прямого света потолок за счет многократных отражений получит какую-то яркость L . Если повысить освещенность в 10 раз и установить вместо одного 10 светильников, то и яркость потолка составит $10L$, в то время как яркость светильников не изменится.

Таким образом, при высоких освещенностях и светлых полах создаются предпосылки для преимущественного применения светильников класса П даже в помещениях общественных зданий.

2-8. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОБОСНОВАННОСТЬ ВЫБОРА ТИПА СВЕТИЛЬНИКА

В общих случаях наиболее целесообразный тип светильника должен выбираться на основе полного технико-экономического сопоставления различных возможных вариантов (§ 8-4). Так поступать обязательно при выработке типовых вариантов освещения часто повторяющихся объектов и желательно во всех наиболее ответственных случаях.

При сопоставлении вариантов основными изменяющимися составляющими затрат будут стоимость электроэнергии, амортизационные отчисления от стоимости светильников и затраты на обслуживание последних. Стоимость электроэнергии обычно преобладает в общей сумме затрат, к тому же остальные слагаемые не всегда бывают точно известны, и в практике чаще всего сопоставление светильников производится только по энергетическому показателю — удельной установленной мощности. Этот показатель легко определяется в процессе расчета.

При расчете по точечному методу (§ 3-4) надо избегать распространенной ошибки: учета в центре поля освещенности только от ближайших светильников. В этом случае результаты будут тенденциозно благоприятны в сторону светильников с более концентрированным светораспределением, так как у их «конкурентов» значительная доля освещенности создается именно удаленными светильниками.

Экономически наиболее целесообразно использовать светильники данного типа при наибольшей возможной для них мощности лампы и при наимыгоднейшем значении $\lambda = L : h$. Наоборот, светильники становятся явно нецелесообразными, если при наименьшей возможной мощности лампы и при том же значении λ освещенность превышает заданную и для получения последней приходится увеличивать λ , ухудшая энергетические показатели установки. К области применения светильника можно подойти следующим образом.

Основная формула, служащая для определения необходимого потока лампы (в люменах) в светильнике, при расчете по методу коэффициента использования (§ 3-2) имеет вид

$$\Phi = \frac{EkSz}{N\eta},$$

где E — освещенность, лк; k — коэффициент запаса; S — площадь помещения, м²; z — отношение средней освещенности к минимальной; N — число светильников; η — коэффициент использования светового потока.

Преобразуем эту формулу, приняв $\Phi = CP$ (где C — световая отдача лампы, лм/Вт; P — мощность лампы, Вт) и учтя, что в больших помещениях со многими полями с достаточной точностью можно считать $S = \lambda^2 h^2 N$.

Тогда

$$\Phi = CP = \frac{Ekh^2\lambda^2z}{\eta}$$

и

$$P = Ekh^2 \frac{\lambda^2}{\eta c}. \quad (2.6)$$

Отсюда видно, что основной аргумент, определяющий требуемую мощность лампы, есть Ekh^2 .

Применим формулу (2-6) для светильника УПД ДРЛ, пригодного для ламп мощностью от 250 Вт ($\Phi = 11\,000$ лм) до 700 Вт ($\Phi = 35\,000$ лм), считая $\lambda = 1,4$.

Коэффициент использования зависит от ряда факторов (см. § 3-2), но поскольку мы ищем лишь порядок величины для помещений большой площади, примем среднее значение $\eta = 0,5$. Подставляя это значение в выражение (2-6), находим, что для лампы 700 Вт $Ekh^2 = 8900$ лм и для лампы 250 Вт — 2800 лм. Пусть, например, задаю $E = 200$ лк и $h = 1,5$. Легко подсчитать, что мощность лампы достигнет 700 Вт при $h = 5,5$ м и уменьшится до 250 Вт при $h = 3$ м. Между этими граничными значениями есть, однако, существенная разница.

Если $Ekh^2 > 8900$ лм, то лампы 700 Вт могут быть расположены с уменьшенным значением λ или же в вершинах полей может быть установлено по 2—3 светильника. В этом нет ничего плохого, хотя это указывает на предпочтительность применения более мощного светильника.

Другое дело — нижний предел. Он достаточно жестко ограничивает применение светильника при малых Ekh^2 , так как пришлось бы сильно увеличивать значение λ , ухудшая светотехнические и энергетические показатели установки.

Учитывая, что удельная мощность осветительной установки

$$w = \frac{NP}{S},$$

из формулы (2-6) можем получить выражение

$$w = \frac{Ekz}{\eta c}$$

или, относя эту величину к единичной освещенности и характеризую энергетическую экономичность величиной, обратной удельной мощности,

$$\partial_z = \frac{\eta c}{z}. \quad (2.7)$$

На этом последнем выражении необходимо остановиться особо. Основным фактором, определяющим экономичность светильника, является коэффициент η , который при заданных условиях зависит от к. п. д. светильника и, в наибольшей степени, от формы его кривой силы света.

При прочих равных условиях типовые кривые силы света светильников класса Прасполагаются в порядке убывания значений η так: К—Г—Д—Л—М—Ш—С. Разница особенно сказывается при малых индексах помещения, т. е. в основном в помещениях большой высоты, что заставляет выбирать для высоких помещений кривые Г и Д, а в отдельных случаях, с учетом сделанных выше замечаний, — К. В низких помещениях разница в значениях коэффициентов использования относительно невелика.

Увеличению коэффициента η в направлении от кривых С и Ш к кривым К и Г противостоит уменьшение значения λ , во всех случаях ведущее к удорожанию установки, а при использовании ламп, световая отдача которых возрастает с увеличением мощности, также уменьшение С и, следовательно, рост удельной мощности.

Скорее принципиальное, чем практическое, значение имеет наличие в знаменателе формулы (2-7) коэффициента z , зависящего от многих факторов и никогда не известного с достаточной точностью. Это одна из причин, в силу которых в разное время решались задачи выбора при заданном значении λ оптимальной формы кривой силы света, т. е. такой формы, при которой z минимально. В какой-то степени результаты подобных работ учитывались при построении светильников, но решающего значения это не имело. При соответствующем уменьшении λ можно получить вполне равномерное освещение ($z = 1$) едва ли не при любой кривой силы света, наоборот, при теоретически идеальной кривой даже незначительное изменение λ может вызвать большую неравномерность.

Из всего вышесказанного ясно, что следует говорить не о светильниках, более или менее экономичных вообще, а о светильниках, предпочтительных в данных конкретных условиях.

Только для определенных, неизменных, условий, в частности для помещений неограниченной площади и при использовании ламп, световая отдача которых зависит от мощности, целесообразно строить кривые $\mathcal{E}_s = f(Ekh^2)$, дающие суждения о предпочтительности того или иного светильника при различных Ekh^2 .

2-9. ВЫБОР КОНСТРУКТИВНОГО ИСПОЛНЕНИЯ СВЕТИЛЬНИКОВ

От конструктивного исполнения светильников зависит их надежность и долговечность в данных условиях среды, безопасность в отношении пожара, взрыва и поражения электрическим током, а также удобство обслуживания.

Следует подчеркнуть разницу между характером требований к исполнению светильников в различных условиях среды. В пожаро- и взрывоопасных зонах неправильно выбранные светильники могут привести к столь тяжелым и даже трагическим послед-

ствиям, что требования к их исполнению являются, безусловно, обязательными и никаких послаблений не должно допускаться. Эти требования особо рассмотрены в § 7-2.

Указанное в каталогах исполнение светильников принимается как документальный факт и отдельным лицам не дается права решать, является ли данный светильник, например, пылезащитным или пыленепроницаемым. Наоборот, область применения светильников в каталогах не всегда указывается точно и часто в практике может расширяться, но, конечно, в пределах разрешенной нормами области применения данного исполнения.

Для помещений с неблагоприятными, или, как обычно говорят, с тяжелыми условиями среды (но не пожаро- или взрывоопасных), при выборе исполнения светильников допускается известная степень свободы. Например, категория «пыльных помещений» охватывает широкую группу объектов с весьма различными условиями среды, и в индивидуальном порядке возможно решить, применять ли сложные в обслуживании пыленепроницаемые светильники или более запыляемые, но легче очищаемые, открытые.

Приводя основные рекомендации по выбору светильников для помещений с тяжелыми условиями среды, надо также учитывать, что классификационная оценка светильников по всем действующим стандартам далеко не полностью характеризует пригодность их в тех или иных условиях и что, хотя степени защиты от воды и от пыли указываются отдельно, фактически они находятся в тесной связи между собою.

В помещениях сырых, особосырых, с химически активной средой, а также при установке вне зданий степень защиты светильников должна быть, как правило, не ниже IP53 или 5'3, причем предпочтительны степени защиты IP54 или 5'4 (см. § 2-6). Из числа конструктивных и светотехнических материалов наиболее устойчивы к воздействиям среды фарфор, силикатное стекло и пластические массы; далее следуют поверхности, покрытые силикатной эмалью, и органическое стекло, затем — алюминий, который малоустойчив к воздействию щелочей, и, наконец, черные металлы. Особенно уязвимым местом светильников в тяжелых условиях среды является место ввода сетевых проводников. Чаще всего у светильников, предназначенных для этих условий, ввод производится через уплотняющий сальник, но еще более надежным является отдельный ввод проводников через изолирующие полости, трубки или втулки.

В помещениях, где осуществляется гидроудаление пыли, степень защиты должна быть не ниже IP55 или 5'5, при отсутствии же таких светильников могут применяться светильники с люминесцентными лампами со степенью защиты 5'X или 6'X*. В жарких помещениях могут применяться любые светильники, но, по возможности, следует избегать применения светильников с закры-

* Знак X в обозначении требуемой или рекомендуемой степени защиты светильников от воды показывает, что к этому виду защиты специальных требований не предъявляется. В отдельных случаях, при необходимости такой защиты, знаком X также может обозначаться, что ее степень определяется конкретными условиями в местах установки светильников.

тремя стеклянными колпаками, из числа же люминесцентных ламп — использовать амальгамные.

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

Большое значение имеет применение в пыльных помещениях ламп-светильников, т. е., в частности, зеркальных ламп накаливания и газоразрядных ламп с отражателем. В этом случае защита от пыли поверхностей, участвующих в перераспределении светового потока осуществляется в самих лампах, но надо позаботиться о защите от пыли и других возможных воздействий контактных частей, в связи с чем лампы-светильники рекомендуется устанавливать в арматуры исполнений 5'X или 6'X.

В отношении стабильности светотехнических характеристик в условиях пыльной среды наиболее надежны светильники исполнений IP5X или IP6X, у которых выходное отверстие перекрыто плоским или выпуклым защитным стеклом. На втором месте находятся светильники с замкнутым, уплотненным стеклянным колпаком без отражателя, на третьем — такие же светильники, но с отражателем. В этом случае стеклянный колпак защищает от пыли только лампу, но, в свою очередь, будучи запыленным, поглощает часть потока как на пути от лампы к отражателю, так и от отражателя во внешнее пространство. Из светильников, вообще не имеющих пылезащиты, предпочтительны светильники с естественной вентиляцией.

Эффективным средством пылезащиты является постоянная подача в полость светильника чистого воздуха под некоторым давлением. Подобные схемы были у нас испробованы, но не нашли широкого применения из-за некоторых практических и экономических соображений.

По степени восстанавливаемости светотехнических свойств после многократной очистки первое место занимают поверхности, покрытые силикатной эмалью, и стеклянные, в том числе зеркальные, поверхности; промежуточное положение занимают эмали, используемые в люминесцентных светильниках, и алюминиевые поверхности; очень плохо себя зарекомендовали различные суррогаты эмалей и краски.

Очевидно, что при выборе светильников для специфических климатических районов должно учитываться их климатическое исполнение.

Для практики важна не только устойчивость светильника к воздействиям среды, но и удобство его обслуживания, т. е.

в первую очередь способ соединения между собой частей, разъем которых необходим для доступа во внутреннюю полость светильника. С этой точки зрения наименее желательно применение светильников, для открывания которых необходимо отвинтить несколько гаек с помощью ключа. Даже только замена простых гаек «барашками» значительно улучшает дело, однако наиболее просто в обслуживании светильники (конечно, из числа закрытых), в которых соединение частей достигается пряжковыми запорами или винтовой нарезкой на самих этих частях, в частности на горловине стеклянного колпака.

Например, работники эксплуатации предпочитают светильнику повышенной надежности НЗБ, казалось бы, более сложный взрывонепроницаемый светильник ВЗГ, так как в первом для снятия колпака надо отвернуть несколько гаек, а во втором — нижнюю часть корпуса со стеклом вывернуть из верхней части.

Некоторые светильники имеют в своей конструкции контактное разъемное соединение. Такие светильники следует выбирать в случаях, когда предполагается снятие их для очистки, в частности при установке в труднодоступных местах. Однако для помещений с тяжелыми условиями среды такие светильники не рекомендуются ввиду недостаточной надежности контактных соединений в таких условиях. При выборе светильников приходится учитывать и некоторые другие детали их конструкции, такие, как способ крепления (на крюке, на трубе и т. д.), место ввода (осевой, боковой) и др.

2-10. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СОРТАМЕНТА СВЕТИЛЬНИКОВ

Разнообразие типов и мощностей источников света, условий среды, а также светотехнических и конструктивных требований к светильникам определяют необходимость иметь в сортаменте большое число их типоразмеров, которое в настоящее время достигло примерно 1000.

Возрастанию этого числа способствует и выпуск светильников специализированного назначения, например для школ, больниц, улиц и т. д., хотя надо сказать, что в практике осуществления осветительных установок принцип специализации часто и обоснованно нарушается. Так, ранее выпускавшийся в громадном количестве «школьный» светильник ШОД получил широчайшее применение в различных общественных и производственных зданиях, а плафон артикула 135, он же ПСХ, когда-то предназначенный для освещения амбаров, в массовом порядке используется в низких помещениях промышленных предприятий, в ваннах жилых домов и даже в парадных помещениях общественных зданий в качестве сигнального фонаря у выходов.

Каждый типоразмер светильника с газоразрядными лампами и галогенными лампами накаливания типа КГ предназначается для ламп одной определенной мощности. Практически все светильники с люминесцентными лампами имеют встроенный ПРА (в большинстве, но не во всех случаях, со стартерными схемами), большин-

ство светильников с другими типами газоразрядных ламп (ДРЛ, ДРИ, ДНаТ, ДКсТ) поставляется комплектно с выносными ПРА.

Светильники с лампами накаливания маркируются на определенную номинальную мощность, которая является предельной, но могут использоваться в них и лампы меньшей мощности, имеющие тот же тип цоколя, конечно, в определенных пределах, потому что установка, например, в светильнике ламп мощностью до 200 Вт ламп 25 Вт явно бессмысленна и, кроме того, может привести к резкому искажению кривой силы света.

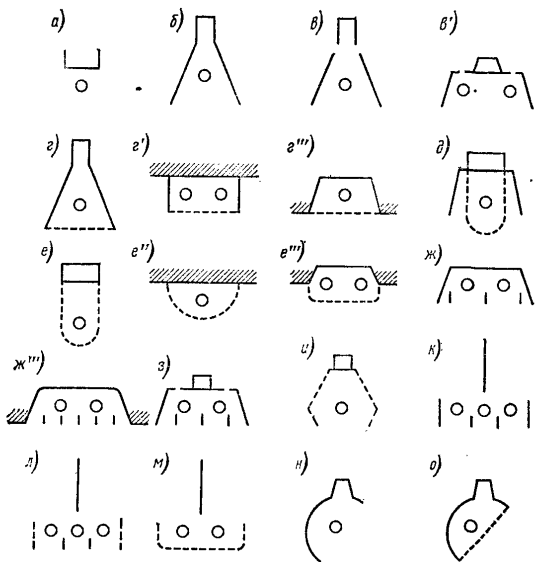


Рис. 2-14. Конструктивно-светотехнические схемы светильников

На рис. 2-14 показаны почти все применяемые конструктивно-светотехнические схемы светильников. Каждая из них может варьироваться в тех отношениях, что отражатель может быть диффузным, зеркальным или имеющим смешанное отражение, контактная полость может иметь или не иметь уплотнения, стеклянный колпак может выполняться из прозрачного, рифленого, матированного, опалового или молочного стекла и соединяться с корпусом с уплотнением или без него.

На рис. 2-14 сплошные линии обозначают непрозрачные отражающие поверхности, штриховые — стеклянные рассеиватели или

защитные стекла, короткие вертикали — планки экранирующей решетки. Штрихами обозначены принципиально не отличающиеся варианты схем: ' — специально для люминесцентных ламп, " — для потолочных светильников, " — для светильников, встраиваемых в потолки. Далее приводятся пояснения особенностей и областей применения светильников с разными конструктивно-светотехническими схемами.

Патрон с лампой накаливания (рис. 2-14, а) в матированной колбе или блок с открытой люминесцентной лампой применяется в тех случаях, когда не требуется ограничения слепящего действия: при установке в устройствах отраженного света, в помещениях очень малой площади, где сами размеры помещения создают «естественный защитный угол» (рис. 1-10), иногда в проходах за электрическими щитами и т. д.

На рис. 2-14, б приведена основная, широко применяемая схема светильников прямого света с любыми лампами, при эмалированных отражателях имеет кривую силы света типа Д, при алюминиевых или иных отражателях со смешанным или зеркальным отражением может иметь также кривые типов К, Г или Л. При прочих равных условиях предпочтительно использование эмалированных отражателей, особенно в тяжелых условиях среды. Схема может быть использована в помещениях с повышенным содержанием негорючей пыли, но тогда желательно (особенно при наличии проводящей пыли) иметь уплотнение контактной полости (исполнения 5' и 6').

Светильник, изображенный на рис. 2-14, в, отличается от изображенного на рис. 2-14, б тем, что между корпусом и отражателем имеется просвет (а при использовании люминесцентных ламп отражатель имеет перфорацию), что обеспечивает некоторую подсветку верхней зоны помещения. В остальном характеристики и область применения такие же, как у светильников на рис. 2-14, б.

Светильник на рис. 2-14, г в светотехническом отношении эквивалентен изображенному на рис. 2-14, б, конструктивно отличаясь наличием плоского или выпуклого стекла, закрывающего выходное отверстие. Если это стекло укреплено с уплотнением, то схема становится оптимальной для помещений, содержащих пыль. Варианты этого светильника относятся в основном к люминесцентным светильникам, в которых уплотнение стекла возможно, но применяется крайне редко. Эти варианты, без уплотнения, часто применяются в общественных зданиях, но их существенным недостатком является отсутствие подсветки потолков.

Традиционная схема светильников прямого света приведена на рис. 2-14, д для помещений с наличием влаги и пыли, хотя для последних схема далека от оптимальной. Эти светильники используются при невозможности применения изображенных на рис. 2-14, б (например, из-за пожарной опасности помещения) и 2-14, г. При отсутствии уплотнений защитное стекло (в данном

случае рассеивающее) служит для ограничения слепящего действия. Кривые силы света почти всегда типа Д.

Столь же традиционны светильники, изображенные на рис. 2-14, *е*, но уже классов Н или Р, для помещений с тяжелыми условиями среды. В этих светильниках применение защитных рассеивающих стекол обязательно. Характер светораспределения [обычно кривая типа М, в вариантах (рис. 2-14, *е'* и *е''*) — иногда типа Д] обеспечивает хорошую вертикальную освещенность, освещение высокорасположенных поверхностей и подсветку верхней зоны, что определяет широкое применение светильников в помещениях с нормальной средой, когда, конечно, уплотнений не требуется. По схеме рис. 2-14, *е'* выпускаются разнообразные потолочные светильники с лампами накаливания, как с уплотнениями — для тяжелых условий среды, так и без уплотнений — для общественных зданий. К вариантам светильников (рис. 2-14, *е'* и *е''*) относятся также и многочисленные потолочные светильники для люминесцентных ламп, широко применяемые в общественных и отчасти в производственных зданиях.

Светильники, изображенные на рис. 2-14, *ж* и *з* являются модификациями изображенных на рис. 2-14, *б* и *в*, они предназначены специально для люминесцентных ламп. Большие размеры этих ламп и обычная установка в светильнике нескольких ламп (ввиду их малой единичной мощности) затрудняют создание защитного угла с помощью только отражателя и вызывают необходимость применения экранирующих решеток: системы пересекающихся продольных и поперечных планок, разбивающих выходное отверстие на ряд мелких элементов. Светильники, не имеющие рассеивателей, должны снабжаться решетками в помещениях небольшой и средней высоты, причем в помещениях с наличием пыли применение решеток нежелательно.

Решетки не только создают необходимый защитный угол, но и улучшают внешний вид светильника, а в светильниках для общественных зданий, световых панелях, потолках и т. п. разнообразнейшей формы решетки часто становятся элементом светового оформления интерьера.

Для люминесцентных светильников наиболее характерны эмалированные отражатели, в связи с чем они обычно имеют типовую кривую силы света Д. Применение решеток, ограничивая силу света в наклонных направлениях, приближает кривую силы света к типу Г. Однако в некоторых случаях (высокие помещения, специальные требования к распределению освещенности) используются и зеркальные отражатели, с помощью которых можно получить нужную кривую силы света в поперечной плоскости при сохранении косинусного характера продольной кривой. Эффективно трансформировать последнюю можно с помощью экранирующих решеток с зеркальными планками или призматических стекол.

Светильники (рис. 2-14, *и*) широко применяются в жилых и общественных зданиях, преимущественно с лампами накаливания. Стекло здесь должно быть рассеивающим, молочным. В этих светильниках хорошо сочетаются благоприятный внешний вид, экономичность и качество освещения. Выпускавшийся по этой схеме светильник «Люцетта» имел, пожалуй, наибольшее распространение по сравнению со всеми остальными светильниками.

Светильник неожиданно оказался весьма перспективным в помещениях с большой сыростью, но без пыли (до бань и прачечных включительно) при условии, если головка светильника имеет соответствующее исполнение, т. е. выполнена из водостойких материалов и имеет раздельный ввод проводников. Раньше это достигалось сочетанием стекла «Люцетта» с фарфоровым подвесным патроном. Промышленного выпуска светильников в такой модификации организовано не было.

Светильники на рис. 2-14, *к* и *л* близки друг к другу и отличаются лишь наличием прозрачных или непрозрачных боковин. Имея светораспределение класса В, реже Р, они рекомендуются для общественных, отчасти — для производственных зданий с нормальными условиями среды, при высоких требованиях к качеству освещения.

Светильник (рис. 2-14, *м*) имеет ограниченное применение — почти исключительно в жилых помещениях. Светораспределение класса В.

Светильники (рис. 2-14, *н* и *о*) с наклонно расположенными отражателями, со стеклом или без него, известны под видовым названием «кососветы». Их применение целесообразно в случаях, когда освещаемые поверхности, особенно вертикальные, расположены по одну сторону от возможного места установки светильников, например при размещении последних на стенах на кронштейнах. В практике «кососветы» нередко заменяются наклонно установленными светильниками других схем.

Здесь не рассмотрены светильники с призматическими стеклами, пока мало распространенные в отечественной практике (кроме светильников наружного освещения). Между тем такие стекла, используя явление преломления света, могут создать весьма целесообразное для ряда случаев светораспределение и, в частности, резко ограничить значения силы света в направлениях, особо неблагоприятных из-за слепящего действия, т. е. 60—90° с вертикалью, без создания защитного угла как такового.

Подробные сведения по расчету и конструированию светильников для люминесцентных ламп содержатся в книге [8].

2.11. ЦЕЛЕВЫЕ СВЕТИЛЬНИКИ-СВЕТОВОДЫ

В традиционной системе освещения светильниками можно усмотреть известное противоречие: световой поток должен быть распределен по непрерывной поверхности площади или полосы, а для этого используются многочисленные дискретные излучатели, каждый из которых требует установки, обслуживания и подведения электрической энергии. Хотя в естественном освещении большую (но не всегда положительную) роль играет прямой солнечный свет, но в основном природа использует другое решение, распределяя свет сверхмощного источника — Солнца по всему небосводу. Сказанное можно рассматривать как логическую предпосылку для создания принципиально нового средства освещения: щелевых светильников-световодов (ЩСС). Идея создания ЩСС и их перво-

начальная теоретическая и конструктивная разработка принадлежит Г. Б. Бухману, в дальнейших работах по созданию ЩСС приняли участие многие организации и лица [9].

Пусть в торец длинной цилиндрической трубки (рис. 2-15) вводится мощный световой поток источников света. В пределах дуги *acb* труба выполнена из материала, внутренняя поверхность которого является зеркальной и имеет очень высокий коэффициент отражения; в пределах дуги *ab*, называемой щелью, труба выполнена из светопрозрачного, обычно — рассеивающего материала.

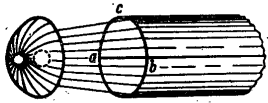


Рис. 2-15. Принципиальная схема щелевого светильника-световода

Лучи, падающие на поверхность зеркальной части трубы под достаточно большими углами, будут отражаться, идти по трубе дальше, отражаться повторно и т. д., причем часть светового потока будет попадать на щель и выходить через нее. Предпосылками того, чтобы значительная часть введенного потока не только вышла через щель, но и с достаточной равномерностью распределилась по всей длине последней, является строго рассчитанная структура светового потока в месте ввода и высокий коэффициент отражения зеркальной поверхности трубы. При соблюдении этих условий можно добиться довольно высокого к. п. д. ЩСС и сравнительно равномерной яркости щели на протяжении длины, достигающей 30 и 70 диаметров трубы соответственно при одно- и двухстороннем вводе в нее потока.

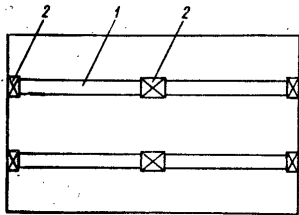


Рис. 2-16. Размещение каналов (1) щелевого световода и вводных устройств (2) в цехе

Для того чтобы выходящий из щели световой поток мог создать нормированную освещенность на значительных площадях, в ЩСС необходимо вводить очень большие потоки, причем источники света должны быть достаточно компактными, поэтому наиболее подходящими для световодов источниками света являются лампы ДРИ. Разработаны в частности, вводные устройства на 8 ламп по 3500 Вт каждое, причем вводы могут быть как односторонними, устраиваемыми с торца трубы, так и двухсторонними, устанавливаемыми «в рассечку» двух труб. На рис. 2-16 показана схема размещения щелевых светильников-световодов в цехе с использованием вводов обоих типов.

В зависимости от мощности вводного устройства изменяется диаметр трубы, лежащий обычно в пределах 250—1100 мм.

Трубы ЩСС выполняются как из тонких пленочных материалов, требующих для сохранения формы при их работе постоянной поддувки воздухом, так и жесткие, не требующие поддувки.

В своем развитии ЩСС выросли в систему комплектных осветительных устройств КОУ, включающих в себя специальные камеры для размещения вводных устройств, электроаппаратуры для питания и управления источниками света, вентиляционных установок и т. д. Здесь для мощных осветительных установок возможно осуществление «глубокого» ввода, т. е. подведение к вводам непосредственно к вводам с установкой у последних трансформаторов.

Световоды имеют весьма своеобразное светораспределение, резко несимметричное в продольной плоскости, с максимумом в направлении, противоположном ближайшему вводу. Из-за этого световод с одним вводом освещает преимущественно одну сторону вертикальной поверхности, перпендикулярной оси ЩСС. В различных сечениях по длине ЩСС светораспределение различно. Эти обстоятельства затрудняют расчет освещенности от ЩСС, который практически возможен лишь с помощью ЭВМ, но, по-видимому, в практике расчет будет заменяться выбором одного из типовых, заранее рассчитанных вариантов.

Первый опыт применения ЩСС дал весьма положительные результаты. ЩСС, в частности, хорошо вписываются в интерьер помещения и, вероятно, найдут применение не только в производственных, но и в общественных зданиях.

Установившихся технико-экономических показателей по применению ЩСС еще нет, но уже известно, что во многих случаях они дают существенное уменьшение годовых расходов, а во всех случаях — значительное упрощение обслуживания, так как резко уменьшается число точек, требующих такового. Особенно перспективно применение ЩСС во взрывоопасных помещениях.

Знаменательно, что основная линия развития ЩСС, еще до их массового внедрения, уже получила интересные и перспективные «ответвления». Так, в цехах обработки светочувствительных материалов традиционным способом освещения являются локальные фонари красного или оранжевого света, работа при которых утомительна для глаза, особенно если требуется просмотр проявляемых материалов на просвет. Освещение с помощью ЩСС значительно улучшает условия работы в этих цехах, причем в качестве источников света здесь целесообразно применение натриевых ламп, свет которых содержит относительно мало актиничных лучей, которые необходимо поглотить светофильтрами.

В музеях имеются витрины со столь ценными материалами, что доступ к ним разрешен только ответственным хранителям, что затрудняет устройство здесь встроенного освещения. В таких случаях в витрины можно встроить канал ЩСС, почти не требующий обслуживания, а вводное устройство с источником света разместить вне запретной для монтера зоны.

На основе ЩСС может быть создан также ряд оригинальных решений в установках архитектурно-художественного освещения.

Нередко в технике освещения возникает необходимость создать высокую освещенность на малой площади, подчас расположенной во внутренних полостях оборудования или изделий, причем требуется, чтобы осветительное устройство не загромождало рабочую зону. В таких случаях весьма перспективным является применение

особого рода световодов — волоконных, основанных на явлении полного внутреннего отражения. Такие световоды, которые не следует смешивать с аналогичными устройствами, служащими для передачи изображения, изготавливаются в виде гибких жгутов любой длины и пропускают около 50% света, вводимого через один из торцов. Вынося вводное устройство, для которого перспективно применение миниатюрных ламп КГ, из рабочей зоны, можно, не загромождая эту зону, «поливать» светом любой ее участок.

2-12. ОЗДОРОВИТЕЛЬНОЕ ОБЛУЧЕНИЕ В СИСТЕМЕ ОБЩЕГО ОСВЕЩЕНИЯ

К видимой части спектра примыкает со стороны коротких длин волн невидимое ультрафиолетовое (УФ) излучение, получившее за последние десятилетия широкое применение в различных отраслях техники.

Воздействие УФ-излучений необходимо для нормальной жизнедеятельности человеческого организма. Его недостаток вызывает «ультрафиолетовое голодание», при котором ослабевают защитные силы организма, происходит авитаминоз, наступает расстройство нервной системы и т. д.

Обычное силикатное стекло плохо пропускает УФ-излучение, и уже по этой причине все искусственные источники света, имеющие колбу из такого стекла, почти не имеют в своем спектре УФ-излучения. Ничтожно мало их и в спектре ламп КГ, хотя и имеющих колбу из кварцевого стекла. Естественно, что мало УФ-излучений проникает и в здания через остекленные окна, но даже и вне зданий периоды ультрафиолетового голодания могут наблюдаться у жителей северных широт при коротком световом дне и у жителей больших городов с их замутненной атмосферой.

Отсюда возникает необходимость специальной искусственной компенсации недостатка УФ-излучения путем устройства облучательных установок длительного действия — в системе общего освещения, или кратковременного действия — в фотариях. В дальнейшем пойдет речь только о первой группе облучательных установок.

Воздействие УФ-излучений на человека количественно оценивается эритемным действием, т. е. покраснением кожи, в дальнейшем переходящим в загар. Соответственно система световых единиц заменяется при УФ-излучении системой эритемных единиц и вводятся понятия: эритемный световой поток (миллиэры, мэр), эритемная сила света (мэр/ср) и эритемная облученность (мэр/м²).

Кривая интенсивности эритемного действия УФ-излучения в зависимости от длины волны имеет два резких максимума: при $\lambda = 0,25$ мкм и $\lambda = 0,297$ мкм, в промежутке между которыми эритемное действие обращается в нуль при $\lambda = 0,28$ мкм. Признается полезной (при правильной дозировке) и используется в облучательных установках только правая ветвь кривой в пределах

$\lambda = 0,28 \div 0,32$ мкм. Для получения излучения в этой области применяются эритемные люминесцентные лампы низкого давления ЛЭ мощностью 15 и 30 Вт и такие же, но лампы ЛЭР с отражателем 30 и 40 Вт. Эритемная отдача ламп лежит в пределах 20—40 мэр/Вт. Размеры этих ламп и их электрические характеристики такие же, как обычных люминесцентных ламп, и эритемные лампы могут применяться в обычных светильниках.

Основные требования к устройству облучательных установок содержатся в утвержденных Министерством здравоохранения СССР указаниях к проектированию и эксплуатации установок искусственного ультрафиолетового облучения на промышленных предприятиях (1974 г.) и некоторых других документах.

Согласно этим требованиям облучательные установки длительного действия должны устраиваться в помещениях зданий, расположенных севернее полярного круга, а в зданиях, расположенных между 45° широты и полярным кругом, — только в помещениях без естественного освещения или с недостаточным (коэффициент естественной освещенности меньше 0,1%) естественным освещением. Они должны при этом устраиваться только в помещениях с постоянным пребыванием не менее 10 чел., при высоте помещений не менее 3 м и не более 8 м и при площади, приходящейся на одного человека, не более 6 м². Эти установки должны также оборудоваться в основных помещениях детских учреждений.

Режим их включения должен устанавливаться в зависимости от широты места, а именно: при широте севернее 60° — с 1 ноября по 1 апреля, при широте 50—60° — с 1 ноября по 1 марта и при широте 45—50° — с 1 декабря по 1 марта. В помещениях для работы они включаются на 8 ч ежедневно; в помещениях для детей — на 4—6 ч.

При ультрафиолетовом облучении нормируется средняя облученность в горизонтальной плоскости на уровне 1 м от пола 5 мэр/м², но одновременно устанавливаются значения минимальной (1,5 мэр/м²) и максимальной (7,5 мэр/м²) облученности. Последнее ограничение необходимо, чтобы избежать вредной переоблученности. Поэтому расчет облучательных установок начинается с проверки максимальной облученности в точках непосредственно под светильниками. Коэффициент запаса вводится только при расчете минимальной облученности.

В остальном расчет облучательных установок ведется так же, как осветительных установок, с учетом отмеченных ниже специфических особенностей. Потребная мощность облучательных установок длительного действия относительно невелика и обычно лежит в пределах 1—2 Вт/м².

Как уже сказано, силикатное стекло и обычные марки органического стекла почти непрозрачны для УФ-излучений. Отражающие поверхности также ведут себя при УФ-излучении иначе, чем при видимом свете. Хорошо отражают УФ-излучение поверхности полированного алюминия и меловая побелка. Известковая

побелка имеет $\rho = 0,11 \div 0,30$; такие же материалы, как белила, белая эмаль и водоземulsionная краска, имеют $\rho < 10\%$.

При установке эритемных ламп в специальных светильниках материалы светильников выбираются с учетом их свойств при УФ-излучении, и исходной для расчета облучательных установок является кривая распределения эритемной силы света. Пока чаще приходится устанавливать эритемные лампы в светильниках для обычных люминесцентных ламп, и поскольку в этих светильниках применяются материалы, почти не отражающие УФ-излучение, расчет ведется как для открытой лампы с учетом ее экранирования конструктивными частями светильника. Ввиду пониженных требований к точности расчета лампа принимается за светящую точку, но учитывается, что в продольной плоскости она имеет кривую Д, а в поперечной — кривую М.

Светильники, используемые для эритемных ламп, должны иметь снизу экранирующую решетку с защитным углом в обеих плоскостях не менее 25° . В ряде случаев целесообразно применять установки отраженного света.

Светильники с эритемными лампами могут как включаться централизованно, так и управляться местными выключателями, но во всех случаях их управление должно быть отделено от управления светильниками, предназначенными для освещения. Допускается питание эритемных ламп отдельными группами от щитков основного освещения, однако к этим группам не должны присоединяться светильники рабочего или аварийного освещения.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

РАСЧЕТ ОСВЕЩЕННОСТИ

3-1. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ РАСЧЕТА

Обычной задачей расчета освещенности является определение числа и мощности светильников, необходимых для обеспечения заданного значения освещенности. Значительно реже выполняются проверочные расчеты, т. е. определение ожидаемой освещенности при заданных параметрах установки.

Расчет может выполняться с большой степенью точности, но чаще всего такой точности не требуется. Характеристики ламп и светильников имеют значительные допуски, и как бы тщательно ни был выполнен расчет, никоим образом нельзя гарантировать, что получится точно заданная освещенность. Существенно также, что самые нормы освещенности не являются строго обоснованными, и тот компромисс между желаемым и возможным, о котором говорилось выше, сохраняется на определенном участке шкалы освещенностей.

Повышенная точность расчетов нужна преимущественно при сопоставлении и выборе различных вариантов выполнения освещения. В этих случаях с учетом равной для всех вариантов вероятности отклонения результатов от расчетных данных можно считать предпочтительным тот вариант, в котором данные осветительные условия достигаются хотя бы при незначительно лучших показателях.

При освещении «точечными» источниками света, т. е. лампами накаливания, а также лампами типов ДРЛ, ДРИ и ДНаТ, обычно число и размещение светильников намечаются до расчета, в процессе же расчета определяется необходимая мощность лампы. При выборе лампы по стандартам допускается отклонение номинального потока лампы от требуемого расчетом в пределах от -10 до $+20\%$. При невозможности выбрать лампу, поток которой лежит в указанных пределах, изменяется число светильников.

При освещении трубчатыми люминесцентными лампами до расчета обычно намечается число и расположение рядов светильников, по результатам же расчета производится «компоновка рядов», т. е. определение числа и мощности светильников, устанавливаемых в каждом ряду. При этом отклонения ожидаемой освещенности от заданной должны также не превышать вышеуказанных пределов.

Все применяемые приемы расчета основаны на двух формулах, связывающих освещенность с характеристиками светильников и ламп:

$$E = \frac{\Phi}{S} \text{ и } E = \frac{I \cos \alpha}{r^2},$$

принципиальная разница между которыми состоит в том, что первая из них, будучи написана в недифференциальном виде, определяет среднюю освещенность поверхности, а вторая — освещенность конкретной точки на поверхности.

Метод, основанный на первой формуле, носит название метода коэффициента использования. В своих обычных формах он позволяет обеспечить среднюю освещенность горизонтальной поверхности с учетом всех падающих на нее потоков, как прямых, так и отраженных. Переход от средней освещенности к минимальной в этом случае может осуществляться лишь приближенно. Метод, основанный на второй формуле, — точечный метод, позволяет обеспечить заданное распределение освещенности на как угодно расположенных поверхностях, но лишь приближенно учесть свет, отражаемый поверхностями помещения.

Соответственно этим особенностям метод коэффициента использования применяется для расчета общего равномерного освещения горизонтальных поверхностей, а также для расчета наружного освещения в случаях, когда нормирована средняя освещенность. Точечный метод применяется для расчета общего равномерного и локализованного освещения помещений и открытых пространств, а также для расчета местного освещения при любом расположении освещаемых поверхностей. Его область применения для расчета внутреннего освещения ограничена, однако, случаями, когда

достаточен приближенный учет света, отражаемого поверхностями помещения, т. е. когда применяются светильники класса П, а при плохо отражающих поверхностях — также класса Н.

Мы видим, что области применения обоих методов частично перекрывают друг друга, но что имеется случай, в котором, казалось бы, не может применяться ни один из методов.

Действительно, общее равномерное освещение горизонтальной поверхности без точного учета отраженного света может быть с равным успехом рассчитано любым из методов. Обычно в этих случаях предпочитают пользоваться более простым методом — методом коэффициента использования, но для больших, ответственных помещений желательнее пользоваться точечным методом, позволяющим не только обеспечить заданную наименьшую освещенность, но и проанализировать распределение освещенности по всей освещаемой поверхности.

Наоборот, из ранее сказанного следует, что для расчета локализованного освещения или освещения негоризонтальных поверхностей в случаях, когда отраженный свет играет значительную роль, непосредственно не может быть применен ни один метод. В этих случаях приходится, как показано далее, использовать их оба, т. е. действовать, можно сказать, комбинированным методом.

Светотехнические расчеты являются одними из наиболее массовых инженерных расчетов; их приходится постоянно выполнять многим тысячам людей, а в своих первоначальных формах они являются довольно трудоемкими. Естественно, что усилия специалистов издавна были направлены на упрощение методики расчета, в результате чего появилось много практических способов расчета, которые, однако, являются разновидностью тех же двух основных методов. Из этих упрощенных способов ниже описываются лишь получившие широкое применение или рекомендуемые к такому применению. Полному и детальному рассмотрению вопросов расчета освещения посвящена книга автора «Светотехнические расчеты в установках искусственного освещения» [10].

3-2. МЕТОД КОЭФФИЦИЕНТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Пусть в помещении установлено N светильников, поток ламп в каждом из которых Φ , так что всего в помещение внесен поток $N\Phi$. Далеко не весь этот поток падает на освещаемую поверхность (т. е. на пол или равновеликую ему горизонтальную плоскость на уровне h_p от пола), так как он частично теряется в светильниках, частью падает на стены и потолок помещения. Отношение потока, падающего на освещаемую поверхность, ко всему потоку ламп называется коэффициентом использования и обозначается η . Таким образом полезным потоком можно считать $N\Phi\eta$. Распределяясь по площади S , этот поток создает на ней среднюю освещенность $N\Phi\eta : S$.

Если, как это чаще всего имеет место, расчет ведется на минимальную освещенность, которая всегда меньше средней, то, введя коэффициент минимальной освещенности $z = E_{ср} : E_{мин}$, получим

$$E_{мин} = \frac{N\Phi\eta}{Sz}$$

Так как нормированная освещенность должна быть обеспечена во все время эксплуатации, надо эту освещенность разделить на коэффициент запаса k , получив окончательно

$$E = \frac{N\Phi\eta}{Szk} \quad (3-1)$$

Имея в виду использовать формулу (3-1) для определения светового потока или числа светильников, получаем

$$\Phi = \frac{NSzk}{N\eta} \quad (3-2)$$

и

$$N = \frac{ESzk}{\Phi\eta} \quad (3-3)$$

Входящий в формулы коэффициент z зависит от размеров и формы помещения, коэффициента отражения его поверхностей, характеристик светильника и в наибольшей степени от значения $\lambda = L : h$ (рис. 2-5). Последнее обстоятельство имеет особо принципиальное значение. С увеличением λ сверх оптимальных значений коэффициент z начинает быстро возрастать, что собственно и обуславливает энергетическую невыгодность больших значений λ .

В больших помещениях принципиальное значение имеет и увеличение коэффициента z при уменьшении λ по сравнению с оптимальными значениями. Рассмотрим предельный случай, когда размеры помещения неограниченно велики, стены и потолок не отражают свет и $\lambda \rightarrow 0$. Тогда все множество светильников может рассматриваться как сплошная светящая поверхность, и, если точка A в центре помещения (рис. 3-1) одинаково освещается всеми четырьмя квадрантами, то угловая точка B настолько удалена от квадрантов 2-4, что освещается только квадрантом 1, т. е. ее освещенность в 4 раза меньше, чем точки A . Таким образом предельное значение $z = 4$.

В большинстве случаев этот факт не имеет большого практического значения и не учитывается, но иногда может служить основанием для уменьшения размеров полей вблизи стен больших помещений.

В области оптимальных значений λ коэффициент z относительно невелик; точное его определение связано с такими трудностями, которые не оправдываются результатом, и обычно довольствуются учетом приближенных значений z , равным 1,15 при освещении светильниками, расположенными по вершинам полей, и 1,1 — при освещении линиями люминесцентных светильников. При расчете средней освещенности коэффициент z , естественно, не учитывается; в установках отраженного света при хорошо отражающих стенах этот коэффициент приближается к единице.

Коэффициент использования η :
прямо пропорционален коэффициенту полезного действия светильников;

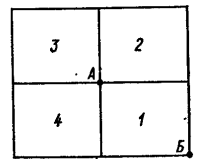


Рис. 3-1. Неравномерность освещения в больших помещениях

зависит от формы кривой силы света светильников, возрастая с увеличением степени концентрации светильниками светового потока и убывая с увеличением доли потока, направляемой светильником в верхнюю часть пространства;

возрастает с увеличением площади помещения, так как при этом увеличивается телесный угол, в пределах которого поток падает непосредственно на расчетную поверхность;

возрастает с уменьшением расчетной высоты (по той же причине);

убывает по мере удаления формы помещения от квадрата, так как при этом уменьшается среднее расстояние светильников от стен и увеличивается доля светового потока, падающего на стены;

возрастает, хотя и незначительно, с увеличением λ , так как при этом увеличивается среднее расстояние светильников от стен;

возрастает с увеличением коэффициентов отражения потолков, стен и полов помещения.

Зависимость η от площади помещения, высоты и формы возможно учесть одной комплексной характеристикой — индексом помещения

$$i = \frac{S}{h(A+B)}, \quad (3-4)$$

где A и B — стороны помещения; S — его площадь; h — расчетная высота. Зависимость индекса помещения от S и h очевидна; зависимость его от формы помещения становится особенно ясной, если, обозначив $A : B = \alpha$, привести выражение (3-4) к виду

$$i = \frac{\sqrt{S}}{h} \frac{\sqrt{\alpha}}{1+\alpha}. \quad (3-5)$$

При $\alpha = 1$ имеем $i = 0,5 \sqrt{S} : h$, при $\alpha = 2$ индекс $i = 0,47 \sqrt{S} : h$. Это дает основание в некоторых упрощенных приемах расчета для не слишком удлиненных помещений определять индекс по формуле

$$i = 0,48 \frac{\sqrt{S}}{h}. \quad (3-6)$$

Для помещений неограниченной длины из выражения (3-4) следует, что $i = B : h$.

Зависимость η от к. п. д. и формы кривой силы света учитывается тем, что для каждого светильника (или для группы светильников с близкими характеристиками) составляется отдельная таблица коэффициентов использования; при расчете значений η для этой таблицы принимается характерное для данного светильника значение λ , чем учитывается также зависимость от коэффициента отражения потолков. Коэффициенты отражения существующих помещений оцениваются субъективно, проектируемых помещений

— предположительно, но во всех случаях точные значения их неизвестны, и в таблицах принимается шкала усредненных значений 70—50—30—10% — для потолков и стен и 30—10—0% — для пола. Эти коэффициенты обозначаются $\rho_{\text{п}}$ — для потолка, $\rho_{\text{с}}$ — для стен и $\rho_{\text{р}}$ — для пола или расчетной плоскости. В таблицах приводятся обычно только наиболее вероятные (вообще или для области применения данного светильника) их сочетания. Точность, с которой могут быть определены значения η , как правило, не оправдывает интерполирования ни между значениями коэффициентов отражения, ни между значениями индекса помещения. При $i > 5$ принимается значение 5. В дальнейшем предполагается расширение шкалы индексов в сторону значений, меньших 0,5.

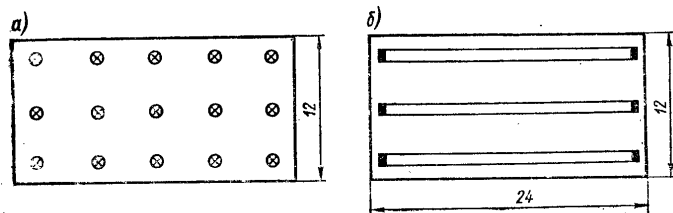


Рис. 3-2. Варианты освещения помещения светильниками с лампами накаливания (а) и светильниками с люминесцентными лампами (б)

В табл. 3-1 приведены значения коэффициентов использования светового потока.

Порядок расчета по методу коэффициента использования поясняется примерами.

1. Дано помещение размерами: $A = 24$ м, $B = 12$ м, $H = 4,5$ м, $h_{\text{р}} = 0,8$ м; коэффициенты отражения: $\rho_{\text{п}} = 50\%$, $\rho_{\text{с}} = 30\%$, $\rho_{\text{р}} = 10\%$. Требуется осветить это помещение светильниками «Астра» с лампами накаливания, создав освещенность $E = 50$ лк при $k = 1,3$.

Светильник «Астра» имеет кривую светораспределения типа Д, для которого можно принять $\lambda_{\text{с}} = 1,4$. Приняв $h_{\text{с}} = 0,5$ м, получим $h = 3,2$ м и $L = 3,2 \cdot 1,4 = 4,5$ м. Учитывая, что $\lambda_{\text{с}}$ несколько больше, чем $\lambda_{\text{с}}$, размещаем светильники, как показано на рис. 3-2, получив $N = 15$.

Находим

$$i = \frac{288}{3,2(24 + 12)} = 2,5$$

и по табл. 3-1 определяем $\eta = 0,59$. Принимая $z = 1,15$, вычисляем потребный поток лампы

$$\Phi = \frac{50 \cdot 1,3 \cdot 288 \cdot 1,15}{15 \cdot 0,59} = 2432 \text{ лм.}$$

Ближайшая стандартная лампа 200 Вт имеет $\Phi = 2800$ лм, что превышает расчетное значение на 15%.

Если бы в том же примере нам требовалось получить освещенность не 50 лк а 75 лк, то потребный поток лампы составил бы 3648 лм. Поскольку светильник

Таблица 3-1

Значение коэффициентов отражения $\rho_{ст}$, $\rho_{ст.р}$ при использовании светильников типа	Значение коэффициента использования η , % при значении индекса помещения i , равном																
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,25	1,5	1,75	2,0	2,25	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0
«Астра» 70; 50; 10	22	32	39	44	47	49	50	52	55	58	60	62	64	66	68	70	73
50; 30; 10	20	26	34	38	41	43	45	47	50	53	55	57	59	62	64	66	69
0; 0; 0	16	21	29	33	36	37	39	41	44	46	49	51	53	56	59	60	62
УПД ДРЛ 70; 50; 10	30	36	40	43	45	47	50	53	56	58	60	62	63	66	67	69	70
50; 30; 10	23	30	33	37	40	41	43	47	50	53	56	57	59	60	61	63	66
0; 0; 0	18	26	29	33	35	38	40	42	45	48	51	52	53	56	57	58	60
ЛДОР 70; 50; 10	25	29	33	36	40	43	45	47	51	54	56	58	60	62	63	64	67
50; 30; 10	19	22	26	30	33	36	38	40	44	47	49	51	53	55	56	58	60
0; 0; 0	12	16	20	22	25	28	30	32	35	38	40	42	43	45	46	48	50

«Астра» пригоден только для ламп до 200 Вт, пришлось бы, задавшись потоком лампы мощностью 200 Вт, обратным приемом найти потребное число ламп $N = 19,5$, практически же разместить и три ряда 21 светильник.

2. В том же помещении требуется создать освещенность $E = 300$ лк при $k = 1,5$, используем люминесцентные лампы типа ЛБ в светильниках ЛДОР. Так как светильник имеет в поперечной плоскости кривую светораспределения типа Д, для которого $\lambda = 1,4$, размещаем светильники в три ряда.

При ранее найденном значении индекса (табл. 3-1) находим $\eta = 0,53$. Определим потребный поток лампы уже не в светильнике (число светильников пока неизвестно), а в каждом из рядов:

$$\Phi = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 288 \cdot 1,1}{3 \cdot 0,53} = 89\ 660 \text{ лм.}$$

Если в светильники установить по две лампы 40 Вт, с потоком 3000 лм, то потребное число светильников в ряду будет $89\ 600 : 6000 = 14,9 \approx 15$. При длине одного светильника 1,24 м их общая длина составит 18,6 м. Следовательно, между светильниками ряда могут быть оставлены небольшие разрывы, величину которых нетрудно рассчитать.

При использовании ламп 80 Вт ($\Phi = 5220$ лм) в ряду потребовалось бы разместить с округлением 9 светильников общей длиной 13,8 м. Разрывы между светильниками возросли бы, а общая мощность увеличилась бы с 3,6 до 4,3 кВт. Вариант с лампами 40 Вт представляется предпочтительным.

Если бы в условиях данного примера требовалось создать освещенность 500 лк, то при лампах 40 Вт потребовалось бы 25 светильников в ряду, которые не вмещаются в длину помещения 24 м; вместе с тем это число недостаточно для устройства двоярных рядов. При лампах 80 Вт в этом случае необходимо иметь в каждом ряду 14 светильников, которые хорошо размещаются. Можно было бы обойтись и лампами 40 Вт, но разместить светильники в четыре ряда по 19 шт. в каждом. В этом случае предпочтение следует отдать лампам 80 Вт.

3-3. УПРОЩЕННЫЕ ФОРМЫ МЕТОДА КОЭФФИЦИЕНТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Массовый характер расчетов по методу коэффициентов использования вызвал появление целого ряда приемов расчета, упрощающих вычисления по этому методу. Это понятно, так как, например, сократить лишь одну операцию умножения, требующую 15 с, значит в масштабах нашей страны сберечь не менее 5 лет человеческого труда ежегодно.

Вместе с тем все упрощенные приемы расчета связаны с неизбежным, хотя обычно и допустимым, уменьшением точности расчета, а также с увеличением потребного числа справочных таблиц или графиков. Последнее вызвано тем, что каждая таблица или график применимы только в пределах указанных на них «паспортных данных»: расчетная высота, коэффициенты отражения стен и потолков, коэффициенты z и k .

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДЕКСА ПОМЕЩЕНИЯ

Для ускоренного определения индекса помещения уже очень давно и широко применяется предложенная И. С. Дубинкиным табл. 3-2. В ней помещения разделены по значению $\alpha = A : B$ на три группы: $\alpha = 1 \div 1,5$; $\alpha = 1,5 \div 2,5$; $\alpha = 2,5 \div 3,5$. Придавая расчетной высоте h ряд дискретных значений в соответствии с вы-

Таблица 3-2

Форма помещения	Расчетная высота, м					Индекс помеще- ния
	3	3,2	3,4	3,6	...	
$\alpha = 1+1,5$	3	3,2	3,4	3,6	...	
$\alpha = 1,5+2,5$	2,8	3	3,2	3,4	...	
$\alpha = 2,5+3,5$	2,6	2,8	3	3,3	...	
Площадь помещения, м ²	⋮ 130	⋮ 147	⋮ 165	⋮ 188	⋮	2,0
	168	189	213	241		2,25
	209	236	266	301		2,5
	280	317	360	406		3,0
	390 ⋮	440 ⋮	500 ⋮	560 ⋮	⋮	

раженнем (3-5), нетрудно рассчитать, в пределах каких значений площади S то или иное значение индекса помещения по стандартной шкале, приводимой в таблицах, является ближайшим к точному значению.

Так, для примера (§ 3-2) в табл. 3-2 для $\alpha = 1,5+2,5$ находим $h = 3,2$ м, опускаясь вниз, находим линию между значениями площади 266 и 360 м² и, двигаясь вправо, выходим на индекс 2,5.

Большинство упрощенных способов определения числа и мощности светильников исходят из пренебрежения формой помещения и определения индекса по выражению (3-5). Соответственно эти способы пригодны при $\alpha \leq 2,5$, но, как исключение, применяются и при больших значениях α с тем, чтобы в этом случае расчет производился для условно выделяемой части помещения площадью $2B^2$, а его результат экстраполируется на всю площадь.

РАСЧЕТ ОСВЕЩЕННОСТИ ПО УДЕЛЬНОЙ МОЩНОСТИ

Из упрощенных приемов расчета в отечественной практике наибольшее применение получили предложенные автором таблицы удельной мощности w . Для каждого данного помещения при выбранной освещенности и типе светильника существует точное решение задачи освещения, если предположить осуществимым любое, включая дробное, число светильников и любую, в пределах пригодности светильника, мощность лампы. Этому точному решению

соответствует определенное значение удельной мощности, и если выбрать число и мощность светильников так, чтобы фактическая удельная мощность была наибольшим возможным приближением к «теоретическому» значению, то задача будет решена с достаточной точностью. Таблицы удельной мощности и содержат ее теоретические значения, но для обеспечения относительной компактности таблиц эти значения приходится принимать неизменными в пределах определенных интервалов высоты h и площади S . Границы интервалов выбираются с таким расчетом, чтобы от одного интервала к другому значение w изменялось в среднем на 20%, чем, в основном, и определяется погрешность способа. Употребительные интервалы высот: 1,5—2; 2—3; 3—4; 4—6; 6—8 м. Паспортными данными таблиц являются тип светильника, а также значения k , z , ρ_n , ρ_c , ρ_p . Форма таблиц и методика их составления несколько различны для различных источников света.

Для ламп типа ДРЛ можно пренебречь зависимостью световой отдачи от номинальной мощности лампы. В таком случае между освещенностью и удельной мощностью существует прямая пропорциональная зависимость и в целях сокращения объема таблиц уместно составлять их для освещенности 100 лк с пропорциональным пересчетом в других случаях.

Из формулы (3-2) с учетом, что $\Phi = CP$ (где C — световая отдача ламп, лм/Вт; P — мощность, Вт), легко получить

$$w = \frac{Ekz}{C\eta} \quad (3-7)$$

Выбираются опорные значения по шкале индексов помещения: 0,5—0,7—0,9—1,1—1,5—2,0—3,0—4,0. Каждому индексу, как следует из выражения (3-6), соответствует площадь

$$S = 4,35i^2h^2 \quad (3-8)$$

причем значение h принимается средним для интервала. Для каждого i по таблице находится η и по формуле (3-7) вычисляется удельная мощность w . Строятся вспомогательные кривые $w = f(S)$, по которым прочитываются и заносятся в таблицы значения w для середин принятых интервалов площади.

Построение подобного рода вспомогательных кривых нередко применяется и в других расчетах. Это позволяет при небольшом числе рассчитываемых опорных точек дать большее число результатов данных и в известной степени страхует от ошибок, наличие которых в расчетах выдает себя изломом кривых.

Лампы накаливания характерны тем, что их световая отдача монотонно возрастает с увеличением единичной мощности. Поскольку при больших освещенностях применяются более мощные лампы, между освещенностью и удельной мощностью нет прямой пропорциональной зависимости и значения w приходится рассчитывать для каждой освещенности отдельно. Значение световой отдачи учитывается тем, что для каждого сочетания h , S и E

определяется ожидаемое число светильников и выбирается мощность лампы по специально построенной кривой $\Phi = f(P)$, без округления до стандартных значений. Эта мощность принимается как наиболее вероятная для определения значения ω . Определение числа светильников N производится исходя из значения λ , рекомендованного для данного светильника, для чего используется следующий прием.

При размещении светильников по вершинам квадратов со стороной $L = \lambda h$ площадь поля составит $\lambda^2 h^2$ и приблизительно $N = S : \lambda^2 h^2$.

С учетом того что расстояние крайних светильников до стен принимается равным примерно $\frac{1}{3}L$, более точное выражение для N имеет вид:

$$N = \left(\frac{\sqrt{S}}{\lambda} + 0,3 \right)^2$$

или, согласно выражению (3-6),

$$N = \left(2,1 \frac{l}{\lambda} + 0,3 \right)^2. \quad (3-9)$$

Окончательно методика расчета ω для каждого интервала высот и значения освещенности принимает следующий вид.

Выбираются опорные значения i и находят значения S и η , как при использовании ламп ДРЛ, т. е. без учета зависимости ω от мощности ламп. Находится N по формуле (3-9), причем значения, меньшие двух; округляются до ближайшего большего целого. Потребный поток лампы находится по формуле (3-2), а ее мощность — по кривой $\Phi = f(P)$. Удельная мощность вычисляется по формуле

$$\omega = \frac{NP}{S}. \quad (3-10)$$

Далее строятся графики $\omega = f(S)$ и находится среднее значение ω для каждого интервала площадей. Если потребный поток превышает поток лампы наибольшей мощности, на которую рассчитан светильник, то удельная мощность определяется непосредственно по выражению (3-7), куда подставляется значение S для наибольшей возможной мощности лампы.

Обычно при расчете освещения по удельной мощности задаются всеми параметрами установки и числом светильников N , по таблице находят ω и выбирают мощность лампы, ближайшей к определяемой из выражения $\omega S : N$. Менее желательно задаваться значением P и находить N .

Удельная мощность общего равномерного освещения светильниками «Астра» приведена в табл. 3-3.

Таблица 3-3

Расчетная высота h , м	Площадь помещения S , м ²	Удельная мощность, Вт/м ² , при освещенности, лк, равной						
		5	10	20	30	50	75	100
3—4	10—15	3,6	6,1	12,3	16,4	25	35,8	45,8
	15—20	2,9	4,9	9,1	12,9	21,4	28,7	38,8
	20—30	2,4	4	7,3	10,6	17,4	23,2	31
	30—50	1,9	3,3	5,8	8,5	13,4	18,8	24
	50—120	1,6	2,8	4,8	7,3	11,3	15,6	19,9
	120—300	1,3	2,3	4,1	6,1	9,5	13	16,7
	300	1,1	1,9	3,6	5,3	8,2	11	14,6
4—6	10—17	5	9,3	20,4	25,5	32,8	50	66,6
	17—25	3,7	7,1	14,6	19,3	26,9	41,6	55,5
	25—35	2,7	5,1	9,7	13,1	20,4	31,7	42,3
	35—50	2,2	3,8	7,5	10,4	16,2	24,2	32,2
	50—80	1,8	3,1	5,9	8,4	12,9	19	25,3
	80—150	1,5	2,6	5,0	7,0	10,6	15,6	20,8
	150—400	1,2	2,2	4,2	5,9	9	13,4	17,8
	400	1	1,8	3,4	4,9	7,4	10,9	14,5

Примечание. Таблица составлена для значений: $\rho_n = 50\%$, $\rho_c = 30\%$, $\rho_p = 10\%$, $k = 1,3$, $z = 1,15$.

Решим с помощью этой таблицы пример § 3-2. При заданных высоте, площади и освещенности находим в табл. 3-3 $\omega = 9,5$ Вт/м² и определяем мощность лампы

$$P = \frac{288 \cdot 9,5}{15} = 182 \approx 200 \text{ Вт.}$$

Как и при «точном» расчете, оказалась выбранной такая же лампа и также с некоторым избытком мощности.

РАСЧЕТ ОСВЕЩЕННОСТИ ПО УСЛОВНОЙ МОЩНОСТИ

Широко распространенный в практике способ расчета освещения по удельной мощности имеет, однако, определенные недостатки. Установление неизменных значений для определенных интервалов высоты h , и особенно, площади S понижает точность расчета. Тот факт, что для каждого сочетания условий задания учтена лампа определенной мощности, а значит, и световой отдачи, делает значения ω относительно точными лишь для случаев, когда значение λ соответствует принятому при составлении таблицы. В связи с этим рассмотрим одно из возможных усовершенствований этого способа.

Будем называть условной удельной мощностью ω' значения удельной мощности, рассчитанные для освещенности 100 лк и световой отдачи 10 лм/Вт. Произведение этой величины на площадь назовем полной условной мощностью Π . Ее можно найти элементарным преобразованием выражения (3-7):

$$\Pi = \frac{EkzS}{C\eta} = \frac{10kzS}{\eta}. \quad (3-11)$$

Задаем несколько характерными значениями h и опорной шкалой индексов, так же как и при использовании ламп ДРЛ. Для каждого индекса находим площадь по формуле (3-8), а значение η , берем из табл. 3-1, после чего по выражению (3-11) вычислим значения Π и перенесем их на график: $\Pi = f(S)$ (рис. 3-3).

Полная мощность, т. е. произведение мощности каждого светильника P на число светильников N , должна равняться значению Π , повторно рассчитанному с учетом освещенности и световой отдачи:

$$PN = \Pi \frac{10}{C} \frac{E}{100},$$

или, произведя сокращение и учитывая, что $PC = \Phi$,

$$\Phi N = \frac{\Pi E}{10}.$$

Обозначив коэффициент

$$K = \frac{10\Phi}{E},$$

получим окончательно

$$KN = \Pi. \quad (3-12)$$

Значения K определяются лишь световым потоком лампы накаливания и нормой освещенности и фрагментарно представлены в табл. 3-4. Теперь,

найдя по графику рис. 3-3 значение Π и задавшись характеристиками определенной лампы, т. е. зная K , мы по формуле (3-12) находим N , если же задано N , то по этой же формуле находим K , а по табл. 3-4 подбираем лампу с необходимыми параметрами.

Так, если задано $S = 1200 \text{ м}^2$, $h = 6 \text{ м}$, $E = 75 \text{ лк}$ и $N = 20$, то с помощью рис. 3-3 находим $\Pi = 23\,000 \text{ Вт}$, вычисляем $K = 23\,000 : 20 = 1150$ и по табл. 3-4 выбираем ближайшую лампу 500 Вт.

При этом способе, пригодном для любых источников света, устранены основные недостатки расчета освещения по удельной мощности.

При использовании ламп накаливания, а также ламп ДРЛ и ДРИ мощность P и число светильников N имеют ограниченное число возможных значений. В отношении значения P это определяется стандартом на лампы, что касается N , то ясно, например, что на каждой ферме может быть установлено 1, 2 или 3 светильника, но не дробное число их. Равным образом в помещениях с гладкими потолками можно равномерно разместить не любое

Таблица 3-4

Освещенность E , лк	Значение коэффициента K при условной мощности P , Вт, равной					
	150	200	300	500	750	1000
30	666	933	530	2770	4370	6200
50	400	560	920	1660	2620	3720
75	266	373	613	1106	1750	2480
100	200	280	460	830	1310	1860
150	133	186	306	553	875	1240

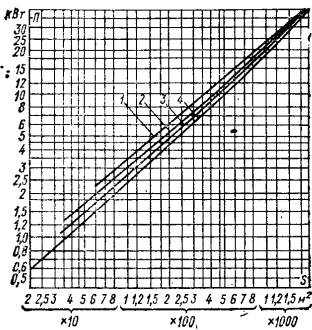


Рис. 3-3. Зависимость полной условной мощности светильника Π от площади помещения при $\rho_n = 30\%$, $\rho_0 = 10\%$, $k = 1,3$, $z = 1,15$
1 — расчетная высота $h = 12 \text{ м}$; 2 — $h = 8 \text{ м}$; 3 — $h = 6 \text{ м}$; 4 — $h = 4 \text{ м}$

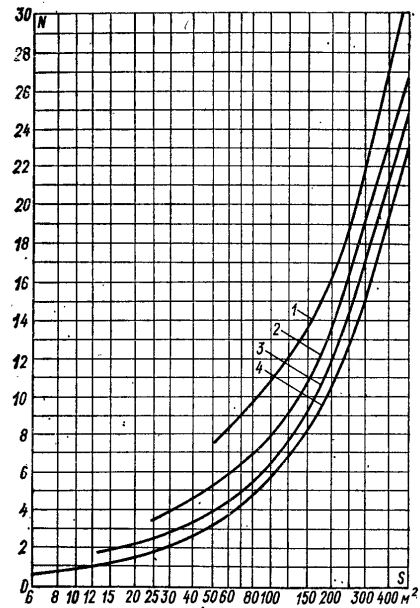


Рис. 3-4. График для определения числа светильников ЛДОР с лампами ЛБ 2x40 при $\rho_n = 50\%$, $\rho_0 = 30\%$
1 — расчетная высота $h = 6+8 \text{ м}$; 2 — $h = 4+6 \text{ м}$; 3 — $h = 3+4 \text{ м}$; 4 — $h = 2+3 \text{ м}$

число светильников, и, например, при форме помещения, близкой к квадрату, не размещаются 3, 7 или 11 светильников. Вследствие этого результат расчета освещения по удельной мощности приходится округлять до возможных значений P или N при высокой вероятности того, что принятое решение будет ближайшим возможным к точному. При использовании люминесцентных ламп хотя N и остается дискретным, но значение его может меняться в каждом ряду с шагом, равным 1, что делает желательным его более точное определение.

Для упрощенного расчета люминесцентного освещения признаны наиболее целесообразными графики, впервые предложенные А. М. Гуровым и Ю. В. Прохоровым (рис. 3-4).

Начальная часть расчетов для построения графиков выполняется так же, как при составлении таблиц удельной мощности для ламп ДРЛ, после чего число светильников непосредственно определяется по формуле (3-3). Принимая $E = 100$ лк, $k = 1,5$, $z = 1,1$ и ведя расчет для наиболее употребительных ламп ЛБ-40, когда поток ламп в двухламповом светильнике равен 6000 лм, получаем

$$N = \frac{100 \cdot 1,5 \cdot 1,1 \cdot S}{6000 \cdot \eta} = 0,0275 \frac{S}{\eta}.$$

Рассчитанное значение N переносим на график для построения кривой в функции площади S .

Пересчет N на любое значение освещенности легко выполняется в уме, но, имея в виду возможность использования графиков для любых ламп, нетрудно составить таблицу, в которой будут содержаться коэффициенты для пересчета N на любой тип лампы и любую освещенность.

Вернемся к примеру 2 (§ 3-2). По графику рис. 3-4 непосредственно находим, что при освещенности 100 лк необходимо 16 светильников. При освещенности 300 лк, принятой в примере, нужно 48 светильников или 16 светильников в каждом ряду (в примере было рассчитано 15 светильников; расхождение на 6% лежит в пределах точности светотехнических расчетов вообще).

3-4. ТОЧЕЧНЫЙ МЕТОД

Основным инструментарием точечного метода являются графики или таблицы, позволяющие непосредственно или после несложных вычислений определить освещенность любой точки поверхности, создаваемую светильником с известными параметрами; светораспределением, световым потоком ламп и геометрическими характеристиками, определяющими расположение светильника.

Из многих предлагавшихся приемов решения этой задачи для точечных излучателей (каковыми почти всегда можно считать светильники с лампами накаливания, а также лампами ДРЛ, ДРИ и ДНаТ) широкое применение получили три вида графиков, описываемых ниже. Все они составляются для светильников

110

с условным потоком лампы (или нескольких ламп суммарно) 1000 лм и предназначаются для определения освещенности горизонтальной поверхности.

КРИВЫЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ (Р. А. САПОЖНИКОВ)

Освещенность точки A горизонтальной поверхности (рис. 3-5) выражается формулой

$$E = \frac{I_{\alpha} \cos^3 \alpha}{h^2}, \quad (3-13)$$

в которой будем считать силу света I_{α} заданной для условной лампы со световым потоком 1000 лм. Числитель этой формулы

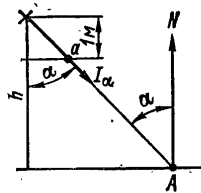
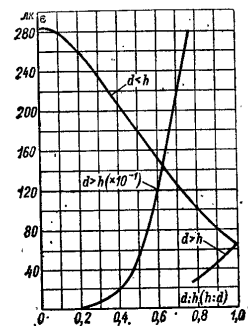


Рис. 3-5. Освещенность точки

Рис. 3-6. Кривые относительной освещенности для светильника УПД ДРЛ



назовем относительной освещенностью и будем обозначать e . Эта величина численно соответствует освещенности точки a , расположенной на том же луче, что и точка A , но на плоскости, по отношению к которой высота установки светильника равна 1 м. Введя это обозначение, перепишем формулу (3-13), одновременно заменив для освещенности обозначение E на e , чтобы подчеркнуть, что освещенность рассчитывается не вообще, а для лампы 1000 лм. Таким образом,

$$e = I_{\alpha} \cos^3 \alpha \quad \text{и} \quad e = \frac{e}{h^2}. \quad (3-14)$$

Хотя относительная освещенность есть функция угла α , но ее удобнее изображать кривыми в функции отношения $d : h = \operatorname{tg} \alpha$, что соответствует абсциссе точки a на рис. 3-5. Чтобы, не увеличивая размеров графика и не уменьшая масштаба шкалы, иметь возможность пользоваться им при $d \gg h$, прибегают к условному приему, а иногда, когда с увеличением d оно становится больше,

111

чем h , заменяют аргумент на $h : d$, т. е. поворачивают кривую обратно к началу координат. Часть этой кривой, для повышения точности отсчета, иногда строится в десятикратном масштабе (для той же цели возможно применение логарифмических шкал). Пример графика относительной освещенности показан на рис. 3-6. Переход от относительной освещенности к освещенности данной конкретной поверхности производится в соответствии с выражением (3-14). Если же требуется найти освещенность не для лампы со световым потоком 1000 лм, а для лампы с потоком Φ , то дополнительно вводится множитель $\Phi : 1000$ и основная формула приобретает вид:

$$E = \frac{\Phi_e}{1000h^2}. \quad (3-15)$$

Определим в качестве примера освещенность горизонтальной поверхности в точке, лежащей посередине между двумя светильниками УПД ДРЛ с лампами ДРЛ 400 Вт, подвешенными на высоте 6 м, на расстоянии 14 м друг от друга.

В данном случае $d = 7$ м, $h : d = 0,86$ и по нижней ветви графика определяем $e = 41$ лк. Так как для лампы ДРЛ 400 Вт поток $\Phi = 19\ 000$ лм, то, подставляя численные значения в формулу (3-15), получаем

$$E = \frac{19\ 000 \cdot 2 \cdot 41}{1000 \cdot 6^2} = 43 \text{ лк.}$$

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ИЗОЛЮКСЫ УСЛОВНОЙ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ (А. А. ТРУХАНОВ)

Кривые относительной освещенности позволяют вести расчет с высокой степенью точности, но требуют определения аргумента $d : h$ или $h : d$ и операции деления на h^2 . Пользование пространственными изолюксами устраняет эти операции. Введенную ранее величину e — освещенность, создаваемую на конкретной поверхности от светильника с лампой 1000 лм, будем называть условной освещенностью. При заданном светораспределении светильника эта величина является функцией параметров d и h и, следовательно, может быть изображена на плоскости семейством кривых или кривыми равных значений — изолюксами, построенными в координатной плоскости $d = h$. Легко убедиться, что на любом направлении α этой плоскости существует точка с любым заданным значением e , если только сила света светильника (а значит, и относительная освещенность e) имеет для данного направления конечное значение. Одной из координат этой точки является направление α , второй — высота, определяемая согласно формуле (3-14) выражением

$$h = \sqrt{e/\epsilon}. \quad (3-16)$$

Для построения графика на заготовленной сетке $d - h$ наносятся лучи направлений 0—5—15 и т. д. градусов (при разных масштабах для d и h , что иногда удобно, лучи проводятся по значениям $\text{tg } \alpha$). Расположение точек изолюкс на каждом луче определяется по выражению (3-16), причем удобно значения e и e

совмещать по квадратичной шкале логарифмической линейки, а h прочитывать по основной шкале. Полученные точки соединяются плавными кривыми. На рис. 3-7 приводится график для того же светильника, для которого были приведены кривые освещенности e . При тех же значениях d и h , что и в приведенном примере, найдим по графику $e = 1,15$ лк, после чего с учетом двух светильников умножением на отношение $\Phi : 1000$ находим $E = 43$ лк. Уже из этого примера видно, что отсчеты по графику, связанные с глазным интерполированием, менее точны, чем по кривым относительной освещенности, что окупается простотой пользования. Кривые относительной освещенности e сохраняют, однако, значение для расчетов повышенной точности и теоретических анализов.

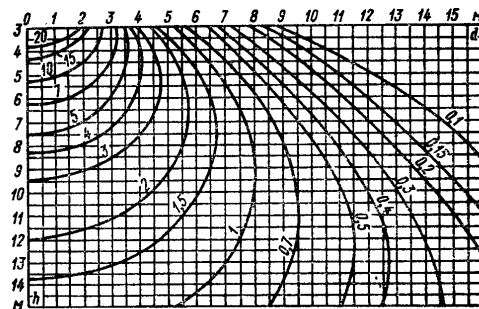


Рис. 3-7. Пространственные изолюксы условной горизонтальной освещенности для светильника УПД ДРЛ

Выбранные при построении графиков пределы шкал d и h отнюдь не ограничивают возможной области применения светильников, и пользование графиками возможно при значениях этих размеров, выходящем за пределы шкалы. Пусть, например, нам требуется с помощью рис. 3-7 найти значение e при $h = 18$ м и $d = 14$ м. Уменьшив h и d в два раза, находим на графике для точки $h = 9$ м и $d = 7$ м значение $e = 1,3$ лк. Эта точка лежит на том же луче, что и заданная, а в этом случае освещенности обратно пропорциональны квадратам высот. Следовательно, для данной точки $e = 1,3 : 2^2 = 0,32$ лк.

Графики дают непосредственное суждение о невыгоднейшей высоте установки светильника при заданном значении d . Так, из рис. 3-7 видно, что при $d = 8$ м светильник создаст наибольшую возможную освещенность 1 лк при высоте $h = 10$ м.

Подобные графики могут использоваться и для расчета местного освещения, когда из-за малости расстояний светильники (особенно с люминесцентными лампами!) не могут быть приняты за точечные источники, но в этом случае их строят путем непосредственных измерений освещенности и для определенной мощности лампы, т. е. по ним находят не e , а E .

УСЛОВНЫЕ ИЗОЛОКСЫ (Г. М. КНОРРИНГ)

Под таким названием известны графики, предназначенные для определения относительной освещенности от светильников с некруглосимметричным светораспределением, когда описанные выше графики неприменимы.

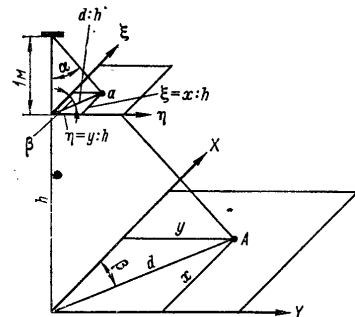


Рис. 3-8. Освещение точки несимметричным светильником

Для светильников с несимметричным светораспределением сила света определяется не только меридиональным углом α , но и азимутом β , соответственно чему освещенность точки A (рис. 3-8) определяется уже не двумя, а тремя параметрами: h , x , y или h , d , β . Для расчета удобно пользоваться графиком, показывающим распределение освещенности на условной плоскости, параллельной данной, но удаленной от светильника на 1 м, т. е. кривыми изолокс относительной освещенности. Точке A на действительной плоскости соответствует точка a на условной плоскости с координатами $\xi = x : h$, $\eta = y : h$.

Для построения графика необходимы данные о светораспределении светильника для нескольких меридиональных плоскостей, т. е. для нескольких β . Для

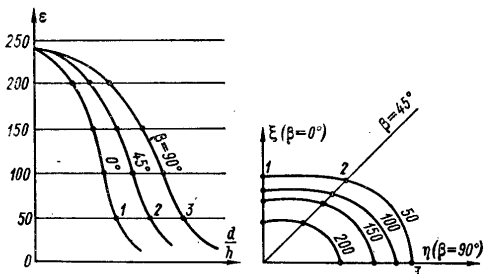


Рис. 3-9. Перенос точек при построении изолокс

На рисунке показан один квадрант освещаемой и, соответственно, условной плоскости. Этого достаточно, когда светораспределение светильника имеет две плоскости симметрии. При одной плоскости симметрии необходимо иметь график с двумя квадрантами, в наиболее общем случае — с четырьмя.

Для построения графика необходимы данные о светораспределении светильника для нескольких меридиональных плоскостей, т. е. для нескольких β . Для

каждого β строится обычная кривая относительной освещенности $e = f\left(\frac{d}{h}\right)$, но без обращения аргумента при $d > h$. Пусть построены такие кривые для трех значений β (рис. 3-9). Отмечаем на них целые значения e , для которых мы собираемся построить изолоксы, и абсциссы, соответствующие этим значениям, циркулем-измерителем переносим на сетку $\xi = \eta$. Несколько сложнее строятся графики для светильников с трубчатыми лампами, для которых даются только две кривые светораспределения — в продольной и поперечной плоскостях.

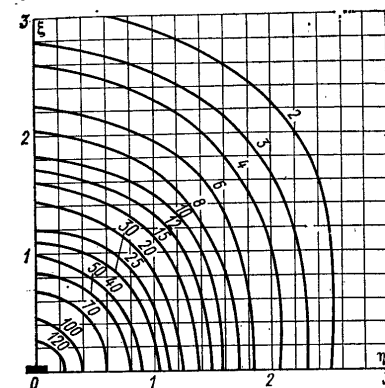


Рис. 3-10. Условные изолоксы для светильника ПВЛП

Для перехода от относительной освещенности к действительной сохраняется формула (3-15). Пример графика условных изолокс приводится на рис. 3-10. Для того чтобы

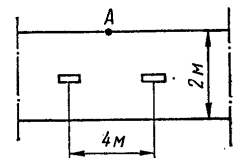


Рис. 3-11. Освещенность точки двумя светильниками

связать направления координатных осей ξ и η с определенным положением светильника, на графике схематически показаны контуры последнего.

Определим освещенность точки A (рис. 3-11) от двух светильников ПВЛП с лампами ЛБ 2×40 ($\Phi = 2 \times 300$ лм), установленных на высоте 2,5 м. В данном случае $x = y = 2$ м, соответственно $\xi = \eta = 0,8$, следовательно, освещенность точки от одного светильника $e = 27,5$ лк, а от двух светильников — 55 лк, откуда

$$E = \frac{6000 \cdot 55}{1000 \cdot 2,5^2} = 53 \text{ лк.}$$

Имея практические способы определения e или e , перейдем к расчету освещения по точечному методу.

РАСЧЕТ ОСВЕЩЕННОСТИ НА ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ

Пусть в пределах поверхности (пока только горизонтальной) надо при выбранном типе и расположении светильников обеспечить наименьшую освещенность E при коэффициенте запаса k .

Измерив по плану расстояния d от точки до проекции каждого из ближайших светильников, находим по графикам пространственных изолокс значения e или e и, суммируя их, определяем

Σe или Σe . Освещенность, создаваемую удаленными светильниками, не учтенными в указанных суммах, а также светом, отраженным от стен и потолков помещения, учтем коэффициентом дополнительной освещенности μ . Тогда согласно выражению (3-15)

$$\Phi = \frac{1000Ek}{\mu \Sigma e} = \frac{1000Ek h^2}{\mu \Sigma e} \quad (3-17)$$

соответственно чему выбирается мощность лампы.

Для практического пользования этой формулой должны быть уточнены вопросы: в каких точках должна определяться Σe или Σe , какие светильники следует учитывать в качестве «ближайших», как определять коэффициент μ ?

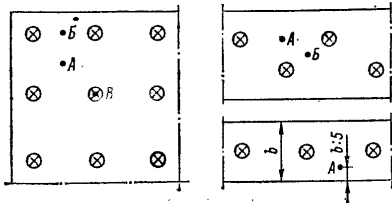


Рис. 3-12. Контрольные точки

Формальный ответ на первый вопрос ясен: расчет должен вестись для наименее освещенной (наихудшей) точки в пределах поверхности на которой должна быть обеспечена нормированная освещенность, т. е. для точки с наименьшим значением Σe или Σe . В ряде случаев для этого следует определить и сопоставить значение суммы освещенности для нескольких точек, которые можно считать характерными, но чаще всего можно ограничиться немногими точками, в которых наиболее вероятен минимум освещенности, нередко — даже одной точкой. При общем равномерном освещении крупных помещений основными контрольными точками является центр углового поля и середина его длинной стороны. Эти точки и некоторые другие случаи показаны на рис. 3-12. При локализованном освещении обычно легко наметить наихудшую точку в пределах конкретной освещаемой поверхности. В помещениях с многорядным расположением светильников в большинстве случаев не следует выбирать в качестве контрольных точки между крайними рядами светильников и стенами.

Трудно определить в общем виде понятие «ближайшие светильники», хотя при некотором навыке этот вопрос не вызывает затруднения.

С некоторой осторожностью можно сказать, что учитывать следует светильники до такого примерно значения d , при котором освещенность от каждого светильника становится меньше 5% освещенности от одного из ближайших светильников. На рис. 3-13 представлена часть неограниченного множества светильников, размещенных по вершинам квадратных полей. Четыре «первых» светиль-

Таблица 3-5

Типовая кривая силы света	Значение $\lambda = L : h$	Освещенность (в относительных единицах) от светильников			
		первых	вторых	третьих	остальных
М	0,8	100	73	19	78
	1,4	100	39	9	27
	2,0	100	38	6	7
Г	0,8	100	14	1	1
	1,4	100	2	0	0
	2,0	100	0	0	0

ника расположены на расстояниях d от контрольной точки А, 8 «вторых» — на расстоянии $\sqrt{5}d$, 4 «третьих» — на расстоянии $3d$. В табл. 3-5 приведены значения освещенности от отдельных групп светильников при различных типовых кривых силы света и разных значениях $\lambda = L : h$. Из таблицы видно, что если при кривой Г во всех случаях достаточен учет «вторых» светильников, то при кривой М не всегда достаточен даже учет «третьих» светильников. Во всех случаях не должны учитываться светильники, от которых контрольная точка чем-либо затенена.

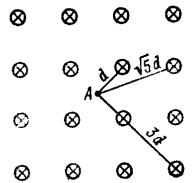


Рис. 3-13. Различные расстояния от контрольной точки до светильников

Точное определение коэффициента дополнительной освещенности μ чрезвычайно сложно, да в этом и нет особой необходимости. Чаще всего значение μ принимается в пределах 1,0—1,2 в зависимости от того, насколько тщательно произведено определение Σe или Σe и какой коэффициент отражения имеют поверхности помещения. При светильниках, излучающих хотя бы небольшую часть потока в верхнюю полусферу, значение μ существенно увеличивается. В этом случае к его определению можно подойти следующим образом.

Пусть при фактических значениях коэффициентов ρ_a, ρ_c, ρ_p коэффициент использования равен η_p , а при неотражающих поверхностях помещения («черное помещение») η_n . Очевидно, что отражение света поверхностями помещения увеличивает освещенность в отношении $\eta_p : \eta_n$, что и можно считать приближенным значением μ .

При значительной роли отраженного света точечный метод при расчетах освещения в его обычных формах становится непригодным.

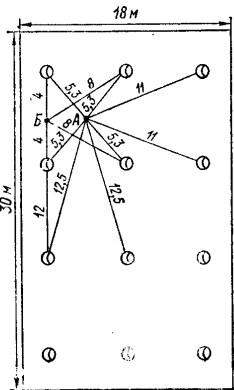
Рассчитаем по точечному методу освещение помещения (рис. 3-14) светильниками УПД ДРЛ при следующих условиях: расчетная высота 6 м, норма освещенности 150 лк, коэффициент запаса 1,5, коэффициенты отражения потолка, стен и пола соответственно 50, 30 и 10% (указаны для оценки коэффициента μ и для

Таблица 3-6

Число светильников, шт	Расстояние d , м	Условная освещенность e , лк	Число светильников, шт	Расстояние d , м	Условная освещенность e , лк
Для точки А			Для точки Б		
4	5,3	9,2	2	4	7,6
2	11	0,4	2	8	1,4
2	12,5	0,25	1	12	0,15
$\Sigma e = 9,85$			$\Sigma e = 9,15$		

возможности проверки расчета освещения по методу коэффициента использования).

Так как наш светильник имеет светораспределение несколько более концентрированное, чем косинусное, т. е. $m > 1$, будем исходить из желательного значения $\lambda \approx 1,2$, соответственно



прямоугольных полей 7x8 м. Выберем в качестве контрольных точки А и Б. Расстояния d (в метрах) от этих точек до проекций учитываемых светильников (обмеренные по масштабу) указаны на рисунке. Расчет производится с помощью графика рис. 3-7. Приводимая табл. 3-6 соответствует применяемой на практике.

Подставляем в формулу (3-17) значение Σe для точки Б; значение μ принимаем равным 1,15, тогда

$$\Phi = \frac{1000 \cdot 150 \cdot 1,5}{1,15 \cdot 9,5} = 21\,400 \text{ лм.}$$

С учетом разрешенного 10%-ного отклонения освещенности выбираем лампы 400 Вт, 19 000 лм. Почти тождественный этому получается световой поток при расчете освещения по методу коэффициента использования. Вообще же некоторые расхождения между результатами расчета различными способами неизбежны из-за приближенного значения некоторых коэффициентов.

Рис. 3-14. Расчет освещенности точечным методом

В описанном виде точечный метод решает задачу определения мощности светильников при заданном их расположении.

Обратная задача тоже разрешима, но с некоторыми осложнениями.

Уравнение (3-17) может быть решено относительно Σe (или Σe):

$$\Sigma e = \frac{1000 E k}{\mu \Phi}, \quad (3-18)$$

по дальнейшее решение легко выполнимо, только если известно, что в Σe равно участвуют 2, 3 или 4 светильника. Тогда легко находится освещенность e от каждого светильника и по ней определяется значение d .

— Пусть требуется определить, какова должна быть сторона квадратного поля, если светильники УПД ДРЛ с лампами 400 Вт (19 000 лм) установлены на высоте 6 м и должны создавать в центре поля освещенность 200 лк при $k = 1,5$ и $\mu = 1,1$.

Подставляя значения величин в выражение (3-18), находим

$$\Sigma e = \frac{1000 \cdot 200 \cdot 1,5}{1,1 \cdot 19\,000} = 14,3 \text{ лк,}$$

откуда $e = 14,3 : 4 = 3,6$ лк. Из рис. 3-7 находим, что такое значение имеет место при $d = 4,2$ м, т. е. $L = 4,2 \sqrt{2} = 5,9$ м.

При таком значении L влияние «вторых» светильников уже достаточно велико и пренебрегать им не следует. Если бы при тех же условиях было бы задано $E = 500$ лк, то мы получили бы необходимую освещенность $e = 8$ лк, что недостижимо даже при $d = 0$; это указывает, казалось бы, на невыполнимость задания. Между тем, любой светильник с любой лампой может создать сколь угодно большую освещенность при неограниченном уменьшении значения L , но при учете всех действующих светильников.

В общем случае подобного рода задачи решаются следующим образом:

задаются несколько значений L ;

при каждом значении L рассчитывается Σe ;

строится вспомогательный график $\Sigma e = f(L)$;

по формуле (3-18) находится нужное значение Σe ;

по вспомогательному графику определяются значение d , при котором Σe равно заданному.

Достоинством такого приема является точность решения задачи, так как исключается необходимость отступления от расчетного значения светового потока при выборе стандартной лампы.

РАСЧЕТ ОСВЕЩЕННОСТИ НА НАКЛОННОЙ И ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТЯХ

Освещение наклонных и вертикальных поверхностей может рассчитываться непосредственно, но, поскольку основные графики составляются для горизонтальных поверхностей, общепринято определять значение величин E , e или ϵ в данной контрольной точке, но в условно проведенной через нее горизонтальной плоскости и умножать полученное значение на переходный коэффициент ψ .

Частично повторяя сказанное в § 1-1, напомним, что основой для определения коэффициента ψ служит теорема о том, что освещенности в общей точке двух поверхностей относятся как кратчайшие расстояния от этих поверхностей до светильника, причем большей является освещенность той поверхности, для которой указанное расстояние больше.

Наклон данной поверхности будем характеризовать двугранным углом θ , отсчитываемым от горизонтальной поверхности до неосвещенной стороны наклонной поверхности. Из рис. 3-15 следует, что для положения 1 наклонной поверхности кратчайшее расстояние до светильника $SB = h \cos \theta + p \sin \theta$; аналогично

для положения 2, характеризуемого тем, что из проекции светильника на горизонтальную плоскость не видна освещенная сторона наклонной плоскости $SB = h \cos \theta - p \sin \theta$. Так как кратчайшее

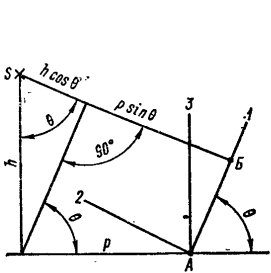


Рис. 3-15. Освещение наклонной поверхности (1, 2 и 3 — положения расчетных поверхностей)

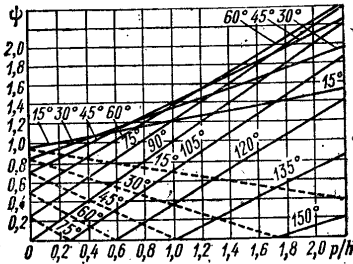


Рис. 3-16. График для определения ψ (числа у прямых обозначают угол θ)

расстояние светильника до горизонтальной плоскости есть h , то получаем

$$\psi = \cos \theta \pm \frac{p}{h} \sin \theta, \quad (3-19)$$

причем знак плюс относится к положению 1, а минус — к положению 2. Для вертикальной плоскости (положение 3) $\psi = p : h$.

Под p во всех случаях понимается длина перпендикуляра, опущенного из проекции светильника на линию пересечения горизонтальной и наклонной поверхностей. Значение p , а значит, и ψ , одинаково для всех точек этой линии — при освещении одним светильником, и для всех точек и всего ряда светильников, если ось ряда параллельна этой линии.

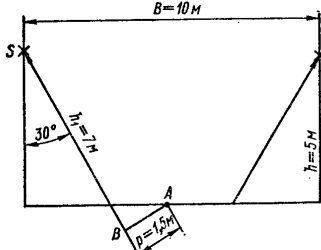


Рис. 3-17. Расчет освещенности от наклонного светильника

Поскольку ψ есть линейная функция p , удобно для его определения пользоваться графиком, предложенным Е. Н. Яковлевым (рис. 3-16). Штриховые линии на графике относятся к положению 2 наклонной поверхности.

Освещение от наклонно установленных светильников можно также рассчитывать по этому графику, проведя через контрольную точку условную плоскость, перпендикулярную осям светильников.

По отношению к этой плоскости, принимаемой за горизонтальную, освещаемая поверхность будет наклонной. Удобнее, однако, вести расчет, обмеряя размеры по масштабному чертежу разреза.

Пусть в помещении шириной $B = 10$ м на продольных стенах на высоте 5 м установлены светильники УПД ДРЛ при расстоянии между ними в ряду $L = 6$ м, причем светильники наклонены на угол 30° (рис. 3-17). Требуется обеспечить по оси помещения освещенность $E = 150$ лк при $k = 1,5$.

Выбираем контрольную точку A между двумя светильниками (в дальнейшем условно учитываются только по два ближайших светильника каждого ряда). Проведя из A перпендикуляр к оси светильника, считаем плоскость AB горизонтальной. По отношению к ней обмером определяем $h_1 = 7$ м и $p = 1,5$ м.

Тогда $d = \sqrt{p^2 + (L : 2)^2} = 3,35$ м, и по рис. 3-7 освещенность $e = 3,85$ лк. Переходя к действительно горизонтальной поверхности, умножаем значение e на $h : h_1 = 5 : 7$ и с учетом четырех светильников обоих рядов получаем $\Sigma e = 11$ лк.

Согласно выражению (3-17) и считая $\mu = 1$,

$$\Phi = \frac{1000 \cdot 150 \cdot 1,5}{1,1 \cdot 11} = 18600 \text{ лм,}$$

соответственно чему выбираем лампу 400 Вт, 19 000 лм.

РАСЧЕТ ОСВЕЩЕННОСТИ ОТ СВЕЯЩЕЙ ЛИНИИ

Широкое внедрение люминесцентного освещения, при котором светильники преимущественно располагаются сплошными или прерывистыми рядами, придало особое значение задаче расчета освещения от светящихся линий, под которыми будем понимать излучатели длиной более 0,5 высоты их установки (при меньшей длине погрешность от принятия излучателей за точечные источники невелика).

Расположение светящейся линии относительно контрольной точки A (рис. 3-18) будем характеризовать размерами L, h, p . Задача первоначально решается для точки, расположенной против конца линии, но результат легко распространяется на другие случаи. Так (рис. 3-19), если точка лежит на протяжении линии, линия делится на две части, освещенность от которых суммируется, если же точка лежит вне пределов линии, эта линия дополняется воображаемым отрезком, освещенность от которого в дальнейшем вычитается.

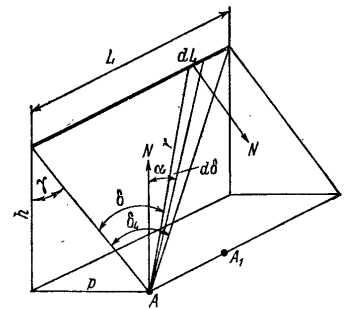


Рис. 3-18. Горизонтальный линейный излучатель

Примем, что светораспределение линии в продольной плоскости подчиняется закону косинуса ($m = 1$), а в поперечной плоскости

задано кривой $I_{\gamma} = f(\gamma)$ и что сила света с единицы длины линии составляет I' .

Тогда элемент линии dL в направлении к точке A имеет силу света $dI = I'_{\gamma} \cos \delta dL$, и, учитывая, что $dL = r d\delta : \cos \delta$, получим $dI = I'_{\gamma} r d\delta$. Так как $\cos \alpha = h : r$ и $r^2 = (h^2 + p^2) : \cos^2 \delta$, находим, что освещенность, создаваемая элементом dL , будет

$$dE = \frac{dI \cos \alpha}{r^2} = \frac{I'_{\gamma} h \cos^2 \delta d\delta}{h^2 + p^2}.$$

Интегрируя это выражение в пределах от 0 до L , получим

$$E = \frac{I'_{\gamma} \cos^2 \gamma}{2h} \left(\delta_L + \frac{\sin 2\delta_L}{2} \right). \quad (3-20)$$

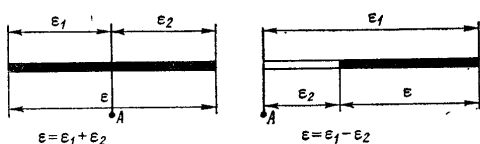


Рис. 3-19. Освещенность точек, не лежащих против конца линии

Для линий неограниченной длины $\delta_L \rightarrow 90^\circ$ и выражение в скобках имеет предел $\pi : 2$. Приближение к этому пределу происходит весьма быстро, и при небольших значениях p уже линии, для которых $L > 3h$, практически могут рассматриваться как бесконечно длинные.

Для практических расчетов выражение (3-20) преобразуем следующим образом.

Световой поток ламп в линии, отнесенный к единице ее длины, назовем удельным потоком Φ' . Так как значение I_{γ} для светильников, из которых образуется линия, дается для условного потока 1000 лм, фактическая сила света светильника есть $I_{\gamma} \Phi : 1000$, а сила света с единицы длины

$$I'_{\gamma} = \frac{I_{\gamma} \Phi}{1000L} = \frac{I_{\gamma} \Phi'}{1000}.$$

Заменяя далее δ , $\sin 2\delta$ и $\cos \gamma$ их выражениями через линейные размеры L, h, p , получим

$$E = \frac{\Phi'}{1000} I_{\gamma} \frac{h}{2(h^2 + p^2)} \left(\frac{LV\sqrt{h^2 + p^2}}{L^2 + h^2 + p^2} + \arctg \frac{L}{\sqrt{h^2 + p^2}} \right). \quad (3-21)$$

При данных характеристиках элементов линии освещенность есть функция трех параметров: L, h, p , а такую функцию трудно представить графически. Поэтому введем приведенные размеры

122

$L' = L : h$ и $p' = p : h$ (рис. 3-20), что сведет число независимых переменных к двум, и подставим L', p' в формулу (3-21). Тогда

$$E = \frac{\Phi'}{1000h} I_{\gamma} \frac{1}{2(1 + p'^2)} \left(\frac{L'\sqrt{1 + p'^2}}{L'^2 + p'^2 + 1} + \arctg \frac{L'}{\sqrt{1 + p'^2}} \right) = \frac{\Phi'}{1000h} I_{\gamma} f(p', L'). \quad (3-22)$$

Выражение $I_{\gamma} f(p', L')$ представляет собой освещенность, создаваемую линией при $h = 1$ м и $\Phi' = 1000$ лм/м, и с полным основанием может считаться относительной освещенностью e . Таким образом, получаем

$$E = \frac{\Phi' e}{1000 h},$$

где

$$e = I_{\gamma} f(p', L'). \quad (3-23)$$

Так как контрольная точка может освещаться несколькими линиями, совместно создающими в ней относительную освещенность Σe , а также с учетом коэффициента запаса и коэффициента дополнительной освещенности получаем следующие, уже рабочие, формулы:

$$\Phi' = \frac{1000 E k h}{\mu \Sigma e} \quad \text{и} \quad E = \frac{\Phi' \mu \Sigma e}{1000 k h}. \quad (3-24)$$

Обращается внимание на то, что в этих формулах h стоит в первой степени. Действительно, освещенность от линий неограниченной длины и вообще от линий, видимых из точки под неизменным углом δ , изменяется обратно пропорционально первой степени высоты.

Для наглядности вообразим себе точку, равномерно излучающую по всем направлениям, неограниченно длинную линию, также светящую во все стороны, и неограниченно же большую поверхность, равномерно излучающую с одной стороны. Поток светящей точки распределяется по шару, площадь которого пропорциональна квадрату радиуса, поток светящей линии — по цилиндру, площадь которого пропорциональна радиусу, поток светящей поверхности — по параллельной ей плоскости, площадь которой от расстояния не зависит.

Большинство люминесцентных светильников не имеет в продольной плоскости строго косинусного светораспределения, причем чаще всего $m > 1$. Для этого случая выражение для освещенности от элемента линии составляется аналогично изложенному, но интегрирование выполняется с помощью ЭВМ и дает возможность получить достаточные для расчета значения $f(p', L')$ для различных m (см. табл. 3-7).

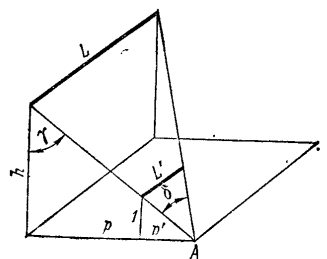


Рис. 3-20. Приведенные размеры при линейных излучателях

Значения f при длине p' , m (верхняя строка), и угле γ, \dots (нижняя строка)

L'	m	Значения f при длине p' , m (верхняя строка), и угле γ, \dots (нижняя строка)									
		0	0,25	0,5	0,75	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0
0,25	1,25	0,34	0,22	0,176	0,127	0,088	0,043	0,023	0,013	0,008	0,0036
	2,0	0,24	0,22	0,175	0,126	0,088	0,043	0,023	0,013	0,008	0,0036
	4,0	0,24	0,22	0,172	0,125	0,087	0,043	0,022	0,013	0,008	0,0036
		0,43	0,40	0,32	0,234	0,165	0,082	0,044	0,025	0,016	0,007
0,50	1,25	0,42	0,39	0,31	0,23	0,16	0,082	0,044	0,025	0,016	0,007
	2,0	0,40	0,37	0,30	0,22	0,16	0,08	0,043	0,025	0,016	0,007
	4,0	0,40	0,37	0,30	0,22	0,16	0,08	0,043	0,025	0,016	0,007
		0,48	0,48	0,48	0,37	0,27	0,143	0,08	0,048	0,03	0,014
1,00	1,25	0,59	0,55	0,46	0,35	0,26	0,14	0,078	0,047	0,03	0,014
	2,0	0,51	0,48	0,40	0,31	0,23	0,13	0,074	0,045	0,029	0,014
	4,0	0,51	0,48	0,40	0,31	0,23	0,13	0,074	0,045	0,029	0,014
		0,66	0,66	0,57	0,43	0,32	0,18	0,105	0,065	0,042	0,02
1,50	1,25	0,70	0,66	0,51	0,40	0,30	0,17	0,10	0,063	0,041	0,02
	2,0	0,64	0,60	0,42	0,33	0,26	0,15	0,09	0,058	0,038	0,02
	4,0	0,53	0,50	0,42	0,33	0,26	0,15	0,09	0,058	0,038	0,02
		0,68	0,68	0,57	0,45	0,35	0,20	0,12	0,077	0,051	0,025
2,00	1,25	0,73	0,68	0,52	0,41	0,32	0,19	0,11	0,073	0,049	0,024
	2,0	0,66	0,62	0,42	0,33	0,26	0,16	0,10	0,065	0,044	0,023
	4,0	0,53	0,50	0,42	0,33	0,26	0,16	0,10	0,065	0,044	0,023
		0,74	0,70	0,59	0,47	0,36	0,22	0,14	0,09	0,062	0,031
3,00	1,25	0,66	0,62	0,42	0,33	0,26	0,16	0,10	0,065	0,044	0,023
	2,0	0,53	0,50	0,42	0,33	0,26	0,16	0,10	0,065	0,044	0,023
	4,0	0,53	0,50	0,42	0,33	0,26	0,16	0,10	0,065	0,044	0,023
		0,74	0,70	0,59	0,47	0,36	0,22	0,14	0,09	0,062	0,031

Определение m может быть произведено решением формулы (1-16), а именно:

$$m = \frac{2\pi I_0}{\Phi_0} - 1, \quad (3-25)$$

где I_0 — осевая сила света; Φ_0 — поток нижней полусферы. Однако для некруглосимметричных светильников с двумя плоскостями симметрии под Φ_0 следует понимать условный поток, определяемый по продольной кривой силы света так, как если бы светильник был круглосимметричным.

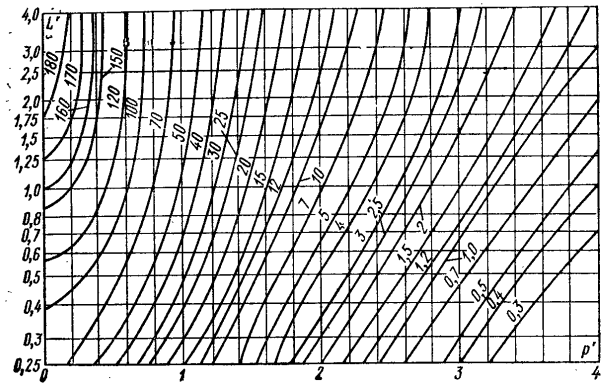


Рис. 3-21. Линейные изолуксы для светильника ЛДР

Поскольку освещенность ϵ при данном типе светильника зависит только от p' и L' , представляется возможным построить кривые ее равных значений в координатной системе $p' - L'$. Эти кривые называются линейными изолуксами (рис. 3-21). Для их построения задаются последовательно возрастающими значениями L' , и для каждого из этих значений, последовательно увеличивая p' , находят по формуле (3-23) значения ϵ и строят вспомогательную кривую $\epsilon = f(p')$. Точки этой кривой на оси абсцисс, соответствующие выбранным целым значениям ϵ , переносят на заготовленную сетку графика линейных изолукс (так, как это выше описано для условных изолукс) и соединяют полученные точки плавными кривыми. Чтобы точнее определить места пересечения изолуксами оси L' полезно аналогичным путем построить график $\epsilon = f(L')$ и перенести с него значение точек на оси абсцисс на ось L' .

Анализ показывает, что если ряд линейных светильников имеет незначительные разрывы λ , то его можно рассматривать как непрерывный при условии, что

$\lambda \leq 0,5h$. В этом случае Φ' определяется делением потока всех ламп ряда на полную, включая разрывы, длину ряда. При более значительных значениях λ каждый отрезок линии надо рассматривать отдельно и определять от него освещенность, пользуясь приемами, указанными на рис. 3-19; под Φ' в этом случае понимается отношение потока ламп в данном участке к его длине.

Подобно тому как при точечных излучателях неравномерность освещения в пределах всего помещения повышается при малых значениях $L : h$ (см. рис. 3-1), неравномерность освещения при светящихся линиях повышается с увеличением длины последних. В предельном случае, при очень длинных линиях, освещенность под концом линии вдвое меньше, чем под ее серединой, так как при $L' > 3$ освещенность почти не возрастает, и, если точка под концом ряда освещается одной условно-бесконечной линией, то точка под серединой линии освещается двумя такими же линиями.



Рис. 3-22. Компенсации снижения освещенности у концов линии

Когда $L' > 2$ и когда освещается поверхность определенных размеров, это приходится учитывать, продлевая линию за пределы поверхности на длину, равную $0,5h$, или удваивать значение Φ' на таком же протяжении у концов линии (рис. 3-22). В помещениях с равномерным освещением обычно ряды светильников доводятся почти до стен, и в предположении, что у самых торцевых стен

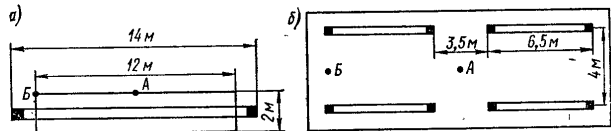


Рис. 3-23. Расчет светящихся линий: а — от одного протяженного ряда; б — от четырех полурядов

работы не производятся, контрольная точка условно выбирается на расстоянии h от конца линии. Тогда под центром линии будет обеспечена несколько большая освещенность, чем заданная, а под концом — несколько меньшая.

Рассчитаем осветительную установку, представленную на рис. 3-23, а. Рабочие места расположены вдоль стола, и на них должна быть обеспечена освещенность 500 лк при $k = 1,5$. Над столом на высоте 2 м установлен ряд светильников ЛДР с лампами ЛБ.

Точка А освещается двумя полурядами, для каждого из которых $p' = 0,5$ и $L' = 3,5$. По графику рис. 3-21 определяем $\epsilon = 135$ лк, $\epsilon = 270$ лк. В данном случае, естественно, $\mu = 1$ н, подставляя эти значения в формулу (3-24), находим

$$\Phi' = \frac{1000 \cdot 500 \cdot 1,5 \cdot 2}{270} = 5550 \text{ лм/м.}$$

Полный световой поток ламп ряда должен быть $5550 \cdot 14 = 78000$ лм, что при двухламповых светильниках с лампами ЛБ-40 ($\Phi = 6000$ лм) соответствует $78000 : 6000 = 13$ светильникам. Их общая длина $13 \cdot 1,24 = 16,2$ м. В данном случае, плохо не то, что длина превышает заданную, а то, что фактическое значение Φ' получается несколько меньше расчетного. Если применить лампы ЛБ-80 (поток двух ламп 10440 лм), то число светильников составит $78000 : 10440 = 7,5$, с округлением 8 шт. при суммарной длине $8 \cdot 1,54 = 12,3$ м. При таком решении, если светильники разместить сплошным рядом, освещенность у концов ряда будет недостаточна, поэтому, соблюдая условия задания, размещаем их на длине 14 м, устраивая между светильниками разрывы $(14 - 12,3) : 7 = 0,25 \text{ м} < 0,5h$. Расчетом можно убедиться, что в точке В освещенность $\Sigma \epsilon = 215$ лк, но трудно предположить, что работа будет производиться в самом углу стола, а уже на небольшом расстоянии от угла значение $\Sigma \epsilon$ приближается к значению для точки А.

Расчет осветительной установки представленной на рис. 3-23, б производится при условии, что расчетная высота 3 м, освещенность 200 лк, $k = 1,5$, светильники ЛДР с лампами ЛБ. В средней части потолок занят оборудованием, и приходится сделать в рядах светильников вынужденные разрывы.

Определяя освещенность $\Sigma \epsilon$ для точки А, каждую линию дополняем отрезком 1,5 м до перпендикуляра, проведенного из точки А. Для каждого дополнительного полуряда $p' = 0,67$ и $L' = 2,67$, что дает значение $\epsilon = 110$ лк. Но надо учесть освещенность от добавленных несуществующих отрезков при $p' = 0,67$ и $L' = 0,5$, каждый из которых дает освещенность $\epsilon = 60$ лк, в результате чего $\Sigma \epsilon = 4(110 + 60) = 200$ лк. Подставляя эти значения в формулу (3-24), получаем $\Phi' = 4500$ лм/м. Задача решается установкой в каждом отрезке линии пяти светильников с лампами 2×40 Вт, занимающих длину 6,2 м. Это достаточно близко к заданию, и вряд ли стоит устраивать небольшие разрывы между светильниками. Отмечается, что для точки В освещенность $\Sigma \epsilon = 220$ лк, причем два удаленных от нее отрезка линий практически не участвуют в создании освещенности.

3-5. СПЕЦИАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА

Рассмотренные выше способы расчета охватывают случаи, повседневно встречающиеся при проектировании и устройстве осветительных установок. В полном объеме теория светотехнических расчетов весьма сложна и включает задачи, решаемые на основе специальных разделов высшей математики, некоторые же вопросы вообще не имеют окончательного решения.

В данном параграфе рассматривается некоторая часть задач в объеме, необходимом как для ознакомления с наиболее общими принципами светотехнических расчетов, так и для практической работы в области техники освещения. Относящиеся к этим задачам справочные графики и таблицы приводятся в сокращенном виде; более полный комплект их можно найти в книге [10].

Как и в предшествующем изложении, рассматриваемые методы расчета позволяют найти либо среднюю освещенность поверхности, т. е. они основаны на коэффициенте использования, либо освещенность в определенной точке. Нередко эти методы используются совместно.

Определение освещенности в точке от точечных и линейных излучателей было рассмотрено в § 3-4. Здесь познакомимся с определением освещения, создаваемого диффузно излучающей поверхностью.

Пусть поверхность произвольной формы и расположения S (рис. 3-24) имеет яркость L и светимость $M = L\pi$, требуется найти освещенность точки A . Выделим на поверхности «точечный» элемент dS , удаленный от точки на расстояние r и имеющий силу света $dI = L dS \cos \beta$. Этот элемент создает в точке освещенность

$$dE = \frac{L dS \cos \alpha \cos \beta}{r^2},$$

но

$$\frac{dS \cos \beta}{r^2} = d\omega,$$

что приводит к выражению $dE = L d\omega \cos \alpha$.

Интеграл этого выражения

$$E = L \int_S d\omega \cos \alpha \quad (3-26)$$

дает освещенность от всей поверхности S и выражает один из основных законов теоретической светотехники.

Подынтегральное выражение может быть графически интерпретировано следующим образом: окружим точку A полусферой единичного радиуса; вырезка на этой полусфере, образованная совокупностью направлений на dS , численно равна $d\omega$, а проекция этой вырезки на экваториальную плоскость P равна $d\omega \cos \alpha$. Это остается справедливым и для конечного участка светящей поверхности, так что во всех случаях проекция вырезки, определяющей телесный угол, может служить мерой освещенности. При неограниченных размерах горизонтальной светящей поверхности проекция занимает всю экваториальную плоскость площадью π и $E = L\pi = M$.

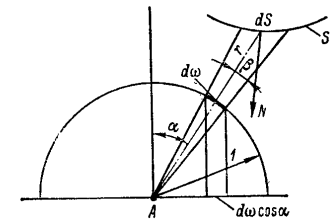


Рис. 3-24. Освещенность от большой поверхности

Выражение (3-26) интегрируется для некоторых частных случаев и приводит к довольно сложным формулам, на основании которых могут быть, однако, построены удобные для практического пользования графики. Так, на рис. 3-25 приведен предложенный Е. С. Ратнером график для расчета освещенности горизонтальной поверхности от горизонтального же светящего прямоугольника со сторонами a и b , установленного на высоте h и расположенного так, что точка A является проекцией одной из его вершин. График дает значения коэффициента q , на который надо умножить светимость поверхности M , чтобы получить освещенность E в функции отношений $a' = a : h$ и $b' = b : h$. Так как для поверхности,

неограниченно простирающейся во все стороны от точки A , $q = 1$, ясно, что при неограниченном увеличении a' и b' предельное значение $q = 25\%$.

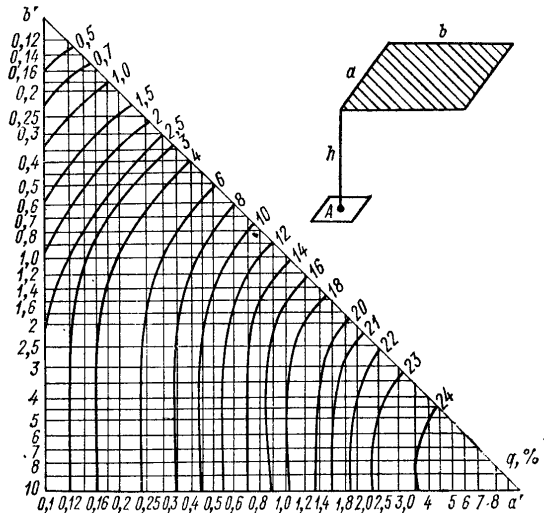


Рис. 3-25. График для расчета освещенности от горизонтального прямоугольника

График позволяет решить задачу определения освещенности в точке, не совпадающей с проекцией одной из вершин.

В помещении размерами 10×10 м и высотой 4 м устроена потолочная панель 4×4 м. В панели установлено 20 ламп ЛБ-80 ($\Phi = 5220$ лм). Коэффициент полезного действия панели 0,6. Требуется определить освещенность точки A (рис. 3-26), создаваемую прямым светом панели.

Светимость панели

$$M = \frac{20 \cdot 5220 \cdot 0,6}{16} = 3900 \text{ лм/м}^2.$$

Так как точка A не совпадает с проекцией одной из вершин панели, вообразим последнюю дополненной до квадрата 5794 . Определив освещенность от этого квадрата, мы должны вычесть освещенность от прямоугольников 5782 и 5693 и прибавить освещенность от квадрата 5681 , так как иначе последняя окажется вычитенной дважды. Таким образом,

$$d_{1234} = q_{5794} - q_{5782} - q_{5693} + q_{5681}.$$

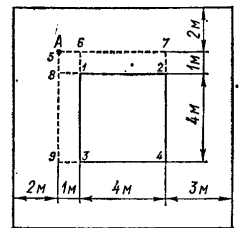


Рис. 3-26. Освещенность от светящейся панели

Определяя соответствующие отношения a' и b' (которую сторону принять за a и которую за b — безразлично) и найдя по рис. 3-25 значения q , получаем

$$q_{1234} = 18 - 10 - 10 + 6 = 4\%,$$

откуда $E = 3900 \cdot 0,04 = 156$ лк.

Аналогичный график построен Е. С. Ратнером и для вертикального прямоугольника.

Существует и иное решение задачи определения освещенности от больших светящихся поверхностей, причем произвольной формы, предложенное А. А. Гершуном.

Задача определения световых потоков, падающих от излучателей на поверхности (а через них — определение средней освещенности и приближенно, с помощью коэффициента z , минимальной освещенности), значительно сложнее и, можно сказать, многограннее, чем уже рассмотренная. Почти во всех случаях она решается приближенно, на основе следующих допущений, которые в дальнейшем особо не оговариваются:

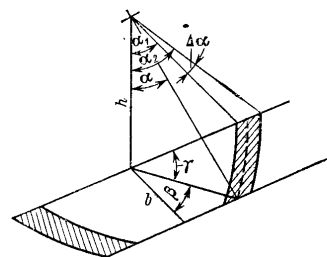


Рис. 3-27. Определение светового потока, падающего на полосу

- 1) все поверхности, участвующие в перераспределении светового потока, являются диффузными;
- 2) световой поток в пределах зоны, ограниченной определенными направлениями, распределен равномерно;
- 3) по каждой группе поверхностей помещения (потолок, стены, расчетная плоскость) световой поток также распределен равномерно.

В дальнейшем будем различать первичные потоки, непосредственно, без учета отражения от каких-либо поверхностей, падающие на данную поверхность, и соответствующие им коэффициенты первичного использования, а также установившиеся потоки, падающие на поверхность в результате отражения от поверхностей, и соответствующие им установившиеся коэффициенты использования. Первичные потоки и коэффициенты использования будут отмечаться штрихом (Φ' , η').

В качестве первой задачи рассмотрим определение первичных потоков от излучателей с круглосимметричным светораспределением, падающих на полосу неограниченной длины, при размещении светильника, показанном на рис. 3-27. Круговая зона, ограниченная направлениями $\alpha_1 = \alpha - \frac{\Delta\alpha}{2}$ и $\alpha_2 = \alpha + \frac{\Delta\alpha}{2}$ в сечении с горизонтальной поверхностью дает кольцо, часть площади которого лежит в пределах освещаемой полосы.

Таблица 3-8

Круговая зона, ...°	Значение коэффициента использования η' , %, при отношении $b : h$, равном							
	0,25	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0
0—10	50	50	50	50	50	50	50	50
10—20	38	50	50	50	50	50	50	50
20—30	18	50	50	50	50	50	50	50
30—40	11,6	25	50	50	50	50	50	50
40—50	8	16,7	50	50	50	50	50	50
50—60	5,6	11,4	24	50	50	50	50	50
60—70	3,7	7,5	15,4	25	38	50	50	50
70—80	2,1	4,3	8,6	13	18	30	50	50
80—90	0,7	1,4	2,7	4,2	5,5	8,4	11,3	14,3

Отношение этой площади ко всей площади кольца, или, что то же, отношение $2\gamma : 360$, может быть принято за коэффициент первичного использования потока светильника, а так как $\gamma = \arcsin \frac{b}{h \operatorname{tg} \alpha}$, то

$$\eta' = \frac{\arcsin \frac{b}{h \operatorname{tg} \alpha}}{360}, \quad (3-27)$$

причем числитель выражается в градусах. Предельное значение $\eta' = 50\%$. Рассчитанные по формуле (3-27) значения η' приведены в табл. 3-8. Предназначенные для практических расчетов таблицы желательнее составлять для интервалов угла $\alpha = 5^\circ$. При размещении светильников над осью полосы значения η' удваиваются; при размещении на площади полосы значения η' находятся отдельно для каждой стороны и суммируются; при размещении вне полосы последняя условно дополняется до соответствия рисунку с последующим вычетом значения η' для добавленной части.

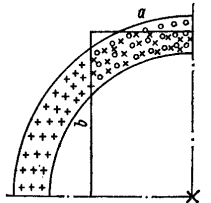


Рис. 3-28. Определение светового потока, падающего на квадрат

Нетрудно применить данный способ и для определения первичного светового потока в помещении ограниченных размеров. На рис. 3-28 показан один из квадратов такого помещения и одна из круговых зон, поток которой Φ_3 . Часть площади кольца, отмеченная кружками, соответствует потоку $\Phi_3 \cdot \frac{\eta_a}{2}$, а крестиками, $\Phi_3 \cdot \frac{\eta_b}{2}$. Сумма этих площадей больше, чем Φ_3 ; 4, на величину искомого потока Φ_x , который входит в оба слагаемых. Отсюда

$$\Phi_x = \frac{\eta_a + \eta_b}{2} \cdot \frac{\Phi_3}{4} + \Phi_x \text{ и } \Phi_x = \frac{\Phi_3}{2} (\eta_a + \eta_b - 0,5). \quad (3-28)$$

Таблица 3-10

α, \dots	Круговая зона, ...	$I, \alpha, \text{кд}$	Зональный телесный угол, ср	Зональный поток, лм	Коэффициент использования потока для		Полезный световой поток, лм, для	
					полосы ($2\eta'$)	помещения (η')	полосы	помещения
5	0—10	180	0,095	17,1	1,0	17,1	1,0	17,1
15	10—20	210	0,283	59,4	1,0	59,4	0,85	50,5
25	20—30	245	0,463	113,4	1,0	113,4	0,79	89,6
35	30—40	265	0,628	166,4	0,5	83,2	0,64	106,5
45	40—50	190	0,774	147,1	0,334	49,1	0,57	83,8
55	50—60	90	0,897	80,7	0,228	18,4	0,39	31,5
65	60—70	60	0,992	59,5	0,15	8,9	0,21	12,5
75	70—80	30	1,058	31,7	0,086	2,7	0	0
85	80—90	10	1,092	10,9	0,028	0,3	0	0
$\Sigma \Phi = 868 \text{ лм}$							$\Sigma \Phi = 352,5 \text{ лм}$	$\Sigma \Phi = 391,5 \text{ лм}$

Примечание. Коэффициент использования потока лампы для помещения дается по Джонсу и Нейдхарту.

ваем. Как следует из таблицы, коэффициент использования потока светильников составляет $352 : 686 = 0,51$, но коэффициент использования потока лампы (для нас единственно важный) $352 : 1000 = 0,35$.

Так как согласно заданию на каждый метр длины полосы должен падать световой поток $1 \times 8 \times 4 \times 1,3 = 41,6 \text{ лм}$, а полезный поток светильника с лампой 200 Вт составляет $2800 \times 0,35 = 980 \text{ лм}$, то расстояние между светильниками должно составлять $980 : 41,6 = 23,5 \text{ м}$.

2. Если тот же светильник установлен в помещении с индексом $i = 1,5$, то, умножая зональные потоки на коэффициенты, взятые из табл. 3-9, получим, как указано в табл. 3-10, коэффициент первичного использования 0,39.

Для определения первичного потока, падающего от диффузно излучающей поверхности Q на освещаемую поверхность S , при любой форме и расположении обеих поверхностей, составляется дифференциальное выражение для элементарного потока, падающего от малого элемента dQ на малый же элемент dS , и интегрированием распространяется на полные поверхности Q и S . Интегрирование осуществимо для некоторых случаев. В частности, Е. Н. Яковлевым рассчитаны коэффициенты использования потока прямоугольника относительно параллельного и равновеликого ему прямоугольника, т. е. коэффициенты первичного использования потока потолка относительно пола. Эти данные приведены в табл. 3-11.

В той же таблице, по данным МЭИ, приведены такие же коэффициенты для случая, когда излучающая поверхность расположена над центром освещаемой и занимает около $1 : 5$ ее площади, т. е. для случая, соответствующего представленному на рис. 3-26. Рассчитаны данные и для ряда других случаев.

Вышеупомянутое дифференциальное выражение для элементарного потока не изменится, если излучающей поверхностью

Расчеты по этой формуле производятся отдельно для каждой зоны и каждого квадранта.

Разработаны также способы определения потока, падающего на полосу от светильников с трубчатыми лампами, имеющих две плоскости симметрии. В общем случае, при использовании светильников, не имеющих плоскостей симметрии, поток приходится определять, разбивая полосу на участки, в пределах каждого из которых освещенность можно считать неизменной.

Коэффициент первичного использования светового потока совокупности круглосимметричных светильников, установленных в помещении, зависит от индекса помещения, характеристик светильника, и, в меньшей степени, от значения $\lambda = L : h$. Для их определения получили распространение таблицы, разработанные Джонсом и Нейдхартом, одна из которых для значения $\lambda = 0,4$ приводится ниже.

Таблица 3-9

Круговая зона, ...	Значения коэффициента использования η' при индексе помещения, равном									
	0,6	0,8	1,0	1,25	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0
0—10	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
10—20	0,72	0,79	0,81	0,85	0,88	0,91	0,92	0,94	0,95	0,96
20—30	0,57	0,67	0,73	0,79	0,83	0,87	0,89	0,91	0,93	0,94
30—40	0,34	0,50	0,56	0,64	0,69	0,77	0,82	0,85	0,88	0,91
40—50	0,16	0,36	0,49	0,57	0,64	0,72	0,78	0,81	0,86	0,88
50—60	0,03	0,12	0,28	0,39	0,48	0,60	0,67	0,72	0,78	0,83
60—70	0	0	0,05	0,21	0,31	0,43	0,52	0,59	0,69	0,77
70—80	0	0	0	0	0	0,11	0,22	0,32	0,47	0,60
80—90	0	0	0	0	0	0	0	0	0,04	0,11

Для светильников с люминесцентными лампами, имеющих две плоскости симметрии, Эйхорном предложен метод определения первичных потоков, при котором раздельно определяются коэффициенты использования в направлении продольной и поперечной плоскостей, произведение которых дает окончательный коэффициент использования. Применение этого метода потребовало бы, однако, коренного изменения принятой у нас практики расчета, так как таблицы не могли бы быть составлены с аргументом в виде индекса помещения и так как пришлось бы учитывать, ориентированы ли светильники вдоль или поперек продольной оси помещения. Произведенный анализ показал, что без существенной погрешности можно пользоваться и в этих случаях таблицами Джонса и Нейдхарта, понимая под силой света ее среднее значение для двух плоскостей и выполняя все дальнейшие расчеты как для круглосимметричных светильников. При этом ориентация светильников в помещении хотя и играет роль, но незначительную.

Выполним в качестве примеров некоторые расчеты для светильника, сила света которого при лампе 1000 лм задана значениями, указанными в табл. 3-10, где приведены также промежуточные расчеты.

1. Светильники с лампами накаливания 200 Вт ($\Phi = 2800 \text{ лм}$) установлены на высоте 8 м над осью полосы шириной также 8 м. Требуется определить расстояние между светильниками, при котором средняя освещенность полосы составит 4 лк при коэффициенте запаса 1,3.

Соответственно указанному размещению светильников коэффициент использования η' определяем по табл. 3-8 для $b : h = 0,5$ и найденные значения удваи-

будет S , а освещаемой — Q . Это позволяет утверждать, что и весь поток, падающий от Q на S , равен потоку, падающему от S на Q , при условии, конечно, равенства светимостей. Так как выражения для коэффициента использования имеют вид:

$$\eta_{QS} = \frac{\Phi_{QS}}{MQ} \quad \text{и} \quad \eta_{SQ} = \frac{\Phi_{SQ}}{MS},$$

то получаем

$$\frac{\eta_{QS}}{\eta_{SQ}} = \frac{S}{Q}. \quad (3-29)$$

Расчет по этому выражению носит название принципа Муна.

Вопросы распределения световых потоков в условиях помещения рассмотрим на основе работ МЭИ применительно к схеме, представленной на рис. 3-29. Поток осветительных приборов распределяется в общем случае по трем поверхностям помещения: потолку, стенам и расчетной плоскости, которой, в частности может быть пол помещения. Для того чтобы избежать отдельного определения потока, падающего на верхнюю и нижнюю части стен, на уровне осветительных приборов проводится воображаемая плоскость $S_n = S_p$, принимаемая за условный потолок. Тогда за поток, падающий на потолок (Φ_n), принимается весь поток, излучаемый приборами в верхнюю полусферу; поток, первично падающий на расчетную поверхность (Φ_p), находится одним из описанных способов, первичный же поток на стены (Φ_c) будет разностью между всем потоком и двумя названными.

Схему можно считать универсальной. Так, если светильники установлены на потолке, ничего не изменится, кроме того, что условный поток совпадет с действительным; если излучает сам потолок, то $\Phi_n = 0$, и т. д.

Для определения установившихся потоков (что, собственно, и является конечной целью расчета) необходимо знать, какая часть первично упавшего на данную поверхность потока падает после отражения на остальные поверхности, т. е. коэффициенты первич-

ного использования потока одной поверхности относительно другой, или, как их иногда называют, коэффициенты связи. Эти же коэффициенты могут быть использованы в тех случаях, когда та или иная поверхность рассматривается как первичный диффузный излучатель. Эти коэффициенты будем обозначать по схеме η_{lm} , где l обозначает поверхность, посылающую поток, а m — поверхность, получающую этот поток. Так как каждая поверхность может посылать поток на две другие, таких коэффициентов может быть всего 6.

Считая, что данные для определения коэффициента $\eta_{p,p}$ у нас уже имеются, в силу симметрии можем написать

$$\eta'_{p,p} = \eta_{s,p}. \quad (3-30a)$$

Очевидно далее, что

$$\eta'_{p,c} = 1 - \eta'_{p,p} \quad (3-30б)$$

и в силу симметрии

$$\eta'_{c,c} = \eta'_{c,p}; \quad (3-30в)$$

согласно принципу Муна

$$\frac{\eta'_{c,p}}{\eta'_{p,c}} = \frac{AB}{2h(A+B)} = \frac{i}{2},$$

откуда с учетом выражения (3-30б)

$$\eta'_{c,p} = (1 - \eta'_{p,p}) \frac{i}{2}; \quad (3-30г)$$

опять-таки в силу симметрии

$$\eta'_{c,p} = \eta'_{c,n}; \quad (3-30д)$$

и наконец,

$$\eta'_{c,c} = 1 - 2\eta'_{c,p} = 1 - i(1 - \eta'_{p,p}). \quad (3-30е)$$

Таким образом все коэффициенты оказываются определенными через $\eta_{p,p}$ и i . Подчеркивается, что индекс определяется по высоте плоскости S_n над расчетной поверхностью.

Из числа поверхностей помещения стены (в пределах между расчетной поверхностью и S_n) и все поверхности, лежащие выше S_n , образуют вогнутые поверхности, внутри которых имеют место многократные отражения, в связи с чем рассмотрим следующий случай.

Пусть на любую вогнутую незамкнутую поверхность падает световой поток Φ , причем площадь этой поверхности $S_{св}$, площадь ее «выходного отверстия» S_n , а коэффициент отражения $\rho_{св}$. В результате многократных отражений света в пределах самой поверхности на ней установится какой-то увеличенный поток $\gamma\Phi$, где γ — так называемый коэффициент многократных отражений. Во внешнее по отношению к поверхности пространство выйдет поток Φ , умноженный на коэффициент отражения ρ_n , который надо приписать фиктивной плоскости S_n и который всегда меньше $\rho_{св}$, так как многократные отражения, увеличивая поток,

Таблица 3-11

i	Значение коэффициента использования потока η , %, прямоугольника	
	параллельного и равно-великого освещаемой поверхности	параллельного освещаемой поверхности, расположенного над ее центром и имеющего 1/5 часть ее площади
0,5	20	22
0,6	24	28
0,8	33	40
1,0	42	48
1,5	56	65
2,0	63	77
3,0	73	88
4,0	79	93
5,0	81	96

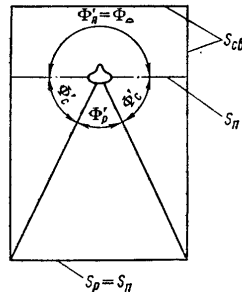


Рис. 3-29. Распределение светового потока по поверхностям помещения

установившийся на данной поверхности, вместе с тем увеличивают и потери в ней на поглощение.

Пусть в результате распределения потока Φ по поверхности $S_{св}$ и многократных отражений в ее пределах поверхность приобретает светимость M , т. е. излучает поток $MS_{св}$. Но ту же светимость имеет воображаемая поверхность $S_{п}$, так как фактически через нее видна поверхность $S_{св}$, следовательно, через $S_{п}$ проходит поток $MS_{п}$. Отношение u этого потока к излучаемому является коэффициентом использования потока поверхности по отношению к внешнему пространству и определяется выражением

$$u = \frac{MS_{п}}{MS_{св}} = \frac{S_{п}}{S_{св}}. \quad (3-31)$$

Выражение (3-31) заслуживает быть названным «золотым правилом» светотехники. При проектировании самых разнообразных (но диффузно отражающих!) осветительных устройств: светильников, световых карнизов, ниш, панелей и т. п., коэффициент полезного действия этих устройств будет тем больше, чем ближе к единице отношение $S_{п} : S_{св}$, и даже такая мелочь, как округление углов углубленных в потолок панелей, повышает их эффективность.

После отражения потока Φ от поверхности $S_{св}$ его часть, равная $\rho_{св}\Phi(1-u)$, падает на $S_{св}$ повторно, часть, равная $\rho_{св}^2\Phi(1-u)^2$, — третий раз и т. д. Установившийся на поверхности поток

$$\gamma\Phi = \Phi [1 + \rho_{св}(1-u) + \dots],$$

откуда γ есть сумма членов бесконечно убывающей геометрической прогрессии:

$$\gamma = \frac{1}{1 - \rho_{св}(1-u)} = \frac{1}{1 - \rho_{св} \left(1 - \frac{S_{п}}{S_{св}}\right)}. \quad (3-32)$$

Теперь мы имеем основание написать равенство

$$\Phi\rho_{п} = \Phi\gamma\rho_{св}u,$$

откуда

$$\rho_{п} = \gamma\rho_{св}u = \frac{1}{\frac{S_{св}}{S_{п}} \left(\frac{1}{\rho_{св}} - 1\right) + 1}. \quad (3-33)$$

Если, например, отношение $S_{св} : S_{п} = 2$ и $\rho_{св} = 0,7$, то расчет дает $\rho_{п} = 0,54$, т. е. многократные отражения существенно уменьшают поток, проходящий через поверхность $S_{п}$.

Возвратимся к рис. 3-29. Пусть нам известны первичные потоки Φ'_p , Φ'_c , Φ'_n . В создании установившихся потоков на каждой из трех поверхностей участвует не только «свой» первичный поток, но в результате многократных отражений и два других, «свой» же поток увеличивается по той же причине. Для количественной оценки этого будем пользоваться коэффициентами вида $k_{пп}$, являющимися коэффициентами использования потока, первично падающего на поверхность n по отношению к поверхности m .

Тогда будут иметь место равенства:

$$\begin{aligned} \Phi_p &= \Phi'_p k_{p,p} + \Phi'_c k_{c,p} + \Phi'_n k_{n,p}; \\ \Phi_c &= \Phi'_p k_{p,c} + \Phi'_c k_{c,c} + \Phi'_n k_{n,c}; \\ \Phi_n &= \Phi'_p k_{p,n} + \Phi'_c k_{c,n} + \Phi'_n k_{n,n}. \end{aligned} \quad (3-24)$$

Разделив обе стороны этих равенств на Φ , получим окончательные выражения для определения коэффициентов использования:

$$\begin{aligned} \eta_p &= \eta'_p k_{p,p} + \eta'_c k_{c,p} + \eta'_n k_{n,p}; \\ \eta_c &= \eta'_p k_{p,c} + \eta'_c k_{c,c} + \eta'_n k_{n,c}; \\ \eta_n &= \eta'_p k_{p,n} + \eta'_c k_{c,n} + \eta'_n k_{n,n}. \end{aligned} \quad (3-35)$$

Вычисление коэффициентов $k_{пп}$ произведено МЭИ [11], по материалам которого составлена табл. 3-12. Поскольку эти коэффициенты имеют исключительное значение при светотехнических расчетах, надо сделать некоторые дополнительные замечания.

Три из этих коэффициентов: $k_{п,п}$, $k_{с,с}$, $k_{р,р}$, всегда больше единицы, так как «свой» поток, падающий на поверхности, частично от них отражается и после отражения от других поверхностей возвращается на эти поверхности. Отметим, что даже общий коэффициент использования светового потока за счет многократных отражений может не только превысить к. п. д. светильников, но и быть большим единицы.

Для определения коэффициента использования подвесных светильников следовало бы каждый раз определять коэффициент отражения $\rho_{п}$ по формуле (3-33). Так как это довольно сложная операция, МЭИ при составлении таблиц введен дополнительный коэффициент $k'_{п,п}$. Будучи рассчитанным для среднего соотношения между расстоянием светильников от потолка (h_c) и расчетной высотой, он уже учитывает многократные отражения в верхней полости (то, что иногда называется «эффектом свода») и при использовании этого коэффициента за $\rho_{п}$ принимается коэффициент отражения физического, а не условного потолка. На остальные коэффициенты эффект свода влияет незначительно. Само собой, что при расчете таких установок отраженного освещения, как световые карнизы, напольные светильники и т. п., определение коэффициента $\rho_{п}$ по формуле (3-33) неизбежно.

В некоторых случаях коэффициенты $k_{пп}$ приходится применять не к потокам, падающим на поверхности, а к потокам, ими излучаемым. Следует учитывать, что физически коэффициенты эти можно понимать как произведение коэффициента отражения данной поверхности на коэффициент использования отраженного потока, и если они вводятся к излучаемому потоку, то потери на отражение надо исключить. Если, например, по стенам помещения расположены искусственные окна, светящие отраженным или пропущенным светом, то для нахождения освещенности расчетной поверхности поток, исходящий от этих окон, надо умножить на $k_{с,р} : \rho_c$.

В § 3-2 и 3-3 коэффициент использования рассматривался как величина, заимствуемая из каталогов или справочников. Методика, рассмотренная в данном параграфе, прежде всего предназначена именно для определения коэффициентов использования, публикуемых в справочниках.

Так, выше мы выполнили определение коэффициента η'_p для помещения, имеющего индекс 1,5. Определим коэффициент использования светового потока того же светильника в том же помещении, считая, что светильник подвесной,

i	k _{п.р}	k' _{п.р}	k _{п.с}	k _{с.п}	k _{с.р}	k _{о.п}	k _{о.р}	k _{п.п}	k _{р.п}	k _{р.с}	k _{п.с}	k' _{п.п}	k _{п.с}	k _{п.п}	k _{с.р}	k _{с.п}	k _{д.п}	k _{д.р}	k _{д.с}	
																				При коэффициентах отражения ρ _п = 70%; ρ _с = 50%; ρ _р = 10%
0,5	24	18	91	110	19	158	16	102	3	14	14	9	52	103	8	126	8	101	2	11
0,6	28	22	81	110	21	152	18	102	4	14	16	12	47	104	10	124	8	101	3	10
0,8	36	29	68	110	24	145	20	102	5	12	21	16	41	104	11	121	10	102	4	10
1,0	41	35	60	110	26	139	22	103	6	10	25	20	36	104	12	118	11	102	5	8
1,5	50	44	45	110	31	129	24	104	7	8	31	26	28	104	16	114	12	102	6	7
2,0	54	50	36	110	34	122	26	104	8	7	35	31	23	105	17	111	14	103	7	6
3,0	60	57	25	110	38	116	27	106	8	5	40	36	16	105	19	108	15	104	8	4
5,0	66	64	16	108	41	108	28	106	10	4	44	42	10	105	20	105	16	104	9	2

Примечание. Значения коэффициентов k_{ит} приведены в процентах.

в верхнюю полусферу направляет 130 лм ($\eta'_{п} = 0,13$) и что потолок, стены и расчетная поверхность помещения имеют коэффициенты отражения, соответственно, 50, 30 и 10%. Расчеты ведем в долях коэффициента использования [формула (3-35)], но с равным успехом можно вести их в люменах светового потока. Из табл. 3-10 нам уже известно, что в нижнюю полусферу излучается 0,69 потока лампы, а на расчетную поверхность первично падает 0,39 этого значения. Следовательно, $\eta_{с} = 0,69 - 0,39 = 0,30$. Из табл. 3-12 находим $k'_{п.р} = 0,26$; $k_{с.р} = 0,16$; $k_{р.р} = 1,02$. Следовательно,

$$\eta = 0,13 \cdot 0,26 + 0,30 \cdot 0,16 + 0,39 \cdot 1,02 = 0,48.$$

Вернемся также к примеру, представленному на рис. 3-26, и определим среднюю освещенность пола, принимая $\rho_{п} = 70\%$, $\rho_{с} = 50\%$, $\rho_{р} = 10\%$. Индекс помещения

$$i = \frac{100}{4(10 + 10)} = 1,25.$$

По табл. 3-11, интерполируя, находим $\eta' = 0,57$, значит, $\eta'_{с} = 1,0 - 0,57 = 0,43$; $\eta'_{п} = 0$. По табл. 3-12 коэффициенты $k_{р.р} = 1,04$; $k_{с.р} = 0,29$.

Так как полный поток панели $20 \cdot 5220 \cdot 0,6 = 62\ 640$ лм, то $\Phi_{р} = 62\ 640 \times 0,57 = 36\ 000$ лм и $\Phi'_{с} = 26\ 600$ лм (цифры округлены).

Отсюда $\Phi_{р} = 36\ 000 \cdot 1,04 + 26\ 600 \cdot 0,29 = 45\ 100$ лм, что при делении на площадь дает $E = 451$ лк, из которых прямым светом создается $36\ 000 : 100 = 360$ лк.

Рассмотренная в данном параграфе методика позволяет решать большое число задач, в частности, в области расчета архитектурно-художественного освещения.

3-6. ПРОЖЕКТОРНОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

Специфика расчета прожекторного освещения определяется основными его особенностями: наклонной установкой прожекторов и характером их светораспределения, в большинстве случаев не круглосимметричного и настолько концентрированного, что погрешность в определении направлений на 2—3°, вполне допустимая при использовании светильников, здесь существенно искажает результат. Следствием этих особенностей является и то, что если при расчетах осветительной установки со светильниками элементы выбираются до расчета и лишь корректируются по его результатам, то расчет прожекторного освещения является комплексной операцией, в процессе которой только и могут быть выбраны число и расположение прожекторов.

Для расчета прожекторного освещения предложено несколько способов. Дальнейшее изложение основано на работах Р. А. Сапожникова и автора.

Основными характеристиками прожекторов, как и других осветительных приборов, являются кривые силы света, но в данном случае они строятся не в полярных, а прямоугольных координатах, позволяющих выбрать для углов удобный масштаб. Светораспре-

деление задается, как правило, в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, каждая из которых включает ось прожектора: вертикальной и горизонтальной (последняя в рабочем положении прожектора фактически является наклонной), причем для вертикальной плоскости оно может быть различным для ее верхней и нижней половин. При большом различии между светораспределением в обеих указанных плоскостях необходимы данные для одной-двух промежуточных плоскостей. В отличие от расчета светового потока светильников при расчетах прожекторного освещения значения силы света даются не для условной лампы 1000 лм, а для номинального потока лампы, с которой используется прожектор.

В каталогах на прожекторы указываются также значения осевой силы света прожектора, угол рассеивания и коэффициенты полезного действия в пределах этого угла и полный к. п. д.

Под углом рассеивания 2α понимается угол между двумя направлениями плоскости, лежащими по разные стороны от оси, в которых сила света составляет 0,1 ее максимального (осевого) значения. Эта величина наглядно характеризует степень концентрации прожектором светового потока лампы, но отнюдь не следует считать, что за пределами угла рассеивания поток теряется бесполезно. Помимо оптической системы прожектора, степень концентрации потока определяется размером светящего тела источника, почему при прочих равных условиях осевая сила света прожектора больше при использовании ламп накаливания, чем при лампах ДРЛ. По той же причине прожекторы с трубчатыми лампами имеют в несколько раз больший угол рассеивания в горизонтальной плоскости, чем в вертикальной.

Возможная точность расчета прожекторного освещения в значительной степени обесценивается тем, что о характеристиках прожекторов можно говорить лишь как о средних вероятных. Они могут существенно отличаться не только у двух прожекторов одной серии, но и одного и того же прожектора с разными лампами одного типа и мощности.

Не следует также удивляться расхождению данных, публикуемых в разных источниках, так как при модернизациях конструкции прожекторов их характеристики несколько изменяются. Надо, наконец, иметь в виду, что из-за отсутствия у прожекторов лимбов с градусными делениями рассчитанные углы наклона и поворота при монтаже не могут быть точно осуществлены.

Рабочими характеристиками прожекторов при расчете освещения являются изолюксы на условной плоскости, перпендикулярной оси прожектора и удаленной от него на 1 м (рис. 3-30), отличающиеся от условных изолюкс для светильников в основном тем, что они строятся, хотя и по той же методике, но для номинального светового потока лампы. Ось ξ соответствует вертикальной, ось η — горизонтальной плоскости. Если светораспределение в обеих плоскостях одинаково, то изолюксы проводятся как дуги окружностей, если мало различается — как дуги эллипсов, при сильном же различии они строятся по точкам, соответствующим данным для основных и промежуточных плоскостей. В тех случаях когда в верхней и нижней частях вертикальной плоскости светораспре-

деление различно, изолюксы строятся для двух квадрантов, в остальных случаях — для одного квадранта.

Освещенность, определяемая по этим кривым, как и при использовании светильников, называется относительной освещенностью e . Ее значения условны в том отношении, что не соответствуют освещенностям, которые фактически имели бы место на плоскости, удаленной от прожектора на 1 м, так как на расстоянии примерно до 30 м освещенность от прожекторов не подчиняется закону квадратов расстояний.

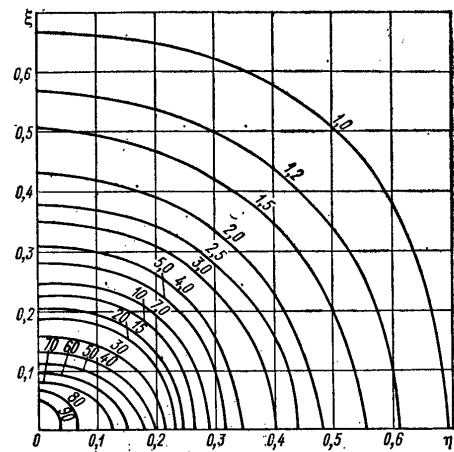


Рис. 3-30. Изолюксы на условной плоскости (в килолюксах) для прожектора ПЭС-45 с лампой 1000 Вт, 220 В

Чаще всего прожекторное освещение рассчитывается на горизонтальную освещенность: в некоторых случаях она является основной нормой, в других — имеет значение как горизонтальная, так и вертикальная освещенность, но создание первой обычно гарантирует по крайней мере не меньшее значение и второй.

Первичной задачей расчета является определение освещенности в точке при заданном расположении прожектора и координатах точки. Первое задается в данном случае высотой установки h и углом наклона оси θ , вторые — значениями x и y (рис. 3-31). При этом ось x является проекцией оси e , а оси y и η — параллельны.

Требуется найти освещенность точки M горизонтальной плоскости, которой соответствует лежащая на том же луче точка m условной плоскости, с координатами ξ и η и освещенностью e .

Проведем через M плоскость $MBDE$, перпендикулярную оси прожектора, т. е. параллельную условной плоскости. Освещенность точки M , рассматриваемой как лежащей в этой плоскости, обозначим E_n . Обозначив далее отрезок SB через ρ , получим $E_n : \varepsilon = 1 : r^2$, и, используя теорему о соотношении освещенностей общей точки двух плоскостей, получим

$$E = E_n \frac{h}{r} = \frac{eh}{r^3}.$$

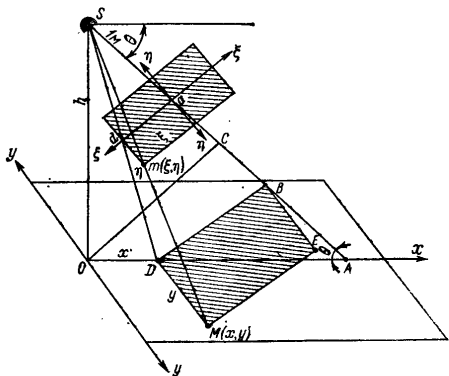


Рис. 3-31. Освещенность от прожектора

Из подобия треугольников Sdm и SDM , а также Sda и SDB можем найти $y : \eta = r : l$; $y = \eta r$ и

$$\frac{\xi}{l} = \frac{DA \sin \theta}{r},$$

но так как $DA = h \operatorname{ctg} \theta - x$, то

$$\xi = \frac{h \cos \theta - x \sin \theta}{r}.$$

Наконец,

$$r = h \sin \theta + x \cos \theta.$$

Для упрощения расчетов введем новые переменные: $x' = x : h$ и $\rho = r : h$, что позволит придать полученным уравнениям следующий окончательный вид:

$$E = \frac{\varepsilon}{\rho^3 h^2} \text{ или } \varepsilon = E \rho^3 h^2; \quad (3-36)$$

$$y = \eta \rho h; \quad (3-37)$$

$$\xi = \frac{\cos \theta - x' \sin \theta}{\rho}; \quad (3-38)$$

$$\rho = \sin \theta + x' \cos \theta. \quad (3-39)$$

При вычислении ξ по формуле (3-38) знак не играет роли, так как любое направление осей на условной плоскости можно считать положительным, но следует помнить, что если график изолюкс на условной плоскости имеет два квадранта, то при $x' \sin \theta < \cos \theta$ точка m находится в нижнем квадранте, при обратном условии — в верхнем.

Смысл введения новых указанных переменных состоит в том, что ξ , ρ и ρ^3 оказываются функциями только двух переменных: θ и x' , что дает возможность для их определения составить табл. 3-13. В каждой клетке этой таблицы верхнее число ξ , среднее ρ и нижнее ρ^3 . При двухквадрантных графиках изолюкс на условной плоскости левее ломаной линии значения ξ следует принимать по нижнему квадранту.

Таблица 3-13

0, ...	Значения ξ , ρ и ρ^3 при значениях x' , равных								
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3	4	5	6
12	1,25 0,70 0,34	0,65 1,19 1,66	0,40 1,70 4,7	0,25 2,20 10	0,18 2,6 19	0,12 3,1 31	0,04 4,1 70	0,01 5,1 132	0,05 6,1 225
14	1,17 0,73 0,38	0,60 1,21 1,77	0,36 1,7 4,9	0,23 2,2 10	0,14 2,7 19	0,08 3,2 31	0,00 4,1 70	0,05 5,1 132	0,08 6,1 222
16	1,09 0,79 0,43	0,56 1,24 1,89	0,32 1,7 5,1	0,19 2,2 11	0,10 2,7 19	0,04 3,2 32	0,04 4,1 70	0,09 5,0 130	0,12 6,0 220

Требуется определить освещенность от прожектора ПЗС-45 с лампой 1000 Вт, установленного на высоте 30 м при $\theta = 16^\circ$ в точке $x = 45$ м, $y = 20$ м. Так как $x' = 1,5$, в табл. 3-13 находим $\xi = 0,32$, $\rho = 1,7$ и $\rho^3 = 5,1$.

По формуле (3-37) находим $\eta = 20 : (1,7 \cdot 30) = 0,39$, а в соответствии с рис. 3-31 $\varepsilon = 1700$ лк. Отсюда по выражению (3-36) $E = 1700 : (5,1 \cdot 900) = 0,37$ лк.

В практике подобные расчеты используются редко и почти исключительно в качестве проверочных. Ни при каком опыте нельзя заранее выбрать такое расположение комплекса прожекторов, чтобы обеспечить заданную минимальную освещенность, число же проб, необходимых для этого, превышает возможности «ручного» проектирования. Такой путь, однако, вполне посилен для ЭВМ, которая, перебрав громадное количество вариантов, может выбрать из них не только отвечающий нормам, но и оптимальный по показателям. «Ручное» же проектирование ведется по способам компоновки изолюкс или веера прожекторов.

На основе уже полученных соотношений легко рассчитать координаты геометрического места точек, имеющих одинаковую

горизонтальную освещенность, — изолюксы. Освещенность, на которую строится изолюкса, принято обозначать буквой e .

Для построения изолюксы освещенности e выбираются возрастающие значения x' . Для того чтобы точка M принадлежала изолюксе e , соответствующая ей точка m должна иметь $e = e r^2 h^2$. Так как задание x' позволяет найти ξ по таблице, по графику изолюкс на условной плоскости находится η , как абсцисса точки, имеющей ординату ξ и освещенность e , после чего находится y , что определяет пару точек изолюксы, симметричных относительно оси x .

При расчете могут встретиться следующие случаи:

а. При малых x' значение e меньше наименьшего значения на графике. Изолюкса при данном x' существует, но определить координаты ее точек нельзя.

б. В том же случае значение e больше наибольшего значения на графике. При данном x' точек изолюксы не существует, но они могут появиться при увеличении θ .

в. При больших x' значение e больше наибольшего значения на графике. Изолюкса кончилась, и дальше ее точек не будет.

В табл. 3-14 приводятся данные расчета для построения изолюксы 1 лк прожектора ПЗС-45, установленного на высоте 25 м при $\theta = 16^\circ$.

Таблица 3-14

x	x'	ξ	ρ	ρ^2	e	η	y
12,5	0,5	1,09	0,79	0,43	268	—	—
25	1,0	0,56	1,24	1,89	1 181	0,2	6,2
37,5	1,5	0,32	1,7	5,1	3 187	0,12	5,1
50	2,0	0,19	2,2	11	6 875	0,21	11,5
62,5	2,5	0,10	2,7	19	11 875	0,23	15,5
75	3,0	0,04	3,2	32	20 000	0,23	18,4
100	4,0	0,04	4,1	70	43 750	0,165	16,9
125	5,0	0,09	5,0	130	81 250	—	—

Характерные формы изолюкс показаны на рис. 3-32.

Данные о светораспределении прожекторов обычно сообщаются в пределах ограниченных углов с осью, что не позволяет построить часть изолюксы, примыкающую к мачте, однако все изолюксы являются замкнутыми кривыми.

Общий принцип расчета освещения путем компоновки изолюкс состоит в том, что план освещаемой плоскости заполняется сплошным слоем изолюкс освещенности $e = Ek : 2$, где E — нормированная освещенность и k — коэффициент запаса, причем изолюксы и план должны быть вычерчены в одинаковом масштабе. Тогда в точках касания или пересечения изолюкс создается освещенность $2e = Ek$, а на остальной части площади, охваченной изолюксой, как правило, большая освещенность.

Заполнить всю площадь изолюксами без перекрытий невозможно и частичный «нахлест» неизбежен. Наиболее лучший результат достигается при использовании в пределах одной установки изолюкс для различных значений θ , с направлением в более удаленные от мачты районы лучей с меньшими значениями θ . Простейший пример компоновки изолюкс показан на рис. 3-33.

Следует иметь в виду, что нормированная освещенность обеспечивается только в пределах площади, заштрихованной на рисунке, вблизи же куполов изолюкс освещенность меньше. Поэтому при компоновке изолюкс необходимо иметь также изолюксы освещенности Ek и следить, чтобы границы территории перекрывались этими изолюксами.

При освещении небольших площадей задача часто может быть решена таким размещением и наклоном прожектора, чтобы вся освещаемая площадь была охвачена изолюксой $e = Ek$, если же этого недостаточно, здесь допускается компоновка двух таких же изолюкс «след в след» (т. е. вплотную друг к другу).

Определенные преимущества имеет «встречное» освещение площади с двух мачт, когда лучше просвечиваются тени. В этом случае сохраняется однослойная компоновка изолюкс, причем куполами заполняют промежутки между куполами другой мачты.

При многих типах прожекторов и при малых углах θ вблизи мачты образуется «мертвое пространство» в пределах расстояния

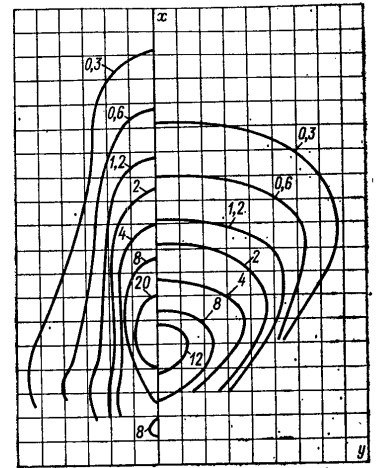


Рис. 3-32. Характерные формы изолюкс (слева — для прожекторов с обычной лампой накаливания, справа — с трубчатой лампой; мощность лампы, высота установки и угол наклона для обеих половин одинаковы)

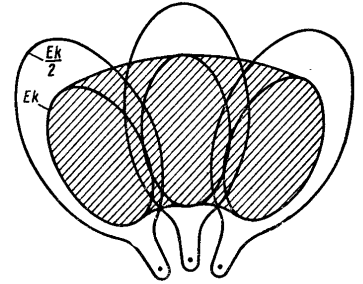


Рис. 3-33. Компоновка изолюкс

изолюкс одной мачты желательно заполнять промежутки между куполами другой мачты.

При многих типах прожекторов и при малых углах θ вблизи мачты образуется «мертвое пространство» в пределах расстояния

от мачты $x = h \operatorname{ctg}(\gamma - \theta)$, где γ — защитный угол прожектора (для прожекторов с лампами накаливания — около 45°). Если нельзя удалить мачту на некоторое расстояние от освещаемой площади, то для освещения мертвого пространства дополнительно устанавливаются сильно наклоненные прожекторы или же светильники.

Если проследить за изменением площади q , охватываемой изолуксой (условно — «площадь изолуксы») какой-либо определенной освещенности e при изменении угла θ , то можно убедиться,

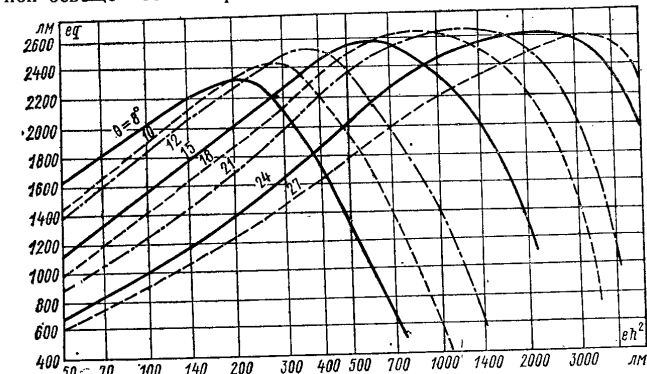


Рис. 3-34. Кривые $eq = f(eh^2)$ для прожектора ПЗС-45 с лампой 1000 Вт, 220 В

что при определенном значении θ она достигает максимума, и, конечно, значения θ следует по возможности выбирать такими, чтобы изолуксы нужной освещенности имели наибольшую площадь, хотя по условиям заполнения изолуксами конкретной площади от этого приходится и отступать.

Так как с изменением высоты h картина изолукс остается себе подобной, удобно привести значения освещенности к единичной высоте и пользоваться аргументом eh^2 . В функции этого аргумента путем непосредственных расчетов строятся для каждого θ кривые значений eq , которые при любой заданной освещенности e позволяют найти условия максимума площади. Такие кривые для прожектора ПЗС представлены на рис. 3-34.

Их максимум закономерно увеличивается с возрастанием угла θ , и можно показать, что теоретически наилучшей, но практически, конечно, абсурдной, является установка прожекторов при $\theta = 90^\circ$ и на такой высоте, чтобы площадь данной изолуксы была наибольшей.

Пусть по условиям ограничения слепящего действия или по иным соображениям задана высота 25 м и требуется обеспечить освещенность $E = 5$ лк при $k =$

$= 1,5$, т. е. компоновать изолуксы $e = 3,75$ лк. Находим $eh^2 = 2343$ и из графика рис. 3-34 видим, что наилучшее значение угла $\theta = 24^\circ$.

Чтобы не строить одинаковые изолуксы многократно, проектные организации выпускают и размножают альбомы изолукс. Для сокращения объема этих альбомов изолуксы часто строятся для условной высоты 10 м.

Простейший способ использования этих изолукс при любой высоте h состоит в том, что перечерчиваются не изолуксы, а контуры освещаемой площади. Если изолуксы даны в масштабе $1 : n$, то эти контуры должны быть перечерчены в масштабе $1 : \frac{nh}{10}$, расчет же должен производиться на нормированную освещенность, умноженную на $(0,1h)^2$.

С учетом изложенного расчет прожекторного освещения по способу компоновки изолукс производится в следующем порядке.

Выбирается норма освещенности, тип прожектора и высота мачт, а также намечается расположение последних. Строятся или заимствуются из альбома изолуксы $Ek : 2$ и Ek для оптимальных и нескольких смежных значений θ . Эти изолуксы вырезаются из кальки, так чтобы вырезка включала и основание мачты. Точки основания мачты изолуксы накальваются на план освещаемого участка в месте намеченной мачты и путем поворота подбирается такая их компоновка, при которой достигается наилучшее заполнение площади при наименьшем числе прожекторов, после чего фиксируются углы наклона и поворота осей. В ряде случаев в процессе компоновки изолукс выясняется необходимость изменить расположение мачт для получения лучших результатов.

Несложные рассуждения могут дать способ для предварительного определения мощности прожекторной установки.

Пусть для частного случая использования прожекторов ПЗС-45 вероятное наибольшее значение $eq = 2500$. Считая, что освещенность $e = Ek : 2$, получим $q = 5000 : Ek$. Если бы изолуксы заполняли план территории площадью S без пропусков и перекрытий, то потребовалось бы $N = S : q$ прожекторов. Вводя запас, равный примерно 1,4, на перекрытия и концы изолукс выходящие за границы S , получим $N = \frac{1,4EkS}{5000}$. Так как мощность каждого прожектора 1000 Вт, то легко найти, что вероятная удельная мощность $w = 0,28Ek$.

Обобщая данные ряда расчетов, М. С. Дадюмов рекомендует для предварительного определения мощности формулу

$$w = \frac{Ek}{c\gamma}, \quad (3-40)$$

где γ — световая отдача лампы, лм/Вт; c — коэффициент, равный при прожекторах с обычными лампами накаливания 0,27, с галогенными лампами КГ — 0,30, с лампами ДРЛ — 0,16 и лампами ДКСТ — 0,1—0,2. Формула, как нам кажется, дает несколько заниженные результаты.

При больших значениях освещенности задача не может быть решена способом компоновки изолукс. Так, если для прожектора ПЗС-45 $h = 25$ м и $Ek : 2$ равно, например, 15 лк, то $eh^2 = 9300$. На графике $eq = f(eh^2)$ (рис. 3-34) нет такого значения, но ясно,

что оно привело бы к значению угла $\theta > 30^\circ$, т. е. к очень малому радиусу действия прожекторов. Между тем ясно, что любая, по существу, задача разрешима путем уменьшения угла τ между смежными проекциями лучей прожекторов.

Анализ показывает, что как только τ становится не более $20-25^\circ$, освещенность становится равномерной вдоль любой дуги радиуса x' и ее снижения в месте стыка лучей двух прожекторов не происходит.

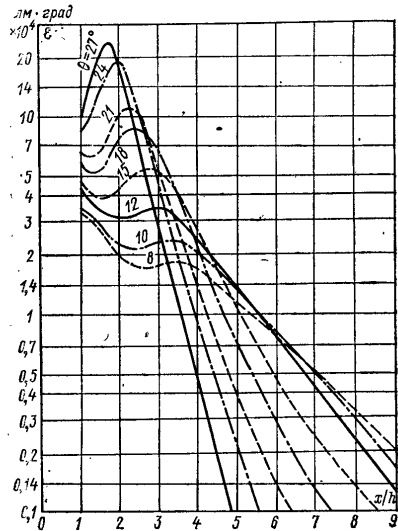


Рис. 3-35. Приведенная освещенность от веера прожекторов ПЗС-45 с лампой 1000 Вт, 220 В

деляются значения \mathcal{E} от отдельных вееров, освещающих данную точку, затем находится $\Sigma \mathcal{E}$, искомым же является угол τ , необходимый по формуле

$$\tau = \frac{\Sigma \mathcal{E}}{E k h^2} \quad (3-41)$$

Угол между проекциями крайних осей, образующих веер, будем называть углом простираания веера.

Расчет освещения веерами прожекторов — сложная многовариантная задача, тем более ответственная, что она решается обычно для крупных установок. В полном объеме методика решения этой задачи здесь не может быть рассмотрена. Отметим только, что в целях создания наиболее экономичной установки (что в ос-

новом достигается повышением равномерности освещения) на

одной и той же мачте могут быть установлены несколько вееров,

отличающихся углами θ и τ , с различными стыкующимися или

перекрывающимися друг друга углами простираания. Так как вблизи

границ вееров освещенность снижается, рекомендуется выбирать

углы простираания крайних вееров с заходом на $10-15^\circ$ за гра-

ницы освещаемой площади.

Приводя простейший пример расчета по способу веера, подчеркиваем, что

в этом случае, как и в других случаях расчета, надо проявлять определенную

интуицию в выборе решений и избегать излишнего педантизма при обеспечении

строго заданной освещенности в абсолютно наихудших точках, например в углах.

Это позволяет рассматривать группу прожекторов с одинаковыми углами наклона и при равенстве углов τ как один сложный световой прибор — «веер прожекторов», создаваемая которым освещенность зависит от значений h , θ и x и обратно пропорциональна углу τ . Удобной характеристикой веера является освещенность, отнесенная к единичным значениям h и τ , т. е. так называемая приведенная освещенность $\mathcal{E} = e h^2 \tau$. График этой величины строится в функции x' для различных значений θ (рис. 3-35).

При пользовании этими кривыми в контрольных точках определяются значения \mathcal{E} от отдельных вееров, освещающих данную точку, затем находится $\Sigma \mathcal{E}$, искомым же является угол τ , необходимый по формуле

Угол между проекциями крайних осей, образующих веер, будем называть углом простираания веера.

Расчет освещения веерами прожекторов — сложная многовариантная задача, тем более ответственная, что она решается обычно для крупных установок. В полном объеме методика решения этой задачи здесь не может быть рассмотрена. Отметим только, что в целях создания наиболее экономичной установки (что в ос-

новом достигается повышением равномерности освещения) на одной и той же мачте могут быть установлены несколько вееров, отличающихся углами θ и τ , с различными стыкующимися или перекрывающимися друг друга углами простираания. Так как вблизи границ вееров освещенность снижается, рекомендуется выбирать углы простираания крайних вееров с заходом на $10-15^\circ$ за границы освещаемой площади.

Приводя простейший пример расчета по способу веера, подчеркиваем, что в этом случае, как и в других случаях расчета, надо проявлять определенную интуицию в выборе решений и избегать излишнего педантизма при обеспечении строго заданной освещенности в абсолютно наихудших точках, например в углах.

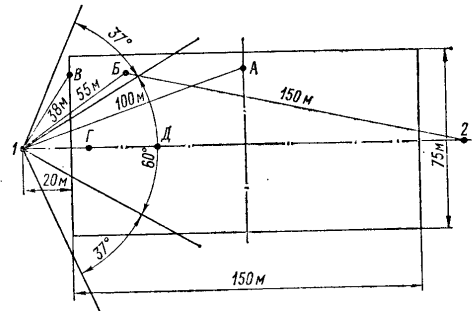


Рис. 3-36. Расчет освещенности от веера прожекторов, установленных на двух мачтах

На рис. 3-36 представлен план территории, в пределах которой надо обеспечить освещенность $E = 30$ лк при $k = 1,5$. Прожекторы ПЗС-45 установлены на двух мачтах высотой 25 м.

Начинаем расчет с точки А, равно освещаемой прожекторами обеих мачт. Для нее $x = 100$ м, $x' = 4$, и по графику приведенной освещенности видим, что она имеет максимум $2,7 \cdot 10^4$ лк при $\theta = 15^\circ$. Однако сразу убеждаемся, что в районе приближенной к мачте 1 точки Г в этом случае $\Sigma \mathcal{E}$ меньше, чем в точке А, которая становится не наихудшей. Поэтому увеличиваем угол θ до 18° , и тогда для точки А приведенная освещенность будет $2,3 \cdot 10^4$ лк, откуда по формуле (3-41)

$$\tau = \frac{2 \cdot 2,3 \cdot 10^4}{30 \cdot 1,5 \cdot 625} = 1,6^\circ.$$

Можно полагать, что для района точек В и В целесообразно применить веер с большим углом θ , без ущерба для точки А. Расчет убеждает, что освещенность этих точек от прожекторов мачты 2 пренебрежимо мала. Для точки В при $x' = 2,2$ оптимальным является угол $\theta = 24^\circ$ — его и выберем. Но видя из кривой, что в направлении к точке В θ уменьшается, примем для определения угла τ значение не $17 \cdot 10^4$, а $10 \cdot 10^4$ лк. Тогда

$$\tau = \frac{10 \cdot 10^4}{30 \cdot 1,5 \cdot 625} = 3,5^\circ.$$

Для точки В при $x' = 1,5$ освещенность $\mathcal{E} = 13 \cdot 10^4$, что обеспечивает норму освещенности. Для точки Г от основного веера мачты 1 освещенность несколько больше, чем в точке А от вееров обеих мачт. Трудно устранимый максимум осве-

щенности имеет место в районе точки D , где только от прожекторов мачты I освещенность $E = 8,5 \cdot 10^4$.

Углы простираения вееров намечаем с некоторой условностью, как указано на рисунке, причем в данном случае сколько-нибудь значительно продолжать веера за угловую (единственную) точку нет необходимости. В итоге на каждой из мачт устанавливаем два веера при $\theta = 24^\circ$, $\tau = 3,5^\circ$ и один веер при $\theta = 18^\circ$, $\tau = 1,6^\circ$, суммарно всего 118 прожекторов, причем удельная мощность составляет $10,5 \text{ Вт/м}^2$. Это значение является достаточно близким к тому, которое можно найти по выражению (3-31).

В тех случаях, когда специально нормирована вертикальная освещенность, переход к ней от горизонтальной осуществляется с помощью обычного коэффициента ψ (§ 3-4).

Чаще всего вертикальная освещенность рассчитывается и обеспечивается в плоскости, перпендикулярной проекции осевого луча, когда $\psi = x'$. В некоторых случаях приходится строить изолюксы вертикальной освещенности для такого же условия, причем это уже не будут кривые равной освещенности на какой-либо плоскости, а только геометрические места элементарных вертикальных площадок с заданной освещенностью.

Построение таких изолюкс отличается только тем, что формула для определения освещенности e принимает вид:

$$e = \frac{e_0 h^2}{x'^2}.$$

Совершенно ясно, что построенные таким образом изолюксы будут иметь наибольшую площадь при $h = 0$ и $\theta = 0$, так что если имеет значение только вертикальная освещенность, то следует выбирать высоту наименьшую, возможную по условиям ограничения ослепленности.

В заключение необходимо указать, что вопросам расчета, проектирования и эксплуатации прожекторных осветительных установок посвящена книга [12].

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

РАСЧЕТ КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОСВЕЩЕНИЯ

4-1. ЦИЛИНДРИЧЕСКАЯ ОСВЕЩЕННОСТЬ

Определение понятия «цилиндрическая освещенность» и его характеристика даны в § 1-4. Расчет цилиндрической освещенности описывается далее в основном по материалам работ М. М. Гурторова и М. М. Епанешникова [13—15].

Пусть элементарный цилиндр высотой l и диаметром d освещается источником силой света I , расположенным, как показано

на рис. 4-1. На его поверхность падает такой же поток, как на поверхность вписанного в него прямоугольника I , перпендикулярного падающему лучу, т. е.

$$\Phi = ES = \frac{l}{R^2} dl.$$

Деля этот поток на боковую поверхность цилиндра πdl , получим

$$E_{\text{ц}} = \frac{l}{\pi R^2},$$

в то время как вертикальная освещенность в той же точке $E_{\text{в}} = l : R^2$.

Отсюда для данного случая $E_{\text{ц}} = E_{\text{в}} : \pi$.

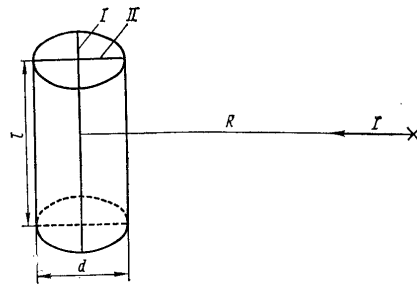


Рис. 4-1. Цилиндрическая освещенность от одиночного источника

Таким образом, цилиндрическая освещенность, создаваемая прямым светом одиночного источника, может быть просто определена через вертикальную освещенность в той же точке.

Если в цилиндр встроить еще прямоугольник II , перпендикулярный первому прямоугольнику, то получим всего четыре вертикальные поверхности, из которых три не имеют освещенности, а одна имеет освещенность $l : R^2$. Среднее из четырех значений освещенности будет $l : 4R^2$, что уже достаточно близко к цилиндрической освещенности. С увеличением числа поверхностей, на которых рассчитывается или измеряется вертикальная освещенность, а равным образом с увеличением числа источников света, расположенных вокруг элементарного цилиндра, значения величин $E_{\text{ц}}$ и $E_{\text{в}}$ все более сближаются.

Для расчета освещенности $E_{\text{ц}}$ от светящей линии, каждый элемент которой излучает по закону

$$I_{\alpha} = I_0 \cos^m \alpha,$$

может быть составлено дифференциальное выражение, интегрирование которого дает формулу, слишком сложную для практических целей, но которую можно привести к виду

$$E_{\text{ц}} = \frac{l \gamma \Delta'}{1000 h} f(m, \delta, \gamma),$$

где обозначения величин соответствуют формуле (3-22) и рис. 3-18. Значения $f(m, \delta, \gamma)$ даются в специальных таблицах.

Для расчета освещенности E_u от диффузной поверхности предложено несколько способов, из которых ниже описывается графоаналитический способ М. М. Гуторова, представляющий наибольший интерес [14].

Пусть элементарный цилиндр освещается коаксиальным ему диффузным диском, граница которого определяется углом ϑ (рис. 4-2).

Выделим на диске элементарное кольцо, видимое из цилиндра под углом $d\vartheta$. Согласно выражению (3-26) создаваемая им элементарная освещенность будет

$$dE = L d\omega \cos \vartheta_x,$$

но так как

$$dE_u = \frac{dE \operatorname{tg} \vartheta}{\pi},$$

а, как известно,

$$d\omega = 2\pi \sin \vartheta_x d\vartheta,$$

то

$$dE_u = 2L \sin^2 \vartheta_x d\vartheta$$

и

$$E_u = 2L \int_0^{\vartheta} \sin^2 \vartheta_x d\vartheta = L \times \left(\vartheta - \frac{\sin 2\vartheta}{2} \right). \quad (4-1)$$

Рис. 4-2. Цилиндрическая освещенность от диска

В предельном случае при $\vartheta = 90^\circ$ это дает $E_u = L\pi : 2 = M : 2$.

Вообразим теперь условную горизонтальную плоскость, проведенную на уровне 1 м над точкой определения освещенности E_u . Если полюс построения совместить с этой точкой, то положение освещаемой поверхности будет координироваться на диаграмме значениями $x : h, y : h$ (направления осей безразличны). Разделим условную плоскость, например, на 36 секторов, создающих в точке равные доли освещенности E_u , и проведем окружности, соответствующие изменению множителя при L в формуле (4-1) на 0,1. Каждый полученный четырехугольник соответствует множителю при L , равному $0,1 : 36 = 1/360$. Если изображение поверхности занимает на диаграмме n элементов, то поверхность создает в точке освещенность

$$E_u = \frac{Ln}{360}.$$

Один из четырех квадрантов такого графика представлен на рис. 4-3. Если определена цилиндрическая освещенность от потолка, то освещенность от части стен, лежащих выше точки определения цилиндрической освещенности, определяется коэффициентом

том при яркости стен $L_{\text{стен}}$, дополняющим тот же коэффициент для потолка до $\pi : 2$, т. е.

$$E_{\text{ц.стен}} = L_{\text{стен}} \left(\frac{\pi}{2} - \frac{n}{360} \right),$$

так как суммарно эти поверхности заполняют всю верхнюю полушару, когда множитель при яркости равен $\pi : 2$. Равным образом, найдя составляющую цилиндрической освещенности от пола, можно найти освещенность от нижней части стен.

Графики, подобные описанному, могут быть построены и для излучателей, не являющихся диффузными.

В нормах СНиП значения цилиндрической освещенности регламентированы на уровне 1,5 м от пола в точке, лежащей у середины одной из торцевых стен помещения.

Для практических расчетов М. М. Епанешниковым и Т. Н. Сидоровой [16] разработаны упрощенные приемы расчета освещенности E_u , основанные на следующих положениях и допущениях (последние оправданы тем, что при расчете E_u можно пренебречь с большей погрешностью, чем при обычных расчетах):

1. Прямоугольное помещение может быть заменено квадратным, имеющим тот же индекс помещения, рассчитываемый по высоте установки светильников над полом (не будем останавливаться на причинах, в силу которых играет роль также высота отдельно, так как эта роль очень невелика).

2. Все множество установленных в помещении светильников, а также потолок, заменяются сплошной светящей поверхностью, расположенной на уровне светильников — при преобладании прямого света и на уровне потолка — при преобладании отраженного света.

3. Этой поверхности приписывается светораспределение, характеризующееся одним из следующих значений показателя m : 1,0—1,43—2—3. Ближайшее значение m легко определяется по характеристикам светильника. Если более 50% светового потока светильников излучается в верхней полушфере, то принимается значение $m = 1,0$.

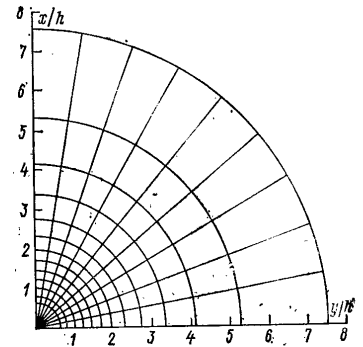


Рис. 4-3. Сетка для определения цилиндрической освещенности от горизонтальных диффузных прямоугольников

4. Световая мощность излучателей характеризуется плотностью потока Φ' в люменах на квадратный метр. Эта величина может быть определена по формуле

$$\Phi' = \frac{N(\Phi_{\ominus} + \rho_{\Pi}\Phi_{\Delta})}{S}, \quad (4-2)$$

где N — число светильников; Φ_{\ominus} — поток каждого светильника в нижней полусфере; Φ_{Δ} — то же, в верхней полусфере; ρ_{Π} — коэффициент отражения потолка; S — площадь потолка.

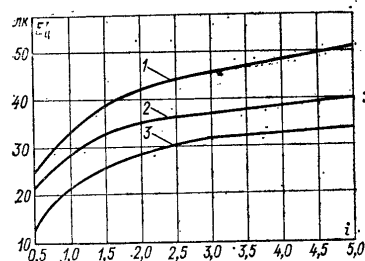


Рис. 4-4. График для определения цилиндрической освещенности при среднем значении h и при $m = 0$

1 — $\rho_{с} = 0,5$, $\rho_{р} = 0,3$; 2 — $\rho_{с} = 0,5$, $\rho_{р} = 0,1$; 3 — $\rho_{с} = 0,3$, $\rho_{р} = 0,1$

Построение графика производится в следующем порядке. Выбирается параметр m , для которого будут производиться расчеты, и значения ρ_{Π} , $\rho_{с}$, $\rho_{р}$. Последовательно принимаются 5—6 опорных значений индекса помещения, причем форма помещения подразумевается квадратной (в этом случае $i = A : 2h$). Пользуясь коэффициентами вида $k_{\Pi m}$, определяются яркости стен и пола. По сетке Гуторова или таблицам определяются составляющие цилиндрической освещенности от потолка и пола, а затем от верхней и нижней частей стен, после чего все составляющие суммируются.

При пользовании подобными графиками находится значение цилиндрической освещенности при условной плотности потока 100 лм/м^2 , и фактически необходимая плотность потока определяется пропорциональным пересчетом с учетом коэффициента запаса.

Пусть, например, необходимо определить, сколько светильников требуется установить в помещении площадью $20 \times 12 \text{ м}$ и высотой $4,3 \text{ м}$ для создания освещенности $E_{ц} = 100 \text{ лк}$ при $k = 1,5$. Светильники — потолочные, в каждом установлено четыре лампы ЛБ-40 ($\Phi = 3000 \text{ лм}$), причем в нижнюю полусферу излучается 55% потока ламп, а в верхнюю — 15%. Показатель $m = 1$. Заданы также $\rho_{\Pi} = 70\%$, $\rho_{с} = 50\%$, $\rho_{р} = 10\%$.

Индекс помещения

$$i = \frac{240}{4,3(20 + 12)} = 1,75.$$

По графику рис. 4-4 находим условную цилиндрическую освещенность $E'_{ц} = 34 \text{ лк}$ и пропорциональным пересчетом определяем

$$\Phi' = 100 \frac{100 \cdot 1,5}{34} = 441 \text{ лм/м}^2.$$

Каждый отдельный светильник создает поток

$$\Phi = \frac{4 \cdot 3000(0,55 + 0,7 \cdot 0,15)}{240} = 32,7 \text{ лм/м}^2.$$

Следовательно, необходимо $441 : 32,7 = 14$ светильников.

МЭИ построены также графики, дающие в функции индекса помещения и коэффициентов отражения его поверхностей соотношение горизонтальной и цилиндрической освещенностей для различных m . Они позволяют, рассчитав одну из этих освещенностей, определить вторую, что удобно в случаях, когда нормированы обе эти величины. Наибольшее упрощение расчета достигается, если на графиках по А. М. Гурову и Ю. В. Прохорову (§ 3-3) дополнительно нанести кривую, показывающую необходимое число светильников для создания цилиндрической освещенности 100 лк .

4-2 КОЭФФИЦИЕНТ ПУЛЬСАЦИИ

Количественной мерой степени пульсации является отношение изменения светового потока или освещенности за период переменного тока к среднему значению этих величин. Так как у газоразрядных ламп положительные и отрицательные отклонения светового потока от среднего значения могут быть неодинаковыми, в качестве показателя выбрано отношение амплитуды изменения светового потока или освещенности к удвоенному среднему значению той же величины.

Выражения для величины $K_{\Pi,и}$, характеризующей пульсации светового потока источников света или светильников, и K_{Π} — характеризующей пульсации освещенности на рабочей поверхности, имеют вид:

$$K_{\Pi,и} = \frac{\Phi_{\max} - \Phi_{\min}}{\Phi_{ср}}; \quad K = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{E_{ср}}.$$

Основная таблица норм, в зависимости от разряда зрительных работ, устанавливает наибольшее значение K_{Π} в пределах от 10 до 20%; при отсутствии возможности возникновения стробоскопического эффекта в некоторых случаях допускается повышение этого значения до 30% или даже оно может не ограничиваться.

Определенными пульсациями потока обладают уже и лампы накаливания, особенно лампы малой мощности (среднее значение $K_{\Pi,и}$ для нормальных ламп составляет около 7%), но задача ограничения пульсаций возникает только при использовании газоразрядных ламп. Средние значения $K_{\Pi,и}$ для этих ламп ука-

Таблица 4-1

Тип лампы	Значение коэффициента пульсации $K_{п.н}$, % для			
	одной лампы	двух ламп в схеме отстающего и опережающего тока	двух ламп, питаемых разными фазами	трех ламп, питаемых разными фазами
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

запы в табл. 4-1. Для ламп ДРИ по предварительным данным значение $K_{п.н}$ составляет около 20%.

Если нормативные значения $K_{п}$ не меньше, чем $K_{п.н}$ лампы (или совокупности ламп в светильнике), то дополнительных мер для ограничения пульсаций не требуется, в противном же случае необходимое значение $K_{п}$ достигается тем, что в освещении каждой точки рабочей поверхности участвуют светильники, присоединенные к различным фазам трехфазной сети. Для этого применяются двух- и трехфазные групповые линии, осуществляется определенный порядок присоединения светильников к разным фазам, а в некоторых случаях светильники сближаются или же в одной точке устанавливаются сдвоенные или строенные светильники.

Для решения этих вопросов необходимо располагать достаточно простой методикой расчета коэффициента пульсации. Применяемая на практике методика основана на работах ВНИСИ (Ю. И. Свиридов и Ц. И. Кроль) [17, 18].

Анализ осциллограмм светового потока газоразрядных ламп показал, что мгновенные значения потока могут быть выражены зависимостью вида

$$\Phi_t = \Phi_{\min} + \Phi_a |\sin^n \omega t|, \quad (4-3)$$

где Φ_{\min} , Φ_a — соответственно минимальное и амплитудное значения потока; ω — угловая частота; t — время; n — эмпирически определяемый показатель, равный 1,0 — для люминесцентных ламп, 1,7 — для ламп ДРЛ и 5,0 — для ламп ДКСТ. Подчеркивается, что в формулу входит абсолютное значение синуса и поэтому даже при $n = 1$ кривая зависимости не является синусоидой.

Когда в создании освещенности участвуют светильники трех фаз и если для фазы A определяющим углом будет ωt , то для фазы B этот угол будет $\omega t + 120^\circ$, а для фазы C $\omega t + 240^\circ$. Результативная кривая мгновенных значений освещенности будет суммой кривых для трех фаз при различных долевых соотношениях освещенности от светильников каждой фазы.

Построив эту кривую, можно определить ее амплитуду и среднее значение, т. е. найти $K_{п}$ для различных случаев и в той или иной форме представить его зависимость от долевых соотношений освещенности от светильников разных фаз.

В табл. 4-2 (по Ю. И. Свиридову) [18] представлены данные для люминесцентных ламп, причем, чтобы избежать составления

Таблица 4-2

Освещенность от ламп фазы С	Значение коэффициента пульсации $K_{п}$, % при освещенности, % от ламп 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	34,3	36,8	39,4	41,5	45,2	49,5	54,8	60,8	
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									

отдельных таблиц для каждой разновидности этих ламп, эта таблица составлена для условного значения $K_{п.н} = 100\%$ и ее данные должны быть умножены на фактические значения $K_{п.н}$. За 100% принята освещенность от светильников той фазы, долевое участие которых максимально.

Пусть при освещении лампами типа ЛДЦ в характерной контрольной точке лампы одной из фаз создают освещенность 300 лк, а двух других — по 150 лк. Приняв первую фазу за A и освещенность от ламп этой фазы за 100%, имеем от каждой из двух других фаз по 50%. В табл. 4-2 находим значение 31,4, а так как для ламп ЛДЦ $K_{п.н} = 40\%$, то окончательно $K_{п} = 31,4 \cdot 0,4 = 12,5\%$. В отличие от расчета освещенности характерные контрольные точки при расчете $K_{п}$ выбираются под светильниками или рядами, где в наибольшей степени выражена преобладающая роль какой-либо одной фазы.

Определение $K_{п}$ по указанному способу несложно, но все же требует отдельного расчета освещенности от ламп каждой фазы. Поэтому в справочниках приводятся таблицы, в которых указано, при каких схемах фазировки и при каких расстояниях между светильниками или рядами светильников обеспечиваются те или иные нормативные значения $K_{п}$. В частности, все значения $K_{п}$, начиная от 10%, обеспечиваются: при установке в одной точке трех ламп типа ДРЛ, при установке в светильнике трех люминесцентных ламп разных фаз, при использовании светильников с лампами ЛБ или ЛТБ, питаемых однофазными линиями, если в каждом светильнике половина ламп питается по схеме отстающего, а половина — по схеме опережающего тока.

4-3. СРЕДНЯЯ ЯРКОСТЬ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

Средняя яркость дорожных покрытий нормирована для городских и поселковых улиц исходя из условий зрительной работы водителей транспорта, вынужденных различать препятствия на

пути движения, при направлении осей зрения под углом около 1° ниже горизонтали.

Расчет средней яркости усложняется тем, что современные дорожные покрытия никоим образом не являются диффузными и в направлении зеркального отражения их яркость увеличивается в несколько десятков раз.

Как известно, в общем случае яркость L и освещенность E связаны соотношением

$$L = \frac{Er}{\pi},$$

где r — коэффициент яркости, который в отличие от коэффициента отражения может быть и больше единицы. Коэффициент яркости есть сложная пространственная характеристика, при заданном направлении осей зрения определяемая углом падения света на поверхность, т. е. обычным меридиональным углом α , и углом между проекцией луча, направленного в данную точку, и осью полосы движения. Только в направлениях, далеких от направления зеркального отражения, в частности для светильников, расположенных сзади по отношению к водителю, этот коэффициент сохраняет постоянное значение, близкое к 0,1.

Применяемые на практике методы упрощенного расчета средней яркости основаны на работах Я. Б. Зильберблата и М. А. Островского [19, 20].

Основой расчета средней яркости является коэффициент использования светового потока по яркости η_L , физический смысл которого ясен из выражения

$$\eta_L = \frac{\pi L_{cp}}{\Phi'}, \quad (4-4)$$

где L_{cp} — средняя яркость; Φ' — световой поток ламп на единицу площади проезжей части. Если учесть, что выражение πL_{cp} численно равно светимости, которую имела бы диффузная поверхность яркостью L_{cp} , то коэффициент η_L может быть определен как отношение потока, который отражала бы диффузная поверхность при данной яркости, к установленному потоку источников света.

Если нормативно задана яркость L_n при коэффициенте запаса k , то из формулы (4-4) следует, что для этого необходим удельный поток

$$\Phi' = \frac{\pi L_n k}{\eta_L},$$

а так как, в свою очередь,

$$\Phi' = \frac{\Phi}{bl},$$

где Φ — поток ламп, установленных на опоре; b — ширина освещаемой полосы; l — расстояние между светильниками, то легко определить l :

$$l = \frac{\Phi \eta_L}{\pi L_n k b}, \quad (4-5)$$

что и является рабочей формулой метода.

Расчет значений η_L — довольно сложная и кропотливая задача, в основном сводящаяся к тому, что пространство вокруг светильника разделяется на круговые зоны, для каждой из которых определяется световой поток и коэффициент его использования по отношению к полосе данной ширины и неограниченной длины (рис. 3-27). По специальной таблице находится средний коэффициент яркости для данной зоны и при полосе данной ширины. Отдельно учитываются светильники, расположенные сзади водителя, для которых $r = 0,1$. Учитывая сложность индивидуальных расчетов в Инструкции по проектированию наружного освещения городов, поселков городского типа и сельских населенных пунктов ВСН 22-75 [22] опубликованы значения η_L для всех

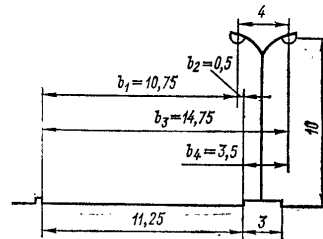


Рис. 4-5. Расчет средней яркости дорожных покрытий

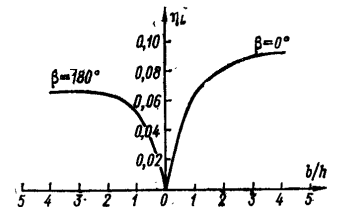


Рис. 4-6. Коэффициент использования по яркости светильника СКЗР 2×250

типовых светильников. Эти значения даются в функции отношения b/h , где b — ширина освещаемой полосы по одну сторону от светильников и h — высота их установки. Для светильников некруглосимметричных или установленных с наклоном значения η_L даются отдельно для $\beta = 0$ (сторона освещаемой полосы) и $\beta = 180^\circ$ (противоположная сторона).

При освещении полосы несколькими рядами светильников числитель в формуле (4-5) заменяется выражением $\sum \Phi_i \eta_{Li}$, причем произведения, находящиеся под знаком суммы, отдельно определяются для каждого ряда.

Методика расчета по средней яркости поясняется примером для случая, представленного на рис. 4-5. При освещении светильниками СКЗР 2×250 ($\Phi = 2 \times 11\,000$ лм) требуется определить расстояние между светильниками, при котором обеспечивается яркость $L = 1,6$ кд/м² при $k = 1,5$.

В качестве справочных данных приводится табличка значений η_L по ВСН 22-75:

b/h	0,5	1,0	1,5	2	2,5	3	4
η_L :							
для $\beta = 0^\circ$	0,04	0,065	0,075	0,081	0,086	0,088	0,092
для $\beta = 180^\circ$	0,037	0,056	0,062	0,064	0,065	0,066	0,066

На основании учтенных в дальнейшем расчете значений η_L для большей точности построен график (рис. 4-6).

Значения η_L определяем:

а) от левого светильника — как сумму значений для b_1 при $\beta = 0^\circ$ и для b_2 при $\beta = 180^\circ$, а именно: $0,066 + 0,004 = 0,070$;

б) от правого светильника — как разность значений для b_3 и b_4 в обоих случаях при $\beta = 180^\circ$, а именно: $0,061 - 0,003 = 0,058$.

Отсюда

$$l = \frac{2 \cdot 11 \ 000 (0,070 + 0,058)}{3,14 \cdot 1,6 \cdot 11,25 \cdot 1,5} = 33 \text{ м.}$$

При решении этого примера можно было бы в числителе учесть поток всех ламп на опоре, а в знаменателе — двойную ширину полосы, что не изменило бы результата.

Нормы требуют обеспечения не только средней яркости дорожных покрытий, но и соблюдения предельно допустимых отношений максимальной яркости к минимальной. Определение этих отношений требует определения значений яркости отдельных точек и является очень сложной задачей, практически разрешимой только с помощью ЭВМ. Поэтому в практике проектирования пользуются типовыми вариантами, не только отвечающими всем нормативным требованиям, но и являющимися экономически оптимальными.

ГЛАВА ПЯТАЯ

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

5.1. НАПРЯЖЕНИЕ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Выбор напряжения для питания осветительной установки определяется общими решениями, принятыми для электроснабжения объекта, а для отдельных частей этой установки — также требованиями электробезопасности.

В данное время для производственных, общественных и жилых зданий, а также для открытых пространств наиболее распространенным является питание напряжением 380/220 В (номинал трансформаторов 400/231 В) при заземленной нейтрали. Иные напряжения, а также системы с изолированной нейтралью применяются в специальных случаях, здесь не рассматриваемых.

До 1938 г. с этой системой конкурировала система 220/127 В. Ее реальными преимуществами являются несколько большая световая отдача ламп накаливания и меньшая опасность поражения электрическим током, хотя с точки зрения нормативных требований в последнем отношении обе системы равноценны. Ре-

шающим недостатком системы 220/127 В являются значительно более тяжелые сети и увеличенный объем распределительных устройств. При решении вопроса в пользу системы 380/220 В учитывался прежде всего экономический эффект от питания силовой и осветительной нагрузки от общих трансформаторов при напряжении 380/220 В.

Номинальное напряжение подавляющего большинства источников света, применяемых для основного, т. е. общего, освещения составляет 220 В, соответствуя фазному напряжению системы 380/220 В. Это напряжение допускается, однако, с некоторыми ограничениями, обусловленными требованиями электробезопасности.

Для общего освещения это напряжение, без ограничения высоты установки светильников, допускается для светильников с люминесцентными лампами — во всех помещениях, а для светильников с лампами всех других типов — в помещениях без повышенной опасности*.

В помещениях с повышенной опасностью и особо опасных для ламп накаливания, а также для ламп типов ДРЛ, ДРИ и ДНаТ напряжением 220 В допускается при высоте установки не менее 2,5 м (до нижних точек светильников), а при меньшей высоте — в случае применения светильников, в которых для доступа к лампе необходимо применение инструмента [6].

Последнее требование в прежних редакциях ПУЭ формулировалось несколько иначе и сводилось к необходимости применения светильников, стекла или сетки которых снимаются с помощью специальных приспособлений. Соответственно некоторые светильники имели такую конструкцию, что стекла могли сниматься только с помощью торцевого ключа. В данное время признано достаточным, если для снятия стекла необходимо применение отвертки, плоскогубцев и т. п.

Приведенное ограничение высоты не распространяется на светильники, устанавливаемые в электропомещениях или же обслуживаемые с кранов или площадок, посещаемых только квалифицированным персоналом.

При установке светильников с лампами накаливания в помещениях с повышенной опасностью или особо опасных на высоте менее 2,5 м, если доступ к лампе возможен без применения инструмента, для питания светильников должно применяться напряжение не выше 42 В.

Необходимо пояснить, что напряжение 42 В установлено рекомендациями Международной Электротехнической Комиссии (МЭК) как предельно допустимый уровень безопасного напряжения. В сложившейся в СССР практике для питания светильников применяется напряжение 36 В, что не выходит за пределы допустимого по рекомендациям МЭК.

Указанное выше нормативное ограничение конструкции светильников не дает полной гарантии безопасности, так как практически не исключено, вопреки всем запрещениям, обслуживание не отключенных светильников, а также экс-

* Классификация помещений по степени опасности поражения электрическим током приведена в гл. 1-1 ПУЭ.

платация светильников без стекол и сеток. Поэтому в особо опасных условиях, например в загорожденных оборудованных особосырых помещениях, а также при установке на высоте менее 1,8 м, должно применяться исключительно напряжение не выше 42 В. Такое же напряжение применяется, в частности, для кабельных туннелей.

Относительно смягченные требования для люминесцентных светильников обусловлены тем, что патроны для люминесцентных ламп должны иметь, и фактически имеют, недоступные для случайных прикосновений контактные части. Кроме того, нельзя не учитывать фактическую невозможность питания люминесцентных ламп напряжением не свыше 42 В, равно как в ряде случаев, даже по соображениям электробезопасности, нельзя отказываться от применения этих ламп.

Если в светильники вводятся провода двух или трех фаз (что происходит, например, если лампы в светильнике разделены на несколько включений, если используются лампы с номинальным напряжением 380 В или если используются некоторые специальные типы ПРА), то в светильниках окажутся контактные части, между которыми напряжение составляет 380 В. ПУЭ требуют, чтобы в этом случае вводы в светильники и ПРА выполнялись проводниками с медными жилами и изоляцией не ниже чем на 660 В, в помещениях же с повышенной опасностью и особо опасных необходимо, кроме того, обеспечивать одновременное отключение всех вводимых в светильник фазовых проводов, а на светильники должны быть нанесены отличительные знаки: «380 В». Подчеркивается, что два последних требования не распространяются, например, на многоламповые люстры в общественных зданиях.

В последние годы наряду с системой 380/220 В для питания силовых установок начинает применяться система 660/380 В. Эта система непосредственно может применяться для тех источников света или комплектов лампы — ПРА, для которых 380 В уже является номинальным напряжением, в частности для ламп ДРЛ и ДРИ мощностью 2000 Вт. В этом случае должны соблюдаться требования, указанные выше для светильников, в которые вводятся две-три фазы системы 380/220 В, причем ввод в светильники двух фаз системы 660/380 В запрещен. На предприятиях, где основная силовая нагрузка питается от сети 660/380 В, для освещения, а также для мелкомоторной и технической нагрузки сохраняются трансформаторы 380/220 В, питаемые или от трансформаторов 660/380 В или от сети 6—10 кВ. Вместе с тем рассматривается вопрос о технической и экономической целесообразности перевода на напряжение 660/380 В если не всего освещения, то, по крайней мере, освещения газоразрядными лампами, путем создания соответствующих ПРА или использования последовательного включения ламп.

Все вышесказанное относится к светильникам общего освещения. Для местного освещения, светильники которого находятся в непосредственной близости к работающему и практически им обслуживаются, предъявляются более жесткие требования. Светильники с люминесцентными лампами, включаемые, естественно, на напряжение 220 В, разрешается применять (при недоступности контактных частей для случайных прикосновений) для местного освещения во всех помещениях, кроме сырых, особосырых, жарких и с химически активной средой. В последних четырех группах помещений допустимо применение светильников только специальной конструкции.

Для светильников с лампами накаливания напряжение 220 В допускается только в помещениях без повышенной опасности, в остальных же случаях должно применяться напряжение не выше 42 В. Как исключение ПУЭ допускают применение напряжения до 220 В для светильников специальной конструкции, являющихся частью аварийного освещения, присоединенного к независимому источнику питания, а также устанавливаемых в помещениях с повышенной опасностью, но не особо опасных.

Там, где выше говорится о светильниках с люминесцентными лампами специальной конструкции, подразумевается, что ни проектировщикам, ни работникам эксплуатации не предоставляется права решать, может ли данный конкретный светильник быть признан имеющим «специальную» конструкцию. Такое решение должно приниматься заводом-изготовителем по согласованию с соответствующими организациями и быть зафиксированным в технических условиях и каталогах.

Наиболее опасными в отношении возможности поражения электрическим током являются ручные светильники переносного освещения. В помещениях с повышенной опасностью и особо опасных для них должно применяться напряжение не выше 42 В, а при наличии неблагоприятных условий, когда опасность усугубляется теснотой, неудобным положением работающего и возможностью его соприкосновения с большими заземленными металлическими поверхностями, — не выше 12 В. Переносные светильники, не являющиеся ручными, т. е. подвесные, напольные, настольные и т. д., приравняются при выборе напряжения для их питания к стационарным светильникам местного освещения.

Поскольку напряжение 12 В крайне неблагоприятно в сетевом отношении, не следует злоупотреблять его использованием. Случаи, когда для ручных светильников требуется это напряжение и когда возможно применение напряжения до 42 В, указываются в отраслевых нормах и ведомственных рекомендациях. Так, в машиностроительной промышленности и в прокатных цехах (а тем более почти во всех цехах легкой промышленности) может быть допущено и должно приниматься напряжение до 42 В, а в котельных, насосных, сталелитейных цехах и т. д. необходимо напряжение 12 В.

Следует, конечно, избегать применения в пределах одного здания двух различных малых напряжений, но с учетом сказанного это не всегда возможно.

Недавно станочная промышленность начала комплектовать свои изделия установками местного освещения на напряжение 24 В, в связи с чем можно ожидать, что это напряжение (хотя и не имеющее весомых преимуществ) будет частично вытеснять напряжение 36 В. Вопрос о принятии напряжения 24 В в качестве единого малого напряжения для осветительных сетей пока, к сожалению, не получил поддержки, хотя в ряде зарубежных стран, которым СССР оказывает техническую помощь, все сети местного и переносного освещения выполняются на напряжение 24 В.

Источники света, как известно, весьма критичны к уровню фактически подводимого к ним напряжения (см. § 2-4), в связи с чем имеет большое значение вопрос об отклонениях и колеба-

ниях напряжения в осветительных сетях. Нормативные требования к отклонениям напряжения вкратце сводятся к следующему.

Напряжение у электрически наиболее удаленных ламп внутреннего освещения промышленных предприятий и общественных зданий, а также прожекторных установок наружного освещения должно быть не менее 97,5% номинального, а у наиболее удаленных ламп освещения жилых зданий, аварийного (если последнее не является частью рабочего освещения) и наружного освещения, выполненного светильниками, — не менее 95% номинального. Наибольшее напряжение у ламп, как правило, не должно быть выше 105% номинального. При аварийных режимах напряжение у ламп должно быть не менее 88% номинального. В установках с газоразрядными лампами напряжение во всех случаях не должно быть ниже 90% номинального. В сетях 12—36 В допускается потеря напряжения до 10%, считая от выводов трансформаторов до ламп.

Здесь, как и во многих других случаях технического нормирования, осуществляется уже упомянутый принцип разумного компромисса между желаемым и возможным и не следует искать строгого обоснования перечисленных требований, хотя практика многих десятилетий подтверждает их разумность. В частности в сетях 12—36 В допускается увеличенная потеря напряжения не потому, что лампы этих напряжений менее чувствительны к отклонениям напряжения — этого нет, а потому, что меньшую потерю напряжения в этих сетях трудно обеспечить.

Ценные дополнительные указания содержатся в Инструкции СН 357-77 [5]. Для небольших зданий вспомогательного характера, удаленных от источников питания или питаемых общими линиями с силовой нагрузкой, допускается, как исключение, уровень напряжения у ламп 95% номинального, однако при расчете освещения должен учитываться световой поток источников света, соответствующий сниженному напряжению. В особо исключительных случаях, когда соблюдение нормативных требований приводит к абсурдным или неосуществимым решениям, допускается в установках с лампами накаливания осуществлять произвольно пониженные уровни напряжения (при соблюдении норм освещенности), но это должно быть обосновано технико-экономическими расчетами.

При трудности обеспечить нормированные уровни напряжения возможно и рекомендуется другое решение, а именно: применение добавочных трансформаторов (ВДТ), в качестве которых могут быть использованы одно- или трехфазные трансформаторы 220/12 или 220/24 В. Включение их в сеть показано на рис. 5-1. В установках внутреннего освещения они включаются перед щитками, в установках наружного освещения — у прожекторных мачт или в разрез протяженных линий, питающих светильники. В последнем случае, при очень большой протяженности линий, возможно включение ВДТ в нескольких точках линии.

Вольтодобавочные трансформаторы нагружаются в пределах номинального тока обмотки низшего напряжения, что позволяет

использовать маломощные трансформаторы для повышения уровня напряжения у значительной нагрузки. Так, трансформатор 220/12 В, 250 В·А, имея номинальный ток вторичной обмотки около 20 А, может быть использован при нагрузке линии до $220 \times 20 = 4400 \text{ В} \cdot \text{А}$ и позволяет увеличить потерю напряжения в сети на $(12 : 220) 100 = 5,4\%$ при обеспечении у ламп нормированного уровня напряжения.

Интересно отметить, что та же схема, только в зеркальном изображении (т. е. если на рисунке поменять местами источник питания и потребители), приводит к интересному случаю использования трансформаторов в качестве вольтодобавочных. Необходимость в этом встречается при присоединении потребителей 220 В к сетям 240 В, распространенным в некоторых зарубежных странах (в этом случае используются трансформаторы 220/24 В), или при повышенном уровне напряжения на источнике питания, что имеет место на некоторых промышленных предприятиях.

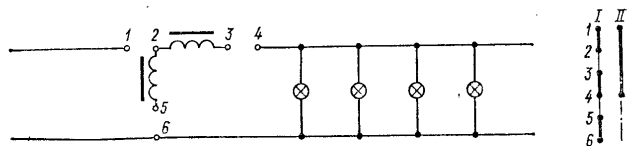


Рис. 5-1. Включение в однофазную сеть вольтодобавочного трансформатора (ДТ) справа — схема аппарата управления: I — питание через ДТ; II — питание помимо ДТ

В установках, где применяются вольтодобавочные трансформаторы должна быть обеспечена возможность отключения от сети обмоток как высшего, так и низшего напряжения, причем без нарушения питания нагрузки (см. рис. 5-1). В противном случае в часы спада нагрузки, когда горят единичные лампы, а потеря напряжения в силовом трансформаторе и в сети близка к нулю, ко включенным лампам подводилось бы напряжение холостого хода трансформаторов, сложное с добавочным напряжением, которое дает добавочный трансформатор, т. е. 243 В. Такая сеть была бы не гибкой.

Гибкость, т. е. способность нормально выполнять свои функции в условиях вероятных изменений нагрузки, является одним из важных свойств электрических сетей, и необходимость обеспечить гибкость служит одним из оснований для ограничения потери напряжения в сети.

В силу ряда причин, связанных с системой электроснабжения в целом, отклонения напряжения в осветительных сетях часто выходят за установленный нормами предел (105% номинального), что губительно сказывается на сроке службы источников света, особенно ламп накаливания.

Для ограничения напряжения и стабилизации его на номинальном уровне применяются специальные аппараты, из которых

наиболее распространен тиристорный ограничитель напряжения ТОН (промышленность выпускает аппараты ТОН-3-220-63 и ТОН-3-220-100; последнее число означает номинальный ток).

ТОН — трехфазный аппарат, состоящий из трех одинаковых, независимо работающих секций, помещенных в общем шкафу и присоединяемых к сети через трехполюсный выключатель и предохранители. Рабочим элементом аппарата являются блоки полупроводниковых вентилей, которые с помощью системы управления и регулирования пропускают ток в пределах определенной части периода (или, как принято говорить, открываются на определенный электрический угол), в результате чего снижается эффективное выходное напряжение.

При напряжении питания, равном или меньшем номинального, ТОН выдает на нагрузку сетевое напряжение, уменьшенное на значение потерь напряжения в самом аппарате (1 В); если же напряжение питания повышается сверх номинального, то на нагрузку поступает номинальное напряжение $\pm 1,5\%$. Аппараты ТОН позволяют регулировать уставку выходного напряжения в пределах 0,9—1,05 номинального, что дает возможность подбирать для реальных условий конкретных осветительных установок оптимальный уровень напряжения с учетом потерь напряжения в осветительной сети. Аппараты ТОН используются при любых источниках света, но при люминесцентных лампах — только если не более половины всех ламп включено по схеме опережающего тока, а при лампах ДРЛ — только при отсутствии компенсирующих конденсаторов, которые могут устанавливаться перед ограничителем напряжения, со стороны источника питания.

Аппарат имеет коэффициент полезного действия 99%. К числу его недостатков относятся снижение коэффициента мощности сети, ухудшение гармонического состава кривых тока и напряжения (что, в частности, увеличивает радиопомехи) и некоторое увеличение коэффициента пульсации газоразрядных источников света.

Для надежной и безопасной работы аппарата, помимо основной нагрузки, непосредственно к его выводам рекомендуется присоединить по одной лампе накаливания 40 Вт на каждую фазу.

Быстродействие ограничителя, по разным данным, лежит в пределах 0,02—0,1 с. В силу этого он ослабляет, но не уничтожает колебания светового потока источников света при резких колебаниях напряжения.

Дополнительные затраты, связанные с применением тиристорных ограничителей напряжения, при определенном значении сетевого напряжения окупаются увеличением срока службы источников света и уменьшением потребляемой ими мощности. Многочисленные предприятия, имеющие опыт использования ограничителей, дают о них положительные отзывы и указывают, что после их установки расход мощности лампами накаливания сократился вдвое.

Окупаемость ограничителей зависит от значения среднего эксплуатационного напряжения в сети, годового числа часов использования освещения, трудности доступа к лампам для обслуживания и т. д. При использовании ламп накаливания ТОН окупает себя уже при напряжении начиная от 101—103% номинального, при газоразрядных лампах — при напряжении 105—115%.

Подробнее о применении этих ограничителей см. в статье [22].

Различного рода аппараты, полупроводниковые или автотрансформаторные, применяются также для глубокого регулирования напряжения в осветительных сетях. Так, в зрелищных предприятиях глубокое регулирование применяется как для сценического освещения, так и для освещения зрительного зала. В бытовом освещении некоторое применение получил «светорегулятор», позволяющий

при желании уменьшать поток лампы. Перспективен, но еще недостаточно изучен вопрос о таком регулировании освещения, когда в помещении поддерживается постоянный суммарный уровень естественной и искусственной освещенности и т. д.

Если постепенные, плавные, изменения освещенности вполне безвредны и даже способствуют тренировке адаптационного аппарата глаза, то резкие, тем более часто повторяющиеся изменения освещенности из-за колебаний напряжения в сети являются по меньшей мере неприятными и часто признаются мешающими работе. Вместе с тем выполненные до сих пор исследования дали только возможность субъективно оценить впечатление от колебаний освещенности, но не выявили объективных показателей их вредности, вероятно, из-за ограниченной длительности опытов.

Что касается субъективной оценки, то она характеризуется большим разбросом показаний как различных подопытных, так и одних и тех же лиц в разные дни. Усредняя данные, можно считать, что при всех источниках света различаются мгновенные изменения напряжения начиная от 1%, хотя отдельные наблюдатели уверенно замечают и колебания в 0,5%. При частоте колебаний около 1 Гц только для 25% опрошенных порог «неприятного ощущения» лежал ниже 2,5%, а порог оценки «мешает» — ниже 4,5%, без резко выраженной зависимости от освещенности и от типа источника света. Большую роль, конечно, играет частота колебаний, с возрастанием которой увеличивается их неприятное действие, достигая максимума в области частот 8—16 Гц.

ГОСТ 13109—67 [23] не ограничивает частоты колебаний с амплитудой менее 1%, устанавливая для больших колебаний предельную частоту n в зависимости от амплитуды ΔU :

$$n = \frac{6}{\Delta U - 1}. \quad (5-1)$$

Надо, однако, сказать, что достаточные основания для столь точной регламентации частоты колебаний напряжения отсутствуют.

Для отдельных установок с резко переменным характером нагрузки тот же ГОСТ без ограничения частоты допускает колебание напряжения ΔU до 1,5%. Не ограничиваются колебания напряжения у светильников местного освещения, если они вызваны пуском или остановкой двигателя данного механизма.

5-2. ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ И ПИТАЮЩИЕ СЕТИ

Электрическая часть осветительной установки в общем случае может состоять из следующих звеньев (рис. 5-2): трансформатор 1, щит низкого напряжения подстанции 2, линии питающей сети 3, т. е. все линии от щита подстанции до групповых щитков, вводный щит здания 4, магистральный щиток 5, устанавливаемый в местах разветвления питающей сети, групповой щиток 6, на

котором установлены аппараты защиты или управления для групповых линий, линии групповой сети 7 от групповых щитков до источников света.

Те или иные из этих звеньев могут отсутствовать, и в простейшем случае групповые щитки могут питаться линиями, отходящими непосредственно от щита подстанции. Некоторые другие видоизменения общей схемы рассматриваются в дальнейшем.

В большей части случаев осветительная нагрузка на промышленных предприятиях, а также в некоторых общественных зданиях составляет относительно небольшую часть всей электрической нагрузки и вопрос ее питания решается в комплексе других вопросов электроснабжения.

Важным и отчасти спорным является вопрос выбора между питанием освещения от отдельных трансформаторов или от трансформаторов, совмещенных с силовой нагрузкой. При общем напряжении для обеих групп потребителей, т. е. наиболее часто 380/220 В, в подавляющем большинстве случаев применяются совмещенные трансформаторы, причем экономичность этого решения подтверждена многократными расчетами. В качестве недостатка такого решения для промышленных предприятий указывают, что при работе объекта в 1—2 смены из-за небольшой осветительной нагрузки в ночное время приходится держать под на-

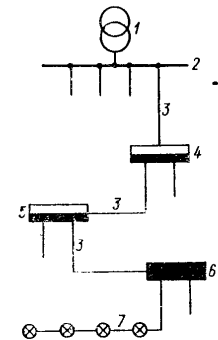


Рис. 5-2. Основные звенья сети освещения

пряженном мощные трансформаторы и, главным образом, что совмещенное питание ведет к ускоренному перегоранию ламп из-за повышенного напряжения при снижении нагрузки на трансформаторы. Эти соображения не лишены оснований, но в отношении первого из них надо сказать, что сейчас значительная часть предприятий работает в три смены, что потери холостого хода трансформаторов незначительны, не оправдывают установку отдельных трансформаторов и что в определенных условиях могут быть устроены перемычки между щитами низкого напряжения соседних подстанций, чтобы иметь возможность в периоды спада нагрузки отключить часть трансформаторов.

Что касается второго соображения, то нетрудно убедиться, что переход к самостоятельным осветительным трансформаторам сказался бы на максимуме напряжения у ламп только в размере разницы между потерями напряжения в нагруженных осветительных трансформаторах и в малонагруженных совмещенных трансформаторах, т. е. уменьшил бы этот максимум всего на 1,5—2%.

Однако никоим образом нельзя считать, что самостоятельные осветительные трансформаторы запрещены вообще. Они оказываются необходимыми, если на-

пряжения силовых и осветительных сетей различны, т. е. тогда, когда либо по условиям электробезопасности для освещения недопустимо напряжение 380/220 В, либо для силовых сетей применяется более высокое напряжение. Они могут потребоваться, когда силовая нагрузка имеет ударный характер и при совмещенных трансформаторах колебания напряжения у ламп превосходили бы допустимое значение. В этих случаях, однако, часто удается выделить для питания освещения трансформаторы, хотя и совмещенные, но питающие спокойную силовую нагрузку. Наконец отдельные трансформаторы для освещения могут оказаться экономически оправданными при высокой плотности осветительной нагрузки.

Если, как это часто бывает, в здании или вблизи него имеется несколько трансформаторных подстанций, то для питания освещения может быть выделена их часть, определенная с учетом характера нагрузки и целесообразного радиуса действия каждой. Относительно последнего трудно дать конкретные указания, но надо учитывать, что если с увеличением числа используемых подстанций облегчается режим работы питающей сети, то одновременно усложняется управление освещением и возрастает стоимость распределительных устройств. В принципе критерием для оценки целесообразности использования для питания освещения того или иного числа подстанций частично может служить близость сечений питающей сети, определяемых по току нагрузки и по потере напряжения.

В производственных зданиях иногда устраиваются трансформаторные подстанции, работающие в блоке с определенным технологическим оборудованием и отключаемые при остановке последнего на ремонт или профилактический осмотр (когда, кстати, освещение особенно необходимо). Следует избегать питания освещения от таких подстанций, в крайнем же случае предусматривать перемычку между щитами низкого напряжения соседних подстанций, позволяющую при отключении одной из них питать освещение от другой.

Для небольших зданий, особенно при значительном удалении от подстанции, вполне целесообразно питание силовой и осветительной нагрузок общими линиями от подстанций, однако и в крупных зданиях не исключается присоединение щитков любого вида освещения к внутренней силовой сети. При этом должны быть соблюдены приведенные выше требования в отношении уровня и колебаний напряжения, а также доведена до минимума вероятность отключения освещения в связи с коммутационными операциями в силовой сети. Предпочтительно питание осветительных щитков ответвлениями от основных силовых магистралей в системе блок трансформатор—магистраль, но оно возможно и от обычных силовых линий или силовых распределительных пунктов. Если, однако, эти пункты не являются промежуточными звеньями питающей сети, а непосредственно обслуживают двигатели, то осветительные линии должны присоединяться к вводным зажимам этих пунктов.

За указанными исключениями, освещение должно питаться самостоятельными фидерами от щитов низкого напряжения транс-

форматорных подстанций. При решении вопроса о распределении всей осветительной нагрузки между фидерами учитывается ряд соображений. Так, следует избегать, с одной стороны, излишнего дробления, с другой — чрезмерного укрупнения фидеров. В первом случае увеличивается протяженность и стоимость сетей, во втором — чрезмерно возрастают сечения, если они выбираются по силе тока. Если предусматривается централизованное или даже дистанционное управление освещением, то часто бывает необходимо питать отдельными линиями верхнее освещение помещений с естественным светом и всю остальную осветительную нагрузку. Нередко на отдельные фидеры выделяются крупные цехи, а также отдельные здания или группы зданий, расположенные по одну сторону от источника питания.

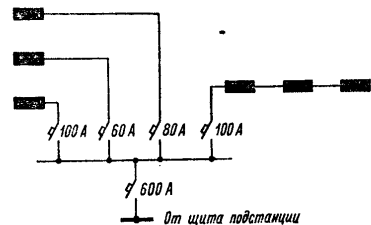


рис. 5-3. Щит «размножения фидеров» и разновидности схем питания: слева — радиальная, справа — магистральная

широко применяется и рекомендуется СН 357-77 [5] установка на подстанции или вблизи нее «щитов размножения», называемых также «магистральными щитками», которые питаются одной мощной линией от щита подстанции и от которых отходит необходимое число более мелких линий (рис. 5-3).

Схемы питания разделяются на радиальные и магистральные. Различия между этими схемами не столь значительны, чтобы их подробно рассматривать. В силу чисто компоновочных соображений чаще применяются магистральные схемы. В многоэтажных зданиях они представляют собой систему вертикальных линий — «стояков» — с подводкой питания к ним преимущественно по первому или цокольному этажу. В отдельных случаях групповые щитки расположены так, что оказывается целесообразным разветвить магистраль на несколько направлений. В местах разветвления желательнее (а при разветвлении более чем на два направления — следует) устанавливать магистральные щитки.

Нечего и говорить о том, какую роль играет бесперебойность работы освещения. Во всех почти случаях его отсутствие ведет к остановке производственного процесса, длительность которой часто превышает время отсутствия освещения, в некоторых же случаях даже кратковременное отсутствие освещения может слу-

жить причиной взрыва, пожара, несчастных случаев и т. д. Работники некоторых предприятий считают, что в многоплощадочных зданиях с местами, опасными для прохода людей, легче примириться с кратковременной остановкой оборудования, чем со столь же кратковременным отсутствием освещения.

Вопросы резервирования питания осветительных установок в целом решаются в комплексе других вопросов электроснабжения в проектах сетей и подстанций и здесь не рассматриваются. Специальные требования к резервированию питания рабочего освещения предъявляются лишь для некоторых объектов, как, например, зрелищные предприятия, музеи и т. д. Распространенные в данное время двухтрансформаторные подстанции с секционированными шинами щита и устройством автоматического включения резерва (АВР) уже обеспечивают возможность продолжения работы освещения при аварии одного из трансформаторов.

В основном резервирование освещения осуществляется в системе аварийного освещения, которое в зависимости от особенностей объекта должно обеспечивать или временное продолжение работы или безопасную эвакуацию людей из здания или участка территории (см. § 2-3).

Резервирование питания аварийного освещения может осуществляться на различных звеньях общей схемы, показанной на рис. 5-2, и на еще более высоких звеньях сети высокого напряжения. Чем выше звено, с которого осуществляется резервирование, тем больше надежность последнего.

Требования СНиП [1] к питанию аварийного освещения сводятся к следующему:

Светильники аварийного освещения для продолжения работы и для эвакуации людей из зданий без естественного освещения, а также светильники для продолжения работы в зданиях с естественным светом должны присоединяться к независимому источнику питания или переключаться на него автоматически при внезапном отключении рабочего освещения (при аварии). Светильники аварийного освещения для эвакуации из зданий с естественным освещением должны присоединяться к сети, независимой от сети рабочего освещения, начиная от щита подстанции или от ввода в здания (при наличии только одного ввода). Допускается питание светильников аварийного освещения от сети рабочего освещения при наличии автоматического переключения на источники питания аварийного освещения при внезапном отключении рабочего освещения (при аварии).

На рис. 5-4 представлены характерные схемы питания аварийного освещения, но прежде чем перейти к их характеристикам, отметим некоторые принципиальные моменты.

1. Нормативные требования к резервированию питания эвакуационного освещения минимальны и, по возможности, следует осуществлять большую степень резервирования, что зачастую возможно без существенных дополнительных затрат.

2. Во всех случаях, кроме зданий без естественного освещения, допускается питание аварийного освещения от силовых магистралей и от вводных зажимов силовых пунктов, при соблюдении общих условий, указанных ранее.

3. В прошлом была распространена «перекрестная» схема питания аварийного освещения (рис. 5-4, а), когда аварийное освеще-

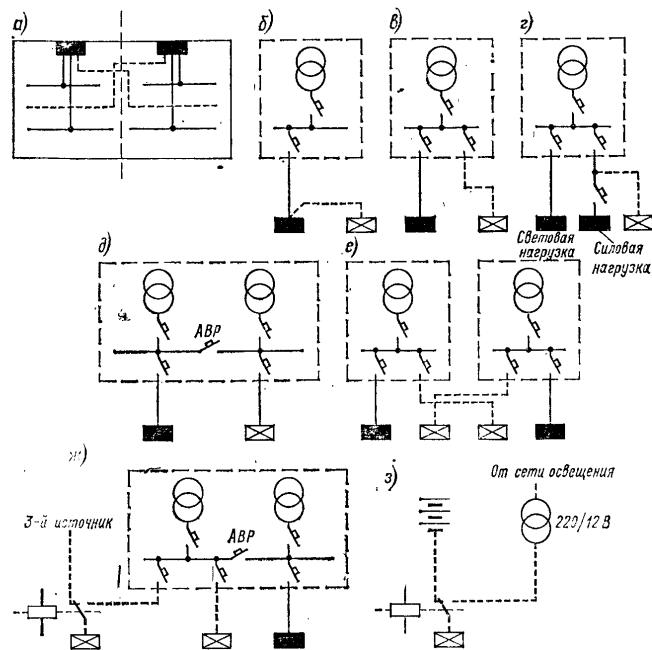


Рис. 5-4. Варианты резервирования питания освещения

нение одной части здания питалось от сети рабочего освещения другой части. В данное время такая схема запрещена СН 357-77.

Схема, представленная на рис. 5-4, б, дает наименьшую степень резервирования, допускаемую для эвакуационного освещения. Она применима для небольших, малоответственных зданий, где аварийное освещение в основном играет роль дежурного, для жилых домов и в случаях, когда вся нагрузка здания питается одним фидером от подстанции. Уже в крупных административно-бытовых корпусах эта схема заменяется схемами рис. 5-4, в или г, которые применяются при однотономных подстанциях

наиболее часто и являются достаточными для эвакуационного освещения.

Схема, приведенная на рис. 5-4, д, является в данное время, пожалуй, наиболее распространенной и допускает сохранение рабочего освещения при аварии одного из трансформаторов. Схема рис. 5-4, е еще более надежна в том отношении, что тот или иной вид освещения сохраняется даже при полном отключении одной из подстанций.

Если в схемах рис. 5-4, д и е один из трансформаторов или одна из подстанций имеет питание, которое, согласно Правилам устройства электроустановок, может быть признано независимым по отношению к другому трансформатору или другой подстанции, то эти схемы отвечают нормативным требованиям к аварийному освещению для продолжения работы.

На схеме рис. 5-4, ж показан случай, когда, помимо обычного аварийного освещения, устраивается освещение, переключаемое на третий независимый источник питания: удаленную подстанцию, питаемую от третьего независимого источника, аккумуляторную батарею и т. д. Переключающий аппарат с замыкающими и размыкающими контактами имеет катушку, питаемую от одного из основных источников, и переводит питание аварийного освещения на третий источник только в аварийных режимах.

На электростанциях и крупных подстанциях часто в качестве независимого источника питания используются аккумуляторные батареи, предназначенные для питания цепей оперативного тока.

При отсутствии в системе питания силовых нагрузок независимых источников и при необходимости иметь их для освещения могут использоваться дизель-генераторы (одним из недостатков которых является невозможность пуска под нагрузкой) или аккумуляторные батареи на 6—12 В. В последнем случае аварийное освещение либо нормально не функционирует и включается только при авариях, либо в нормальном режиме питается через понизительные трансформаторы (рис. 5-4, э). Перспективны, но пока у нас не выпускаются, светильники со встроенной аккумуляторной батареей.

Питание наружного освещения должно быть отделено от питания внутреннего освещения. Как правило, оно осуществляется отдельными фидерами от подстанций, причем для предприятий предусматриваются отдельные линии охранного освещения, освещения дорог и проездов, освещения складов и других мест работы на открытом воздухе. Допускается разделение питания наружного и внутреннего освещения начиная от вводного устройства в здании. Прилегающие к зданию открытые площадки, склады и технологические установки могут питаться от сети здания, но от отдельных щитков, или, по меньшей мере, групповых линий, управляемых совместно с остальным наружным освещением. Освещение погрузочно-разгрузочных рам при зданиях, участков, расположенных под навесами, и входов может питаться совместно с внутренним освещением, причем освещение входов предпочтительно присоединять к сети аварийного освещения, постоянно включенной во время действия рабочего освещения.

Независимо от задач оперативного управления освещением и защиты конкретных сечений проводников, ПУЭ предъявляют следующие требования.

В местах присоединения осветительной сети к источнику питания, т. е. щиту подстанции, а также к силовым магистралям или силовым пунктам, должны устанавливаться аппараты защиты и управления. Для группы линий одного вида освещения, отходящих от «щитов размножения» или магистральных щитков, допускается применение общих аппаратов управления. Если места присоединения к силовой сети неудобны для установки аппаратов защиты, то эти аппараты могут быть отнесены на расстояние до 30 м от этих мест. На вводах в здания от воздушных линий или от подстанций, расположенных вне здания, должны устанавливаться аппараты управления. На вводах должны быть установлены также аппараты защиты, кроме случаев питания здания отдельной линией, защищенной в ее начале, или наличия защиты в местах ответвления линий питающей сети от магистрали. Наконец установка аппаратов защиты нужна в начале стояков, обслуживающих не менее трех этажных щитков, кроме случая питания стояка отдельной линией с защитой в ее начале.

В известной степени спорной является необходимость установки аппаратов управления на вводах в групповые щитки.

Это представляет определенные эксплуатационные преимущества, позволяя при ремонтных работах отключить весь групповой щиток, но увеличивает расход аппаратов, и ПУЭ ограничивают установку таких аппаратов случаями, когда к магистральной линии присоединено не менее четырех, а в зданиях без естественного освещения — трех щитков.

Аппараты защиты и управления должны устанавливаться на всех проводах, кроме заземленных, нулевых. Исключением являются однофазные групповые линии, питающие светильники во взрывоопасных помещениях класса В-1 (см. § 7-2), для которых аппараты защиты необходимо устанавливать в цепи как фазового, так и группового проводов.

Хотя экономия электроэнергии вообще, и в частности расходуемой на цели освещения, была и остается важнейшей задачей, нормы рекомендуют при общем тарифе на силовую и осветительную энергию не устанавливать для освещения отдельных счетчиков. Эта рекомендация вызвана тем, что, как показывает опыт, часто экономия на освещении осуществляется путем уменьшения числа и мощности ламп, т. е. ведет к нарушению гарантированных нормами условий освещения. Установка счетчиков необходима, однако, в тех случаях, когда в здании имеются хозяйственно обособленные потребители (арсеналы площади), например пищеблока.

5-3. ГРУППОВЫЕ СЕТИ

Групповые щитки, от которых начинаются групповые осветительные сети, должны располагаться в помещениях, удобных для обслуживания, и, по возможности, с благоприятными усло-

виями среды. Нельзя размещать их в запираемых кабинетах, складах и т. п. помещениях. В многоэтажных зданиях их предпочтительно размещать на лестничных клетках или вблизи них, в зданиях с тяжелыми условиями среды — цеховых электропомещениях, в проходах или в других помещениях с относительно лучшими условиями среды.

Если управление освещением производится со щитков, то рекомендуется размещать щитки так, чтобы с места их установки были видны управляемые светильники, что однако, не является обязательным.

ПУЭ [6] ограничивают предельный ток аппаратов, защищающих групповые линии, значением 25 А, а число светильников с лампами накаливания ДРЛ, ДРИ, ДНаТ, обслуживаемых группой, — двадцатью на фазу. При питании группой газоразрядных ламп мощностью 125 Вт и более или ламп накаливания мощностью 500 Вт и более ток аппаратов защиты может быть увеличен до 63 А. Лампы мощностью 10 кВт и более должны питаться отдельными линиями каждая и защищаться соответственно их току.

Для линий, питающих люминесцентные лампы, а также световые карнизы, панели и т. п. допускается до 50 ламп на фазу; для линий, питающих многоламповые люстры, это число не ограничивается.

Приведенные требования о токах аппаратов защиты являются обязательными, а о числе светильников и ламп, — питаемых группой, — рекомендуемыми, хотя, конечно, они не могут быть строго обоснованы. Эти требования имеют целью ограничить объем возможных аварий и облегчить нахождение их места и причин. Кроме того, чем мельче группы, тем больше вероятность того, что нагрузка равномерно распределится между всеми тремя фазами, а нормы требуют, чтобы разница в нагрузке фаз на отдельных щитках не превышала 30%, а в начале питающих линий — 10%.

Знаменательно, что рост норм освещенности, и соответственно осветительных нагрузок, отразился и на нормативных ограничениях тока групп. Так, в свое время в нормах IX Всесоюзного Электротехнического съезда был обусловлен ток 6 А.

В число светильников, обслуживаемых групповыми линиями, входят и контактные разъёмные соединения. С тех пор как эти соединения стали выпускаться без встроенных предохранителей, возник вопрос о правомерности их подключения к группам, питающим светильники, так как в питаемых через них приемниках наиболее вероятны перегрузки и короткие замыкания. В данное время нормы не делают ограничений в этом вопросе, но при большом числе разъёмных соединений рекомендуют питать их отдельными группами от щитков, если это не связано с большой дополнительной затратой проводов. В целях взаимного резервирования общего и местного освещения не исключено питание разъёмных соединений отдельными группами от щитков аварийного освещения.

При распределении светильников между группами следует руководствоваться указанными предельными данными (избегая, однако, излишнего дробления групп) и топографическими признаками, т. е. относительным расположением помещений. Предпочтительно выделение на отдельные группы освещения проходов и лестничных клеток.

Групповые линии могут быть одно-, двух- или трехфазными. Последние обязательны, когда чередование фаз в линии используется для уменьшения пульсации освещенности, в частности при использовании ламп ДРЛ, ДРИ, ДНаТ. Трехфазные группы могут принять втрое большую нагрузку и обслужить в три раза больше светильников, чем однофазные. Они дают существенное сокращение как протяженности сети (четыре провода трехфазной группы заменяют 6 проводов трех однофазных групп), так и массы проводникового металла: при выборе сечений проводов, по потерю напряжения теоретическая масса последнего в трехфазной группе в 3,4 раза меньше, чем в однофазной.

Предпосылкой для применения трехфазных (реже — двухфазных) групп является большая нагрузка и длина линий при един-

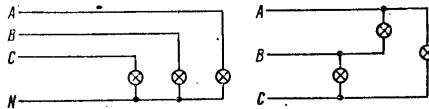


Рис. 5-5. Включение ламп по схемам звезды (а) и треугольника (б)

стве технологического процесса на их протяжении, позволяющем включать и выключать освещение крупными частями.

В связи с тем, что в осветительных сетях, в отличие от силовых сетей, к трехфазным линиям присоединяются, как правило, однофазные потребители, полезно рассмотреть некоторые ненормальные режимы, которые могут возникнуть в таких линиях.

Обычно лампы включаются в сеть трехфазного тока по схеме звезды (рис. 5-5, а), реже, например, когда от сети 380/220 В питаются лампы 380 В, — по схеме треугольника (рис. 5-5, б). При включении по схеме звезды все три фазы работают в известной степени независимо друг от друга и могут выключаться по отдельности. При равенстве нагрузок всех фаз в нулевом проводе тока нет (если не учитывать токов высших гармоник в сетях с газоразрядными лампами) и даже в случае его обрыва работа линии не нарушится.

При отключении одной из фаз по нулевому проводу протекает ток, равный и обратный геометрической сумме токов двух фаз, т. е. при равенстве последних тот же численно ток, что в каждом из фазовых проводов. При отключении двух фаз (а также в однофазных линиях) ток в нулевом проводе равен и обратен току фазы.

При неравномерной нагрузке фаз в нулевом проводе протекает уравнивающий ток, легко находимый построением или вычислением, за счет чего искажается схема соединения в звезду напряжений и лампы разных фаз получают несколько различные напряжения (см. гл. 6). В этом случае при обрыве нулевого провода резко нарушается распределение напряжений между нагрузками различных фаз. Рассмотрим, например, простейший случай, когда нулевой провод оборван, фаза А отключена или не имеет нагрузки, в фазу В включена одна лампа и в фазу С — две такие же лампы.

Лампы этих фаз окажутся последовательно включенными на линейное напряжение 380 В, которое распределится пропорционально сопротивлениям ламп. Если (что возможно только для расчета иллюстративного характера) пренебречь зависимостью сопротивления нитей ламп от температуры, то можно видеть, что на лампе фазы В напряжение составит 253 В, а на лампе фазы С — 127 В. Так как практически нагрузка фаз никогда не бывает строго равномерной, то ясно,

какое значение имеет для осветительных сетей целостность нулевого провода (помимо даже вопросов зануления).

В схеме соединения в треугольник при отключении фазы А для ламп плеча В—С сохраняется нормальный режим, лампы же плеч А—В и А—С окажутся последовательно включенными на напряжение 380 В, которое распределится между ними в зависимости от соотношения мощностей. Отключив две фазы, мы гасим все лампы, но установка остается под напряжением. Следовательно, отдельное отключение фаз в трехфазных линиях с нагрузками, включенными по схеме треугольника, является недопустимым.

На рис. 5-6 представлено три варианта распределения ламп между фазами в трехфазной группе. Верхний вариант оптимален с точки зрения потерь напряжения в линии, так как «центры тяжести» нагрузок всех фаз в этом случае совпадают, но этот вариант не является лучшим в отношении ослабления пульсаций

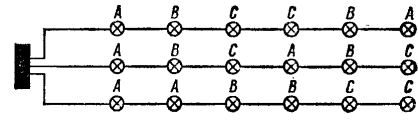


Рис. 5-6. Распределение ламп по фазам

освещенности и, кроме того, при нем в случае отключения одной-двух фаз создается случайное распределение освещенности вдоль линии.

Средний вариант применяется наиболее часто. Он лучше, чем остальные, обеспечивает снижение пульсаций и при отключении части фаз дает относительно равномерное распределение освещенности.

Нижний вариант применяется редко, лишь в тех случаях, когда освещение цеха должно включаться по участкам, и, строго говоря, представляет собой не трехфазную группу, а три однофазных с общим нулевым проводом. В связи с этим отмечается, что если несколько однофазных групп прокладываются по общей трассе, то почти всегда целесообразно совмещение их нулевых проводов, причем эти группы (их может быть и больше трех) должны принадлежать разным фазам сети. При этом сечение объединенного нулевого провода должно проверяться на суммарный ток групп, подключенных к той из фаз, для которой этот ток оказывается большим. Такой ток будет протекать по нулевому проводу при отключении светильников, питаемых двумя другими фазами.

Трассировка линий групповой сети подчинена целому ряду нормативных требований и практических рекомендаций, из которых важнейшие следующие.

Линии должны прокладываться по возможно более коротким трассам, при открытой проводке — параллельно стенам помещения, при скрытой, если это возможно, — по кратчайшему направлению. Желательно совмещать трассы линий, идущих в одном направлении, даже если это несколько удлиняет протяженность

линий. При возможности следует прокладывать линии по стенам, а не по потолкам, линии же, открыто проложенные по потолку, необходимо прокладывать перпендикулярно стене с окнами. Пример трассировки линий при скрытой и открытой прокладке показан на рис. 5-7. Желательно ограничивать число проходов сквозь стены, число ответвительных коробок и число обходов строительных элементов. В помещениях с фермами наиболее целесообразно прокладывать линии групповой сети поперек ферм, в виде перекидок между ними. В запираемых пожароопасных складах запрещается транзитная прокладка линий, не относящихся к приемникам склада.

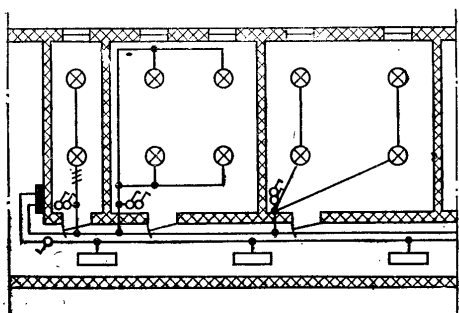


Рис. 5-7. Трассировка линий групповой сети

В групповой сети аппараты защиты, как правило, сосредотачиваются на групповых щитках и должны устанавливаться на всех незаземленных проводах, а также на нулевых проводах однофазных групп, обслуживающих взрывоопасные помещения класса В-1 (см. § 7-2).

Для взрывоопасных помещений класса В-1 двух- и трехфазные групповые линии применяться не должны, так как в нулевых проводах таких линий установка аппаратов защиты недопустима.

Ответственной задачей является решение вопросов управления освещением. Оно должно быть наиболее удобным для персонала, требовать минимум времени на коммутационные операции и вместе с тем обеспечивать возможность пользования освещением там и тогда, где и когда это необходимо по характеру использования помещения.

В последнее время в цехах сколько-нибудь большой площади почти исключительно предусматривается управление освещением аппаратами, установленными на щитках (за исключением рассматриваемых ниже случаев централизованного управления); в небольших помещениях неизбежно сохраняются местные выключатели. Во всех случаях учитываются условия естественного освеще-

щения (отдельно управляются ряды светильников, расположенные параллельно линиям окон или фонарей) и характер производства, т. е. возможность выполнения работ только на какой-либо определенной части площади.

В помещениях, не имеющих аварийного освещения, желательно, начиная уже от установки в помещении двух светильников, разбивать светильники не менее чем на два выключения, что дает возможность обслуживать отключенные светильники при свете остающихся включенными. Такая рекомендация особенно важна для помещений без естественного освещения.

С точки зрения организации управления освещением характерен случай, часто встречающийся, например, в металлургической и химической промышленности, когда технологический процесс полностью механизирован и рабочие (причем разных специальностей: технологи, механики, сантехники, электрики) периодически обходят помещения, расположенные на разных отметках или проходят вдоль тракта подачи материалов.

Казалось бы, в подобных случаях элементарное правило «сходя, гасите свет» определяет установку выключателей у входа в каждое помещение, однако практика опровергает такое решение и рекомендует в таких случаях управлять освещением со щитков: местное управление очень неудобно для «обходчиков».

Если в указанных помещениях, а также в помещениях, являющихся нормально проходами (к ним можно отнести, в частности, и многие галереи транспортеров), освещение остается включенным во все темное время суток, но в протяженных помещениях, эпизодически посещаемых специальным персоналом (кабельные и водопроводные туннели, галереи шинопроводов и т. п.), освещение должно включаться только при входе в них людей, а при наличии нескольких входов — управляться независимо от каждого входа по так называемым коридорным схемам (см. § 5-4).

В производственных и общественных зданиях должна предусматриваться возможность раздельного управления освещением помещений с естественным освещением и без него.

С каждым годом все в большем объеме применяется централизованное дистанционное управление освещением. Это соответствует общим тенденциям развития производства: укрупнению цехов, механизации работ, стремлению освободить рабочих от вспомогательных операций и т. д., и если прежде шла речь чуть ли не о потолочных выключателях, позволяющих рабочему включить светильник, подвешенный над его станком, то сейчас диспетчер или даже автоматическое устройство в определенный момент времени включает сотни и тысячи светильников.

Предпосылкой для дистанционного управления освещением являются большие размеры здания или группы зданий, особенно если питание осветительной установки осуществляется от нескольких подстанций. При устройстве дистанционного управления необходимо тщательно учитывать особенности как производства (с точки зрения одновременности потребности в освещении различных участков), так и условий естественного освеще-

помещений. При этом осветительные сети приходится разделять на две части, одна из которых обслуживает верхнее освещение помещений, имеющих естественное освещение, вторая — все остальное освещение. Эта вторая часть если и управляется дистанционно, то только для обеспечения полного отключения сети, например в праздничные дни, оперативное же управление освещением производится местными выключателями. Наоборот, для первой части дистанционное управление является оперативным, но на щитках сохраняются аппараты управления для возможности

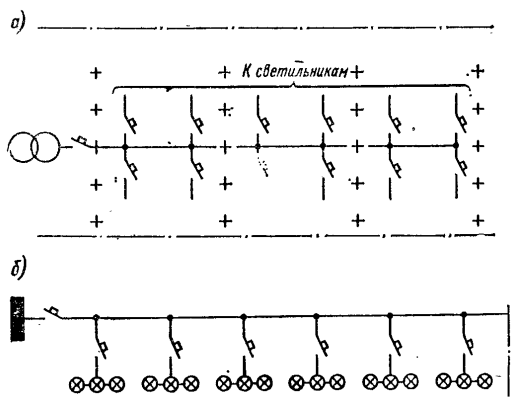


Рис. 5-8. Схемы поперечной (а) и распределительной (б) магистрали

отключения отдельных групп на период обслуживания светильников или ремонта.

При дистанционном управлении включение и выключение освещения производится либо вручную, диспетчером, либо автоматически, с использованием программного реле времени или фотоавтоматических устройств, реагирующих на уровень естественной освещенности.

В последнее время получили распространение две прогрессивные схемы питания осветительных установок крупных цехов (рис. 5-8). В схеме поперечной магистрали (рис. 5-8, а) применяемой в многопролетных зданиях, групповые щитки как таковые отсутствуют, или можно сказать, что их шины как бы продолжены и растянуты поперек всех пролетов. К этим шинам через аппараты защиты и управления присоединяются обычные групповые сети, идущие вдоль пролетов. Если это целесообразно по условиям производства, вся поперечная магистраль может управляться как одно целое и тогда групповые аппараты имеют только эксплуатационное назначение; если эти аппараты необходимы для оперативного управления, они должны иметь возможность управляться с отметки пола.

В схеме распределительной магистрали (рис. 5-8, б), пригодной для цехов большой длины с единством технологического процесса по всей площади, све-

тильники присоединяются к продольной магистрали без ограничения числа и мощности. Для обеспечения локализации аварий и возможности обслуживания светильников без отключения всей магистрали аппараты защиты и управления (например, автоматические выключатели АП-50) устанавливаются на ответвлениях от магистрали к светильникам, а, чтобы уменьшить число таких аппаратов, светильники размещаются группами из 2—3 шт. В высоких цехах это не ведет к увеличению числа светильников, так как по условиям создания нормированной освещенности последние обычно в продольном направлении приходится устанавливать на расстояниях, значительно меньших наиболее выгодного.

С распространением газоразрядных ламп возник вопрос о компенсации реактивной мощности в осветительных сетях. Для люминесцентных ламп он решается установкой компенсирующих конденсаторов в комплекте пускорегулирующих аппаратов (применение некомпенсированных ПРА запрещено ПУЭ). Для ламп других типов в данное время в установках внутреннего освещения применяется обычно групповая компенсация путем установки конденсаторных батарей у щитков, на отдельных группах. Установка батарей, общих для всего щитка или питающей линии, не применяется потому, что в этом случае при неполном включении освещения сеть была бы загружена емкостным током.

Групповая компенсация позволяет уменьшить сечения линий питающей сети, если они выбираются по токовой нагрузке, и повысить «емкость групп». Так, при уставке аппарата защиты 50 А и при коэффициенте мощности комплекта лампы — ПРА, равном 0,5, к трехфазной группе может быть присоединено не более 12 ламп ДРЛ-1000, а при повышении коэффициента мощности до 0,92 — уже 24 лампы.

Если комплект лампы—ПРА потребляет ток, отстающий по фазе от напряжения на угол φ_0 , а мы хотим уменьшить этот угол до значения φ , то, как следует из рис. 5-9, потребуется реактивная мощность конденсаторов

$$Q = (P + \Delta P) (\operatorname{tg} \varphi_0 - \operatorname{tg} \varphi),$$

где P — мощность ламп и ΔP — потеря мощности в ПРА. Приняв исходный коэффициент мощности $\cos \varphi_0 = 0,5$ и желаемый $\cos \varphi = 0,92$ (в сетях с газоразрядными лампами из-за искажения кривых тока и напряжения значение $\cos \varphi = 1$ невозможно) и считая $\Delta P = 0,1P$, получим $Q \approx 1,45P$.

С учетом всех экономических факторов (см. § 8-4) установка в осветительной сети конденсаторов часто не окупает себя и в практике вопрос о необходимости компенсации решается в зависимости от ситуации с реактивной мощностью в системе электропитания объекта.

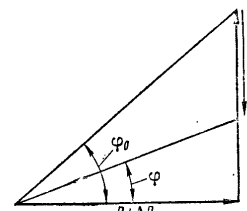


Рис. 5-9. Расчет компенсации реактивной мощности

Если, как это часто практикуется, на аварийное освещение выделяются целые ряды светильников, одновременно участвующих в рабочем освещении, то управление этим освещением ничем по существу не отличается от управления рабочим освещением. В остальных случаях, т. е. когда для аварийного освещения выделяются отдельные светильники, они должны либо автоматически включаться при исчезновении напряжения в сети рабочего освещения, либо управляться с возможной степенью централизации, чтобы его не забывали включать в отдельных помещениях.

Существенно сделать некоторые уточнения в отношении аппаратов управления, будь то автоматы на щитках или местные выключатели.

В сетях 380/220 В и 660/380 В, имеющих заземленную нейтраль, должны отключаться все фазовые провода, т. е. в двухпроводных линиях и ответвлениях, состоящих из фазового и нулевого проводников, должны применяться однополюсные аппараты (кроме помещений класса В-1, где при однофазных группах необходимы двухполюсные аппараты). В трехфазных группах вопрос не может быть решен однозначно. Если эти группы питают только однофазные приемники, в каждый из которых вводится фазовый и нулевой провода, то фазовые провода могут выключаться как совместно, т. е. трехполюсными аппаратами, так и раздельно. Практика предпочитает последнее решение как более гибкое, облегчающее нахождение мест аварий и позволяющее отключать для обслуживания только часть светильников. Если, однако, к группам подключены трехфазные компенсирующие конденсаторы или светильники с двух- и трехфазными ПРА, а также в случаях, когда светильники включаются на линейное напряжение, т. е. по схеме соединения в треугольник (например, лампы ДРЛ-2000 в сети 380/220 В), то одновременное отключение всех фаз обязательно. Если в светильники вводятся провода нескольких фаз с целью разбить лампы на несколько включений, то в помещениях без повышенной опасности эти провода могут выключаться раздельно. В двухпроводных сетях постоянного тока, применяемых для аварийного освещения, однополюсное выключение также допустимо только в помещениях без повышенной опасности.

Местное освещение станков, имеющих индивидуальный электропривод, как правило, питается через индивидуальные трансформаторы, присоединенные к силовой сети станка, остальное же местное освещение питается через групповые трансформаторы с вторичным напряжением 12—24—36 В. Контактные разъемные соединения переносного освещения могут, в принципе, питаться от сети 220 В с включением ручных ламп через переносные трансформаторы, но поскольку в этом случае не исключается использование ручных ламп на напряжение 220 В, почти исключительно применяется питание этих разъемных соединений от групповых трансформаторов 12—36 В. Трансформаторы должны иметь электрически раздельные обмотки (применение автотрансформаторов

запрещено) и иметь аппараты защиты со стороны как высшего, так и низшего напряжения. Защита со стороны высшего напряжения не обязательна, если трансформаторы, в количестве не более трех, питаются самостоятельными группами от щитков.

Местное освещение во всех случаях управляется индивидуальными выключателями, взамен которых при напряжении не более, 42 В могут быть использованы контактные разъемные соединения через которые включаются светильники.

В некоторых случаях для местного освещения, а также для общего освещения, требующего напряжения не выше 42 В, применяются трехфазные сети с включением ламп по схеме соединения в треугольник. Эти сети должны управляться трехполюсными аппаратами, но на двухпроводных ответвлениях от них выключатели могут устанавливаться на одном (незаземленном) проводе.

5-4. СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ

Выше уже были рассмотрены основные принципы организации управления освещением. Остановимся на некоторых применяемых для этого схемах.

В протяженных помещениях, не являющихся постоянными проходами, возникает необходимость включения освещения с одного или нескольких входов, причем возможность управления от каждого данного входа не должна зависеть от положения аппаратов управления у других входов.

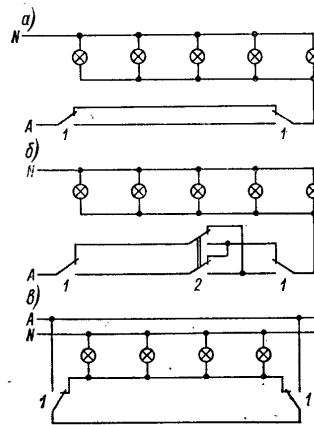


Рис. 5-10. Коридорные схемы управления: а — обычная для двух входов; б — для более чем двух входов; б₁ — с транзитной фазой

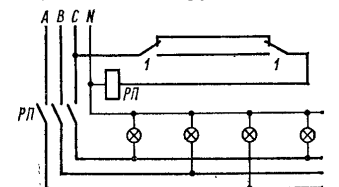


Рис. 5-11. Схема управления с магнитным пускателем освещением галерей

Такая «коридорная» схема для двух входов представлена на рис. 5-10, а. Аппаратами управления служат однополюсные переключатели 1 на два положения (без нейтрального положения), и нетрудно убедиться, что в каком бы положении ни находился один из них, вторым можно включать и выключать линию. При

наличии более двух входов (рис. 5-10, б), у крайних входов остаются такие же аппараты 1, а у каждого из промежуточных входов должны быть установлены двухполюсные переключатели 2 на два положения (без нейтральных положений).

Разновидностью коридорной схемы является схема с транзитной фазой (рис. 5-10, в), пригодная только при двух входах. Она отличается тем, что фазный провод на конце линии всегда остается под напряжением и может быть использован для питания какой-

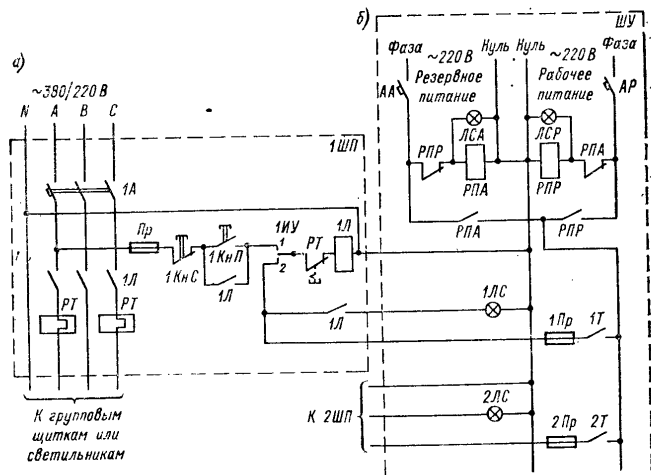


Рис. 5-12. Схема дистанционного управления освещением на переменном токе без промежуточных реле

либо нагрузки, находящейся с этой стороны. Коридорные схемы практически вдвое увеличивают расход проводов, которые в некоторых случаях могут иметь большое сечение, так как путь тока от начала линий до ламп возрастает (особенно в схеме с транзитной фазой), что приходится учитывать при расчете линий по потере напряжения (§ 6-3). Поэтому в протяженных, с большой нагрузкой линиях применяется схема, представленная на рис. 5-11. Непосредственное управление нагрузкой производится в этом случае магнитным пускателем или контактором РП, катушка же последнего управляется по коридорной схеме переключателями 1.

На рис. 5-12 представлена простейшая схема дистанционного управления освещением на том же напряжении, которым питаются лампы.

В этой схеме отдельно рассмотрим две части (а и б), каждая из которых может применяться как самостоятельная схема.

Автомат 1А служит для защиты линии, питающей освещение. Избиратель управления 1ИУ является однополюсным переключателем на два положения (с нейтральным положением). При нахождении его в положении 1 схема рис. 5-12, б отключена и мы имеем обычную схему дистанционного управления пускателем 1Л, широко применяемую в силовых сетях, но могущую быть использованной также в сетях освещения. При нажатии кнопки «Пуск» 1КнП катушка пускателя 1Л обтекается током и пускатель включается, одновременно замыкая свой вспомогательный контакт 1Л, через который и проходит ток при отпуске 1КнП. При нажатии кнопки «Стоп» 1КнС цепь катушки 1Л размыкается и пускатель выключается. Он выключается также при размыкании контактов теплового реле РТ в случае перегрузки или при исчезновении напряжения в сети питания.

Последнее обстоятельство в силовых сетях исключает нежелательный самозапуск двигателя при восстановлении питания до повторного нажатия кнопки «Пуск». В сетях освещения включение ламп при восстановлении питания без участия человека отнюдь не прогнано, и если эта часть схемы отдельно используется для освещения, то обе кнопки заменяются одним обычным выключателем, а вспомогательный контакт 1Л не используется. В таком виде схема может быть применена для управления одним пускателем и с небольших расстояний. В представленном на рисунке виде схема соответствует оборудованию типовых шкафов 1ШП, выпускаемых промышленностью.

Во многих случаях, например для наружного освещения, управление производится с более или менее значительных расстояний и со шкафа управления ШУ необходимо управлять несколькими, иногда многими пускателями, получая при этом на пункте управления сигнал об исполнении. В этом случае к схеме рис. 5-12, а добавляется схема рис. 5-12, б. Верхняя ее часть является схемой автоматического ввода резервного питания при прекращении основного питания. В ранее рассмотренном случае силовые контакты пускателя и его катушка питаются от общей линии и никакое резервирование питания катушки не поможет, если в этой линии нет напряжения. При сосредоточении управления на ШУ должен быть исключен случай, когда силовые цепи пускателей под напряжением, а питание катушек прекращается, для чего и необходимо резервирование.

Верхняя часть схемы рис. 5-12, б может рассматриваться как частный, но характерный случай переключения питания на резервный источник, с чем приходится сталкиваться, например, при устройстве аварийного освещения.

Пусть при выключенном автомате АА включается автомат АР. Размыкающие контакты реле РПА замкнуты, катушка реле РПР, обтекаемая током, включит свой контакт РПР, в сеть будет по-

дано питание от основного источника и сигнальная лампа ЛСР будет гореть. В то же время размыкающий контакт РПА будет разомкнут, в силу чего катушка РПА и лампа ЛСА будут отключены. При включении автомата АА ничего не изменится, так как контакт РПР останется разомкнутым.

Если теперь в основной сети исчезнет напряжение, то катушка РПР обесточится, его правый, по схеме, контакт разомкнется, а левый — замкнется, подавая ток в катушку РПА. Левый контакт последнего замкнется, правый — разомкнется, и питание будет подано от резервного источника; загорится сигнальная лампа ЛСА.

Применительно к питанию аварийного освещения эта схема пригодна в тех случаях, когда напряжения сетей рабочего и аварийного освещения одинаковы и когда последнее должно функционировать также в нормальном режиме.

Промышленность выпускает блоки и панели питания аварийного освещения и для разных других случаев, например, когда это освещение нормально не включено и включается только при отсутствии напряжения в сети рабочего освещения.

Обратимся теперь к схеме в целом. При положении 1 выключателя ИУ осуществляется, как уже сказано, местное управление освещением, необходимое, например, для опробования схемы; среднее, нулевое положение соответствует запрету управления, положение 2 — дистанционному управлению. В этом случае включение выключателя ИТ подает питание на катушку 1Л, а вспомогательный контакт 1Л, включаясь, зажигает лампу ЛС. Число цепей, обслуживаемых одним ШУ, не ограничено. Каждая цепь управления состоит из трех проводов или жил кабеля. Предохранители Пр и ППр служат для защиты цепей управления.

Схема применяется для управления как внутренним, так и наружным освещением, однако в последнем случае расстояние между ШУ и ШПП может быть столь велико, что в цепях управления будет трудно обеспечить допустимую потерю напряжения. В таких случаях могут использоваться схемы с промежуточным маломощным реле. Дистанционно производится управление этим последним реле, а уже его контакты, замыкаясь, подают питание в катушку основного аппарата.

Наиболее характерной схемой управления наружным освещением с промежуточными реле является представленная на рис. 5-13 схема управления с использованием свободных жил («пар») телефонных кабелей, что позволяет избежать прокладки специальных цепей управления. Телефонные кабели могут использоваться только в цепях постоянного тока малого напряжения, в связи с чем в схеме появляется выпрямитель ВС. Питание последнего осуществляется так же, как и в схеме рис. 5-12.

Включением автоматического выключателя АВ напряжение подается на катушку 1РП, контакт которого при нахождении переключателя ИУ в положении 2 замыкает цепь катушки 1Л.

Срабатывая, пускатель замыкает свой вспомогательный контакт, включая этим сигнальную лампу ЛС.

Общепринятое схемное изображение не отвечает истинному расположению аппаратов, и, естественно, реле 1РП и вспомогательный контакт 1Л находятся в составе 1ШП. Для каждой отдельно управляемой цепи 1ШП и ШУ должны быть связаны двумя телефонными парами, т. е. четырьмя проводами: одна пара соеди-

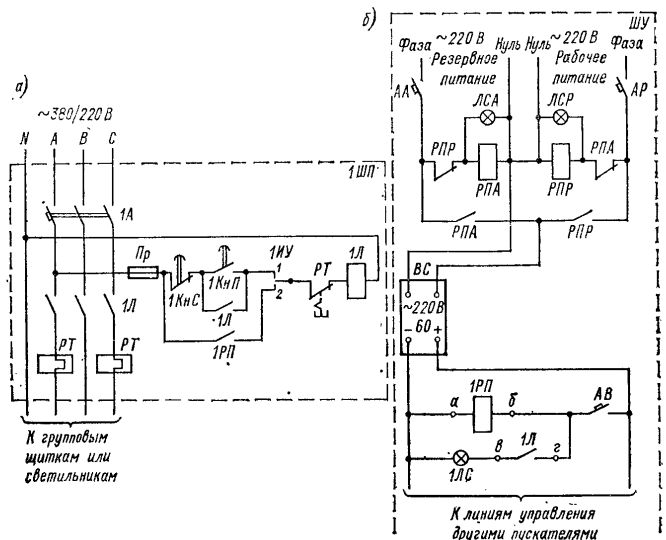


Рис. 5-13. Схема управления освещением на постоянном токе с промежуточным реле

няет точки а и б с катушкой 1РП, другая — точки в и г со вспомогательным контактом 1Л.

Наряду с описанными схемами применяется и ряд других схем, в частности схемы телемеханического управления.

Для протяженных линий наружного освещения иногда оказывается целесообразным применение «каскадных» схем управления (рис. 5-14).

С центрального пульта управления ПУ включается блок управления 1БУ первой секции линии; от конца этой секции подается питание к блоку управления второй секции 2БУ и т. д. Таким образом каждая секция, включаясь, вызывает включение следующей секции, протяженность же цепей управления существенно сокращается.

Во всех рассмотренных случаях включение органа управления предусматривается вручную. Это не только возлагает на обслуживающий персонал дополнительные операции, но, как принято считать, может быть причиной перерасхода электроэнергии из-за несвоевременного выключения освещения (хотя не менее вероятно его слишком позднее включение). В связи с этим находят широкое применение автоматическое управление освещением с помощью программного устройства или фотореле, основанного на использовании фотоэлементов или фоторезисторов.

Соответствующие аппараты могут быть встроены в любую из схем, причем ручное управление сохраняется в качестве дублирующего.

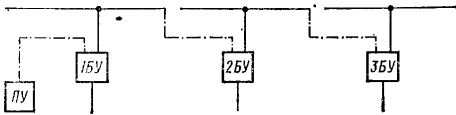


Рис. 5-14. «Каскадная» схема управления наружным освещением

Включение и выключение освещения производится либо в заданный момент времени, либо при определенном уровне естественной освещенности.

Как отмечено в § 5-3, при устройстве таких способов управления должно обращать особое внимание на одинаковость условий естественного освещения в пределах каждой, отдельно управляемой, части осветительной установки. В связи с этим надо сказать, что если для наружного освещения целесообразность автоматического управления можно считать бесспорной, то для внутреннего освещения оно преимущественно ограничивается крупными цехами с одинаковыми условиями естественного освещения по всей их площади, так как при устройстве такого управления для зданий в целом или же отдельные помещения окажутся в неравных условиях, или же потребуется усложнить управление, разделяя его на отдельные части.

Из двух способов автоматического управления программное управление пока признается более надежным, хотя фотоавтоматическое управление является более гибким в том отношении, что учитывает не только время, но и состояние погоды.

Вместе с тем при фотоавтоматике хотя и удается отстроиться, например, от выключения освещения при кратковременных, случайных, изменениях естественной освещенности (например, при вспышке молнии), но в периоды сумерек или рассвета не исключено срабатывание реле в зависимости от состояния облачного покрова.

Вопросам управления освещением посвящена книга [24].

ГЛАВА ШЕСТАЯ

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ СЕТИ

6-1. ВЫПОЛНЕНИЕ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Электрические сети вообще, и особенно осветительные сети, являются наиболее распространенным видом инженерных коммуникаций, так как они прокладываются буквально во всех помещениях, где только могут находиться люди. В силу своего характера и назначения они должны отвечать целому ряду требований, а именно:

- 1) обеспечивать бесперебойность и надежность питания осветительных установок в любых конкретных условиях среды;
- 2) требовать для своего выполнения наименьшей затраты средств и дефицитных материалов, в первую очередь меди и стальных труб;
- 3) обеспечивать безопасность в отношении пожара, взрыва и поражения электрическим током;
- 4) допускать осуществление сетей промышленными методами, при которых максимум подготовительных и заготовочных работ может быть выполнен в условиях заводов или мастерских электро-монтажных заготовок (МЭЗ);
- 5) по возможности допускать замену поврежденных или изношенных проводов в процессе эксплуатации;
- 6) по возможности быть наглядными, доступными для обслуживания и не портящими внешнего вида помещений;
- 7) обладать достаточной прочностью и устойчивостью к возможным механическим воздействиям.

Высокие и разносторонние требования, предъявляемые к осветительным сетям, являются причиной того, что их выполнение во всех деталях регламентируется нормативными документами, в частности ПУЭ, СНиП и СН. Полное изложение этих требований, помимо первоисточников, можно найти в различных справочниках, здесь же ставится задача рассмотреть в общем виде принципиальную сторону вопроса.

В качестве проводниковых материалов для выполнения сетей исключительно, или почти исключительно, применяются алюминий и медь. Преимуществами меди как проводника является меньшее, по сравнению с алюминием, удельное сопротивление, большая механическая прочность и лучшая устойчивость к воздействиям среды. Особое значение имеет тот факт, что в линиях с медными проводами легче осуществляются и более надежно работают контактные соединения. Однако необходимость всемерной эко-

номии меди обуславливает преимущественное применение проводов и кабелей с алюминиевыми жилами.

Медные проводники разрешены или обязательны для применения в условиях сред, агрессивных по отношению к алюминию, во взрывоопасных помещениях классов В-1 и В-1а (см. § 7-2), для прокладки по основаниям, подверженным вибрации, для некоторых видов проводов на чердаках, в основных помещениях зрелищных предприятий, для присоединения передвижных и переносных приемников. Медные проводники требуются также для зарядки светильников, в тех случаях, сейчас очень редких, когда вводные проводники непосредственно присоединяются к контактам ламповых патронов, а не к клеммным колодкам или штепсельным разъемам, входящим в конструкцию светильников.

Электропроводники в зданиях разделяются по своему выполнению на открытые и скрытые. Скрытые проводки эстетичнее, менее подвержены заплытию и облегчают поддержание помещения в чистоте. Одним из их важных достоинств является возможность выполнения электромонтажных работ до окончания отделочных работ, что позволяет сократить сроки строительства. Однако скрытые проводки имеют и ряд существенных недостатков: в некоторых их модификациях не может быть обеспечена замена проводов в процессе эксплуатации и во всех почти случаях исключается возможность внесения дополнений и изменений в уже выполненную проводку.

В данное время для общественных, административных и жилых зданий принимается почти исключительно скрытая проводка, в помещениях же с повышенными требованиями к чистоте, в частности в лечебных заведениях, эту проводку следует считать обязательной. Из числа помещений рассматриваемых зданий открытая проводка может применяться в неотопливаемых подвалах, на чердаках, в сырых и особосырых вспомогательных помещениях и т. п. Открытая проводка нередко бывает неизбежной в зданиях, сооружаемых из деревянных конструкций.

В производственных зданиях, не говоря уже о помещениях с подшивными или подвесными потолками, преобладающее применение имеет открытая проводка, хотя в чистых цехах вполне уместна и скрытая проводка.

В осветительных сетях применяются провода и кабели разнообразных марок. Ниже перечисляются наиболее распространенные или характерные марки кабельных изделий. Марки указаны для проводников с алюминиевыми жилами, аналогичные изделия с медными жилами отличаются отсутствием в маркировке начальной буквы А:

АПР — одножильный провод с резиновой изоляцией в оплетке из пропитанной хлопчатобумажной пряжи. Ранее широко использовался для открытой проводки на изолирующих опорах. Сейчас имеет ограниченное применение в условиях среды, близких к нормальным, для прокладки на изоляторах поперек ферм, для проводки в изоляционных трубах, на тросах и в лотках.

АПВ — одножильный провод с поливинилхлоридной изоляцией. Проводка, выполненная этими проводами, устойчива к большинству химических воздействий. Провод имеет универсальное применение, так как может прокладываться в любых трубах, в лотках, открыто на изоляторах, по тросам, непосредственно по основанию и даже скрыто без труб.

АПРТО — провод по конструкции аналогичен проводу АПР, но, имея более надежную изоляцию, специально предназначен для проводки в стальных и дру-

гих трубах. Выпускается на разное число жил, но в осветительных сетях рекомендуются одножильные провода.

АПРФ (ранее АТПРФ, провод Куло) — провод с 1—3 жилами с резиновой изоляцией, в металлической фальцованной оболочке. Служит для открытой прокладки по основанию в сухих, влажных и жарких помещениях. Ранее применялся очень широко, но постепенно вытесняется различными видами скрытой проводки.

АРТ — провод с 2—4 жилами, с резиновой изоляцией, в конструкцию которого входит несущий трос.

АППВ и АППВС — плоские провода с 2—3 жилами, с поливинилхлоридной изоляцией, имеют между жилами разделительную пленку, через которую гвоздями или шурупами крепятся к основанию. Провод АППВС такой пленки не имеет и специально предназначен для скрытой проводки без труб.

АНРГ, АВВГ, АВРГ — вебронированные кабели с 2, 3, 4, а в некоторых случаях с 5 жилами, в марке которых Н указывает на иритовую оболочку, Р — резиновую изоляцию, В — поливинилхлоридную изоляцию и оболочку. Провод АНРГ в основном предназначен для сырых и особосырых помещений, провода АВВГ и АВРГ — для помещений с химически активной средой. Оболочка кабелей двух последних марок не должна подвергаться действию прямых лучей солнца, так как может размягчаться при нагреве.

В числе других кабельных изделий можно назвать нагревостойкие провода, в частности марок ПАЛ и РКГМ, применяемых в жарких помещениях, а также провод ПРКА — для зарядки светильников, в конструкции которых отсутствуют зажимы для присоединения питающих проводов.

Из многих возможных видов открытой проводки многолетняя практика отобрала ряд наиболее рациональных способов и, наоборот, почти полностью отвергла такие устаревшие способы, как все виды проводки на роликах и проводку на изоляторах по стенам и потолкам.

Полностью сохраняет свое значение непосредственная прокладка проводов и кабелей по строительным основаниям: стенам и потолкам. Для этой проводки, в зависимости от условий среды, применяются провода АПРФ и кабели АНРГ, АВРГ, АВВГ. Для соединения и ответвлений от указанных проводов и кабелей применяются коробки: проходные, тройниковые или крестовые. Хотя секции проводки могут загораиваться в условиях МЭЗ, но этот вид проводки является малоиндустриальным, так как требует частых креплений к основаниям (в среднем 4 на каждый метр). Крепления осуществляются скобками на дюбелях, «пристреливаемых» к основанию строительно-монтажным пистолетом. Для упрощения монтажных работ иногда к основанию пристреливается в ограниченном числе точек стальная лента или проволока-катанка и уже к ней полосками-пряжками крепятся провода или кабели. При прокладке по общей трассе более двух проводов или кабелей становится целесообразным крепить к основанию не отдельные проводники, а специальные лотки из перфорированной стали и уже в них укладывать проводники. При определенных условиях в лотках могут прокладываться и такие провода, как АПР и АПВ. Число проводников одного вида освещения, прокладываемых в общем лотке, не ограничивается. Закрепление проводов и кабелей через 1 м требуется только на вертикальных участках и при расположении лотков плашмя на

опорных поверхностях, а также в местах поворотов трассы и от-
ветвлений. Схема проводки в лотках представлена на рис. 6-1.

Значительно реже, чем лотки, для той же цели применяются
замкнутые короба.

Распространена также открытая прокладка проводов АПВ,
АПРТО и других марок в трубах: стальных водогазопроводных
и винилпластовых. Первые допустимы при любых условиях среды,
вторые — при любых условиях, кроме пожаро- и взрывоопасных
помещений, а также проводки на сценах, в зрительных залах,
в больницах, в детских учреждениях и на чердаках. Применение

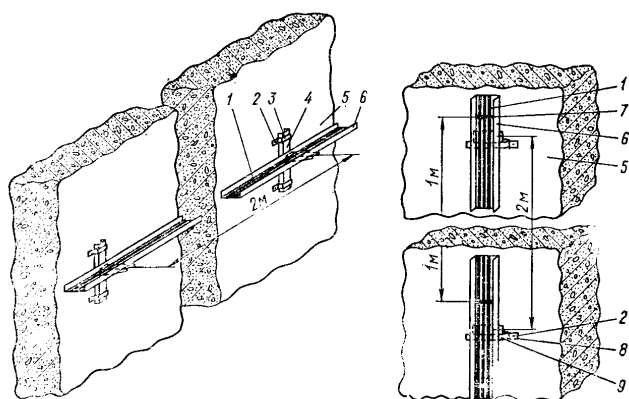


Рис. 6-1. Проводка в лотках

1 — кабель (провод); 2 — дюбель; 3 — скоба; 4 — стойка кабельная; 5 — стена; 6 — лоток перфорированный; 7 — бандаж; 8 — полоса стальная; 9 — профиль z-образный монтажный

проводки в стальных трубах следует жестко ограничивать, до-
пуская ее лишь в случаях, когда иные виды проводки нецелесо-
образны, или недопустимы, например во взрывоопасных поме-
щениях классов В-I и В-II (см. § 7-12), или при необходимости
надежной защиты проводов от механических воздействий. В од-
ной трубе разрешается прокладка до 8 проводов групповых ли-
ний одного вида освещения; разрешена прокладка в одной трубе
также сетей напряжения до 42 В и до 380 В, если первые за-
ключены в отдельную изоляционную трубку. Ответвления при
трубных проводках выполняются в коробках. Крепление труб
производится скобками; их приварка к основаниям запрещается.
В особо тяжелых условиях среды для достижения наибольшей
надежности проводки не исключается прокладка в трубах ка-
белей АНРГ, АВРГ, АВВГ, что следует считать крайней мерой.

В цехах с ферменным покрытием наиболее рационально трас-
сировать проводку вдоль цеха, т. е. в виде перекидок между фер-
мами, так как в этом случае число креплений оказывается наи-
меньшим. Здесь сохраняет свое значение проводка на изоляторах,
выполняемая в зависимости от условий среды проводами АПР
или АПВ. Хотя этот род проводки и малоиндустриален, но в дан-
ных условиях его можно считать наиболее надежным. Более ин-
дустриальной, но несколько менее надежной, является проводка
проводом АРТ, в конструкцию которого входит несущий трос.
Изолирующих опор для этого не требуется; крепление провода
и натяжение троса осуществляется специальными коробками.
Область применения этого провода пока ограничивается его малым

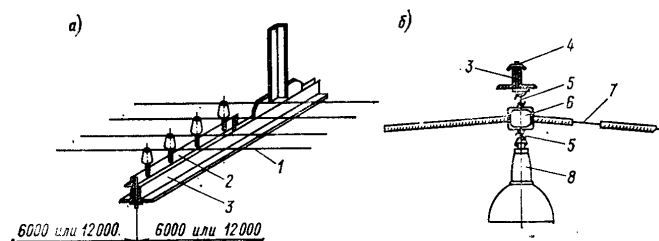


Рис. 6-2. Проводка поперек ферм проводами на изоляторах (а) и тросовым
проводом (б)

1 — провод АПР или АПВ; 2 — траверса с изоляторами; 3 — нижний пояс метал-
лической фермы; 4 — серьга; 5 — крюк; 6 — коробка тросовая; 7 — провод тросо-
вый АРТ; 8 — светильник

выпуском и отсутствием коробок в пыли- и водозащищенном ис-
полнении. Характерные узлы проводки поперек ферм представ-
лены на рис. 6-2.

Вполне современными и индустриальными являются тросовые
проводки, из числа разновидностей которых наиболее распро-
странены проводки, выполняемые кабелями или многожильными
проводками, прикрепленными к струне из проволоки-катанки
бандажными полосками. От уже упомянутой проводки по струне,
укрепленной к основанию, эти проводки отличаются тем, что
струна свободно натягивается между фермами, колоннами или
иными выступающими деталями. Основным достоинством этой
проводки является возможность заготовки больших секций в
условиях МЭЗ, откуда они доставляются на место монтажа в виде
бухт. В комплект секций могут входить не только провода или
кабели, но также ответвительные коробки и светильники. Узел
струнной проводки показан на рис. 6-3, а. При больших проле-
тах, на протяжении которых устанавливаются светильники, для
устранения нежелательной стрелы провеса применяется «цепная»
подвеска (рис. 6-3, б), состоящая из двух тросов или проволок,
соединенных поперечинами.

Наиболее индустриальной, хотя отнюдь не наиболее дешевой или эстетичной, является проводка, выполненная шинпроводами. Заводы Главэлектромонтажа выпускают трехфазные четырехпроводные шинпровода ШОС на токи до 25, 63 и 100 А [25]. В комплект шинпроводов входят детали для их подвески и соединения, а также контактные разъемные соединения для присоединения светильников. Шинпровода ШОС предназначены

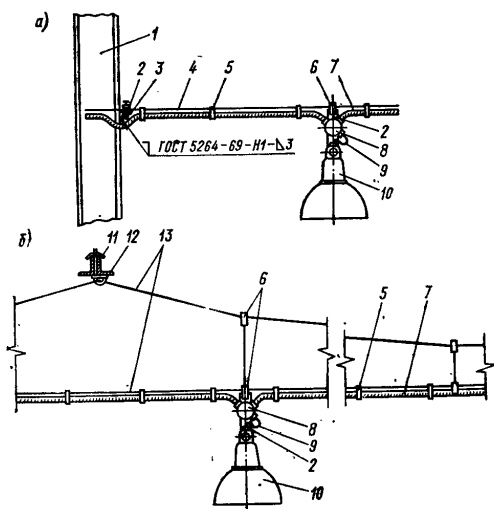


Рис. 6-3. Струнная проводка (а) и цепная подвеска струны (б)

1 — колонна; 2 — полоса перфорированная; 3 — уголок перфорированный; 4 — струна; 5 — бандаж; 6 — зажим; 7 — кабель; 8 — коробка ответвленная; 9 — провод в полиэтиленовой трубке (кабель); 10 — светильник; 11 — серьга; 12 — нижний пояс металлической фермы; 13 — трос

для помещений с нормативными условиями среды. Основным эксплуатационным преимуществом шинпроводов является «гибкость» выполненных ими сетей в том отношении, что можно по мере надобности переставлять, добавлять или снимать светильники. Интересно, что за рубежом выпускаются также шинпроводы для «бесштепсельного» присоединения светильников, которое осуществляется в любом месте по длине шинпровода. Эскиз проводки, выполненной шинпроводами ШОС, представлен на рис. 6-4.

В годы начала массового внедрения и строительства сборного железобетона имели место творческие искания и дискуссия в области способов выполнения скрытых электропроводок. Предлагались, в частности, такие решения, как выполне-

ние проводок в стеклянных трубках, использование в качестве проводников стальной арматуры железобетона, снабженной необходимой изоляцией и т. п.

Наиболее дискуссионным был вопрос о допустимости проводки с несменяемыми проводами, т. е. наглухо заделанными в борозды, слой штукатурки, по плитам перекрытий под слоем цементного раствора или даже замоноличенными в плиты при их изготовлении на заводе. Эксплуатационные недостатки несменяемой проводки очевидны, однако при современной конструкции зданий и технологии строительного-монтажных работ такие проводки неизбежны и их приходится допускать при невозможности выполнить проводку со сменяемыми проводами.

При устройстве скрытой проводки решаются два взаимно связанных вопроса: место прокладки и способ выполнения проводки.

Скрытая сменяемая и несменяемая проводка может выполняться:

в каналах и пустотах строительных конструкций, имеющих или специально предусмотренных для этой цели;

в зазорах между железобетонными плитами, с последующей заделкой их алебастровым раствором;

в слое или под слоем мокрой штукатурки;

в толще строительных конструкций, с заделкой в них проводов при изготовлении этих конструкций;

в заштукатуриваемых бороздах в строительных конструкциях, покрываемых сухой или мокрой штукатуркой или подвергающихся затирке;

поверх несгораемых плит перекрытий, под чистым полом следующего этажа, в трубах или без труб.

При прокладке по горючим основаниям должны применяться дополнительные меры пожарной безопасности путем прокладки под проводами листового асбеста или устройства намета штукатурки.

Преимущественное применение для скрытой проводки имеют плоские провода АППВС (с возможностью замены на АППВ или АПВ), которые, однако, запрещены для проводок в помещениях взрывоопасных, особоопасных, на сценах и в зрительных залах зрелищных предприятий.

Скрытая проводка со сменяемыми проводами, при отсутствии каналов или пустот, должна выполняться в трубах или коробах. Преимущественное применение имеют полиэтиленовые, полипропиленовые и винилпластовые трубы, которые, однако, запрещены в пожаро- и взрывоопасных помещениях и в некоторых других случаях, предусмотренных СНиП III-33-76, табл. 17 [26].

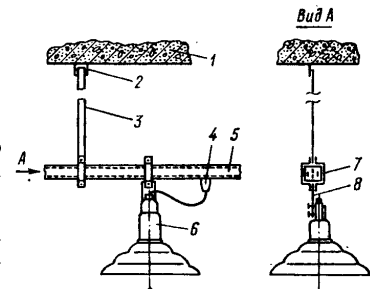


Рис. 6-4. Прокладка осветительного шинпровода

1 — перекрытие; 2 — закладная деталь; 3 — подвес; 4 — штепсель со шурупом; 5 — шинпровод; 6 — светильник; 7 — хомут; 8 — полоса перфорированная

При невозможности использования иных труб и в наиболее ответственных случаях допускается проводка в стальных трубах. В пластмассовых трубах могут прокладываться провода АППВС, АПВ, АПР, АППВ, в стальных трубах — АПВ и АПРТО.

К области скрытых проводок могут быть отнесены также проводки, замонтированные в полах производственных зданий, и проводки, выполняемые в полостях над подвесными, подшивными или винилпластовыми потолками.

Первые распространены в пролетных зданиях, когда надо пересечь пролет, не поднимаясь на уровень ферм, или выполнить проводку к контактному разъёмным соединениям вдоль стен или ряда колонн, не устраивая длинных спусков. При отсутствии по трассе кабельных каналов эта проводка выполняется в стальных или винилпластовых трубах.

Подвесные и подшивные потолки часто предусматриваются не только в административно-бытовых и общественных зданиях, но и в производственных цехах. Если эти потолки выполнены из негорючих материалов, то проводка над ними может выполняться проводами в винилпластовых трубах. Над потолками из горючих материалов проводка должна выполняться в стальных трубах.

В общественных зданиях, особенно в гостиницах, в последние годы начато внедрение интересной и перспективной плинтусной проводки. Обычные плинтусы заменяются специальными электротехническими, которые должны быть выполнены из негорючих изоляционных материалов. Отдельные полости этих плинтусов предназначаются для размещения осветительной проводки и слаботоочных линий (радио, телефон и т. д.).

Линии аварийного освещения внутри зданий обычно прокладываются от линий рабочего освещения. Допускается, однако, прокладка их по внешней поверхности корпусов шинопроводов рабочего освещения, по общим тросам или струнам с линиями рабочего освещения, но при расстоянии от последних, в свету, не менее 20 мм, а также совместно с проводами рабочего освещения, но при невозможности соприкосновения с ними, в коробах для подвески люминесцентных светильников и в специальных полостях последних, предназначенных для прокладки проводов.

Питающие сети вне зданий преимущественно выполняются кабелями в траншеях или кабельных сооружениях. Только для питания небольших, разбросанных по территории зданий, например для ремонтных баз, жилых домов дачного типа, сельскохозяйственных объектов и т. д., применяются воздушные линии, выполняемые голыми алюминиевыми проводами на изоляторах по опорам. Отдельные участки сетей наружного освещения прокладываются по зданиям и выполняются преимущественно кабелем АНРГ, в основном же сети наружного освещения выполняются либо голыми алюминиевыми проводами, либо кабелями в траншеях. Первый способ проводки предпочтителен как более экономичный, но имеется тенденция к более широкому применению кабельных сетей, так как при современном развитии средств механизации воздушные линии нередко повреждаются стрелами погрузочных устройств.

6-2. ВЫБОР СЕЧЕНИЯ ПРОВОДНИКОВ ПО ТОКУ НАГРУЗКИ И ЗАЩИТА ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Каждый участок осветительной сети характеризуется определенным значением передаваемой по нему мощности и, соответственно, определенным значением тока нагрузки.

Расчетная мощность определяется как установленная мощность, умноженная на коэффициент спроса, учитывающий, что даже в часы максимума нагрузки (к которым должны относиться все расчеты) могут работать не все лампы. Для линий аварийного и наружного освещения, а также для всех линий групповой сети коэффициент спроса принимается равным единице, а для линий питающей сети — в пределах 0,8—1,0. В принципе коэффициент спроса тем меньше, чем больше здание и чем из большего числа отдельных помещений оно состоит.

В свою очередь установленная мощность определяется как сумма мощностей всех ламп, питаемых непосредственно от сети основного напряжения, и номинальных мощностей трансформаторов 12—36 В. Дополнительно учитываются потери в ПРА газоразрядных ламп: около 10% от мощности ламп ДРЛ и ДРИ, около 20% от мощности люминесцентных ламп, включенных по стартерным схемам, и около 30% для тех же ламп при бесстартерных схемах.

Для административно-бытовых, инженерно-лабораторных и т. п. корпусов дополнительно учитывается также мощность, потребляемая через контактные разъёмные соединения, из расчета 40 Вт на каждое.

Если расчетный максимум нагрузки равен P (в киловаттах), то ток в фазовых проводах определяется по следующим формулам: для трехфазных линий

$$I = \frac{1000P}{3U_{\phi} \cos \varphi} \approx 1,5 \frac{P}{\cos \varphi};$$

для двухфазных линий с нулевым проводом

$$I = \frac{1000P}{2U_{\phi} \cos \varphi} \approx 2,3 \frac{P}{\cos \varphi}.$$

для однофазных линий

$$I = \frac{1000P}{U \cos \varphi} \approx 4,5 \frac{P}{\cos \varphi}.$$

Во второй формуле коэффициенты даны для системы 380/220 В. Проходя по проводникам, ток их нагревает, поэтому основное требование к выбору сечений проводов — это ограничение их температуры значениями, обеспечивающими пожарную безопасность и длительную сохранность изоляции. Для проводов и кабелей с резиновой или пластмассовой изоляцией эта температура составляет 65 °С.

Таблицы допустимых токовых нагрузок проводов и кабелей приводятся в ПУЭ и справочниках, например в [27]. В табл. 6-1 приводятся токовые нагрузки для некоторых марок кабельных изделий с алюминиевыми жилами.

Таблица 6-1

Сечение провода, мм ²	Значение длительно допустимого тока, А, для провода или кабеля (способ прокладки)					
	АПРТО и АПВ (в трубах)		АНРГ, АВРГ, АВВГ, АПРФ (по основанию)		бронированного кабеля с бумажной изоляцией (в земле)	голого провода (вне помещений)
	при числе жил или числе проводов в трубах, равных					
	2	4	2	4	4	1
2,5	20	19	21	17	—	—
4	28	23	29	24	38	—
6	36	30	38	29	46	—
10	50	39	55	38	65	—
16	60	55	70	54	90	105
25	85	70	90	68	115	135
35	100	85	105	81	135	170
50	140	120	135	100	165	215
70	175	140	165	126	200	265
95	215	175	200	153	240	320
120	245	200	230	190	270	375

При составлении таблиц учитываются многие факторы, определяющие установившуюся температуру проводников: условия среды, способ прокладки, число жил и т. п. В некоторых случаях к табличным данным вводятся поправочные коэффициенты, например если температура воздуха или земли отличается от изложенной в таблице.

Принципиальное значение имеет тот факт, что допустимый ток возрастает медленнее, чем увеличивается сечение проводников. Это происходит потому, что если бы при увеличении сечения плотность тока оставалась неизменной, то тепловыделения возрастали бы пропорционально квадрату диаметра проводника, а поверхность охлаждения — пропорционально первой степени диаметра, что повело бы к увеличению температуры нагрева. При очень больших токах нагрузки может оказаться целесообразным «расщепление» кабелей, т. е. замена одного кабеля двумя или тремя, соединенными параллельно, в сумме имеющими меньшее сечение.

Важнейшим способом обеспечить надежную работу сетей является их защита. В качестве аппаратов защиты применяются:

1. Плавкие предохранители, пробочные или трубчатые, в которых при нагрузке, превышающей определенное значение, перегорает плавкая вставка, отключая защищаемую линию.

2. Автоматические выключатели (автоматы) с тепловыми расцепителями, при которых тот же результат достигается воздействием теплового реле на отключающее устройство.

3. Автоматы с электромагнитными расцепителями, которые при недопустимом токе производят мгновенное отключение линии (отсечка).

4. Автоматы с комбинированными расцепителями, имеющими и тепловое реле и электромагнитную отсечку.

Автоматы имеют ряд существенных преимуществ перед предохранителями, поэтому и получили широкое распространение. Они удобно компонуются в щитки, безопасны в обслуживании, совмещают в одном аппарате функции защиты и управления, действуют многократно, тогда как в предохранителях сгоревшая плавкая вставка должна заменяться новой, и т. д.

Рабочей характеристикой аппаратов защиты является время-токовая характеристика, пример которой приведен на рис. 6-5. Пример относится к комбинированному расцепителю, но левая часть кривой характерна и для предохранителей, и для тепловой защиты, т. е. для аппаратов, которые имеют обратозависимую от тока характеристику.

Ток, несколько превышающий номинальный, аппарат выдерживает неограниченно длительное время; с увеличением кратности перегрузки уменьшается время срабатывания защиты, которое может стать весьма малым; отсечка срабатывает практически мгновенно. Аппараты защиты одного типа имеют некоторый разброс характеристик, соответствующий площади, заштрихованной на рисунке.

Для автоматов с комбинированными расцепителями номинальным является ток теплового расцепителя, отсечка же рассчитана на 6—10-кратный ток. Это соответствует режиму работы силовых сетей: при кратковременных пусковых токах не срабатывает ни один вид защиты, при коротких замыканиях срабатывает отсечка, при длительных перегрузках — тепловая защита.

В групповых осветительных сетях применяются, как правило, автоматы, имеющие только тепловые расцепители, в питающих сетях — автоматы с комбинированными расцепителями.

Номинальные токи аппаратов защиты следует, по возможности, выбирать наименьшими по расчетным токам соответствующих участков сети, но вместе с тем они не должны срабатывать при случайных пиках нагрузки. В осветительных сетях такие пики создаются из-за наличия у источников света пусковых токов, которые, в частности у ламп накаливания, обусловлены тем, что сопротивление вольфрамовой нити в холодном состоянии примерно в 15 раз меньше, чем в нагретом. При включении ламп накаливания пик тока достигает 15-кратного рабочего тока, но уже примерно после 0,06 с уменьшается до значения последнего. За это время не срабатывает тепловая защита и не успевают сгореть плавкие вставки, и учитывать пусковые токи приходится только при некоторых типах комбинированных расцепителей, чтобы избежать срабатывания отсечки.

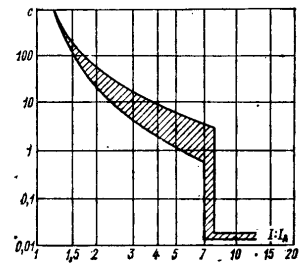


Рис. 6-5. Время-токовая характеристика аппарата защиты

Пусковые токи люминесцентных ламп очень невелики и кратковременны, так что могут не учитываться во всех случаях. Наиболее неблагоприятны в этом отношении лампы ДРЛ и ДРИ. Кратность их пусковых токов невелика — около 1,6, но стабилизация тока происходит примерно за 250 с. Отсечка при этом не срабатывает, но в ряде случаев приходится завышать на 20—40% номинальные токи тепловой защиты и плавких вставок.

При установке автоматов с тепловыми расцепителями в закрытых шкафах или ящиках следует считать, что их номинальный ток снижается на 10%.

На пути тока от трансформатора до источников света всегда оказывается несколько аппаратов защиты. Естественно требование, чтобы при перегрузках или коротких замыканиях срабатывал аппарат «виновного» звена сети, но не вышших звеньев, т. е. чтобы была обеспечена селективность (избирательность) защиты. Для этого номинальный ток каждого аппарата должен быть на две ступени (как минимум — на одну ступень) выше, чем аппарата следующего, низшего участка сети.

Аппараты защиты, как указано в § 5-2 и 5-3, должны устанавливаться на линиях, отходящих от щитов, щитков и других распределительных устройств, в местах присоединения осветительной сети к силовым магистралям, на вводах в здания при питании от отдельно стоящих подстанций или подстанций, не обслуживаемых персоналом потребителя, со стороны высшего и низшего напряжения трансформаторов 12—36 В (со стороны высшего напряжения аппараты могут не устанавливаться при питании отдельной группой не более трех трансформаторов), а также в местах, где происходит изменение сечения линии.

В последнем случае допускается не устанавливать аппаратов защиты, если проводник уменьшенного сечения защищается аппаратами предыдущего участка или если уменьшенное сечение проводника составляет не менее половины сечения проводника защищенного участка. Кроме того, в ответвлениях и разветвлениях групповой сети, защищенной на ток до 63 А, проводники с уменьшенными сечениями могут не защищаться при длине до 3 м — во всех случаях и без ограничения длины — при проводнике в стальных трубах.

Допускается относить аппараты защиты от места присоединения или ответвления на расстояние 3 м, а при ответвлениях в труднодоступных местах — до 30 м, причем остающиеся незащищенными участки должны выполняться кабелями с негорючей оболочкой или проводами в стальных трубах, а при длине более 3 м должны иметь пропускную способность не менее 10% пропускной способности магистрали.

Аппараты защиты должны устанавливаться во всех фазах (полюсах), на нулевых же проводах они устанавливаются только в двухпроводных линиях взрывоопасных помещений класса В-I.

От токов короткого замыкания, безусловно, должны быть защищены все сети. Обычно этим одновременно достигается и защита от значительных и длительных перегрузок, но специальные требования в отношении защиты от перегрузок, нередко ведущие к увеличению сечения проводов, предъявляются только в случаях повышенной пожарной опасности или большой вероятности перегрузок. Для сетей освещения защита от перегрузки требуется в следующих случаях:

а) во всех помещениях, если сети выполнены открыто проложенными незащищенными изолированными проводниками с горючей изоляцией;

б) при любом способе проводки — в жилых и общественных зданиях, торговых помещениях, служебно-бытовых помещениях предприятий, в пожаро- и взрывоопасных помещениях.

Защита от токов короткого замыкания должна обеспечивать отключение линий при коротком замыкании в их конце. Для этого при замыкании фазового провода на корпус или на нулевой провод ток должен превышать номинальный ток аппарата защиты:

в 3 раза — в невзрывоопасных помещениях и установках при защите предохранителями и автоматами с тепловыми и комбинированными расцепителями;

в 4 раза — во взрывоопасных помещениях и установках при защите предохранителями;

в 6 раз — во взрывоопасных помещениях и установках при защите автоматике с тепловыми и комбинированными расцепителями;

в 1,25—1,4 раза — при автоматах, имеющих только электромагнитную отсечку.

ПУЭ разрешают не производить расчетной проверки кратности тока короткого замыкания, если по отношению к допустимым токовым нагрузкам на проводники аппараты защиты имеют кратность не менее чем 3 — при плавких предохранителях, 1,0 — при тепловых расцепителях и 4,5 — при электромагнитной отсечке.

Необходимо отметить, что автоматы только с электромагнитной отсечкой в осветительных сетях применять не рекомендуется и практически они для защиты в этих сетях не используются.

В сетях, защищаемых от перегрузки, соотношение между допустимым током нагрузки проводников и током аппаратов защиты должно быть не менее 0,8—1,25 в зависимости от рода проводки и характера помещения.

Так как ток аппаратов защиты должен быть не менее расчетного тока линии, а с учетом отстройки от кратковременных перегрузок и требований селективности может оказаться и больше, чем ток нагрузки, перечисленные требования часто могут быть реализованы только путем увеличения сечения проводов, преимущественно нулевых, когда необходимо увеличивать ток короткого замыкания, и фазовых — в остальных случаях.

Пусть четырехжильный кабель АНРГ питает нагрузку 25 кВт при $\cos \varphi = 1$. Ток составляет 37 А, и по этому току может быть выбрано сечение 10 мм² с про-

пускной способностью 38 А. Аппарат защиты выбираем на 40 А. Если кабель проложен в производственном не пожаро- или взрывоопасном помещении, то требуется защита только от тока короткого замыкания. Так как отношение пропускной способности провода к току аппарата защиты равно почти единице, то расчетной проверки не требуется при любом типе аппарата защиты. Если кабель проложен в пожароопасном производственном помещении, то защита от перегрузки требуется, но при всех типах аппаратов защиты ПУЭ требуют, чтобы отношение пропускной способности провода к току аппарата защиты было не меньше единицы, и увеличения сечения также не требуется. Если же кабель проложен в общественном здании и защищен плавким предохранителем, то указавшее отношение должно быть не менее 1,25 и сечение должно быть увеличено до 16 мм².

6-3. РАСЧЕТ СЕТЕЙ ПО ПОТЕРЕ НАПРЯЖЕНИЯ

Одной из важнейших задач при устройстве осветительных сетей является обеспечение у ламп необходимого уровня напряжения, установленного нормативными документами (§ 5-1), поскольку это зависит от сечений проводников сети.

Напряжение в начальной точке сети, т. е. на выводах трансформаторов, не является определенной, постоянной величиной. Оно зависит от всех особенностей устройства сети высокого напряжения и от нагрузки, изменяющейся во времени и не поддающейся точному прогнозированию. В этих условиях единственная практическая возможность, общепринятая и закрепленная нормами, — это принятие фактического напряжения холостого хода трансформаторов равным номинальному, т. е. в системе 380/220 В равным 231 В между фазовыми и нулевыми проводниками, что соответствует 105% номинального значения напряжения ламп. В трансформаторе при нагрузке имеет место потеря напряжения ΔU_{τ} , зависящая от его мощности, степени загрузки и коэффициента мощности. Очевидно, если у ламп должно быть обеспечено напряжение не ниже U_n , то потеря напряжения в сети не должна превышать

$$\Delta U_c = U_{x,x} - U_n - \Delta U_{\tau},$$

где все значения выражены в процентах. Определенные по этой формуле значения ΔU_c приводятся в справочниках [27] и, если считать U_n равным 97,5%, чаще всего лежат в пределах 4—6%. В случаях когда у ламп допускается или принимается напряжение менее 97,5% номинального, значения ΔU_c соответственно увеличиваются. В менее ответственных сетях напряжения до 42 В допускается потеря напряжения от выводов трансформатора до наиболее электрически удаленной лампы до 10%.

Следует различать в линиях осветительной сети понятия падение и потеря напряжения. Падение — это разность потенциалов между двумя точками одного из проводников, которую можно измерить вольтметром и на векторной диаграмме изображаемая отрезком определенного направления, потеря — это численное уменьшение напряжения между двумя проводниками на протяжении определенного участка сети. Потеря напряжения определяется проекцией вектора падения напряжения на направление вектора напряжения данной фазы и в зависимости от направления обоих векторов может иметь не только положительное, но и отрицательное значение (в последнем случае напряжение у приемников возрастает за счет потери напряжения в сети).

Рассмотрим основные случаи определения потери напряжения (при выводе формул сделаны некоторые допущения, практически несущественные).

Пусть к концу однофазной двухпроводной линии приложена нагрузка, определяемая значениями I и $\cos \rho$. Длина линии (в один конец) L (в метрах), ее сопротивление (в омах), отнесенное к одному метру длины провода, r — активное, x — реактивное.

Обратимся к рис. 6-6. Вектор 01 изображает напряжение в начале линии; вектор 23 , длина которого составляет $2LrI$ и который направлен параллельно вектору тока I , есть падение напряжения в активном сопротивлении; вектор 12 , длиной $2LxI$, направленный перпендикулярно вектору тока, есть падение напряжения в реактивном сопротивлении. Геометрическая сумма обоих векторов, т. е. вектор 13 представляет собой полное падение напряжения, проекция которого на направление вектора напряжения 14 есть потеря напряжения, в результате которой к приемнику подводится напряжение, представляемое отрезком 04 . Нетрудно видеть, раздельно находя проекции отрезков 12 и 23 , что потеря напряжения равна $2IL(r \cos \varphi + x \sin \rho)$. Относя это значение к сетевому напряжению U (в процентах), получаем

$$\Delta U = \frac{200IL(r \cos \varphi + x \sin \rho)}{U}. \quad (6-1)$$

В трехфазных линиях с равномерной нагрузкой фаз по нулевому проводу ток не протекает (токи высших гармоник, имеющиеся в сетях с газоразрядными лампами, не вызывает потери напряжения) и поэтому для каждой из фаз

$$\Delta U = \frac{100IL(r \cos \varphi + x \sin \rho)}{U_{\phi}}. \quad (6-2)$$

Во многих случаях коэффициент мощности в сетях освещения достаточно высок, а значение x мало по сравнению с r , так как сечения проводников сравнительно невелики, а линии выполняются кабелями, сложными проводами или проводами в трубах, индуктивность же тем больше, чем больше расстояние между проводами линии. В результате часто оказывается возможным пренебречь вторым из заключенных в скобки слагаемым выражений (6-1) и (6-2). Тогда, заменяя величину r ее выражением через удельную проводимость γ (в омах на метр), а значение тока выражая через мощность P (в киловаттах), получим более удобные выражения:

$$\Delta U = \frac{2 \cdot 10^{11} PL}{U^2 \gamma \rho}; \quad (6-3)$$

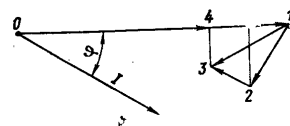


Рис. 6-6. Определение потери напряжения

для трехфазных линий

$$\Delta U = \frac{10^{11} PL}{3U_{\phi}^2 \eta q}. \quad (6-4)$$

Произведение PL , выражаемое в киловатт-метрах, называется моментом нагрузки и обозначается M . Остальные величины, входящие в формулы, кроме сечения q (в квадратных миллиметрах), обозначим как $1 : C$, в результате чего формулы можно заменить общим для всех случаев выражением

$$\Delta U = M : Cq. \quad (6-5)$$

Значение коэффициента C зависит от напряжения сети, числа фаз в линии и рода проводникового материала. Для алюминиевых проводников значение C составляет: 44 — для трехфазных линий 380/220 В; 19,5 — для линий из двух фазовых и нулевого проводника системы 380/220 В; 7,4 — для однофазных линий 220 В; 0,198 — для однофазных линий 12 В.

Пусть в трехфазной линии, выполненной кабелем с алюминиевыми жилами, имеющей длину 120 м и питающей щиток с нагрузкой 18 кВт, может быть допущена потеря напряжения 1,4%. Решая формулу (6-5) относительно q , находим

$$q = \frac{120 \cdot 18}{44 \cdot 1,4} = 35 \text{ мм}^2.$$

Для упрощения расчетов по выражению (6-5) используются таблицы моментов (табл. 6-2), в которых для различных сочетаний q и ΔU приводятся значения M . Таким образом, таблицы позволяют по двум любым из этих величин найти третью.

Так, для выполненного примера при $\Delta U = 1,4\%$ находим значение момента 2156 кВт·м как ближайшего к фактическому значению 2160 кВт·м и соответствующее ему сечение 35 мм².

Для линий с несколькими нагрузками общий момент определяется или как сумма моментов отдельных нагрузок (значение каждой нагрузки умножается на ее расстояние от начала линии), или, чаще, как сумма нагрузочных моментов отдельных участков (длина каждого участка умножается на мощность, передаваемую по этому участку).

Показанная на рис. 6-7 четырехпроводная линия 380/220 В имеет алюминиевые проводники и питает щитки № 1 и № 2. Потеря напряжения до щитка № 2 не должна превышать 2,2%.

Момент нагрузки первого участка составляет 140 (17 + 10) = 3780 кВт·м, второго — 60 · 10 = 600 кВт·м, суммарный момент равен 4380 кВт·м. По табл. 6-2 ближайшее большее сечение составляет 50 мм². Можно, однако, принять это сечение только до щитка № 1, и при моменте нагрузки, равном 3780 кВт·м,



Рис. 6-7. Пример расчета питающей сети на потерю напряжения

Таблица 6-2

$\Delta U, \%$	Трехфазные линии 380/220 В										Однофазные линии 220 В															
	Значение моментов нагрузки, кВт·м, в зависимости от сечения, мм ² , проводников с алюминиевыми жилами																									
	6	10	16	25	35	50	75	100	150	200	4	6	10	16	25	35	50	75	100	150						
0,2	53	88	141	220	308	440	660	924	1232	1760	2200	2640	3080	3520	3960	4400	4840	5280	5720	6160	6600	7040	7480	7920	8360	8800
0,4	106	176	282	440	616	880	1320	1848	2556	3344	4400	5984	8080	10784	14320	18800	25280	33760	45280	60800	81280	107840	143200	188000	252800	337600
0,6	158	264	422	660	924	1320	1980	2772	3780	5040	6720	8960	11920	15680	20720	27520	36320	48320	63680	84640	112640	150560	199520	260480	344320	452800
0,8	211	352	563	880	1232	1760	2556	3564	4840	6368	8464	11264	15056	19952	26048	34432	45280	59840	78560	102880	135040	176960	229760	300480	392320	508800
1,0	264	440	704	1100	1540	2200	3080	4184	5584	7392	9840	13040	17280	22720	30080	39920	52480	68960	90560	118560	156480	206080	270080	351680	455040	595200
1,2	317	528	845	1320	1848	2640	3632	4840	6368	8464	11264	14960	19760	25920	34432	45280	59840	78560	102880	135040	176960	229760	300480	392320	508800	660800
1,4	370	616	986	1540	2156	3080	4184	5584	7392	9840	13040	17280	22720	30080	39920	52480	68960	90560	118560	156480	206080	270080	351680	455040	595200	771200
1,6	422	704	1126	1760	2464	3360	4560	6080	8080	10784	14320	18800	25280	33760	44000	57920	76640	100480	131680	172320	225440	293120	378560	486080	628800	819200
1,8	475	792	1267	1980	2772	3780	5040	6720	8960	11920	15680	20720	27520	36320	47520	62080	81760	107680	141920	186560	243680	316320	408640	524960	670400	860800
2,0	528	880	1408	2200	3080	4400	5984	8080	10784	14320	18800	25280	33760	44000	57920	76640	100480	131680	172320	225440	293120	378560	486080	628800	819200	1059200
2,2	581	968	1549	2420	3388	4840	6560	8800	11840	15840	21120	28160	37120	48320	62880	82720	108960	143680	188960	247040	320320	414560	533760	684160	881600	1137600
2,4	634	1056	1690	2640	3632	5040	6880	9280	12480	16720	22240	29600	39040	50720	65920	87040	114240	150560	197920	258400	335040	433760	558080	713440	913600	1175200
2,6	686	1144	1830	2860	3960	5440	7440	10000	13440	18080	24160	31840	41760	54080	70080	91040	118080	155360	204960	268960	350560	452960	580320	737760	948160	1222400
2,8	739	1232	1971	3080	4312	5920	8080	10880	14720	19760	26240	34400	44800	58080	75040	97600	126880	166960	219040	286080	371680	477760	608320	767680	984160	1268800
3,0	792	1320	2112	3300	4620	6320	8720	11760	16000	21280	28320	37120	48320	62080	80320	104320	136000	178400	234560	306080	396640	508320	644160	819200	1059200	1368000
3,2	845	1408	2253	3520	4928	6720	9280	12560	17120	22720	30240	39680	51360	66080	85920	111840	145760	191840	252320	328320	424320	544320	691680	881600	1128000	1452800
3,4	898	1496	2394	3740	5236	7120	9840	13360	18240	24320	32000	41760	53920	69440	90880	118400	155040	204640	269120	350560	451040	574560	725120	919200	1175200	1515200
3,6	950	1584	2534	3960	5544	7520	10320	13920	19040	25440	33440	43680	56320	72640	94880	124000	163840	217440	286080	371680	476320	596320	747840	948160	1214400	1572800
3,8	1003	1672	2675	4180	5852	7960	10880	14640	20000	26720	35120	45760	58880	76080	99360	129760	171360	228000	299520	390080	500640	627040	783680	992320	1260800	1638400
4,0	1056	1760	2816	4400	6160	8240	11200	15040	20480	27520	36320	47360	60800	79040	103360	134880	178560	238400	313760	408320	524320	657760	814720	1028800	1304000	1683200

найти, что потеря напряжения до этого щитка составит 1,7%, а линию до щитка № 2 рассчитать на оставшиеся 0,5%. При моменте нагрузки этого участка, равном 600 кВт·м, необходимое сечение составляет 25 мм².

Разветвленные сети рассчитываются аналогично изложенному. Так, если бы в точке присоединения щитка № 1 (рис. 6-7), ответвлялась линия к щитку № 3, то его нагрузка должна была бы быть учтена в значении момента нагрузки первого участка линии, само же ответвление должно быть рассчитано на полную располагаемую потерю напряжения за вычетом потери до начала ответвления.

С разветвленными сетями особенно часто приходится встречаться при расчете групповых линий, для которых сечение проводов обычно принимается неизменным в пределах каждой группы. В этих случаях бывает достаточно оценить на глаз, какая лампа является электрически наиболее удаленной, определить моменты нагрузки только по пути тока к этой лампе и по ним выбрать сечение проводов.

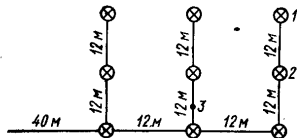


Рис. 6-8. Расчет групповой сети на потерю напряжения

На рис. 6-8 представлена схема подобной двухпроводной группы 220 В, выполненной алюминиевыми проводами. Мощность каждой лампы 200 Вт, допустимая потеря напряжения 2,4%.

Находим сумму моментов нагрузки по пути тока до наиболее удаленной лампы 1:

$$M = 40(0,6 + 0,6 + 0,6) + 12(0,6 + 0,6) + 24 \cdot 0,6 = 101 \text{ кВт}\cdot\text{м}.$$

По табл. 6-2 находим соответствующее этому значению момента нагрузки сечение проводника — 6 мм².

В последнем слагаемом использован упрощенный прием определения момента: в месте нахождения лампы 2 явно находится центр нагрузки для трех последних ламп и мощность умножена на расстояние до этого центра. При некотором навыке нетрудно определить положение центра нагрузки и для всей группы — в данном случае это будет точка 3, и свести операцию нахождения момента нагрузки к одному умножению (в данном случае $1,8 \times 56 = 101$).

Если отдельные участки сети могут быть выполнены проводниками разного сечения (питающие сети, комплекс питающих и групповых сетей), то возникает задача наиболее экономичного распределения потерь напряжения ΔU между отдельными звеньями сети. Так, уже в простейшем случае, когда питающая линия обслуживает один щиток, при большом значении ΔU в этой линии ее сечение будет малым, но групповая сеть получится тяжелой, и, наоборот, питающая линия большого сечения позволит иметь легкую групповую сеть.

Не приводя вывода, довольно громоздкого, укажем приближенный способ расчета сетей, обеспечивающий минимальную суммарную затрату проводникового металла.

Для каждого участка сети отдельно определяются моменты нагрузки, которые обозначаются M — для участков питающей сети и m — для линий групповой сети. Каждый участок рассчитывается по суммарному моменту его и всех последующих по направлению тока участков и исходя из полной допустимой потери напряжения ΔU . Моменты нагрузки одно-, двух- и трехфазных линий нельзя учитывать на равных основаниях, так как электрически эти линии неравноценны. Принимая за основные трехфазные линии, мы должны моменты остальных линий учесть с повышающим коэффициентом α , численно равным корню квадратному из отношения массы проводникового металла в этих линиях к массе металла в трехфазных линиях, при равенстве нагрузок, длин и потерь напряжения.

Таким образом, каждый участок линии рассчитывается по моменту

$$M = \sum M + \sum \alpha m \quad (6-6)$$

и по потере напряжения, распределенной от начала данного участка до конца сети. Приближенность способа отчасти компенсируется тем, что для первого участка сети сечение выбирается с некоторым завышением. При расчете переходят от участка к участку, последовательно отбрасывая моменты нагрузок пройденных участков и потерю напряжения на этих участках.

Методика расчета поясняется примером расчета сети, схема которой представлена на рис. 6-9; проводники алюминиевые, система 380/220 В, группы однофазные, полная распределенная потеря напряжения 4%. Для упрощения все группы приняты одинаковыми, имеющими, условно, сосредоточенную нагрузку по 2 кВт. Коэффициент приведения моментов нагрузки α при трехфазной питающей сети и однофазных группах равен 1,85 (при трехфазных группах, естественно, $\alpha = 1,0$).

Полный приведенный момент нагрузки для расчета начального участка

$$M = 120 \cdot 12 + 1,85 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 20 + 90 \cdot 6 + 1,85 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 20 = 2424 \text{ кВт}\cdot\text{м}.$$

Исходя из этого значения, при потере напряжения $\Delta U = 4\%$ по табл. 6-1 выбираем сечение начального участка, которое составляет 16 мм². При таком сечении и фактическом моменте нагрузки, равном 1440 кВт·м, потеря напряжения на участке составляет 2%.

Группы щитка № 1 рассчитываем как двухпроводные с учетом того, что момент нагрузки равен 40 кВт·м и потери напряжения $\Delta U = 4 - 2 = 2\%$; сечение проводников оказывается равным 2,5 мм².

Второй участок питающей линии рассчитываем, исходя из значений $\Delta U = 2\%$ и момента нагрузки $2424 - 1440 = 222 = 762$ кВт·м; сечение проводников принимается равным 10 мм². Потеря напряжения при фактическом моменте нагрузки 540 кВт·м составляет 1,2%. Для групп щитка № 2 остается значение $\Delta U = 4 - 2 - 1,2 = 0,8\%$; сечение проводников составляет 6 мм².

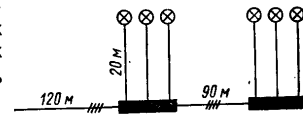


Рис. 6-9. Расчет питающей и групповой сети на минимум проводникового металла

Выше было указано, что пренебрежение реактивным сопротивлением линий возможно во многих, но не во всех случаях. Инструкция СН 357-77 [5] требует учета этого сопротивления в следующих случаях:

а) при $\cos \varphi \approx 0,9$ (газоразрядные лампы с компенсацией реактивной мощности) — при проводке кабелями, проводами в трубах, или многожильными проводами начиная от сечения 95 (150) мм², а при проводке на изолирующих опорах — начиная от сечения 25 (35) мм²;

б) при $\cos \varphi = 0,5 \div 0,6$ (газоразрядные лампы без компенсации) — при тех же способах проводки — начиная от сечения 25 (35) мм² или 10 (16) мм².

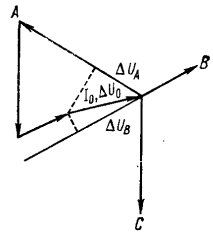


Рис. 6-10. Потери напряжения в нулевом проводе

В скобках указаны сечения алюминиевых жил, вне скобок — медных. В этих случаях точный расчет производится по формуле (6-2), но для целей практики допустимо вести расчет как обычно, по таблицам моментов нагрузки, умножая моменты участков сети на поправочные коэффициенты, значения которых приводятся в справочниках.

В тех случаях когда трехфазные сети нагружены неравномерно или когда к двух- или трехфазным линиям групповой сети присоединены рассредоточенные однофазные нагрузки по всему

нулевому проводу или по его отдельным участкам протекают токи, вызывающие дополнительную потерю напряжения. Как известно, сумма токов во всех проводах четырехпроводной линии равна нулю.

Построив векторную диаграмму, мы видим (рис. 6-10), что ток в нулевом проводе изображается замыкающей многоугольника токов.

Чтобы не усложнять изложение, будем считать сопротивление нагрузки и сети чисто активными. В этом случае векторы на рисунке можно считать равным образом изображающими напряжения и потери напряжения. Вектор падения напряжения в нулевом проводе, проектируясь на направление фазы *A*, дает уменьшение напряжения, т. е. положительную потерю напряжения, а проектируясь на направление фазы *B* дает повышение напряжения, т. е. отрицательную потерю напряжения. Для практических расчетов удобнее определять падение напряжения в нулевом проводе отдельно от тока каждой фазы. Соответствующий вектор, проектируясь на направление данной фазы, даст положительную потерю напряжения, равновеликую падению напряжения, а проектируясь на направление каждой из других фаз, даст отрицательную, потерю, вдвое меньшую, чем падение, так как $\cos 120^\circ = -0,5$.

Таким образом, результирующая потеря напряжения в нулевом проводе для нагрузок фазы *A*

$$\Delta U = \Delta U_A - 0,5(\Delta U_B + \Delta U_C),$$

где $\Delta U_A, \Delta U_B, \Delta U_C$ — падения напряжения в нулевом проводе от токов соответствующих фаз.

Отсюда, а также учитывая формулу (6-5), приходим к следующей формуле:

$$\Delta U_A = \frac{M_A}{2C_2q_A} + \frac{M_A - 0,5(M_B + M_C)}{2C_2q_0}, \quad (6-7)$$

где M_A, M_B, M_C — нагрузочные моменты соответствующих фаз; q_A, q_0 — сечения фазового и нулевого проводов.

Индекс «2» у коэффициента *C* подчеркивает, что значение принимается как для двухпроводных линий, а множитель 2 учитывает, что каждый из проводов цепи фазы — нуль «работает» в один конец. Для других фаз в формуле заменяются индексы.

Кабель с алюминиевыми жилами сечения $3 \times 16 + 1 \times 10$ мм² длиной 150 м питает группу из 4 прожекторов по 1,5 кВт каждая, причем 2 прожектора присоединены к фазе *A*, 1 — к фазе *B* и 1 — к фазе *C*. Определить потерю напряжения для каждой фазы.

Находим

$$\Delta U_A = \frac{3 \cdot 150}{2 \cdot 7,4 \cdot 16} + \frac{3 \cdot 150 - 0,5(1,5 \cdot 150 + 1,5 \cdot 150)}{2 \cdot 7,4 \cdot 10} = 3,4\%;$$

$$\Delta U_B = \Delta U_C = \frac{1,5 \cdot 150}{2 \cdot 7,4 \cdot 16} + \frac{1,5 \cdot 150 - 0,5(3 \cdot 150 + 1,5 \cdot 150)}{2 \cdot 7,4 \cdot 10} = 0,2\%.$$

Как видно из формулы, равенство потерь напряжения для всех фаз обеспечивается при равенстве их нагрузочных моментов, но для линий с распределенными однофазными нагрузками необходимо сделать одну оговорку: пусть последние лампы линии присоединены к фазам *A, B, C*, причем очевидно, что до лампы фазы *B* надо проложить три провода, а до лампы фазы *C* — два провода. Механически применяя формулу Цейтлина, мы для нагрузки фазы *A* учтем ту отрицательную потерю напряжения, которая имела бы место на двух последних участках, тогда как фактически здесь уже нет даже провода фазы *A*. Таким образом, при определении значения ΔU для любой фазы моменты двух других фаз должны учитываться только до последней нагрузки данной фазы.

В § 5-3 рассмотрены три варианта распределения ламп в трехфазных группах между фазами сети и отмечено, что порядок фазировки *A—B—C—C—B—A* может обеспечить равенство моментов нагрузки отдельных фаз. В свете сказанного ясно, что это еще не означает полного равенства потерь напряжения, хотя Инструкция СН 357-77 и разрешает рассчитывать их как обычные трехфазные линии, т. е. находя момент нагрузки умножением всей нагрузки на расстояние до центра ее приложения. При фазировке *A—B—C—A—B—C* заведомо не достигается даже выравнивания моментов и разрешено рассчитывать их как трехфазные, начиная от 9 ламп на группу, едва ли не слишком либерально. Что касается линий, фазированных в порядке *A—A... B—B... C—C...*, то их надо рассчитывать

как три однофазные линии с общим нулевым проводом, сечение которого может, кстати, оказаться большим сечения части фазовых проводов.

Некоторые особенности имеет расчет цепей дистанционного управления освещением, которое (см. также § 5-4) осуществляется или на переменном токе, когда прокладываются специальные линии, или на постоянном токе, когда в качестве линии дистанционного управления используются свободные жилы телефонных кабелей. В обоих случаях для надежного срабатывания аппаратов к их катушкам должно быть подведено напряжение, не меньшее 85% номинального.

При управлении на переменном токе пусковой ток катушек в 10—15 раз превышает их рабочий ток, причем в момент пуска резко снижается $\cos \phi$.

Если пренебречь индуктивным сопротивлением линии, что возможно при кабельных и трубных проводках, то сечение (в квадратных миллиметрах) может быть найдено по формуле С. А. Ключева:

$$q = IL\beta,$$

где I — пусковой ток; A ; L — длина линии в один конец, км; β — коэффициент, зависящий от номинального напряжения, проводникового материала и коэффициента мощности при пуске и учитывающий также допустимое значение снижения напряжения. Значения коэффициента β приводятся в справочниках [27].

При управлении на постоянном токе пусковой ток может быть принят равным 0,85 рабочего тока катушки, а используемые жилы телефонных кабелей имеют стандартный диаметр медных жил 0,5 мм, при котором сопротивление, считая в оба конца, составляет 190 Ом/км. Отсюда потери напряжения ΔU в линии могут быть найдены по формуле:

$$\Delta U = \frac{0,85 I_p R_L}{U_n} 100 = \frac{161,5 I_p L}{U_n} 100,$$

где I_p — рабочий ток катушки, А; R_L — полное сопротивление линии, Ом; U_n — номинальное напряжение, В; L — длина линии в один конец, км.

Так как значение ΔU является заданным и равным 15%, то эта формула чаще используется для определения предельной допустимой длины линии. Так, для распространенного напряжения постоянного тока 48 В эта предельная длина в километрах составляет

$$L = 0,044 : I_p.$$

Если длина линии превышает предельную, то напряжение источника питания принимается выше, чем номинальное напряжение катушек, а в цепь управления при необходимости вводится добавочное сопротивление.

В этом случае при токе 0,85 I_p номинальное напряжение источника питания распределяется между тремя сопротивлениями

линии $R_L = 190L$, катушки реле R_K и добавочным сопротивлением R_d . Следовательно,

$$U_n = 0,85 I_p (R_d + R_K + 190L),$$

откуда

$$R_d = \frac{U_n}{0,85 I_p} - R_K - 190L.$$

Эта же формула может быть использована для определения сопротивления R_d , включаемого последовательно с сигнальными лампами системы управления.

6.4. ЗАЗЕМЛЕНИЕ, ЗАНУЛЕНИЕ И НУЛЕВЫЕ ПРОВОДА

Хорошо известно, что при ошибочных действиях людей или при неисправности электроустановки она может стать причиной травматизма. Поражающим фактором является сила тока, проходящего через тело человека, которая определяется значениями напряжения и сопротивления. Опасность уменьшается с уменьшением напряжения, но даже наименьшее из напряжений, широко применяемых в осветительных установках (12 В), при определенных условиях может быть опасным.

Что касается сопротивления, то его значение определяется сложным комплексом факторов: характером контакта проводника с кожей человека, состоянием последней, температурой, влажностью и т. д.

Основные меры для обеспечения безопасности заключаются в том, чтобы изолировать человека, с одной стороны, от частей, могущих оказаться под напряжением (защитные рукавицы, инструмент с изолирующими рукоятками и т. д.), с другой стороны, от того, что в электротехнике называется «землей» и принимается имеющим неограниченно большую проводимость. Непроводящие полы, изолирующие скамейки, резиновые коврики, надежная обувь — вот эффективные средства обеспечения безопасности людей, по крайней мере при работе с электроустановками напряжения до 1000 В.

В тех случаях когда эти средства не могут быть использованы (а их большинство), приходится учитывать возможность одновременного соприкосновения человека с «землей» и с частями электроустановки. Непосредственное соприкосновение с нормально токоведущими частями — относительно маловероятный случай. Значительно чаще возникает опасность, когда человек касается частей, оказавшихся под напряжением в силу неисправности, например металлических корпусов светильников.

На рис. 6-11 показаны основные случаи возникновения опасности и соответствующие защитные меры.

Пусть нейтраль N трансформаторов изолирована или вообще отсутствует (в последнем случае электроприемники следует считать присоединенным к фазным проводам). Пусть корпус прием-

ника оказался под напряжением, и человек, находящийся в контакте с «землей», касается этого корпуса (рис. 6-11, а). Если бы все провода системы имели совершенную изоляцию от земли, то через человека прошел бы лишь незначительный и в установках до 1000 В практически безопасный емкостный ток. Фактически так не бывает, и провода сети можно считать соединенным с «землей» через сопротивление утечки r_y или также через емкость. В этом случае образуется цепь тока: фаза—корпус—человек—земля—утечка—фаза и через человека пойдет ток, определяемый значением и соотношением сопротивлений. Если, однако, корпус

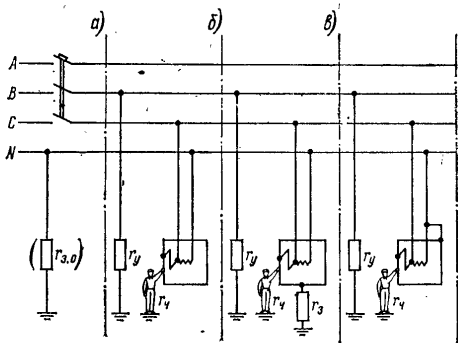


Рис. 6-11. Заземление и соединение с нейтралью.

приемника преднамеренно соединить с землей через очень малое сопротивление r_3 , то человек оказывается шунтированным этим малым сопротивлением и сила проходящего через него тока значительно снизится. Этим обосновывается необходимость защитного заземления как важной меры обеспечения безопасности в установках с изолированной нейтралью или без нейтрали.

Пусть теперь нейтраль трансформатора заземлена через малое сопротивление $r_{3,0}$. В этом случае заземление корпусов неэффективно и даже вредно: в названной выше цепи большое сопротивление r_y заменяется малым сопротивлением $r_{3,0}$ и через тело человека, даже шунтированного сопротивлением r_3 (рис. 6-11, б), может пойти опасный ток. Значение этого тока не будет, однако, достаточным для быстрого срабатывания аппарата защиты, и участок, в котором произошло замыкание на корпус, длительно останется неотключенным. В этих случаях заземление заменяется занулением, т. е. надежным соединением корпусов электрооборудования с заземленным нулевым проводом (рис. 6-11, в). При наличии такого соединения, как только фазный провод соединится с корпусом, возникает ток короткого замыкания и срабатывает

аппарат защиты. При наличии зануления корпусов они могут быть также дополнительно заземлены, что даже несколько улучшает условия защиты.

Для уверенного, практически мгновенного, срабатывания аппаратов защиты в сетях, где осуществляется зануление, ток короткого замыкания должен в определенное число раз превышать номинальный ток аппарата защиты: в 3 раза — в общем случае и в 4—6 раз, в зависимости от типа аппаратов защиты, — во взрывоопасных помещениях и установках (см. § 6-2). В некоторых случаях это может потребовать увеличения сечения нулевого провода, в протяженных же воздушных линиях требуется даже повторное заземление нулевого провода, что имеет значение также с точки зрения молниезащиты.

ПУЭ требуют устройства зануления при напряжении выше 42 В переменного тока во всех помещениях с повышенной опасностью и особо опасных, а также в наружных установках. Во взрывоопасных зонах зануление обязательно при любом напряжении. Перечень предметов, подлежащих занулению, определяется тем, что соединены с нулевым проводом должны быть все токопроводящие предметы, нормально не находящиеся под напряжением, но могущие оказаться под таковым при замыкании на них фазных проводов: корпуса светильников и распределительных устройств, трубы и тросы, металлические оболочки проводов и т. д. Занулению подлежат также предметы, расположенные в зоне над подвесными и подшивными потолками, и один из проводов низшего напряжения или средняя точка обмотки трансформаторов 12—36 В. Не требуют зануления части, установленные на заземленных и зануленных металлических конструкциях и имеющих с последними надежное металлическое соединение, а также отражатели светильников, конструктивно связанные только с изолирующими корпусами последних.

Для зануления, как правило, используются рабочие нулевые провода той же сети, за исключением:

а. Во взрывоопасных помещениях класса В-1 (см. § 7-2), где в двухпроводных линиях должны одновременно выключаться фазный и нулевой провода, для зануления должен прокладываться отдельный провод от группового щитка.

б. Для зануления переносных светильников и переносных трансформаторов должны применяться дополнительные жилы гибкого кабеля, присоединяемые к дополнительному, третьему (защитному), контакту разъемных двухполюсных соединений. Последний может быть соединен с рабочим нулевым проводом в контактном разъемном соединении, кроме соединений, предназначенных для включения электро медицинских приборов в медпунктах и электро бытовых приборов в кухнях квартир, гостиных и общежитий, а также питаемых открыто проложенными проводами на изолирующих опорах. В этих случаях дополнительный контакт разъемного соединения должен быть присоединен

к нулевому проводу сети на ближайшей опоре или в ответвительной коробке.

в. В линиях, переключаемых на питание от сети постоянного тока, зануление корпусов светильников производится от нулевого провода сети переменного тока.

В нормах многих зарубежных стран дополнительные провода для зануления требуются во всех случаях.

Зануление корпусов светильников общего освещения в сетях с заземленной нейтралью должно осуществляться следующим образом:

при вводе в светильник открытых незащищенных проводов — гибким изолированным проводом, присоединенным к заземляющему винту корпуса светильника и к рабочему нулевому проводу сети у ближайшей неподвижной опоры или коробки;

при вводе в светильник кабеля, проводов в трубе или металлокабеле, а также при скрытой проводке без труб ответвлением от рабочего нулевого провода внутри светильника.

Таким образом, зарядка зануляемых светильников тремя проводами требуется лишь в относительно редких случаях. Светильники с газоразрядными лампами при отдельной установке ПРА могут зануляться путем устройства перемычки между заземляющими болтами ПРА и светильника.

Некоторые дополнительные требования к устройству зануления или заземления можно найти непосредственно в нормативных документах, например в [5, 6], и др.

Выше была уже отмечена важная и разносторонняя роль нулевых проводов в осветительных сетях. В двухпроводных однофазных линиях они являются обычными рабочими проводами и нагружены таким же током, как фазные провода. В двух- и трехфазных линиях они обеспечивают возможность включения ламп на фазное напряжение, а при их обрыве резко нарушается распределение напряжения между лампами различных фаз, причем в двухфазных линиях с равномерной нагрузкой они нагружены таким же током, как фазные провода. При питании газоразрядных ламп или в установках с полупроводниковыми приборами, например с ограничителями напряжения ТОН (§ 5-1), по ним протекают токи высших гармоник, которые хотя и не учитываются при расчете потери напряжения, но в равной степени с током основной частоты нагревают провода. В линиях с неравномерной нагрузкой фаз или с распределенными однофазными нагрузками в нулевых проводах могут иметь место значительные, причем разные по знаку, потери напряжения, а значение токов, проходящих по отдельным участкам проводов, может быть достаточно большим.

Наконец в данном параграфе было показано, какое значение имеют нулевые провода с точки зрения электробезопасности. Естественно, что нормативные документы предъявляют к нулевым проводам ряд требований.

В питающих и групповых линиях на заземленных нулевых проводах запрещается установка аппаратов защиты и управления, кроме уже отмеченных в § 5-3 и 6-2 двухпроводных линий взрывоопасных помещений класса В-1, где нулевые провода должны защищаться и отключаться наравне с фазными проводами.

Сечения нулевых проводов должны обеспечивать значение токов короткого замыкания, достаточное для срабатывания защиты при однофазных замыканиях.

Как общее требование в трехфазных линиях нулевые провода должны иметь проводимость (т. е., соответственно, сечение) не менее 50% проводимости фазных проводов.

Кроме того, должны учитываться следующие требования:

а) в одно- и двухфазных линиях сечения нулевых и фазных проводов должны быть одинаковыми;

б) в трехфазных групповых линиях с отдельным выключением фаз пропускная способность нулевых проводов должна соответствовать току наиболее нагруженной фазы;

в) в обоих вышеуказанных случаях, если эти линии по потере напряжения рассчитываются по формуле Цейтлина (см. § 6-3), сечение нулевых проводов определяется расчетом и может даже быть большим, чем сечение отдельных фазовых проводов;

г) объединенные нулевые провода нескольких групп, прокладываемых по общей трассе и имеющих местные выключатели, должны иметь пропускную способность, соответствующую суммарному току проводов наиболее нагруженной фазы;

д) нулевые провода линий, по которым протекает ток газоразрядных ламп с компенсированными ПРА или с групповой компенсацией реактивной мощности, а также линий, питающих тиристорные ограничители напряжения или отходящих от этих ограничителей, должны иметь пропускную способность, соответствующую току наиболее нагруженной фазы.

Обращается особое внимание на этот последний случай. Во-первых, к нему не относятся линии с некомпенсированной реактивной нагрузкой, в частности линии, отходящие от щитков к лампам ДРЛ и ДРИ. Во-вторых, во всех случаях речь идет не о сечении, а о пропускной способности. Если, скажем, линия защищена на ток 25 А, но по условиям потери напряжения фазные провода имеют сечение 50 мм², то от нулевого провода требуется лишь, чтобы его сечение длительно выдерживало ток 25 А.

Одно время разрешалось использование в качестве нулевых проводов «естественных» токопроводов: труб, тросов, металлоконструкций зданий и т. д. В действующих ПУЭ такое разрешение сохранено лишь для алюминиевых оболочек кабелей, питающих невзрывоопасные помещения, кроме случаев, перечисленных выше в п. «д».

Заканчивая рассмотрение вопросов электроснабжения и схем питания осветительных установок, выполнения, расчетов осветительных сетей и электробезопасности, можно рекомендовать литературные источники [28 и 29], в которых также отражены указанные вопросы и зачастую более подробно, чем это представилось возможным осветить в данной книге.

ОСОБЕННОСТИ ОСВЕЩЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ОБЪЕКТОВ

7-1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В предшествующих главах рассмотрен широкий круг вопросов устройства осветительных установок вообще, без «привязки» к конкретным объектам, но все же с преимущественной ориентацией на внутреннее освещение промышленных предприятий.

Хотя все осветительные установки выполняются на основе общих принципов и общих «первичных» нормативных документов, в первую очередь СНиП [1] и ПУЭ, но освещение каждой определенной группы объектов: отрасли промышленности, вида общественных зданий или открытых пространств, имеет свои особенности. Уже было отмечено, что непосредственный выбор освещенности по СНиП [1] в силу ряда обстоятельств представляет определенные затруднения и что поэтому на основе и в уточнение этих норм составляются отраслевые нормы освещенности, где приводится освещенность для конкретных помещений и рабочих мест с указанием нормативных значений качественных показателей. В этих документах даются также конкретизированные указания по выбору источников света, видов и систем освещения. В принципе отраслевыми нормами должны быть охвачены все возможные объекты освещения, но составление комплекса таких норм—столь трудоемкая задача, что ее, практически, не удается полностью решить в промежуток времени между двумя последовательными пересмотрами первичных норм, в частности СНиП.

Специальные требования к устройству освещения можно найти также в нормативных документах, не посвященных, казалось бы, специально этому вопросу, например в общесоюзных или отраслевых нормах по технике безопасности, охране труда, строительному делу и противопожарной безопасности. К сожалению, эти документы не всегда составляются при участии светотехников и в ряде случаев содержат противоречивые или технически необоснованные требования.

Даже при наличии нормативных документов освещение отдельных групп помещений и рабочих мест нередко оказывается сложной задачей, решить которую можно только на основе исследований и расчетов. Такие задачи должны, естественно, решаться не для конкретного помещения определенного завода, а в общем виде. В области создания типовых рациональных способов освещения работает ряд исследовательских и проектных организаций; так, например, Институт охраны труда в г. Иваново посвятил свою деятельность разработке вопросов освещения в текстильной, швейной промышленности, на предприятиях искусственного волокна.

Особенностям освещения отдельных объектов посвящен ряд книг и брошюр [30, 31, 35—39]. Многочисленные публикации по этим вопросам имеются в журнале «Светотехника».

В данном руководстве не ставится и не может ставиться задача рассмотреть особенности освещения не только всех, но и многих групп объектов, как не может ставиться такая задача и в курсе «Осветительные установки». Целесообразно, однако, рассмотреть в данной главе особенности освещения лишь некоторых объектов, преимущественно непромышленного характера, при освещении которых приходится решать задачи, не рассмотренные в остальных главах или хотя и рассмотренные, но решение которых в условиях этих объектов представляет специфический интерес.

7-2. ПОЖАРО- И ВЗРЫВООПАСНЫЕ ЗОНЫ

В тех случаях когда неисправности в осветительной установке или ее небрежная эксплуатация могут стать причиной пожара или взрыва (а такие случаи, к сожалению, не редки), требования пожарной безопасности имеют, можно сказать, приоритет перед всеми остальными.

Пожаро- и взрывоопасные помещения, или по формулировке новых редакций Правил устройства электроустановок (ПУЭ) зоны, встречаются во многих отраслях промышленности. Устройство электротехнических, в частности осветительных, установок этих объектов во всех деталях регламентируется нормативными документами, и здесь ставится задача, не пересказывая всех нормативных требований, дать общее знакомство со спецификой этих объектов и особенностями устройства их освещения.

Рассматриваемые помещения по степени и характеру опасности пожара и взрыва разделяются на классы. Правильное определение класса помещения является особо ответственной задачей и должно производиться совместно технологами и электриками, причем имеет значение классификация не по строительным нормам, а по ПУЭ.

ПОЖАРООПАСНЫЕ ЗОНЫ

Пожароопасные зоны разделяются на классы: П-I — помещения, в которых источником опасности являются пары горючих жидкостей (например, масел) с температурой вспышки паров выше 61 °С; П-II — помещения, в которых имеется пожаро-, но не взрывоопасная пыль или волокна; П-IIa — помещения, в которых хранятся или обрабатываются горючие вещества без выделения в опасных количествах пыли или волокон; П-III — зоны наружных установок, в которых обращаются горючие жидкости с температурой вспышки паров выше 61 °С или твердые горючие вещества.

Признаки класса П-IIa не следует понимать расширительно и нельзя, например, относить к этому классу помещения только

по той причине, что в них имеется деревянная мебель или деревянные полы.

Требования к исполнению светильников в пожароопасных зонах основаны на большом практическом опыте и представляются достаточно разумными. Эти требования дифференцированы по типам источников света. Дело в том, что падение на горючие предметы включенной лампы накаливания, равно как и ламп ДРЛ, ДРИ и ДНаТ, может быть в определенных условиях причиной пожара и должно быть исключено. Раньше то же требование распространялось на люминесцентные лампы, но сейчас победила точка зрения, что малая тепловая инерция электродов этих ламп и низкая температура их колбы делает эти лампы пожаробезопасными. Претерпела эволюцию и точка зрения относительно пожарной безопасности различных схем включения этих ламп, и в настоящее время нормы не делают различия между стартерными и бесстартерными схемами зажигания.

В результате требования к исполнению светильников для пожароопасных зон сводятся к следующему.

В помещениях классов П-I и П-II для всех светильников требуется не менее чем пылезащищенное (Б) исполнение (см. § 2-6), но для светильников с люминесцентными лампами допускается также исполнение с ограниченной зоной пылезащиты (Б'). Для помещений класса П-IIа, а также П-II, но при наличии общеобменной вентиляции и местного нижнего отсоса отходов, требования смягчены, и для ламп накаливания допускаются светильники со сплошными колпаками из силикатного стекла, для ламп ДРЛ, ДРИ, ДНаТ, кроме того, — открытые светильники, но при наличии приспособления, препятствующего выпадению лампы, для люминесцентных ламп — открытые светильники, при выполнении ввода проводами с негорючей оболочкой или в стальной трубе.

Для складских помещений класса П-IIа с ценными материалами, горючими или в горючей упаковке, дополнительно запрещается применение люминесцентных светильников с отражателями или рассеивателями из горючих материалов (в частности, из органического стекла).

Для наружных пожароопасных зон предъявляются такие же требования, как для помещений класса П-IIа, но дополнительно требуется иметь дождезащитное исполнение.

Определенные ограничительные требования предъявляются также к исполнению электроустановочных изделий, которые, кроме того, следует по возможности выносить из пожароопасных зон.

В пожароопасных зонах всех классов разрешены почти все виды электропроводок. Некоторые ограничения частично указаны в § 6-1.

По понятным причинам особую опасность представляют запираемые пожароопасные складские помещения. Через них не допускается транзитная прокладка

кабелей, не относящихся к электроприемникам этих помещений, и независимо от аппаратов управления установленных внутри, должны устанавливаться вне помещений общие отключающие аппараты в пломбируемом ящике из негорючих материалов.

ВЗРЫВООПАСНЫЕ ЗОНЫ

Взрывоопасными являются смеси некоторых газов, паров или пылей с воздухом, причем в зависимости от свойств этих веществ взрывоопасность начинается при тех или иных низших концентрациях и прекращается при таких высоких концентрациях, когда количество кислорода воздуха в смеси становится недостаточным для окисления.

Взрывоопасные смеси классифицируются по двум признакам. Они разделяются на группы от Т1 до Т5 (по старой редакции ПУЭ от А до Д) по температуре самовоспламенения, т. е. той температуре, до которой должна быть нагрета смесь, чтобы она воспламенилась без постороннего источника зажигания, и на категории 1, 2, 3, 4 и 4а по условиям передачи взрыва через зазоры между фланцами. Здесь дело в том, что если имеются две полости, содержащие опасную смесь (одна из них — внутренняя полость светильника), полости эти разделены оболочкой, между фланцами которой имеется зазор («щель»), и если в одной из полостей происходит взрыв, то он будет или не будет передан в другую полость в зависимости от толщины этого зазора; наибольший зазор допускается для категории 1 (например, аммиак), и наименьший — для категории 4 (водород).

Взрывоопасные зоны классифицируются в ПУЭ следующим образом (формулировки приводятся в сокращенном виде):

Класс В-I. Опасные концентрации паров или газов могут образовываться при нормальных, но не длительных режимах работы.

Класс В-Iа. Такие же концентрации могут образовываться только при аварийных режимах.

Класс В-Iб. Так же, как класс В-Iа, но при наличии одной из следующих особенностей:

высокий (не менее 15%) низший предел опасной концентрации и резкий запах при предельно допустимой по санитарным нормам концентрации;

возможность образования лишь местной опасной концентрации.

Класс В-Iг. Наружные установки, где образование взрывоопасных смесей газов или паров с воздухом возможно лишь в аварийных режимах.

Класс В-II. Опасные концентрации пыли или волокон могут образовываться при нормальных, но не длительных режимах работы.

Класс В-IIа. Такие же концентрации могут образовываться лишь при аварийных режимах.

В прошлом для обеспечения взрывобезопасности светильников предлагались и использовались различные конструктивные решения, подчас весьма остроумные. Изготавливались светильники, проникновение в которые взрывоопасной среды

исключалось повышенным давлением в полости светильника. Это давление достигалось или периодической подкачкой чистым воздухом и мембранной блокировкой, отключавшей лампу при падении давления, или помещением в светильник ампул с веществом, выделяющим инертный газ. Интересны светильники со встроенным в корпус миниатюрным турбогенератором, к которым вместо электрических проводов по шлангу подводился сжатый воздух и т. д.

В современной практике для освещения взрывоопасных зон предусмотрены следующие исполнения стационарно установленных светильников: пылезащитное (5) (см. § 2-6) или пыленепроницаемое (6) для классов В-Іб и В-ІІа, взрывобезопасное для класса В-І, повышенной надежности или взрывобезопасное для классов В-Іа, В-ІІ, В-Іг.

Как исполнение повышенной надежности (обозначение Н), так и взрывобезопасное исполнение (обозначение В) должны в нормальном режиме исключать возможность возникновения опасных искр и нагрева, причем для каждой группы опасных смесей установлена предельная температура наружных частей — от 100 до 450 °С.

Взрывобезопасное исполнение должно отвечать двум дополнительным условиям: в случае если в полости светильника произойдет взрыв, стеклянный колпак должен, не разрушаясь, выдерживать возникающее при этом давление (примерно $9,8 \cdot 10^6$ Па), а зазоры между фланцами должны исключать передачу взрыва в окружающее пространство, т. е. продукты взрыва должны выходить достаточно охлажденными. Этот последний вид защиты в практике называется «щелевой защитой». Искробезопасность обоих исполнений обеспечивается тем,

что при ввинчивании или вывинчивании лампы разрыв цепи происходит в особой полости, которая сама по себе является взрывобезопасной, так как имеет достаточную прочность и щелевую защиту. Принципиальная схема такого устройства показана на рис. 7-1.

Таким образом светильник отвечает условиям повышенной надежности или взрывобезопасности не вообще, а применительно к определенной категории и группе опасной смеси (или к более низким категориям и группам), указанным в его маркировке.

Например, марка светильника ВЗТ4 означает взрывобезопасность для групп Т1, Т2, Т3, Т4 категорий 1, 2, 3 (по старым нормам этот светильник обозначался ВЗГ, в каталогах и информациях эта маркировка пока не изменена).

Надо сказать, что для люминесцентных светильников вопрос искробезопасности патронов пока не получил практического решения.

Чтобы показать, как сложны конструктивно взрывобезопасные светильники, на рис. 7-2 приводится разрез одного из таких светильников для ламп 200 Вт, где 1 — верхняя и 5 — нижняя части корпуса, соединенные на резьбе, 2 и 3 — блокировочные

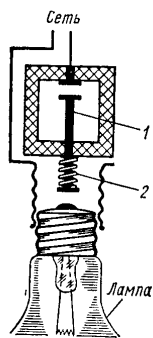


Рис. 7-1. Принципиальная схема искробезопасного патрона
1 — подвижный контакт; 2 — пружина

контакты, замыкающие цепь лампы только при свинченных частях корпуса, 4 — стопорный винт, 6 — прижимные винты (12 шт.), 7 — защитное стекло, 8 — защитная сетка.

Создание светильников для ламп мощностью более 200—300 Вт встречает большие технические трудности. Кроме того, не для всех типов ламп и не для всех опасных смесей в данное время существуют взрывобезопасные светильники. Эти обстоятельства заставляют в ряде случаев применять другие решения, предусмотренные нормами.

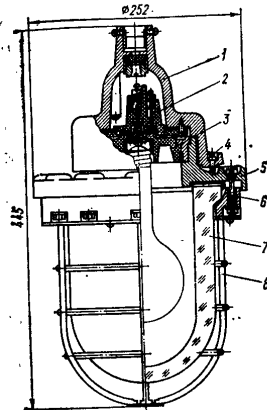


Рис. 7-2. Взрывобезопасный светильник

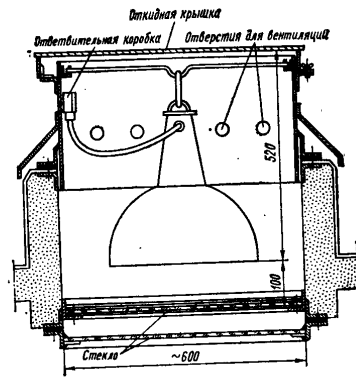


Рис. 7-3. Потолочный фонарь для светильника

Нормы разрешают использовать для освещения взрывоопасных помещений светильники обычных типов, установленные за двойным остеклением оконных фрагм или за таким же остеклением ниш в стенах, в последнем случае с устройством естественной вентиляции наружным воздухом. Эти решения иногда применяются в силу неизбежности, но они мало экономичны и пригодны только для относительно узких помещений, без затеняющего оборудования. В одноэтажных зданиях светильники могут быть установлены в потолочных фонарях, также с двойным остеклением и естественной вентиляцией (рис. 7-3).

Лампы или светильники могут быть установлены также в коробах, продуваемых чистым воздухом, с устройством блокировки, отключающей питание при прекращении продува.

Можно полагать, что в ближайшем будущем радикальным решением задачи освещения взрывоопасных помещений явится применение щелевых светильников-светододов (§ 2-11). Их каналы взрывобезопасны, а вводные устройства могут быть вынесены за пределы опасной зоны или размещены во взрывобезопасных камерах.

Во всех взрывоопасных зонах осветительные сети могут выполняться бронированными кабелями или проводами в водогазопроводных трубах. В помещениях классов В-Іа, В-Іб, В-ІІа допускаются также открыто проложенные небронированные кабели

с резиновой или поливинилхлоридной изоляцией, а в помещениях классов В-1б и В-1а — также открыто проложенные изолированные провода.

При выполнении во взрывоопасных помещениях трубной проводки в качестве проходных и ответвительных коробок должны применяться взрывобезопасные фитинги, а в помещениях классов В-1, В-1а и В-1б в местах прохода проводки через стены, если при этом меняется класс помещения, категория или группа опасной смеси или же осуществляется выход в неопасную среду, должны устраиваться разделительные уплотнения.

Аппараты защиты и управления, контактные разъемные соединения и коробки надо по возможности выносить из взрывоопасных зон в смежные, неопасные помещения или же применять в специальном исполнении.

Некоторые другие требования к осветительным сетям во взрывоопасных зонах указаны в § 6-1.

Подробные сведения по устройству осветительных установок во взрывоопасных и пожароопасных помещениях приводятся в книге [31], а по монтажу освещения в пожароопасных и взрывоопасных установках — в инструкциях [32 и 33].

7.3. ПОМЕЩЕНИЯ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

При всем многообразии общественных зданий их осветительные установки имеют некоторые общие черты, на которых следует остановиться. По своему характеру помещения этих зданий могут предназначаться для отдыха, прохода, приема пищи, занятий спортом и т. д., но в основном это все же помещения для работы, иногда требующей очень высокого зрительного напряжения. Иногда эти помещения подразделяют на три группы: помещения, где производятся зрительные работы при фиксированном направлении осей зрения; помещения, где работа сопровождается обзором помещения; помещения, где иной зрительной работы, помимо обзора, не производится.

Вопрос выбора системы освещения решается здесь несколько иначе, чем в производственных помещениях. Интересно начать с конкретного случая реконструкции освещения одной библиотеки. Ее читальный зал имел только местное освещение: на каждом читательском месте была укреплена настольная лампа. В целом помещение производило мрачное впечатление, и, хотя на поверхности книг была высокая освещенность, глаз испытывал определенные неудобства. После реконструкции была выполнена система общего отраженного освещения и часть читателей обратилась с жалобами к администрации на непривычное освещение, мешающее сосредоточиться на чтении. Общее освещение было, однако, сохранено, и при опросе через несколько месяцев читатели признали его преимущества. Местное освещение потребовалось лишь на единичных рабочих местах.

Помимо общегигиенических преимуществ общего освещения в общественных зданиях, в его пользу говорит тот факт, что даже в помещениях, отнесенных выше к первой группе, в той или иной

степени необходим обзор помещений. Кроме того, устройство местного освещения нередко затрудняется частыми перепланировками оборудования. Реже — в нашей практике, чаще — в зарубежной осуществляется перестановка перегородок, разделяющих отдельные помещения, что учитывается при устройстве модульной системы общего освещения.

Основным нормативным документом, регламентирующим устройство электрооборудования, и в том числе освещения, общественных зданий, является Инструкция по проектированию электрооборудования общественных зданий массового строительства ВСН 19-74 [34]. Для подавляющего большинства помещений в ней предусматривается в качестве основной система общего освещения.

Выборочно приводим значения освещенности (в люксах) для некоторых помещений:

Кабинеты, рабочие комнаты и т. д.	300
Чертежно-копировальное и проектно-конструкторское бюро	500
Машинописное и машинносчетное бюро; вычислительный центр	400
Читальный зал	300
Конференц-зал	200
Торговый зал (в зависимости от рода товаров)	200—400
Лаборатория	300—400
Вестибюль и гардероб:	
в школе и центральной гостинице	150
в других учреждениях	75

Освещенность указана для освещения люминесцентными лампами и в случае применения ламп накаливания может быть снижена на две ступени по шкале освещенностей, приведенной в СНиП [1].

Во всех рабочих помещениях требуется предусматривать контактные разъемные соединения для возможности включения дополнительного местного освещения, которое может потребоваться на столах, неудачно расположенных по отношению к светильникам общего освещения, при выполнении работ с особой сложностью зрительной задачи (например, чтение старинных манускриптов), для работы слабовидящих и т. п.

В отдельных случаях местное освещение может играть значительную роль: в некоторых лабораториях, в лечебных учреждениях и т. д. Ниже рассматриваются способы освещения помещений, в которых рабочие поверхности обладают глянцем. Эти способы пригодны для помещений достаточной площади, если же площадь мала (например, машинописные бюро), то избежать отраженной блескости удастся, только применяя местное освещение.

Общественные здания, в частности административно-лабораторные, явились в свое время одним из первых объектов внедрения люминесцентного освещения и

именно от сотрудников этих зданий чаще всего поступали жалобы на это освещение. Они определялись, по-видимому, повышенной требовательностью работников умственного труда к устранению шума ламп ПРА, к ограничению пульсации освещенности, к выбору типа ламп (встречали осуждение лампы ЛТБ) и т. д. В настоящее время для основных, рабочих, помещений общественных зданий обязательность применения люминесцентных ламп твердо установлена Инструкцией ВСН 19-74 [34]. Для вспомогательных помещений лампы накаливания допускаются, однако на практике предпочитают применять на лестницах, в коридорах, санитарных узлах и т. п. такие же источники света, как и в основных помещениях, т. е. люминесцентные лампы. Лампы накаливания сохраняют, однако, значение для таких помещений, как бойлерные, вентиляционные камеры, кладовые, подвалы, т. е. для помещений, не посещаемых основным персоналом здания. Есть, однако, случаи, в которых Инструкция ВСН 19-74 предписывает применение ламп накаливания, как, например, спальни, изоляторы и помещения для заболевших в детских садах и яслях. Здесь, чтобы не мешать спящим и больным, требуется освещенность всего 30 лк.

Во многих помещениях общественных зданий повышенное значение имеет ограничение прямой и отраженной блескости, а также смягчение падающих теней. Если учесть к тому же, что стены и потолки в этих зданиях имеют светлую отделку, то становится ясным, какое значение приобретает здесь применение светильников, направляющих определенную часть светового потока в верхнюю полусферу, вплоть до светильников преимущественно или даже отраженного света. Надо сказать, что резкую разницу представляют собой уже помещения, освещенные такими светильниками, как УСЦ, с плоским рассеивающим стеклом, или светильниками ЛПО, с достаточно выпуклым рассеивателем. Инструкция ВСН 19-74 рекомендует применение светильников, направляющих в верхнюю полусферу не менее 15% светового потока, допуская исключение только для помещений, в которых поверхности нижней зоны (пол, обстановка) отражают не менее 30% света.

В некоторых случаях к светильникам предъявляются и специфические требования конструктивного характера; так, например, установленные над рабочими местами в помещениях для приготовления пищи светильники с лампами накаливания должны иметь сплошные защитные стекла, а светильники с люминесцентными лампами — защитные стекла или экранирующие решетки.

ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИЕ И ЧЕРТЕЖНО-КОПИРОВАЛЬНЫЕ БЮРО

Наряду с другими требованиями к освещению помещений, в которых выполняются весьма напряженные зрительные работы, особое значение имеет здесь необходимость смягчения падающих теней и, в наибольшей степени, устранения отраженной блескости.

Известно, что для конторских и графических работ жалательно, чтобы свет направлялся на рабочее место слева и несколько сзади, но вполне определенное направление света может быть достигнуто только при местном освещении. При общем освещении можно

приблизиться к этому направлению, если расположить светильники с люминесцентными лампами так, как это показано на рис. 7-4, причем левый на рисунке ряд светильников возможно ближе располагается к окнам или даже размещается в углу, образуемому стеной и потолком.

Часто считается, что освещение должно быть выполнено в соответствии с планировкой рабочих мест в помещении. В данном случае, как и во многих других, правильное освещение настолько важно для работы, что становится целесообразным, наоборот, подчинить расположение рабочих мест особенностям устройства осветительной установки.

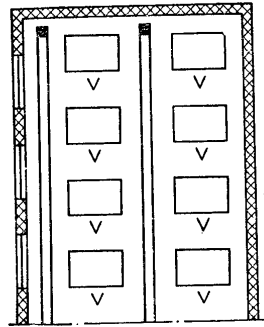


Рис. 7-4. Локализация светильников в помещениях конторского типа

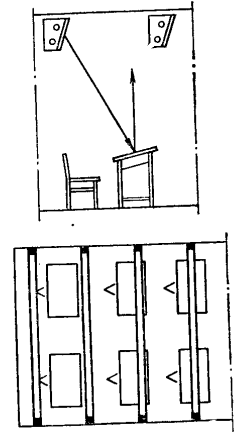


Рис. 7-5. Освещение столов для работы на кальке

Схема освещения, показанная на рис. 7-4, широко пропагандируется в зарубежной литературе. В нашей практике она часто заменяется несколько упрощенной схемой, когда в помещении шириной 6 м симметрично располагаются три сплошных продольных ряда светильников. Рабочие места в этом случае должны быть расположены так, как показано на рис. 7-4.

В случаях когда опасность отраженной блескости особенно велика (работы на кальке), оптимальной можно считать схему освещения, показанную в плане и на разрезе на рис. 7-5. Светильники одностороннего светораспределения, желательно — с рассеивающим стеклом на выходном отверстии, располагаются поперечными рядами по всей ширине помещения и создают на рабочих местах заднебоковое направление света. Блики от рабочей поверхности в этом случае не попадают в глаза, и даже калька кажется матовой. Тени от корпусов работающих очень мягкие,

а освещенность в них снижена всего на 25%. Шаг полос в продольном направлении не должен находиться в каком-либо соответствии с расстоянием между столами, но ориентация всех работающих лицами в одну сторону, безусловно, обязательна. Для этой схемы выпускаются специальные светильники.

В больших и не слишком низких помещениях хорошие результаты дает также отраженное освещение, но если работы с создающими блики поверхностями производятся в помещениях небольшой площади (чаще всего — машинописные бюро), то уже самый яркий потолок может вызвать блики на клавишах, а так как другие, описанные выше способы освещения здесь также неприменимы, то часто приходится прибегать к местному освещению.

ПОМЕЩЕНИЯ МУЗЕЕВ И ВЫСТАВОК

Большинство наших музеев до сих пор размещено в старинных зданиях дворцового типа и при устройстве их освещения часто возникают споры: что, собственно, надо освещать? Дворцовые залы в соответствии с их архитектурой или экспонаты? Примирить эти противоречивые мнения весьма трудно. Ниже вопрос рассматривается с точки зрения освещения экспонатов и на основе утвержденных в 1973 г. Министерством Культуры СССР Рекомендаций по проектированию искусственного освещения музеев.

При устройстве освещения музеев необходимо обеспечить: ограничение разрушающего действия света на экспонаты; правильную цветопередачу;

достаточную, но не избыточную освещенность;

хорошую равномерность освещения;

отсутствие отраженной блескости («бликования» экспонатов).

Лучистая энергия разрушающе действует на многие вещества и, в частности, вызывает выцветание красителей. Материалы экспонатов по светостойкости разделяются на три группы:

1) высокая светостойкость: стекло, фарфор, эмаль, керамика, металлы, минералы, драгоценности;

2) средняя светостойкость: живопись маслом, натуральная кожа, дерево, слоновая кость, клеевые краски, лаки;

3) низкая светостойкость: акварель, пастель, темпера, ткани, чучела, бабочки, бумага (особенно — рукописи и фотографии).

Разрушающее действие излучений находится в обратной зависимости от длины волны излучений; оно наиболее сильно у ультрафиолетовых лучей, но проявляется и в коротковолновой части видимого спектра. Средствами защиты экспонатов являются правильный выбор источников света, установка перед экспонатами или перед светильниками специальных светофильтров, ограничение освещенности, кратковременность экспонирования, периодический отдых в запасниках, закрытие шторками, откидываемыми только при непосредственном осмотре.

Из применяемых в музеях источников света наименьшее разрушающее действие производят лампы накаливания обычных типов, незначительно большее — галогенные лампы накаливания и существенно большее — люминесцентные лампы. Поэтому для

экспонатов третьей группы люминесцентные лампы применяются в исключительных случаях, только для кратковременных выставок, при реставрационных работах или в установках, где свет попадает на экспонаты только после отражения от поверхностей, поглощающих ультрафиолетовые лучи.

Вопрос о цветопередаче при освещении музеев явился предметом многих исследований. Казалось бы, очевидно требование, чтобы искусственное освещение по своей цветности имитировало естественное, но в полном объеме это трудно выполнимо, к тому же само естественное освещение не есть что-то вполне определенное, так как его спектральный состав изменяется в зависимости от географической широты места, времени суток и года и состояния атмосферы. Вопрос о возможной и целесообразной степени приближения к естественному свету решается с учетом колорита экспонатов: свет, который хорош, например, для «Последнего дня Помпеи» Брюллова, может оказаться слишком теплым для «Девятого вала» Айвазовского. Можно считать, что наилучшую цветопередачу в данное время обеспечивает смесь излучений люминесцентных ламп ЛДЦ4 и кварцевых галогенных ламп накаливания КГ (примерно в равных долях по освещенности), если же не прибегать к смешению разных источников света, то первое место принадлежит люминесцентным лампам ЛЕ, второе — лампам КГ.

Среди экспонатов есть, однако, исключения: такие объекты, как изделия из золота и иконы, в прошлом преимущественно рассматривались при «теплом» освещении и при свете люминесцентных ламп выглядят непривычно. Для драгоценных камней люминесцентные лампы противопоказаны из-за их больших размеров, в силу которых исчезает «игра света» на гранях.

Освещенность экспонатов должна обеспечивать полное развитие цветоразличительной способности глаза и возможность различения мелких деталей, но ее уровень в ряде случаев ограничивается не только требованиями светозащиты, а еще и тем, что при больших освещенностях становятся видными следы времени на экспонатах, например трещины на картинах.

Для объектов первой группы светостойкости при наличии очень мелких деталей рекомендуется освещенность до 1000 лк, но уже для живописи маслом освещенность ограничивается значением 150 лк, а для экспонатов из бумаги — 50 лк.

Равномерность освещения имеет здесь не гигиеническое, а скорее психологическое значение, так как неправильное распределение яркости по поверхности картины может нарушить замысел художника.

Опытным путем выработаны рекомендации, чтобы для плоских вертикальных экспонатов при высоте до 1 м отношение наибольшей освещенности к наименьшей не превышало 2, а при большей высоте — 3, причем убывание освещенности должно происходить в направлении сверху вниз.

Задача ограничения отраженной блескости наиболее важна для вертикальных экспозиций на стенах и на стендах. Вопрос этот в общем виде рассмотрен в § 1-5, где рациональная схема освещения плоских экспозиций представлена на рис. 1-12. Расчеты показывают, что если высота фронта экспозиции h , то наиболее рационально разместить осветительные приборы на $(0,5 \div 0,7) h$ выше верха экспозиции и удалить от плоскости последней на такое же расстояние. Излишним является приближенное к плоскости размещение светильников — частая ошибка при освещении вертикальных поверхностей.

При размещении светильников в соответствии с приведенными рекомендациями нижние точки экспозиций геометрически получают многократно меньшую освещенность, чем верхние, и чтобы неравномерность осталась в допустимых пределах, должны приниматься такие светильники, сила света которых в направлении нижних точек в 5—10 раз больше, чем в направлении верхних точек.

В практике освещения музеев и выставок применяются все системы освещения. Естественно, что для универсальных выставочных залов основным является общее равномерное освещение; такое же освещение устраивается в музеях-дворцах, где основными экспонатами являются мебель и убранство. В картинных галереях предпочтительно локализованное освещение, хотя с успехом применяется также отраженное освещение и освещение световыми потолками. Многие объемные экспонаты, например диорамы, требуют встроенного освещения.

Подробные указания и рекомендации по устройству освещения в музеях содержатся в книге [35].

СПОРТИВНЫЕ СООРУЖЕНИЯ *

Можно сказать, что развитие массового спорта и прогресс техники искусственного освещения находятся в тесной взаимосвязи. Еще на памяти ныне живущего поколения соревнования, например, по футболу, происходили лишь в светлое время суток, сейчас же буквально все виды спорта полностью освобождены от зависимости от условий естественного освещения, т. е. от времени суток, а зрители, сидящие у своих телевизоров, разве что по характеру теней от спортсменов узнают о моменте включения искусственного освещения.

К освещению спортивных сооружений предъявляются высокие и разнообразные требования, различные для различных видов спорта. Создание вполне универсальных установок затруднительно и во всяком случае связано с программным управлением освещением в зависимости от происходящих соревнований.

Осветительные установки спортивных сооружений должны обеспечить возможность различения всех деталей игр, упражнений или соревнований как самими спортсменами, так и зрителями, нередко удаленными на большое расстояние. Пожалуй, однако, наиболее высокие требования судей, зрительную задачу которых можно считать наиболее ответственной.

* Вопросы освещения крытых и открытых спортивных сооружений имеют много общего и здесь рассматриваются совместно.

Устройство освещения спортивных сооружений регламентируется специальными нормами ВСН 1-73. Значения освещенности даны в нормах для газоразрядных ламп и могут быть снижены на одну ступень в случае применения ламп накаливания. Во многих случаях, кроме горизонтальной освещенности, нормируется также и вертикальная.

Для крытых спортивных сооружений значения горизонтальной освещенности лежат, в основном, в пределах от 150 лк (плавание, конный спорт, тяжелая и легкая атлетика) до 500 лк (фигурное катание, хоккей). Для открытых спортивных площадок в нормах преобладают значения 30—50 лк, но, например, для тенниса, хоккея с шайбой и плавания установлена норма 100 лк.

Существенно выше требования к освещению крытых и открытых спортивных арен с трибунами для зрителей. Так, в спортивных залах с трибунами более чем на 800 зрителей горизонтальная освещенность должна быть не менее 500 лк, а на открытых, в зависимости от вида соревнований и числа мест на трибунах, норма освещенности лежит в пределах 100—400 лк. Нормы освещенности могут быть с соответствующего разрешения повышены для сооружений союзного и республиканского значения. Нормы также не предусматривают ведения со спортивных объектов передач цветного телевидения; для этой цели необходима освещенность примерно 1000—1500 лк при преобладающем значении вертикальной освещенности и при очень высоких требованиях к равномерности освещения (примерно 1:1,5). Освещенность трибун для зрителей должна составлять не менее 50 лк в крытых залах и не менее 10% освещенности, нормированной для соревнований, — на открытых аренах. Значение коэффициента пульсации не должно превышать 20%.

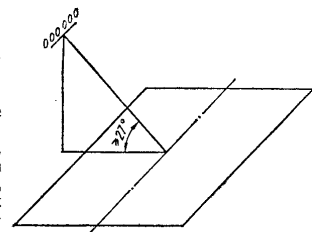


Рис. 7-6. Определение наименьшей высоты установки осветительных приборов для освещения спортивных полей

Большое значение при освещении спортивных сооружений имеет ограничение слепящего действия. Для закрытых залов показатель ослепленности не должен превышать 60 (см. нормы СНиП [1]); кроме того, требуется, чтобы при верхнебоковом освещении ось приборов концентрированного светораспределения была наклонена к вертикали под углом не более 40°. При таком же освещении открытых площадок высота установки приборов должна быть не менее 10 м и, кроме того, должна выбираться из условия, чтобы перпендикуляр, опущенный из светового центра приборов на продольную ось площадки, образовывал с ее плоскостью угол не менее 27° (рис. 7-6). Так, например, если расстояние между противоположными мачтами, освещающими спортивное поле, составляет 100 м, то высота этих мачт должна быть не менее $50 \cdot \operatorname{tg} 27^\circ = 25$ м. Практически применяются и большие высоты.

Светильники верхнего освещения открытых площадок должны иметь защитный угол не менее 30°.

С отраженной блескостью приходится считаться, в основном, лишь при освещении бассейнов, в которых, кроме плавания, производятся соревнования по прыжкам в воду и водному поло. Здесь устройство верхнебокового освещения обязательно; в крытых же бассейнах может применяться также отраженное освещение. Вообще система отраженного освещения для крытых спортивных сооружений является в известной мере универсальной, но ее применение ограничивается низкой экономичностью и тем, что при этой системе получается слишком мягкое, некоонтрастное освещение.

В небольших спортивных залах школьного типа освещение чаще всего выполняется люминесцентными лампами. Светильники или световые панели, защищенные от повреждения мячом, размещаются равномерно по поверхности потолка или в два ряда вдоль продольных стен (на торцевых стенах во всех случаях устанавливать осветительные приборы не следует). Одним из оптимальных способов освещения является установка вдоль продольных стен световых панелей с наклонной рассеивающей поверхностью (рис. 7-7).

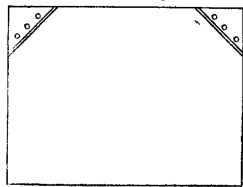


Рис. 7-7. Вариант освещения спортивного зала

Для больших залов с трибунами применяются и описаны в литературе самые разнообразные способы освещения и, по-видимому, пока нет оснований считать какой-либо из них предпочтительным. Так, есть примеры освещения люминесцентными лампами через рассеивающий или решетчатый потолок, верхнего освещения светильниками прямого света с обычными лампами накаливания, зеркальными лампами и лампами ДРЛ, отраженного освещения светильниками с лампами ДРИ, установленными на близком (0,9 м) расстоянии от потолка и т. д.

И все же преобладающей можно считать в мировой практике систему верхнебокового освещения со стороны продольных стен, причем большие размеры залов заставляют применять здесь приборы концентрированного светораспределения, нередко со специально рассчитанными профилями отражателей и с мощными лампами типов ДРИ и КГ.

Лампы типов ДРИ и КГ (наряду, конечно, с люминесцентными лампами) вполне благоприятны для передач цветного телевидения.

Относительно в большей степени типизированы установки освещения открытых спортивных полей. Слепящее действие источников света определяется, в числе других причин, вероятностью попадания их в поле зрения, и если сравнить случаи, когда определенное количество прожекторов сосредоточено на немногих матчах или когда оно распределено между большим числом матчей, то независимо от определяемого расчетом значения показателя ослепленности (а может быть, даже вопреки этому значению) второй случай, при котором вероятность попадания прожекторов в поле зрения

больше, чем в первом, будет оценен как менее благоприятный в отношении ослепленности (см. также § 7-5).

Классической, можно сказать, схемой освещения полей для футбола и легкой атлетики является четырехмачтовая система (рис. 7-8, а), когда мачты располагаются с некоторым сдвигом за линию ворот, чтобы, не слепя вратаря, обеспечить ему различение мяча. Возможность приближения мяча к игровому полю обычно ограничивается трибунами, поэтому, чтобы при данной высоте мачт уменьшить слепящее действие и улучшить соотношение между вертикальной и горизонтальной освещенностью в пользу последней, иногда мачты изгибаются в сторону поля. Недостатком такого способа освещения являются резкие тени от игроков, за каждым из

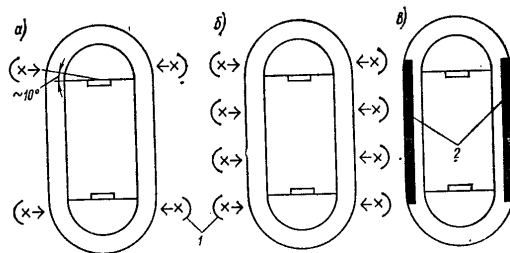


Рис. 7-8. Варианты освещения футбольных полей
1 — прожекторные мачты; 2 — прожекторы на козырьке над трибунами

которых при его перемещении по полю следует «крест теней». Тени смягчаются при многомачтовой системе освещения и вовсе исчезают, когда при устройстве над трибунами козырьков прожекторы рассредоточиваются вдоль последних (рис. 7-8, б и в). Соответственно ухудшаются условия слепящего действия вследствие уменьшения высоты установки прожекторов, а в последнем случае наблюдается своеобразный эффект исчезновения мяча, когда он виден для игрока на фоне ряда прожекторов.

Во всех случаях для освещения полей следует применять источники света высокой единичной мощности — в основном лампы типа ДРИ. Ксеноновые лампы мало экономичны и имеют некоторые другие недостатки.

Типовые схемы освещения существуют также для других открытых спортивных площадок: теннисных, волейбольных и т. д. Здесь допустимо и верхнее освещение при высоте установки приборов не ниже 12 м для волейбола и тенниса и 6 м — для хоккея, но все же предпочтительным является верхнебоковое освещение кососветами, наклонными светильниками или зеркальными лампами. Рекомендуемые варианты размещения не вполне уни-

версальны и несколько различаются для различных видов спорта.

Способы и приемы освещения различных спортивных объектов более подробно описаны в книге [36].

ЛЕЧЕБНЫЕ УЧРЕЖДЕНИЯ

Техника искусственного освещения лечебных учреждений переживает в последние годы своеобразный, можно сказать — кризисный, период, связанный с разработкой и внедрением новых нормативных документов и с запаздыванием здесь внедрением люминесцентных ламп.

Несомненно, что в современных условиях и с учетом тех высоких требований, которые предъявляются к уровням освещенности и качеству освещения, люминесцентные лампы должны быть здесь основными источниками света, между тем их применение многие годы ограничивалось Министерством здравоохранения.

Этому имеется две причины. Одним из основных объектов различия в лечебных учреждениях является кожа людей, а именно цвет кожи недостаточно хорошо передается при освещении люминесцентными лампами. Как посинение кожи («синюшность»), так и ее покраснение может быть причиной ошибочного диагноза, а синюшность, кроме того, оказывает на самих больных отрицательное психологическое воздействие. Вторая причина — это шум пускорегулирующих аппаратов, который долгое время не удавалось устранить и который здесь более недопустим, чем где бы то ни было.

Предпосылкой для внедрения в освещение лечебных учреждений люминесцентного освещения явилось как освоение бесшумных ПРА (исполнение ВПП), так и разработка люминесцентных ламп нового типа ЛХЕ. Лампа ЛХЕ-40 имеет световой поток 1930 лм, цветовую температуру 5100 К и общий индекс цветопередачи 93. Коэффициент пульсации ее потока составляет 60—70%, что, кстати создает трудности, так как даже при двухламповых схемах не может быть обеспечен нормированный коэффициент пульсации освещенности, составляющий 10%.

Повышенные требования предъявляются в лечебных учреждениях к ограничению дискомфорта яркости не только в силу ответственности зрительных задач медицинского персонала, но и в силу того, что оси зрения могут здесь принимать различное положение, а например, в палатах преимущественно направлены вверх.

Светильники здесь должны иметь ограниченную яркость, и некоторыми специалистами признается чрезмерной даже такая габаритная яркость, как 2000—3000 кд/м². Кроме того, конструкция светильников должна не допускать скопления пыли и обеспечивать легкое ее удаление. Светильники, применяемые в лечебных учреждениях, должны выбираться в пределах перечня, согласованного с Министерством здравоохранения, но пока такого перечня нет. Из существующих светильников можно считать относительно приемлемыми потолочные светильники с замкнутыми рассеивателями из молочного органического стекла.

Наиболее характерны для лечебных учреждений три группы помещений: кабинеты врачей, палаты и операционные.

В кабинетах врачей общее освещение должно создавать освещенность 200—300 лк (при лампах накаливания 100—150 лк) и дополняться местным освещением стола врача и места осмотра больных. Последнее в ряде случаев можно считать технологическим в том отношении, что оно специализировано по назначению кабинета и нередко входит в комплект медицинского оборудования.

Освещение палат состоит из четырех функциональных частей: общее освещение должно обеспечивать максимум не только зрительного, но и психологического комфорта для больных, а чтобы их не утомлять, — должно создавать относительно невысокую освещенность 75 лк (при лампах накаливания 30 лк);

местное освещение необходимо для того, чтобы больные в постели могли читать, вязать и т. д., причем не мешая соседям по палате;

освещение для осмотра больных должно обеспечить зрительную работу медицинского персонала;

ночное освещение должно обеспечить возможность ориентации в палате при выключении всех других видов освещения, не нарушая сна больных, оно выполняется маломощными светильниками, установленными вблизи пола, у входной двери.

Одним из возможных способов освещения палат является установка над изголовьем каждой койки комбинированных настенных светильников с раздельными лампами для общего отраженного освещения и для местного освещения. Первая из этих ламп — люминесцентная, в качестве второй хотя и применяются люминесцентные лампы, но предпочтительны лампы накаливания, так как при единственной лампе местного освещения не может быть снижен коэффициент пульсации.

В зарубежной практике применяются, а у нас разрабатываются специальные настенные прикроватные устройства, известные под названием «консолей» и являющиеся своего рода электромедицинским комбайном. В них встраиваются устройства для общего, местного, ночного и обзорного освещения, для вызова медицинского персонала, для телефонной связи, наконец для радио и телевидения.

В операционных, помимо общего освещения (400 лк — при люминесцентных лампах и 200 — при лампах накаливания), необходимо местное освещение операционного поля, к которому предъявляются совершенно специфические требования: освещенность должна достигать 20—30 клк (в некоторых случаях — до 100 клк), освещение должно быть регулируемым по силе и направлению, нагрев операционного поля должен быть ограничен применением теплозащитных фильтров. Одно из главных требований состоит в том, что для исключения теней от рук оперирующего и обеспечения вертикальной освещенности всех поверхностей световой поток должен быть направлен на поле со всех сторон. В малых операционных для этого служат специальные светильники с отражателем больших размеров, в больших операционных — составные светильники из многих ламп с индивидуальными зеркальными отражателями, одна из конструкций которых показана на рис. 7-9.

В конструкцию подобных светильников могут входить устройства для фотографирования и даже для телесъемки. Освещенность операционной зоны достигает значений, при которых белые ткани становятся слепящими, и персоналу приходится иногда применять темные халаты.

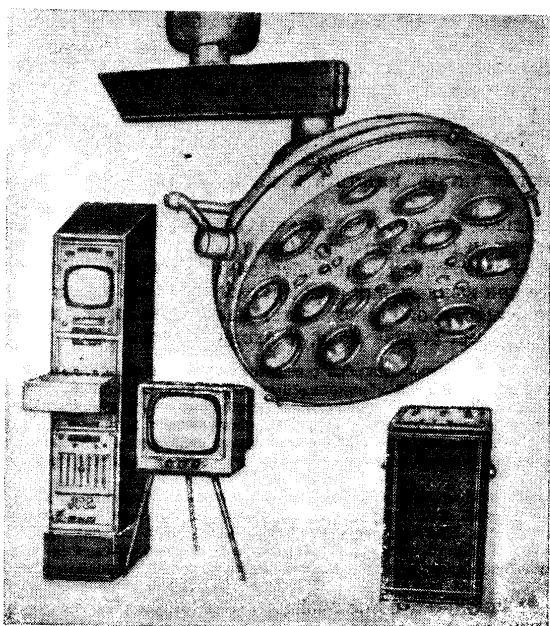


Рис. 7-9. Хирургический светильник «Свет-15»

Как другую светотехническую крайность, встречающуюся при освещении лечебных учреждений, можно упомянуть, что в рентгеновских кабинетах, помимо обычного общего освещения, устраивается «адаптивное» освещение, с освещенностью всего 3 лк.

Достаточно полные и подробные сведения по устройству осветительных установок в больницах, поликлиниках, лечебно-профилактических и других аналогичных объектах содержатся в книге [37].

7.4. АРХИТЕКТУРНО-ХУДОЖЕСТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

Термин архитектурно-художественное освещение является в известной степени спорным и неточным. Здесь он условно применяется к осветительным установкам, в которых преобладающее значение имеют эстетические требования к освещению интерьера. В известной степени эти требования должны, конечно, учитываться и при освещении рабочих помещений, т. е. при так называемом рациональном или утилитарном освещении, но там они имеют подчиненное значение и должны соблюдаться постольку, поскольку они не идут в ущерб экономике и качеству освещения. Так, в помещениях удлиненной формы в большинстве случаев наиболее рационально размещать люминесцентные светильники продольными рядами, и если архитекторы требуют устройства поперечных рядов, вызывающих психологический эффект сокращения длины, то с этим не следует считаться (эта точка зрения подтверждена Госстроем СССР).

Проблема архитектурно-художественного освещения распадается на две основные части: распределение яркости (а иногда также цветности) по поверхностям помещения и внешний вид осветительных устройств как элемент оформления интерьера.

Первая задача решается, в основном, художником или архитектором. Средствами светотехники можно создать эффект приближения или удаления поверхностей, изменения их размеров, увеличения или уменьшения кривизны свода, «отрыва» одной поверхности от другой, создать впечатление торжественности или праздничности. Всеми этими эффектами управляют определенные закономерности, здесь не рассматриваемые.

Вторая задача решается архитектором и светотехником совместно, чаще всего на основе одного из трех принципов:

1) осветительные приборы выполняются как органическая часть остального оформления интерьера;

2) осветительные приборы должны иметь подчеркнуто утилитарный характер;

3) осветительные устройства, по возможности, не должны быть видны вообще.

Два последних принципа реализуются, в частности, в случаях, когда освещаются уникальные, охраняемые государством помещения старинных зданий, если отсутствуют специально для них предназначенные осветительные приборы, так как большинство архитекторов считает своего рода кощунством попытку «украсить» эти помещения современными изделиями или подделкой под стиль прошлого.

Из неограниченно разнообразных технических возможностей устройства архитектурно-художественного освещения здесь могут быть рассмотрены лишь некоторые наиболее распространенные.

В эпоху свечного освещения были широко распространены многосвечевые люстры и канделябры. Значительная часть их сохранилась, приспособлена для свечеобразных ламп накаливания и является неотъемлемой принадлежностью интерьера, хотя далеко не обеспечивает современных норм освещенности. Часто удается в чашах этих люстр или в части рожков установить почти незаметные для посетителей мощные лампы накаливания, например зеркальные лампы, направленные в сторону потолка, и получить необходимую освещенность. В других случаях люстры сохраняются

как декоративный элемент, основная же часть освещенности создается одним из способов отраженного освещения.

Для зданий нового строительства нередко и сейчас разрабатываются новые люстры, настенные светильники и т. д., хотя эти осветительные устройства сейчас не являются наиболее распространенными. Лампы накаливания помещаются в разного рода рассеиватели («тюльпаны») или чаши из молочного, матированного и других сортов стекла. Люминесцентные лампы заключаются в стеклянные цилиндры или же их линейная форма маскируется надеваемыми на них манжетами из светорассеивающих материалов.

Средствами архитектурно-художественного освещения могут быть и светильники (потолочные, подвесные, настенные, напольные) как типовые, так и изготовляемые по индивидуальным заказам. Определенный художественный эффект может быть достигнут уже самим способом расположения светильников. Например, одноламповые люминесцентные светильники с рассеивателем из органического стекла могут размещаться вертикально на стенах и в простенках, отдельными «свечами» или группами, располагаться по контуру архитектурных линий помещения, образовывать определенные фигуры на потолке и т. д.

Вполне современным решением являются «звездочки», т. е. утопленные в потолок и расположенные в определенном порядке или хаотично светильники с зеркальными лампами накаливания, закрытые снизу диффузным стеклом или концентрическими металлическими кольцами.

Большая группа возможных и интересных решений относится к области отраженного освещения. Основным недостатком последнего является повышенный расход энергии; кроме того, оно отличается некоторой монотонностью, для устранения которой нередко дополняется небольшим числом открыто установленных светильников, и, сильно смягчая собственные тени, несколько скрадывает рельеф архитектурных деталей или деталей на рабочей поверхности. Последнее обстоятельство не имеет, однако, решающего значения. Отраженное освещение можно считать противопоказанным в помещениях небольшой высоты, когда большая яркость последних создает давящее впечатление. Очевидной предпосылкой для устройства отраженного освещения являются высокие коэффициенты отражения поверхностей верхней части помещения, хотя иногда возникает необходимость применить такое освещение и при потолке, отражающем не больше 30% света.

Отмеченные недостатки отраженного освещения часто окупаются и перекрываются такими его достоинствами, как возможность осветить помещение скрытыми источниками света, высокой равномерностью, полным отсутствием прямой и почти полным отсутствием отраженной блескости, сильно смягченными падающими тенями и т. д.

На рис. 7-10 схематично показаны некоторые способы устройства отраженного освещения. Классическим способом являются

световые карнизы *a*. Предпосылкой для их применения является наличие или возможность устройства в помещении строительных карнизов при их определенных размерах и расположении. Размеры определяются необходимостью разместить определенное число ламп (причем люминесцентные лампы располагаются обычно в несколько «ниток») при соблюдении условия, чтобы для лиц, находящихся в наибольшем удалении от карниза, не были видны никакие части ламп и чтобы кромка карниза не экранировала удаленные участки потолка от прямого света ламп. Положение карниза в помещении определяется тем, что если требуется получить приемлемую равномерность яркости потолка или свода в поперечном направлении, то отношение $B : h_c$ не должно превышать 5 — при двухсторонних карнизах или 2 — при одно-

сторонних. При полусферических или полуцилиндрических сводах эти соотношения не ограничиваются. При плоских потолках они могут в случае необходимости несколько увеличиваться, при установке в карнизах зеркальных ламп накаливания или при устройстве зеркальных же вставок за лампами, направляющих свет к удаленным точкам потолка.

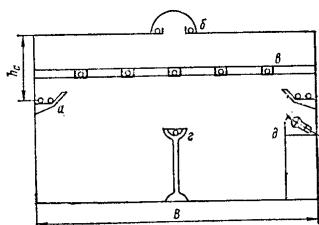


Рис. 7-10. Способы устройства отраженного освещения

Очень неприятное впечатление производят карнизы, на стене вдоль которых имеют место перепады яркости («зестриность»), позволяющие посетителю различать места установки отдельных ламп. Для устранения «зестриности» лампы накаливания должны вдоль карниза располагаться так, чтобы расстояние между нитями соседних ламп не превышало 1,5 (как максимум 1,7) их расстояния от стены. Люминесцентные лампы должны размещаться сплошными рядами, без разрывов, на расстоянии не менее 125—150 мм от стены, причем при использовании нескольких «ниток» концы ламп соседних рядов должны быть взаимно смещены в продольном направлении на 75—100 мм. Для достижения высокого коэффициента полезного действия карниза он, при соблюдении всех указанных требований, должен быть по возможности плоским и все находящиеся внутри него поверхности должны быть белыми.

При расчете карнизного освещения проводится условный потолок на уровне карниза и по формуле (3-32) определяется его приведенный коэффициент отражения. Соответственно этому коэффициенту и индексу помещения определяется коэффициент $k_{п.р.}$, после чего необходимый поток ламп находится по формуле

$$\Phi = \frac{EkS}{\eta_k k_{п.р.}}$$

где E — освещенность, лк, k — коэффициент запаса; S — площадь помещения, м², η_k — к. п. д. карниза, обычно принимаемый равным 0,6 для ламп накаливания и люминесцентных ламп и 0,8 — для зеркальных ламп.

Карнизы могут устраиваться не только вдоль стен помещения, но и по балкам, ограничивающим отдельные кессоны потолка или вокруг куполообразных ниш в потолке (рис. 7-10). Разновидностью карнизного освещения является также установка ламп в пазухах капителей колонн.

Очень интересное, эффектное решение достигается применением для установки ламп отраженного света в системы пересекающихся подвесных желобов (рис. 7-10). Равномерно освещенный потолок над желобами производит иллюзию открытого неба.

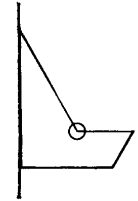


Рис. 7-11. Настенный светильник отраженного света

Пожалуй, незаслуженно редко для отраженного света применяются напольные светильники δ (рис. 7-10). Оформление их внешних частей целиком подчиняется архитектурному замыслу, внутренность же чаши может быть использована для установки ламп или светильников необходимого светораспределения.

Нередко обстоятельства заставляют искать такие способы освещения интерьера, чтобы в него вообще не вносились видимых инородных предметов. В этих случаях светильники или зеркальные лампы δ могут быть скрыто установлены на шкафах (рис. 7-10), старинных каминах и т. п.; желоба для установки ламп могут быть выполнены как естественное архитектурное завершение выставочных стендов и т. д.

Галогенные лампы накаливания КГ могут использоваться для отраженного освещения как в подвесных светильниках с непрозрачной или густой светорассеивающей нижней поверхностью, так и в настенных светильниках — своего рода коротких локальных карнизах (рис. 7-11). Известны случаи, когда в помещениях, находящихся под охраной государства, прежнее освещение не сохранилось, а создание новых осветительных приборов, соответствующих оформлению интерьера, было невозможным. Задача была решена установкой вдоль стен с интервалом, соответствующим шагу окон, таких коротких карнизов, незаметно вписавшихся в интерьер. Представленная на рис. 7-11 конструкция выполнена из алюминия, нижняя поверхность — диффузная, задняя стенка — зеркальная, форма торцевых стенок обеспечивает горизонтальность границы светотени на стене, что является немаловажной деталью.

Довольно распространенное в настоящее время решение, известное под названием «жабры» или «падуги» в зависимости от особенностей устройства может давать как отраженное (рис. 7-12, а), так и прямое (рис. 7-12, б) освещение. Жабры (падуги) размещаются поперек потолка; под лампами иногда делается ряд круглых отверстий, оживляющих вид помещения; установка светильников, дающих направленное освещение, возможна лишь в конференц-залах и зрительных залах при определенной ориентации осей зрения посетителей.

Следующая группа осветительных устройств, используемых для архитектурно-художественного освещения, это более или менее значительные по площади поверхности, светящиеся пропущенным светом лампы. Сюда относятся световые потолки, потолочные или стенные панели, искусственные окна, полосы и т. д.

Рассмотрим подробнее устройство световых потолков, поскольку в других перечисленных элементах используются, в основном, те же принципы. Световые потолки выполняются по двум

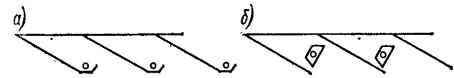


Рис. 7-12. Варианты освещения с помощью «жабр» («падуг»)

основным схемам: или над светопроницаемой плоскостью потолка имеется большое свободное пространство «технического этажа» — рис. 7-13, а (в этом случае потолок нередко используется также для естественного освещения), или эта плоскость подшивается на незначительном расстоянии от строительного потолка (рис. 7-13, б), так что между обоими потолками образуется «техническая полость». В первом случае люминесцентные лампы, которые почти исключительно применяются для световых потолков, устанавливаются

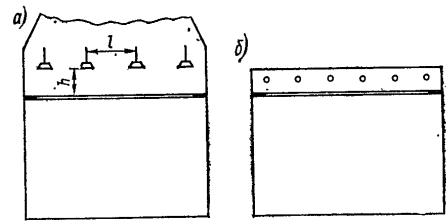


Рис. 7-13. Световые потолки

в обычных или специальных светильниках прямого света, во втором случае внутренние поверхности полости выполняются хорошо отражающими и лампы устанавливаются открыто, что повышает коэффициент использования светового потока и способствует выравниванию яркости поверхности потолка.

Обычно основным критерием качества потолков является именно равномерность их яркости, при этом практически невозможно различать места установки отдельных ламп или светильников.

Это достигается прежде всего выбором для светопроницаемой поверхности потолка материалов с достаточной степенью рассеивания света. Плоское молочное силикатное стекло получить почти невозможно, а его ломкость делает этот материал нежелательным.

Основным материалом для световых потолков служит поэтому молочное светотехническое органическое стекло, но его горючесть заставляет рассматривать пространство над потолком как пожароопасную зону. Еще лучшими являются специальные рудонные пленочные материалы, диффузно рассеивающие, негорючие, плоские, иногда волнистые, что оживляет вид потолка.

В существующих зданиях нередко возникает желание выполнить световой потолок на основе уже имеющегося остекления. Это возможно только после опытного опробования, так как подавляющее большинство сортов стекла не обладает необходимой степенью диффузности.

У нас пока не применяются, но за рубежом широко распространены, световые потолки из призматических пластических материалов. Призматическая поверхность (со стороны помещения) позволяет придать светораспределению элементов таких потолков необходимый характер, в частности уменьшить их яркость в сильно наклонных направлениях, что существенно, поскольку при очень высоких освещенностях яркость диффузных потолков может вызывать ослепленность. Другим способом борьбы с ослепленностью является устройство ребристых световых потолков (рис. 7-14), при которых высокие строительные балки образуют достаточный защитный угол.

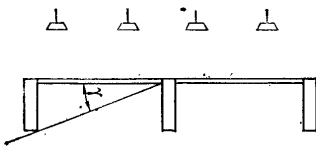


Рис. 7-14. Ребристый световой потолок

В ряде случаев в качестве светопропускающей поверхности потолков используются экранирующие решетки («люверсы»), о которых подробнее сказано ниже. Для решеток рекомендуется защитный угол 45° , т. е. при квадратных ячейках высота планок должна быть равна стороне ячейки.

Помимо выбора материала, равномерность яркости светового потолка обеспечивается определенным соотношением размеров l и h (рис. 7-13). При потолках из рассеивающих материалов рекомендуется, чтобы значения $l : h$ не превышали при использовании открытых люминесцентных ламп 2,4 (1,4), для тех же ламп в светильниках с косинусным светораспределением в поперечной плоскости — 1,8 (1,2), для зеркальных ламп накаливания с глубоким светораспределением — 0,9 (0,7). Значения в скобках обеспечивают полную равномерность яркости, вне скобок — допустимую степень неравномерности. При экранирующих решетках с квадратными ячейками то же отношение рекомендуется принимать равным котангенсу защитного угла.

В связи со сказанным надо отметить, что не при всякой возможной высоте светильников или ламп над потолком и не при любых значениях освещенности возможно вообще устройство световых потолков по всей площади помещения. Если освещенность невелика, а высота установки ламп над световым потолком ограничена, то число ламп, определенное по условиям равномерности яркости, может значительно превысить количество, необходимое для получения заданной освещенности. В таких случаях возможна замена сплошных потолков отдельными световыми панелями.

Расчет освещения от световых потолков из светорассеивающих материалов с установленными над ними светильниками по ме-

туду коэффициента использования производится по следующей схеме.

Пусть поток установленных ламп Φ (в люменах). Рассматривая пространство над потолком как самостоятельное помещение, обычным путем определяем коэффициент использования потока ламп относительно поверхности потолка η_r . Тогда на поверхность потолка падает поток $\Phi\eta_r$, а в помещение проникает поток $\Phi\eta_r\tau\sigma$, где τ — коэффициент пропускания остекления (обычно 0,6—0,7) и σ — определяемое по конструктивному чертежу потолка отношение светопропускающей площади потолка к полной.

По индексу помещения i и коэффициентам отражения его поверхностей определяется коэффициент $k_{л.р}$ и делится на коэффициент отражения потолка, который можно принять равным 0,3, так как речь идет об использовании потока, не падающего на потолок, а излучаемого им.

Тогда полезный поток составит $\Phi\eta_r\tau\sigma \frac{k_{л.р}}{0,3}$ и создаст на расчетной плоскости освещенность

$$E = \frac{\Phi\eta_r\tau\sigma k_{л.р}}{0,3S},$$

где S — площадь помещения, m^2 .

Коэффициент z можно считать равным единице. Решая это уравнение относительно Φ , можно подобрать необходимое число, мощность и расположение ламп.

Когда над потолком располагаются открытые лампы в полости с хорошо отражающими поверхностями (что особенно часто встречается при устройстве отдельных световых панелей), точный расчет затруднителен, а опытное определение коэффициента полезного действия устройства редко возможно. Практически значение этого коэффициента можно считать близким к 0,5, а дальше при расчете поступать так, как указано выше и как рассмотрено в гл. 3.

Другие световые элементы (панели, окна, полосы и т. д.) выполняются на тех же основаниях, которые выше рассмотрены для световых потолков, с той разницей, что для элементов, расположенных в вертикальной плоскости, исключается применение экранирующих решеток, так как в этом случае они не защищают глаз от прямого света ламп. Если световые окна не используются одновременно для естественного освещения (что имеет место, например, в подземных сооружениях), то они могут устраиваться и по принципу отражения света от их задней, белой поверхности. Остекление в этом случае производится прозрачным стеклом, а переплет выполняется в виде желобов, в которых устанавливаются лампы.

Специально об экранирующих решетках надо сказать, что, помимо своего чисто утилитарного назначения — создавать защитный угол, они в последнее время приобретают все большее значение также в качестве декоративного элемента.

Классическим материалом для экранирующих решеток является органическое стекло, сочетающее в себе высокие светотехниче-

ские характеристики с легкостью обработки и отсутствием необходимости рихтовки планок, но применяются также решетки из алюминия или других металлов, натуральных или окрашенных. Из пластических масс путем штамповки изготавливаются также наборные фигурные элементы решеток, легко соединяемые в поверхности необходимой площади с помощью соответствующих выступов и пазов.

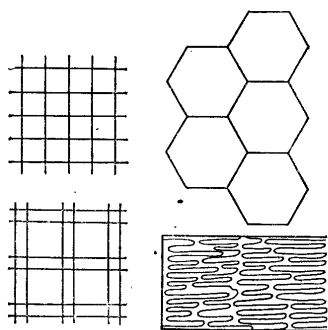


Рис. 7-15. Экранирующие решетки

Простейшей и наиболее распространенной формой ячеек решетки является квадрат, но применяются и другие формы (рис. 7-15). Последняя из показанных на рисунке фигурная решетка выполнена из своеобразно изогнутой по рисунку художника металлической ленты. Обладая, конечно, весьма незначительным коэффициентом пропускания, подобного рода решетки часто создают очень хороший художественный эффект.

Приведенный обзор, охватывая лишь незначительную часть приемов архитектурно-художественного освещения, показывает все же, сколь неограниченные возможности для творчества архитектора и светотехника имеются в этой области. Более подробные сведения по архитектурному освещению можно получить в книге [38].

7-5. ОСВЕЩЕНИЕ ОТКРЫТЫХ ПРОСТРАНСТВ

Освещение открытых пространств отличается от внутреннего освещения рядом существенных особенностей.

Во многих случаях здесь также нормируется наименьшая освещенность, но, например, для улиц и дорог в пределах населенных пунктов, где основной задачей водителей транспорта является различение препятствий на пути движения, нормируемым показателем является средняя яркость дорожного покрытия, а для пешеходных путей — средняя освещенность.

Для внутреннего освещения ограничение неравномерности освещения является второстепенной задачей, для наружного же — достаточно важной. Это обусловлено тем, что здесь экономически оправданы значительные расстояния между светильниками, и если не ограничивать неравномерность, то могут быть приняты варианты, неприемлемые по качеству освещения.

Для территорий предприятий и населенных пунктов обязательным является централизованное, обычно — дистанционное, уп-

равление освещением из одного или немногих пунктов хотя бы потому, что в современных условиях нельзя рассчитывать на своего рода «фонарщиков» (как это было до появления электрического освещения), дважды в день обходящих улицы.

В наружном освещении различается освещение светильниками (иногда называемое «фонарным» освещением) и прожекторами. Эти два способа освещения в какой-то мере являются конкурирующими, причем каждый из них имеет свои преимущества и недостатки, нередко проявляющиеся индивидуально, в зависимости от характера объекта освещения. Так, считается, что прожекторное освещение создает повышенную ослепленность по сравнению с фонарным. Но, например, при освещении небольших открытых подстанций, где при использовании прожекторов достаточно иметь две мачты, персонал при обслуживании аппаратов может выбрать такое положение, чтобы прожекторы не попадали в поле зрения, тогда как при освещении светильниками это не удастся, так как их приходится в большом числе рассредоточивать по площади подстанции.

Нельзя сказать в общем виде, какой способ освещения является более экономичным. Если отвлечься от реальных условий и представить себе двухмерную площадь, которую требуется осветить равномерно и в пределах которой не ставится никаких ограничений размещению осветительных приборов, то преимущества будут на стороне фонарного освещения: коэффициент полезного действия светильников выше, чем прожекторов, и с их помощью можно получить более равномерное освещение. Однако именно возможность свободного размещения осветительных приборов имеется далеко не всегда; нельзя устанавливать опоры на площади футбольного поля, равно как практически исключается подвеска над этим полем светильников на тросах, на недоступной для мяча высоте. Карьеры, акватории, многие открытые склады и т. д. являются объектами, где размещение светильников невозможно или жестко ограничено, и чаще всего этот признак предопределяет выбор прожекторного освещения.

К числу недостатков прожекторного освещения можно отнести сравнительно резкие тени, к числу преимуществ — легкость создания высоких вертикальных освещенностей.

В последнее время намечается тенденция к расширению применения прожекторного освещения по чисто эксплуатационным соображениям. Опоры для светильников и тросы для их подвески в какой-то степени являются препятствиями для транспортных средств, особенно для погрузочных механизмов с длинными стрелами. Жалобы предприятий на повреждение тросов носят массовый характер, а наезды автомашин на опоры являются распространенным видом дорожно-транспортных происшествий. Работники эксплуатации считают также, что сосредоточенная установка прожекторов на ограниченном числе мачт уменьшает трудозатраты по их обслуживанию по сравнению с фонарным освещением, хотя надо сказать, что сами по себе прожекторы требуют более квалифицированного ухода, чем светильники.

Устанавливаются ли светильники на опорах или подвешиваются на тросах, всегда капитальные затраты на установку светильников вне зданий относительно высокие, что делает оправданным их раз-

мещение на расстояниях, существенно превышающих светотехнически или энергетически наивыгоднейшие, и типовые варианты их размещения часто основываются на минимуме приведенных годовых затрат (§ 8-4). По совокупности всех условий (экономическая оптимальность, эстетика, безопасность, ограничение ослепленности) высота установки светильников выбирается в пределах 6—10 м, за исключением декоративных светильников в парках, у входов в здания и др. При заданной степени неравномерности с увеличением высоты установки может быть увеличен пролет, в силу чего в последние годы в зарубежной литературе пропагандируется «высокомачтовая» система освещения, при которой светильники устанавливаются на высоте

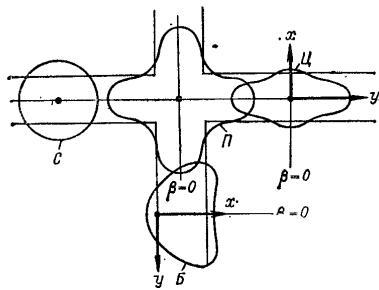


Рис. 7-16. Типичные формы изолюкс светильников для улиц

12—16 м и более. При воздушных сетях расстояние между светильниками ограничивается стрелой провеса проводов и обычно не превышает 40 м. Даже если светильники освещают большую поверхность, преимущество имеют светильники широкого светораспределения, допускающие размещение на относительно большом расстоянии друг от друга. Чаще встречается задача освещения относительно узких полос, и в этом случае становятся целесообразными светильники несимметричного светораспределения, достигаемого с помощью призматической или зеркальной оптики. На рис. 7-16 четыре характерных типа светораспределения светильников показаны формой изолюкс горизонтальной освещенности: С — симметричное светораспределение, П — светильники для площадей и перекрестков, Ц — светильники для центрального подвеса над осью освещаемой полосы, Б — светильники для боковой установки на краю полосы. На рисунке показаны также направления, от которых ведется отсчет азимутальных углов β .

Светораспределение прожекторов имеет различный характер в зависимости не только от особенностей их оптической системы, но и не в меньшей степени от типа применяемых источников света. Известно, что достижимая оптическими средствами степень концентрации светового потока в определенной плоскости тем выше, чем меньше размеры светящего тела в сечении данной плоскостью.

Соответственно наименьшую степень концентрации при светораспределении, обычно близком к симметричному относительно оптической оси, имеют прожекторы с лампами типа ДРЛ. По сравнению с другими типами прожекторов они менее чувствительны к точ-

ной фокусировке лампы, дают можно сказать, мягкое неслепящее освещение, но эффективны только на расстояниях до объекта освещения, не превышающих примерно пятикратной высоты установки.

Значительно большую концентрацию потока дают прожекторы с трубчатыми лампами: галогенными лампами накаливания типа КГ и ксеноновыми лампами типа ДКСТ, но форма этих ламп ведет к резкой асимметрии светораспределения относительно оси прожектора, так что кривая силы света в вертикальной плоскости оказывается весьма узкой, а в горизонтальной плоскости — относительно широкой. Так для прожекторов ПКН исполнения 1, имеющих гладкий отражатель, угол рассеяния в горизонтальной плоскости примерно в 5 раз больше, чем в вертикальной. Естественно, что чем в меньшем угле распределяется световой поток, тем большая может быть достигнута осевая сила света и, соответственно, радиус действия (понятие, кстати, весьма условное), но очень малые углы рассеяния в вертикальной плоскости могут привести к тому, что на небольших расстояниях и при значительных углах наклона световой пучок не «размажется» и в направлении вдоль проекции оси прожектора будет освещена лишь узкая полоса. Поэтому следует предпочесть для прожекторов ПКН исполнение 2, имеющее волнистый отражатель. Трубчатые лампы занимают в прожекторах жестко фиксированное положение и не требуют фокусировки, что можно считать преимуществом.

Наибольшую концентрацию потока при светораспределении, близком к симметричному относительно оси, дают прожекторы с лампами накаливания обычных типов или с металлогалогенными лампами типа ДРИ. Для специальных целей, например для освещения фасадов, эти прожекторы могут применяться со специальными стеклами, увеличивающими угол рассеяния в горизонтальной плоскости.

Высокая концентрация потока прожекторов с «точечными» лампами требует точной фокусировки, что является сложной, а при стремлении заводов к примитивизации фокусирующего устройства иногда и невыполнимой задачей.

К семейству прожекторов примыкают и светильники СЗЛ с зеркальными лампами накаливания, с успехом применяемые для освещения с больших расстояний.

В данное время опыт применения прожекторов с новыми источниками света еще невелик, тем более, что освоение прожекторов для новых ламп значительно отстает во времени от освоения самих ламп и устоявшиеся рекомендации по выбору прожекторов еще отсутствуют. Из вышесказанного ясно, что при освещении с близких расстояний уместно применение прожекторов с лампами ДРЛ или зеркальными лампами; прожекторы с обычными лампами накаливания еще сохраняют значение для средних расстояний, но успешно вытесняются прожекторами с лампами КГ, а впрямь будут вытесняться прожекторами с лампами ДРИ.

Для больших площадей и значительных расстояний конкурентоспособными сейчас признаются лампы КГ и лампы ДКСТ, но и здесь по мере повышения единичной мощности ламп ДРИ и освоения для них прожекторов они будут вытеснять остальные типы ламп.

Видимо, впрямь использование ламп ДКсТ будет ограничено случаями, когда особое значение имеет предельно высокая (50—100 кВт) единичная мощность ламп.

В порядке упрощенного сопоставления различных типов ламп для прожекторного освещения отметим, что лампа ДКсТ мощностью 10 кВт имеет номинальный поток 260 клм, лампа же КГ той же мощности лишь немного меньше — 220 клм, отличаясь, однако, меньшей стоимостью, большим сроком службы и возможностью непосредственного включения в сеть, тогда как для лампы ДКсТ требуется елочное и дорогое зажигающее устройство. Что касается лампы ДРИ, то уже при мощности 2 кВт она имеет поток 190 клм.

Для установки прожекторов следует использовать местные высотные сооружения, в частности крыши высоких зданий, на которых обору́дуются прожекторные площадки или даже вышки. Прожекторными площадками могут быть снабжены также отдельно стоящие молниеотводы. Чаще же всего для групповой установки прожекторов используются специальные мачты, как правило, металлические, реже — железобетонные.

Высота установки прожектора определяется прежде всего условиями ограничения ослепленности, которые требуют, чтобы она находилась в определенном соотношении с осевой силой света прожектора, а кроме того, требуемым «радиусом действия» установки. В соответствии с нормами [1] отношение осевой силы света I_{\max} (в канделах), одного прибора (прожектора или наклонно расположенного осветительного прибора прожекторного типа) к квадрату высоты установки этих приборов H^2 (в метрах) в зависимости от нормируемой освещенности не должна превышать значений, указанных ниже:

Нормируемая освещенность, лк	0,5	1	2	3	5	10	30	50
I_{\max}/H^2	100	150	250	300	400	700	2100	3500

Необходимо также учитывать, что если совпадают направления осевых сил света нескольких световых приборов, то допустимые значения нормируемой величины следует разделить на число этих световых приборов.

Интересно, что при очень больших размерах освещаемой поверхности теоретически оптимальным решением является установка над ее центром осветительных приборов широкого светораспределения и очень большой мощности на высоте, определяемой размерами площади и могущей достигать 100 м и более. Не следует считать фантастическим вариант подвески таких приборов к надежно вачаленному вмейковому аэростату.

Расположение прожекторных мачт определяется в процессе расчета и обычно расстояние между мачтами лежит в пределах 6—15-кратной их высоты. При выборе расположения мачт учитываются требования к направлению света в отношении ограничения вредных теней и слепящего действия.

ТЕРРИТОРИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Освещение территорий предприятий можно рассматривать как состоящее из трех частей: освещение дорог, проездов и дворов, охранное освещение вдоль границ и освещение открытых склад-

ских и производственных площадок. Эти три части должны быть разделены в отношении питания и управления, так что последнее должно быть отдельным для каждой из них. Все управление должно быть сосредоточено в одном или немногих пунктах, причем для открытых площадок дополнительно могут устанавливаться аппараты местного управления.

Чаще всего фидеры наружного освещения отходят непосредственно от щитов подстанций, но допускается питание этого освещения от отдельных щитков, присоединяемых к питающей сети зданий, или даже отдельными группами и от групповых щитков внутреннего освещения с сохранением, однако, принципа централизованного управления.

Могут питаться от сети внутреннего освещения зданий и не управляться централизованно светильники для освещения прилегающих к зданиям погрузочно-разгрузочных рам и участков, расположенных под навесами, а также светильники у входов в здания.

Для освещения дорог, проездов, проходов и железнодорожных путей на территории предприятий в СНиП [1] нормируется наименьшая горизонтальная освещенность в пределах 0,5—3 лк, причем отношение наибольшей освещенности к наименьшей не должно превышать 15. Ограничение слепящего действия обеспечивается регламентацией наименьшей высоты установки светильников.

Дороги и проезды на территориях предприятий обычно имеют ограниченную ширину, и для их освещения чаще всего устанавливается один ряд светильников по обочине. Светильники могут устанавливаться на опорах или на стенах прилегающих зданий. При наличии зданий с обеих сторон проезда целесообразна подвеска светильников на тросах, над осью проезда.

В качестве источников света сейчас чаще всего используются лампы ДРЛ. Перспективы применения ламп ДРИ и ДНаТ пока не ясны, так как при низких требуемых освещенностях были бы необходимы лампы малой мощности, до сих пор не выпускаемые.

Если рассматривать дорогу или проезд как изолированный объект, вне связи с остальной территорией, то применение здесь прожекторного освещения нецелесообразно, но оно может оказаться вполне оправданным, когда на генеральном плане имеются большие, незатеняемые зданиями участки: заводские дворы с возможностью движения по всей их площади, пучки железнодорожных путей и т. д.

Охранное освещение отнюдь не является обязательным для каждой территории. Оно должно устраиваться при наличии не только ограды, но и постоянных постов охраны. Для него нормирована горизонтальная освещенность 0,5 лк или такая же освещенность с одной стороны вертикальной плоскости перпендикулярной линии ограды. Чаще всего это освещение выполняется светильниками, опоры для установки которых целесообразно совмещать со стойками ограждения. Лампы охранного освещения должны обеспечивать мгновенное перезажигание при кратковременном прекращении питания, что предопределяет применение ламп накаливания.

Возможность ограничиться для охранного освещения получением вертикальной освещенности делает здесь возможным применение прожекторов, причем если вблизи ограждения нет населенных районов, то здесь можно ограничиться минимальной высотой установки и направить ось прожектора почти горизонтально. В силу ряда причин такой способ практически применяется только в некоторых системах автоматизированной охраны.

Частым объектом освещения на территории предприятий являются открытые складские и производственные площадки, для которых в зависимости от характера выполняемых работ нормирована освещенность от 2 до 50 лк. Помимо очевидной здесь возможности устройства прожекторного освещения, иногда являющегося единственным целесообразным решением, должны рассматриваться и варианты освещения светильниками. Некоторые открытые склады сыпучих материалов загружаются с помощью проходящих над ними транспортерных галерей, на стенах которых могут быть установлены светильники для освещения кучи. В других случаях имеются крановые эстакады с проходом по верху по всей длине, где могут быть размещены светильники. Наконец в некоторых случаях светильники могут быть подвешены на тросах, натянутых между опорами.

ТЕРРИТОРИИ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

За последние годы техника уличного освещения, будем так говорить для краткости, стала в какой-то степени самостоятельным подразделением осветительной техники — настолько здесь много специфических вопросов. Требования к уличному освещению систематизированы в Инструкции ВСН 22-75 [21], которая наряду с ВСН 19-74 по общественным зданиям [34], может быть признана одним из наиболее полноценных нормативных документов по технике освещения.

Согласно ВСН 22-75 улицы, дороги и площади разделяются на три категории: А — скоростные дороги, магистральные улицы общегородского значения, главные площади и т. д.; Б — магистральные улицы районного значения, дороги грузового движения общегородского значения, площади перед крупными общественными зданиями и т. д.; В — улицы и дороги местного значения, жилые и поселковые улицы и т. д. Для всех этих объектов нормируется средняя яркость дорожного покрытия, которая в зависимости от категории и интенсивности транспортного движения установлена в пределах от 0,2 до 1,6 кд/м² (для скоростных дорог во всех случаях принимается верхний предел), при отношении наибольшей яркости к наименьшей в различных случаях не более 3 или 5.

Эти нормы относятся к улицам с гладким асфальтобетонным покрытием. Для улиц с так называемыми переходными покрытиями (грунт-асфальтовыми, щебеночными и гравийными, обработан-

ными вяжущими материалами, булыжными и т. п.) и с простейшими покрытиями (грунтовыми, гравийными, щебеночными, шлаковыми), каковыми могут быть только улицы категорий Б и В, нормируется средняя освещенность в пределах от 2 до 6 лк.

Средняя освещенность, при одновременной регламентации предельной неравномерности, нормирована также для всех других объектов: непроезжих частей улиц и площадей, бульваров и скверов, территорий микрорайонов, территорий учебных, воспитательных и лечебных учреждений, словом, во всех случаях, когда речь не идет о зрительных задачах водителей транспорта. Уровень средней освещенности в большинстве случаев нормирован в пределах от 1 до 10 лк.

В установках уличного освещения при средней яркости покрытия 0,4 кд/м² и выше, или при средней освещенности 4 лк и выше рекомендуется применение газоразрядных ламп. Практически наибольшее применение имеют в настоящее время лампы ДРЛ. Хотя с помощью определенных мер можно обеспечить относительно надежную работу люминесцентных ламп в условиях отрицательных температур, но опыт их применения на улицах (особенно в условиях городов северной части СССР) не оправдал себя.

Необходимо отметить, что лампы ДРЛ при температуре ниже —25 °С также загораются недостаточно надежно. Для наружного освещения в районах, где достаточно часто и длительно бывает температура ниже —25 °С, целесообразно применять специальные лампы ДРЛ в исполнении «ХЛ», предназначенные для холодного климата.

Из новых источников света для освещения улиц наиболее перспективны лампы ДНаТ, уже начинающие использоваться в ряде городов.

Ограничение ослепленности для объектов категорий А и Б обеспечивается установлением предельного показателя ослепленности $P = 150$ [1 и 21], а во всех остальных случаях — регламентацией наименьшей высоты установки светильников в зависимости от характера светораспределения и светового потока ламп. В некоторых случаях наименьшая высота определяется конструктивными обстоятельствами; так, на улицах с трамвайным или троллейбусным движением провода и тросы уличного освещения должны располагаться выше контактных сетей, что требует высоты 8—9 м.

Применение прожекторов для освещения улиц и площадей нормами запрещается, но прожекторы находят широкое применение для освещения фасадов зданий, памятников и т. п.

Расчет уличного освещения по средней яркости производится методом, рассмотренным в § 4-3, по средней освещенности — с помощью таблиц обычных коэффициентов использования, которые в данном случае составляются в функции не индекса помещения, а отношения ширины освещаемой полосы к высоте установки светильников. С учетом того, что, помимо средних значений яркости или освещенности, должны быть обеспечены предельные значения коэффициента неравномерности, а принятое решение должно быть

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ЭКСПЛУАТАЦИЯ
И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОБОСНОВАННОСТЬ
ВЫБОРА ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК**

8.1. ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДИКА ПРОЕКТНЫХ РАБОТ

Осуществление новых осветительных установок и сколько-нибудь существенная реконструкция действующих выполняются по проектам, разрабатываемым соответствующими организациями или непосредственно предприятиями.

Хотя проекты освещения часто входят в общий комплекс проектов электрооборудования, светотехническое проектирование столь специфично, что, как правило, не может успешно выполняться электриками широкого профиля, а должно поручаться лицам, специализирующимся в этом виде работ. Соответственно в небольших проектных организациях для этого выделяются отдельные лица, в крупных — специальные бригады, в электротехнических институтах — отделы или секторы.

В последнем случае при большом объеме работ оказывается целесообразной дальнейшая специализация исполнителей. В зависимости от профиля организации она может осуществляться различным путем, но прежде всего целесообразно выделение отдельных лиц для проектирования освещения зданий и для проектирования наружного освещения. В свою очередь из числа проектирующих внутреннее освещение может оказаться целесообразным выделение специалистов по проектированию общественных зданий и бытовых корпусов, а иногда и специализация исполнителей по различным отраслям промышленности.

Исполнители светотехнических отделов и секторов разбиваются на бригады; как показывает опыт, один руководитель может вести бригаду в составе не более 4—5 человек. Оплата труда применяется как повременно-премиальная, так и сдельная.

Существенно важной для успешного выполнения проектных работ является хорошая обеспеченность исполнителей руководителями, справочными и информационными материалами, в том числе справочниками по проектированию освещения, общесоюзными (Правила устройства электроустановок — ПУЭ, СНиП, СН, ВСН) и отраслевыми нормами, каталогами изделий, номенклатурами заводов на текущий год и т. д. Большое значение имеют работы, выпускаемые по плану технических мероприятий головными проектными институтами. Эти работы, не носящие характера общеобязательных норм, посвящены обобщению опыта проектирования и типизации проектных решений по определенным, относительно узким вопросам: например, проектирование прожекторного освещения, освещение предприятий определенной отрасли промышленности и т. п. Значительное число таких работ, выпущенных ин-

близким к экономически оптимальному, расчет оказывается достаточно сложным и редко выполняется в индивидуальном порядке.

Госгражданстроем СССР разработаны и изданы типовые решения освещения улиц и дорог [39], которыми и следует руководствоваться.

На рис. 7-17 показаны характерные схемы размещения светильников уличного освещения, причем двухрядное расположение может быть как прямоугольным, так и шахматным.

Для освещения узких проездов, тротуаров, прилегающих к домам, и внутриквартальных площадей в последнее время применяются специальные настенные светильники, которые могут питаться от внутридомовой сети.

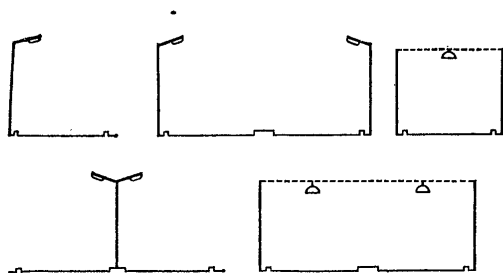


Рис. 7-17. Схемы размещения светильников на улицах

Управление освещением улиц и площадей должно быть централизованным: телемеханическим или дистанционным, и осуществляться из одного центрального или центрального и нескольких районных диспетчерских пунктов, имеющих прямую телефонную связь, дублированную радиосвязью.

Уличное освещение должно включаться при снижении урона естественной освещенности до 20 лк и отключаться при ее повышении до 10 лк, что осуществляется с помощью фотоавтоматики или программных устройств. В ночное время для улиц, дорог и площадей с нормированной средней яркостью не менее 0,4 кд/м² или со средней освещенностью не менее 4 лк допускается снижение освещенности путем выключения не более половины светильников. Для этого в сетях уличного освещения выделяются отдельно управляемые «вечерние» и «ночные» фазы, на улицах же категорий А и Б допускается прокладка отдельных кабелей вечернего и ночного освещения.

Другие требования норм к устройству уличного освещения имеют целью обеспечить его надежную работу.

ститутом Тяжпромэлектропроект, получили широкое применение в проектных организациях.

В качестве примера подобных работ могут быть названы неоднократно издававшиеся Проектные решения по освещению характерных помещений. В этой работе для помещений, наиболее часто встречающихся в различных отраслях промышленности (вспомогательно-бытовых помещений, цеховых электропомещений, разного рода галерей и туннелей, насосных, компрессорных и т. д.), даются значения не только освещенности и качественных характеристик освещения, но и рекомендации по выбору типа светильников и рода проводки, а во многих случаях приводятся типовые варианты расположения светильников и схем электрической сети.

При проектировании следует уделять серьезное внимание конструктивному решению отдельных узлов осветительных установок. В целях наибольшей индустриализации электромонтажных работ следует во всех возможных случаях применять конструктивные элементы, выпускаемые заводами с компоновкой их в возможно более крупные узлы. Таким узлом может быть, например, узел установки светильника с лампой ДРЛ на ферме, включающий устройство для крепления к ней, кронштейн, ПРА и сам светильник. Типовые альбомы конструктивных узлов выпускаются также институтом Тяжпромэлектропроект.

Не удается, однако, избежать и применения индивидуально разрабатываемых конструкций, в связи с чем в составе светотехнических отделов или групп целесообразно иметь конструкторов-специалистов.

В ряде случаев конструктивные чертежи, выпускаемые для определенного объекта, могут по своему характеру быть в дальнейшем использованы и в других проектах и тогда они оформляются как безобъектные чертежи многократного применения. В целях удобства последующего использования должен вестись каталог таких чертежей.

Исключительную роль во всяком проектировании должны играть типовые проекты, однако в светотехническом проектировании эта роль не столь велика отчасти из-за нередких изменений нормативных материалов, в основном же из-за неустойчивости номенклатур изделий светотехнической промышленности. Тем не менее в ряде случаев, преимущественно для зданий непроизводственного и вспомогательного характера, такие проекты применяются, и задачей проектирующего является их так называемая «привязка» к конкретному объекту проектирования. При привязке проектируется внешняя питающая сеть (так как в типовых проектах сеть, естественно, разрабатывается, только начиная от ввода) и проверяется соответствие типового проекта требованиям и условиям данного момента, причем привязывающий несет ответственность за качество привязанного им проекта. При проектировании следует широко использовать проекты-аналоги, т. е. ранее выполненные проекты для объектов, подобных данному.

По окончании проекта рекомендуется составлять его «паспорт», в котором фиксировать итоговые и удельные показатели: мощность полную и удельную, расход проводниковых материалов на один светильник, стоимость установки на один установленный киловатт и т. д. Такие показатели позволяют не только критически оценить эффективность данного проекта, но могут быть использованы и

в последующих работах для предварительного определения стоимости, мощности и потребности в материалах и оборудовании.

Объем проектной документации на различных стадиях определяется Инструкцией по разработке проектов и смет для промышленного строительства СН 202-76 [40] и более детально нормами института Тяжпромэлектропроект.

Различаются следующие стадии проектирования:

- 1) технико-экономические обоснования (ТЭО);
- 2) технический проект (ТП);
- 3) рабочие чертежи (РЧ);
- 4) технорабочий проект (ТРП).

В данное время предпочтительно рекомендуется выполнение проектов в две стадии: ТЭО и ТРП; в сложных случаях ТП и РЧ. Стадийность проектирования определяется вышестоящими организациями. Если проекты освещения выполняются отдельно, вне комплекса всей проектной документации, то, как правило, они должны иметь одну стадию — ТРП.

Объем ТЭО еще не нормализован. В данное время он обычно ограничивается короткой пояснительной запиской с изложением основных положений, определением общей мощности и сметно-финансовым расчетом, в котором общая стоимость установки определяется умножением установленной мощности на определенную по данным проектов-аналогов стоимость 1 кВт.

Задача ТП — принятие основных решений и определение окончательной стоимости установки. В состав ТП входят: пояснительная записка, ведомость основных технических показателей, заявочная ведомость на электрооборудование, кабельные изделия и основные материалы, план-схема внутренней питающей сети и план внешней сети, основные строительные задания, смета.

В ведомости основных показателей для каждого крупного помещения или для группы однотипных или мелких помещений указывается площадь, преимущественная освещенность, преимущественный тип светильников, удельная и установленная мощность, число светильников общего и местного освещения, число контактных разъемных соединений, преимущественный род проводки.

Светотехнические данные определяются на основании фрагментарных расчетов или проектов-аналогов, на основании проектов-аналогов или же систематизированных показателей по ранее выполненным проектам определяются данные групповой сети; в полном объеме рассчитывается только питающая сеть.

Заявочные ведомости на стадии ТП составляются укрупненно в том отношении, что не дается полной разбивки изделий по типоразмерам, а приводится только их общая характеристика, например: светильники для люминесцентных ламп, светильники для взрывоопасных помещений, провода изолированные сечением от — до и т. д. Смета составляется в полном объеме.

Из изложенного можно видеть, что требования к стадии (ТП) противоречивы. Окончательная смета может быть составлена только тогда, когда приняты проек-

ные решения во всех деталях, тогда как это в принципе не входит в задачу ТП, да и невозможно, так как на этой стадии проектирующей не располагает еще окончательными чертежами задания. Ведомость в таком виде, как указано выше, практически вовсе не используется, так как никто не принимает заявки на светильники вообще, без точного указания типа.

Проектированию на стадии РЧ специально посвящен § 8-2. Стадия ТРП отличается от стадии РЧ лишь тем, что в состав проекта включается смета и, как правило, пояснительная записка (для объектов, состоящих из нескольких зданий, обычно составляется общая пояснительная записка).

Перспективным, но отчасти спорным, является вопрос об использовании в светотехническом проектировании электронно-вычислительных машин, не говоря, конечно, о клавишных ЭВМ, бесспорно полезных при любых инженерных расчетах.

Массовые светотехнические и сетевые расчеты упрощены сейчас до такой степени, что они требуют не больше времени, чем потребовала бы одна только выдача заданий ЭВМ на их выполнение. Безусловно оправдано и уже широко практикуется использование ЭВМ для таких работ, как выполнение расчетов, необходимых для построения прожекторных и линейных изолок, составления таблиц коэффициентов использования и т. п.

Вторым этапом, уже осваиваемым некоторыми проектными организациями, является использование ЭВМ для комплексного решения задачи нахождения оптимального варианта освещения того или иного объекта. В этом случае в ЭВМ вводится в полном объеме комплекс светотехнических требований и исходные экономические данные. ЭВМ же решает задачу минимизации приведенных готовых затрат и выдает оптимальный вариант. Частным случаем подобной задачи является выбор частоты и расположения маяк для прожекторов, а также числа прожекторов и ориентации их осей.

Исключая последний случай, надо сказать, что в обычных условиях проектирования выбор для конкретных помещений оптимальных вариантов представляется мало реальным. Более перспективным можно считать использование ЭВМ для разработки «безобъектной» сетки оптимальных вариантов, «привязываемых» при конкретном проектировании. Это облегчается существующей в известной степени типизацией строительных размеров помещений. Так, ширина пролетов в цехах с фермами имеет ограниченное число возможных значений, ограниченное число сочетаний длины и ширины имеют помещения производственных зданий, проектируемых по модульной системе, что же касается высоты помещений, то решения могут быть унифицированы в пределах определенного диапазона ее изменения.

Ко второму этапу можно отнести также использование ЭВМ для составления спецификаций и смет, причем для обчета последних ЭВМ уже широко применяются.

Оптимисты считают возможным и третий этап, а именно: после широкого внедрения графопостроителей использование ЭВМ для составления проекта освещения полностью с выдачей ими готовых чертежей. Пока трудно судить о том, насколько это реально, особенно в сложных случаях проектирования локализованного освещения, когда приходится пользоваться одновременно разными видами чертежей задания. Даже оптимисты в этом вопросе согласны, однако, с тем, что решения должны приниматься человеком, а не машиной.

8-2. СТАДИЯ РАБОЧЕГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Для того чтобы выполнить полноценный проект освещения, надо знать о проектируемом объекте буквально все. Для зданий — это детальная планировка по всем отметкам, включая разного

рода площадки, прямки, подвалы, высота отдельных помещений, особенности строительных конструкций во всех их деталях, назначение помещений, расположение, а иногда и конструкция технологического оборудования, размещение и размеры устройств вентиляции, водопровода, канализации и отопления, условия среды в помещениях, число работающих в них и т. д.

Для территорий должно быть известно размещение на генеральном плане зданий, дорог, проездов, различных открытых площадок, подземных и наземных коммуникаций и т. д. Во всех случаях должна быть известна сменность работы и источники питания электроэнергией.

Условия среды в помещениях часто определяют их назначением; так, конторское помещение не может быть ни пыльным, ни пожароопасным, сталеплавильный цех всегда является жарким и с токопроводящей пылью и т. д. Но наиболее ответственным является вопрос о степени пожаро- или взрывоопасности помещений, решать который, за исключением совершенно очевидных случаев, проектировщик-светотехник не имеет права, а должен иметь точные письменные указания по этому вопросу.

Часто говорят, что проектировщик должен хорошо знать технологический процесс проектируемого предприятия и, в частности, условия зрительной работы на каждом рабочем месте. Это, конечно, верно, но с той оговоркой, что в планах организаций, как правило, повторяются однотипные объекты, во многих же случаях проектировщик может использовать апробированные типовые решения, так что нет необходимости каждый раз заново изучать производство. Равным образом нет необходимости изучать конструкцию станка и характер работы на нем, если известно, что этот станок поставляется укомплектованным устройством местного освещения.

Но если проектируется новое для данной организации производство или детально разрабатываются вопросы местного освещения, то глубокое знание производства, безусловно, необходимо. В подобных случаях наилучшее решение не всегда может быть найдено кабинетным путем и нередко приходится проверять намеченные решения на опытных установках. Опытные установки или макетирование иногда оказываются необходимыми также при проектировании архитектурно-художественного освещения.

При проектировании реконструкции освещения действующих предприятий все необходимые чертежи и данные могут быть получены у заказчика. При проектировании нового строительства проектировщику приходится работать в условиях так называемого параллельного проектирования, когда различные виды проектных работ ведутся одновременно и нередко заканчиваются в общий срок. Заданием в этом случае служат отдельно выполняемые чертежи: архитектурные (АР), технологические, отопления и вентиляции (ОВ), водопровода и канализации (ВК), металлоконструкций (КМ) и железобетонных конструкций (КЖ). В условиях общего срока окончания проектных работ проектирование освещения обычно приходится начинать по предварительным или промежуточным чертежам, корректируя начатую работу по мере уточнения заданий. Подчеркивается, что проект, выполненный без связи с окончательными чертежами всех видов, не может быть полноценным.

На самых первых этапах проектирования (даже на стадии технического проекта) должны выдаваться строительные задания на мостки и площадки обслуживания, ниши, проемы, крупные отверстия, закладные детали, площади для прожекторов на крышах зданий, фундаменты для мачт и т. п. Кроме того, выдаются задания лицам, проектирующим электроснабжение, в которых указываются ожидаемые нагрузки и число фидеров на щитах подстанций.

Проектирование можно разделить на три части: светотехническую, электротехническую и составление смет и спецификаций (не считая параллельно выполняемой конструктивной части).

Можно, конечно, считать, что светотехническая часть состоит из выбора систем и видов освещения, источников света, типа светильников и т. д., но такое разделение крайне условно: имея перед собой определенное помещение, проектировщик решает все вопросы не изолированно, а комплексно. Более того, размещая светильники, заранее приходится учитывать условия трассировки групповых сетей.

В сетевой части начальным и ключевым является вопрос о размещении групповых щитков; затем компонуются и наносятся на план все виды сетей и производится расчет их сечений.

В объем рабочих чертежей входят следующие основные документы:

1) пояснительная записка, которая составляется лишь в тех случаях, когда необходимо обоснование или описание проектных решений, итоговые же данные и пояснения монтажного характера предпочтительно давать непосредственно на планах;

2) планы осветительной установки по всем этажам или площадкам разных отметок; для наружного освещения — генеральный план (об оформлении этих планов сказано далее);

3) разрезы по архитектурно сложным зданиям с изображением светильников и мест трассировки сетей;

4) конструктивные чертежи, как индивидуальные, так и безобъектные; утвержденные типовые чертежи к проекту не прикладываются;

5) схемы или план-схемы питающих сетей, если эти сети со всеми необходимыми данными не могут быть изображены на планах осветительной установки;

6) заказные спецификации;

7) таблица условных обозначений.

Если предусматривается дистанционное управление освещением, то в проекте даются также соответствующие схемы и конструктивные чертежи. На всех стадиях и во всех случаях к проекту не прилагается каких-либо материалов промежуточных расчетов.

Подробные указания по оформлению рабочих чертежей приводятся в нормальных института Тяжпромэлектропроект. Остановимся лишь на некоторых вопросах оформления планов и спецификаций.

На планах осветительной установки показываются:

архитектурно-строительная часть здания в упрощенном виде с указанием назначения каждого помещения;

контуры основного оборудования, в отдельных случаях с указанием его наименования;

принятые по каждому помещению значения освещенности; осветительные приборы с указанием типа, мощности и высоты установки.

контактные разъемные соединения, выключатели, трансформаторы 12—36 В;

групповые сети всех назначений; щитки и питающие сети.

Особое внимание должно уделяться маркировке сетей. Для каждого их участка должны быть ясны сечение и число жил, марки кабельных изделий и способ прокладки, причем общие или обладающие для всего чертежа данные могут указываться в примечаниях к плану. Для того чтобы обеспечить равномерную нагрузку всех фаз сети, на линиях должны указываться номера групп. Это особенно важно, так как сейчас принято изображать группы одного вида освещения, прокладываемые по общей трассе, одной линией. На чертеже плана дается также экспликация конструктивных узлов установки светильников, трансформаторов и других аппаратов. Для монтажных организаций удобно, когда на планах приводится также полная спецификация оборудования и материалов, относящихся к данному плану, но пока это не принято в обязательном порядке.

В последние годы получили распространение некоторые приемы упрощенного оформления планов, в частности:

1. При наличии в пределах плана или проекта в целом нескольких помещений одинаковой площади и с идентичными проектными решениями на плане показывается только ввод сети в эти помещения и ставится марка «ЭП № ...», полный же план осветительной установки такого помещения вычерчивается один раз, под тем же номером, на том же или отдельном чертеже. Такое же решение возможно для повторяющихся участков больших производственных помещений.

2. Для протяженных помещений, таких, как транспортные галереи, вычерчивается только их начало и конец и указывается, что в разрыве установлено столько-то светильников.

3. Вполне идентичные группы или ряды светильников на плане не изображаются, а делается указание «аналогично оси...» или «аналогично группе № ...».

4. При длинных рядах светильников условное обозначение вычерчивается только для крайних светильников, места же отхождения от линии к остальным светильникам показываются короткими черточками.

Отдельные элементы оформления планов показаны на рис. 8-1, причем дополнительно к изображению светильников, сети и выключателей даются только те знаки и надписи, которые поясняются данной схемой.

Изображение на планах осветительной сети является одновременно и ее однолинейной схемой, для правильного прочтения которой в ряде случаев необходимо отмечать число проводников в линии с помощью засечек (при двух проводках в линии засечки не наносятся). Из схемы 8-1, а благодаря засечкам ясно, что один выключатель управляет двумя левыми светильниками, второй — двумя правыми, а контактное разъемное соединение включено в сеть «напрямую». В случае, показанном на схеме 8-1, б, число засечек будет одинаковым, когда совместно выключаются два левых светильника или два крайних. Чтобы схема читалась однозначно, взаимное соответствие выключателей и управляемых ими светильников отмечено римскими цифрами.

На схеме 8-1, в указан номер питающей группы (7), класс пожарной опасности (П-1), освещенность (50 лк), тип светильников (ППР), мощность лампы (150 Вт), высота установки светильников (2,7 м) номер конструктивного узла крепления светильника (3), марка кабеля и его сечение (АНРГ-4 мм²). При относительно большом числе светильников на плане перед обозначением типа светильников может указываться также их число, как показано на схеме 8-1, г (6).

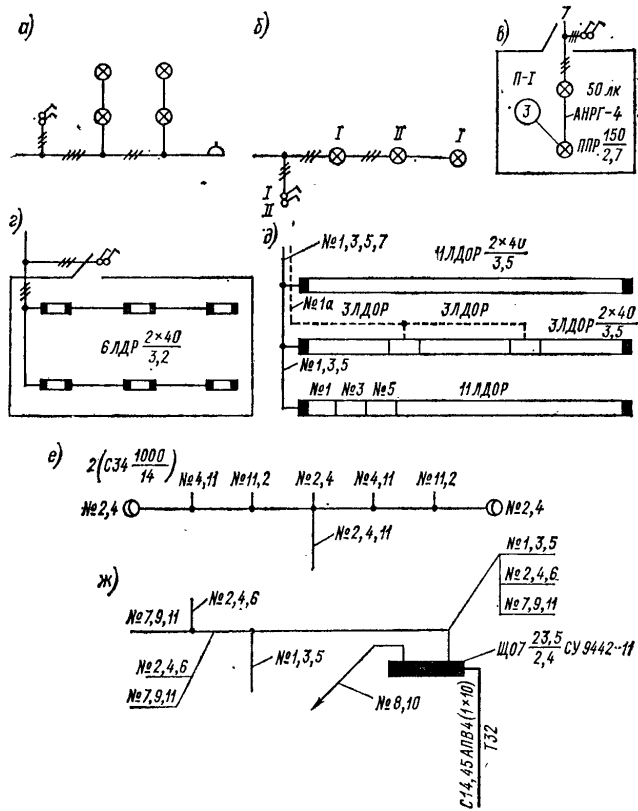


Рис. 8-1. Элементы оформления планов осветительных установок

На схеме 8-1, д показаны три варианта маркировки светильников с люминесцентными лампами, установленных в линию. Если весь ряд светильников питается одной группой, достаточно маркировка, показанная для верхней линии; если в ряду выделены светильники аварийного освещения, места их установки следует конкретизировать, как показано для средней линии; если необходимо пояснить

как распределены светильники между группами, номера групп надо указать хотя бы у первых светильников (нижняя линия).

В протяженных рядах светильников могут быть обозначены и замаркированы только крайние светильники (схема 8-1, е) и показаны ответвления к остальным с указанием, если необходимо, номеров групп присоединения.

На схеме 8-1, ж групповой щиток и питающая его линия замаркированы для случая, когда отдельно не выполняется установка у щитков и линий указываются только их номера). В данном случае у щитка, помимо его номера, указана мощность (23,5 кВт), потеря напряжения от источника ее питания до щитка (2,4%) и тип щитка (СУ 9442-11). У питающей линии указана ее длина (45 м), марка провода, число и сечение проводов, способ прокладки (в водогазопроводной трубе с условным проходом 32 мм).

От щитка на схеме отходят 12 групповых линий, но физически они объединены в четыре четырехжильных кабеля, фазовые жилы которых обслуживают каждая свою группу, а нулевая жила является общей для трех групп, причем последние должны быть присоединены к различным фазам сети. Один из кабелей опускается вниз «стояком». У каждой маркировочной «полки» должны быть указаны номера групп, обслуживаемых данным кабелем, а также марка, сечение и число жил данного кабеля. Можно ограничиться указанием марок и сечений в примечаниях к плану, в отношении же числа жил указать, что оно равно числу совмещенных в кабеле групп плюс один. Все сказанное относится, конечно, также и к проводке, выполненной проводами в трубах.

Применение групп с общим для нескольких групп нулевым проводником технически целесообразно, показание же нескольких кабелей одной линией — не обязательный условный прием, имеющий целью несколько упростить светотехнические чертежи, обычно перегруженные обозначениями и надписями.

Оформление заказных спецификаций в составе рабочих чертежей регламентировано рядом документов, и здесь можно отметить только некоторые принципиальные моменты. Спецификация должна охватывать все оборудование и материалы, кроме мелких вспомогательных материалов и метизов. Количества должны быть правильными и включать установленный запас. При составлении спецификаций наиболее трудоемкой операцией является обмер сети по плану (рекомендуется выполнять его мерным шнурком с узелками через 10 см; работа с курвиметром значительно медленнее), но эта операция неизбежна и определять потребность в кабельных изделиях по укрупненным показателям или данным проектов-аналогов можно только на стадии технического проекта.

Сама структура спецификации должна в известной мере организовать последующую работу органов снабжения, для чего, например, изделия разделяются не только по группам, но и по признаку поставки их заказчиком или подрядчиком, т. е. застройщиком и монтажной организацией. В особый перечень выделяются изделия, подлежащие изготовлению мастерской электромонтажных заготовок (МЭЗ), причем материалы, из которых выполняются эти изделия, должны быть также учтены спецификацией.

Следует подчеркнуть, что в данной книге изложены основные общие положения и указания, касающиеся проектирования и устройства осветительных установок. Более подробно многие вопросы отражены в книге [43], вопросы электрической части — в [28], а в качестве основного справочного материала при учебном и реаль-

ном проектировании может быть рекомендована книга [27]. Как краткое пособие по общим вопросам светотехники может быть также названа книга [42].

8-3. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

К сожалению, в настоящее время при рассмотрении вопросов эксплуатации освещения нет возможности использовать обобщенный прогрессивный опыт многих предприятий, а приходится говорить о том, как должна осуществляться эксплуатация освещения, а не о том, какова она в действительности.

Основной элементарной задачей персонала, эксплуатирующего осветительные установки, является поддержание их в том виде, в каком они первоначально запроектированы и осуществлены, но эта задача отнюдь не является единственной.

В обязанности светотехнической службы предприятия должно также входить:

1. Приведение установки в соответствие с изменяющимися условиями производства.

В процессе работы предприятия или учреждения изменяется назначение отдельных помещений, производятся перестановки оборудования, осваиваются новые технологические процессы и т. д. Во многих, если не во всех случаях, это требует внесения соответствующих изменений в осветительные установки, причем эти изменения в зависимости от их объема и сложности могут быть выполнены по указаниям руководителя светотехнической службы, по проекту заводского конструкторского бюро или по проекту специализированной организации.

2. Эксплуатационная оценка качества изделий светотехнической промышленности.

Хотя все выпускаемые изделия проходят контроль и испытания, для самой промышленности крайне ценно получение систематизированных замечаний и пожеланий предприятий, непосредственно использующих эти изделия.

3. Опытное внедрение вновь осваиваемых изделий.

Обычно внедрение новых изделий, например ламп и светильников, проходит довольно длительный путь и начинается с предложений проектной организации. Надо всячески приветствовать инициативу предприятий по самостоятельному внедрению этих изделий, в результате чего может быть наиболее быстро накоплен ценный опыт их использования. При таком внедрении желательно, однако, использовать советы проектировщиков и ученых, без чего возможны грубые ошибки. В подтверждение сказанного может быть отмечено, что первая в Ленинграде крупная установка люминесцентного освещения, инициативно выполненная Первой кондитерской фабрикой, в свое время способствовала накоплению положительного опыта использования новых ламп, наоборот, ряд других установок, выполненных технически неправильно, повел только к дискредитации люминесцентного освещения, хотя косвенно тоже принес пользу, указав, каких ошибок надо в дальнейшем избегать.

4. Оценка проектных решений и нормативных документов.

Осветительные установки выполняются по проектам, которые составляются на основе нормативных документов. Однако как нормы, так и проекты могут иметь ошибки, основным, если не единственным путем выявления и устранения которых являются наблюдения, сделанные в процессе эксплуатации.

5. Выбор наилучших способов освещения помещений и мест.

В силу ряда причин проектные организации не всегда имеют возможность уделять должное внимание подобным вопросам (в частности, в проектах редко с достаточной глубиной прорабатываются вопросы местного освещения); недостаточно заботятся типизацией рациональных решений и исследовательские организации. Перед заводскими светотехниками здесь открыто неограниченное поле деятельности, тем более, что именно им легче всего проверить свои предложения на опыте.

6. Выбор оптимальных режимов и технологии обслуживания светильников.

Нормативные и литературные материалы по этим вопросам неизбежно носят общий характер, тогда как едва ли не каждое предприятие имеет свои специфические особенности. Соответственно этим особенностям должны уточняться, например, вопросы, как периодичность очистки светильников и выбор моющих средств.

К выполнению указанных задач во многих случаях полезно привлечение научных или проектных организаций на началах творческого содружества или хозяйственных договоров. Самый характер этих задач показывает, что польза от их решения никоим образом не должна локализоваться в пределах одного данного предприятия и что полученные выводы должны, как правило, становиться общим достоянием. Одним из путей для этого является публикация статей в журнале «Светотехника».

Из сказанного ясно, сколь сложны и разнообразны задачи светотехнической службы предприятия.

На каждом предприятии или в учреждении должны иметься лица, ответственные за эксплуатацию освещения, начиная от монтера — в очень небольших и кончая инженером и группой техников — в наиболее крупных (на таких гигантах, как Волжский автомобильный завод уже существует Бюро светотехники). На крупных предприятиях должно, кроме того, иметься достаточное число монтеров, непосредственно занятых обслуживанием осветительных установок. К сожалению, до настоящего времени отсутствуют утвержденные нормативы для определения численности потребного персонала, который в некоторых случаях исчисляется сотнями лиц, и можно сослаться только на ведомственные нормативы, опубликованные в Инструктивных указаниях по проектированию промышленных электротехнических установок института Тяжпромэлектропроект (1972 г., № 8).

В последнее время признано целесообразным создавать на крупных предприятиях специальные светотехнические мастерские, а на особо крупных — также светотехнические лаборатории. Институт Тяжпромэлектропроект рекомендует создание мастерских (одной или нескольких) на предприятиях с установленным числом светильников общего освещения не менее 4000, а лабораторий — при числе светильников начиная от 15 000.

Задачами мастерских является периодическая очистка светильников, ремонт светильников и пускорегулирующей аппаратуры,

а также изготовление специальных осветительных устройств и крепежных конструкций, которые могут потребоваться при частичной реконструкции освещения.

При мастерских должны иметься кладовые для хранения оперативного запаса светильников и ламп. Рекомендуется хранить запас светильников в размере 5% от общего числа установленных и запас ламп в размере их квартальной потребности. Кроме того, в кладовых должны храниться отработавшие газоразрядные лампы также в объеме их квартального расхода в предположении, что раз в квартал они вывозятся для захоронения в установленном месте или передаются на демеркуризационную установку. Газоразрядные лампы, как новые, так и отработавшие, должны храниться отдельно от других ламп в надежной таре.

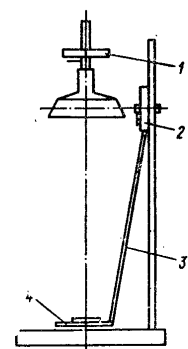


Рис. 8-2. Распределительный фотометр

Светотехнические мастерские могут быть совмещены с электроремонтным цехом предприятия, а кладовые — с большими сооружениями складского хозяйства.

Лаборатория является необходимой для решения ряда задач, перечисленных выше. Как правило, она должна состоять из помещения для фотометрических работ с черными стенами и потолками, без окна или с окном, закрытым светонепроницаемыми шторами, из обычного светлого помещения для работ, не требующих затемнения.

В составе оборудования лаборатории должны иметься люксметры типов Ю-16 и Ю-17, стрелочные и самопишущие вольтметры, имеющие выход на самописцы, и амперметры для изучения характера изменения нагрузки и режима напряжения в осветительной сети, а по возможности также приборы для измерения видимости, цилиндрической освещенности, коэффициента пульсации и яркости.

Одним из основных приборов лаборатории является распределительный фотометр (рис. 8-2). Поворотная нога 3 фотометра должна иметь длину 2 м. На ее лопатке 4 укрепляется фотоэлемент люксметра Ю-16. Угол поворота ноги фиксируется по лимбу 2, а угол поворота светильника вокруг его оси — по лимбу 1.

Придавая ноге наклон 0—5—15 ... 85—90 ... 175—180°, определяют силу света светильника или лампы как произведение измеренной освещенности на квадрат радиуса вращения. Обычно требуется отнести значения силы света светильника к условному потоку лампы 1000 лм. Для этого лампа, с которой испытывался светильник, фотометрируется отдельно и ее поток определяется умножением силы света в 18 опорных направлениях на примыка-

ющие к этим направлениям телесные углы и суммированием полученных произведений:

Направление, ...°	5 и 175	15 и 165	25 и 155	35 и 145	45 и 135
Телесный угол, ср.	0,095	0,283	0,463	0,628	0,774
Направление, ...°	55 и 125	65 и 115	75 и 105	85 и 95	
Телесный угол, ср.	0,897	0,992	1,058	1,091	

Несколько иначе фотометрируются светильники с люминесцентными лампами. Они устанавливаются на поворотной тумбе, снабженной лимбом, пластинка же фотоэлемента устанавливается неподвижно на высоте светового центра светильника перпендикулярно направлению падающего на нее света и на расстоянии не менее 4-кратной длины светильника.

Для определения светового потока лампы достаточно одного измерения освещенности при таком же расположении фотоэлемента относительно лампы без светильника, причем если измеренная в этих условиях освещенность E (в люксах), а дистанция фотометрирования R (в метрах), то световой поток (в люменах) равен $9,25 ER^2$.

В лаборатории желательно также иметь стенд для испытания люминесцентных ламп и проверки ПРА, или, по крайней мере, прибор ИЛЛ-1 (описание которого можно найти в отчете Ленинградского отделения института Тяжпромэлектропроект), который служит не только для проверки качества ламп, но и для восстановления их способности зажигаться, иногда утрачиваемой при длительном хранении, а также разделения ламп на группы по степени так называемого выпрямляющего эффекта, в зависимости от чего часть ламп предпочтительно использовать в цепях отстающего тока, часть — в цепях опережающего тока.

Помещение лаборатории может быть пристроено к мастерской или находится в составе центральной заводской лаборатории.

Три операции, связанные с эксплуатацией осветительных установок, имеют сходные, хотя и несколько различающиеся задачи, а именно: первоначальная приемка осветительных установок, их планово-предупредительный осмотр и обследование. Приемка выполняется при передаче установок в эксплуатацию, осмотр производится через каждые 2—4 мес., обследования же выполняются либо инспекторскими организациями в порядке надзора по своей инициативе, либо инспекторскими, а также проектными или исследовательскими организациями по приглашению предприятия. Такое приглашение может последовать в случаях когда поступают жалобы рабочих на плохое освещение или когда сама светотехническая служба возбуждает вопрос о необходимости реконструкции освещения.

При приемке установки проверяется ее соответствие проекту, а при наличии отступлений — их обоснованность и документированность. Особое внимание должно уделяться проверке укомплектованности светильников защитными стеклами, экранирующими

решетками и сетками, если эти приспособления предусмотрены проектом, на соответствие мощности ламп указанной в проекте, на правильность распределения ламп между фазами и т. д. Необходимо убедиться, что пускорегулирующие аппараты не производят шума и что их тип соответствует указанному в каталоге, так как не исключены случаи, когда вопреки каталогам, в светильниках установлены не компенсированные или не антистробоскопические ПРА.

Нередко случается, что при монтаже (или в процессе эксплуатации) в светильниках устанавливаются люминесцентные лампы не того спектрального типа, который был предусмотрен в проекте. Это может привести к неправильной цветопередаче, чаще же всего — к несоответствию освещенности расчетным значениям. Так, замена принятых в проекте ламп типа ЛБ на лампы ЛДЦ уже ведет к снижению освещенности на 30%.

При приемке установки, а также ежегодно в процессе эксплуатации должны выполняться измерения освещенности, техника которых рассмотрена ниже.

Задача плано-предупредительного осмотра установки достаточно очевидна и здесь не рассматривается.

Если при приемке установки ориентирующим документом является ее проект, то при обследовании, наоборот, могут и должны подвергаться критике и решения, принятые в проекте, тем более, что за время действия установки они могли устареть. Таким образом, задачей обследования является объективная и беспристрастная оценка соответствия установки всему комплексу гигиенических и технических требований. Поэтому при обследовании фиксируется рациональность примененных типов светильников и их техническое состояние, в особенности степень загрязненности, укомплектованность всех светильников исправными лампами надлежащего типа и мощности, выборочно измеряется напряжение у ламп, проверяется наличие и исправность системы аварийного освещения и т. д.

Впредь до освоения серийного производства измерителей коэффициента пульсации степень ограничения пульсации можно проверить контрольным расчетом, зная типы ПРА и распределение ламп между фазами сети.

Приближенным, но удобным и убедительным является способ определения наличия недопустимой пульсации на глаз. Для этого следует, держа в руке карандаш или авторучку, быстро махать этим предметом в горизонтальной плоскости. При наличии пульсации предмет покажется имеющим многократные контуры (рис. 8-3). Для той же цели можно использовать стробоскопический волчок (рис. 1-14).

Удовлетворительной можно считать такую степень ограничения пульсации, при которой многократные контуры или моменты кажущейся остановки волчка едва различимы.

Степень ограничения ослепленности или дискомфорта, обусловленную нормами СНиП II-4-79 [1], нельзя, к сожалению, оценить

какими-либо приборами, и ее можно проверить только с помощью соответствующих таблиц.

Измерение освещенности в установках внутреннего освещения производится с помощью люксметра Ю-16, при малых же освещенностях, характерных для наружного освещения, может потребоваться люксметр Ю-17. Приборы должны иметь непросроченную дату поверки. Официальная поверка может производиться только уполномоченными на это организациями, но все же полезно иметь и в лаборатории примитивный поверочный прибор в виде набора светоизмерительных ламп силы света и устройства, позволяющего

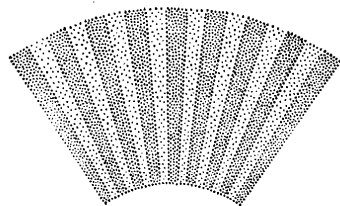


Рис. 8-3. Иллюзия многократных контуров движущегося предмета

установить пластинку фотоэлемента строго параллельно плоскости расположения нити светоизмерительной лампы, на фиксированном расстоянии от нее, и так, чтобы свет падал в направлении нормали к фотоэлементу. Побочные засветы должны быть исключены применением черных шторок с вырезами. Такой прибор может быть использован для проверки исправности люксметра, когда в этом возникают сомнения, и установления необходимости его ремонта или внеочередной поверки.

При измерении освещенности гальванометр располагается горизонтально, фотоэлемент — в той плоскости, где измеряется освещенность. Случайные затенения должны устраняться, но затенения, фактически имеющие место во время работы, должны сохраняться. Так, освещенность на столе чертежника должна определяться при его рабочем положении.

При измерении освещенности должно фиксироваться напряжение у ламп, и если его отклонение от номинального значения можно считать случайным, то приводить освещенность к номинальному напряжению с помощью кривых рис. 2-4. Люксметры градуируются для ламп накаливания, и, если они не снабжены корректирующими фильтрами, то для газоразрядных ламп должен вводиться коэффициент, указанный в паспорте прибора.

Впредь до освоения измерителей цилиндрической освещенности обычный люксметр может быть использован также для ее измерения. Для этого при вертикальном положении плоскости фотоэлемента производятся четыре измерения в плоскостях, обозначенных числами 1—4 (рис. 8-4). Среднее из этих значений является близким к значению цилиндрической освещенности (в наихудшем случае ошибка составляет 25%).

Если не ставится специальных задач, то обследование освещения не должно выливаться в исследовательскую работу, когда измеряется освещенность в очень большом числе точек, строятся графики ее распределения и т. п. Как правило, измерения могут производиться в нескольких характерных точках, причем не сле-

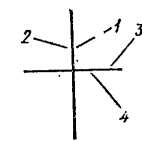


Рис. 8-4. Плоскости для измерения цилиндрической освещенности

дует признавать установку негодной, если где-то в углах или у стен помещений освещенность не отвечает нормам.

Как указано в § 3-1, при расчете освещенности установлен допуск от -10 до $+20\%$. По-видимому, в эксплуатации могут быть допущены и несколько большие отклонения от норм, и, вероятно, можно признать освещение удовлетворительным, если не меньше чем на 80% площади или числа рабочих мест освещенность составляет не менее 80% нормированной. При обследованиях наряду с личным мнением обследующих должна фиксироваться оценка освещения со стороны пользующихся им лиц.

Залогом хорошего состояния освещения является доступность светильников для обслуживания. Этот вопрос должен решаться уже на стадии проектирования, но в значительной степени ложится также и на плечи обслуживающего персонала.

При высоте установки светильников над полом не более 5 м их обслуживание может производиться со стремянки или приставной лестницы, а при высоте до 12 м (значение высоты указано по СН 357-77 [5]) — с различных напольных приспособлений: телескопических вышек или монтерских корзин, укрепленных на поворотных коленчатых стрелках. Эти приспособления могут быть самоходными или несамоходными. Возможность их применения ограничивается недостаточностью выпуска и пригодностью только в цехах, по площади которых они могут свободно перемещаться.

В цехах с крановым оборудованием обслуживание светильников чаще всего производится с настила моста кранов. Кран-балки могут быть снабжены приспособлениями, допускающими безопасное обслуживание: огражденными площадками, навесными кабинами и т. п. Использование кранового оборудования, однако, затрудняется или даже становится невозможным, если краны интенсивно заняты обслуживанием технологического процесса, а цех работает круглосуточно.

В отдельных случаях в высоких цехах без кранов могут оборудоваться самоходные или несамоходные кран-балки специально для обслуживания светильников.

Радикальным средством для обеспечения доступа к светильникам в высоких цехах является устройство светотехнических мостиков или площадок. Опыт показывает, что там, где эти устройства имеются, светильники, как правило, обслуживаются относительно регулярно.

По данным, приведенным в книге [43], стоимость мостиков составляет не более $0,1\%$ стоимости строительной части здания, а расход металла в них — не более $1,3\%$ расхода стали на металлоконструкции здания. Стоимость их окупается за $1,5-3$ года, а расходы на обслуживание сокращаются в $2-4$ раза.

Замена ламп может производиться как индивидуально, по мере их перегорания, так и в групповом порядке, т. е. одновременно заменяются все лампы в помещении или в определенном ряду светильников. Для люминесцентных ламп в мировой практике при-

знается прогрессивным и широко применяется второй способ замены.

Дело в том, что срок, в продолжение которого лампа зажигается, не всегда совпадает со сроком ее полезной работы. Такое совпадение имеет место для ламп накаливания, световой поток которых лишь незначительно (около 15%) снижается к концу физического срока службы, для газоразрядных же ламп эти сроки могут быть различными. В частности, для люминесцентных ламп нормированное снижение потока к концу номинального срока службы составляет 40% , но нередко лампы продолжают зажигаться еще длительное время после этого, давая, однако, поток, чуть ли не в 10 раз меньший начального.

Если вести учет продолжительности использования ламп начиная с их первого включения и заменить все лампы по истечении $70-80\%$ номинального срока службы, то будет гарантировано достаточно высокое среднее значение потока ламп за время их использования и значительно сократятся трудозатраты на замену ламп. Эти преимущества достигаются, правда, ценой увеличенного расхода ламп, но лампы, снятые при групповой замене, могут быть подвергнуты испытанию и те из них, кото-

рые сохранили достаточную часть потока, направлены для повторного использования во вспомогательных помещениях.

В помещениях, где светильники с люминесцентными лампами расположены в несколько рядов, предпочтительно сроки замены ламп в смежных рядах как бы сдвигать по фазе на полпериода.

Для того чтобы при индивидуальной замене ламп определить степень их старения, а при групповой замене — оценить целесообразность повторного использования ламп, рекомендуется использовать приставку к фотоэлементу люксметра Ю-16, предложенную Фолькертом (рис. 8-5).

Приставка представляет собой полую камеру, которая цилиндрическим вырезом приставляется к лампе, вблизи ее середины, а нижней частью стыкуется с фотоэлементом. В этом случае показания гальванометра люксметра будут пропорциональными потоку лампы и на шкале могут быть отмечены точки, соответствующие номинальным потокам распространенных типов ламп. При контроле ламп, находящихся в работе, фотоэлемент с приставкой может укрепляться на штанге. Аналогичная приставка может применяться для контроля светового потока ламп ДРЛ.

Операция замены ламп с резьбовым цоколем в открытых светильниках и при высоте установки не более примерно 4 м поддается частичной механизации путем применения цапговых захватов на штангах.

Коренным вопросом эксплуатации является очистка светильников от пыли и грязи. Значение этого вопроса трудно переоце-

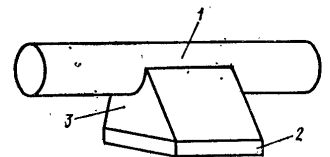


Рис. 8-5. Приставка Фолькерта
1 — лампа; 2 — фотоэлемент; 3 — приставка

нить. Загрязнение светильников резко уменьшает их коэффициент полезного действия, который может дойти до нуля. В практике наблюдались светильники, о наличии в которых горячей лампы можно было судить только по нагреву стеклянного колпака. Загрязнение ведет также к искажению кривой силы света светильников, имеющих отражатели с зеркальным или смешанным отражением, приближая кривую их светораспределения к типу Д.

СНиП II-4-79 [1] устанавливает следующее минимальное число очисток в год:

- 18 — в наиболее пыльных помещениях;
- 6 — в помещениях со средним выделением пыли;
- 4 — в малозапыленных помещениях и на территориях пыльных производств;
- 2 — на территориях городов и непыльных производств.

Очистка светильников может производиться на месте их установки или в мастерской (при массовом опросе в пользу каждого из этих решений высказалось по 50% опрошенных). Этот вопрос должен решаться в зависимости от того, являются ли светильники легко съемными и имеют ли они съемные части, подлежащие очистке, а также в зависимости от характера загрязнений. По-видимому, правильна рекомендация производить капитальную очистку в мастерской после 2—4 текущих очисток на месте установки.

Способ очистки определяется характером загрязнений и материалом очищаемой поверхности. Сухая пыль часто может быть удалена сухой протиркой или даже обдуванием; в более трудных случаях необходимо применение мокрой очистки или специальных растворителей.

По данным опроса в 50% случаев производится сухая очистка, в остальных случаях (в порядке убывания) применяются вода, мыло и моющие порошки, сода, спирты, бензин, керосин, щелочи и кислоты.

И. И. Несторович («Светотехника», 1970, № 7) рекомендует для очистки светильников следующие составы:

№ 1. Соляная кислота — 4%, фтористый натрий — 8%, уротропин (ингибитор коррозии) — 1%, вода 87%. Раствор является сильнодействующим. Используется для очистки отражателей, покрытых силикатной эмалью: время очистки 1—2 мин при температуре 25—30 °С. После обработки — промывка водой.

№ 2. Щавелевая кислота — 10%, перманганат калия — 0,15%, нитрат натрия (ингибитор коррозии) — 10%, вода — 79,85%. Состав рекомендуется для очистки алюминиевых и эмалированных отражателей. Время очистки 3—5 мин при температуре 25—30 °С.

№ 3. Алкиларилсульфонат РАС — 5%, кальцинированная сода — 30%, жидкое стекло — 12%, сульфид (НП-1) — 3%, нитрит натрия — 1%, вода — 49%. Раствор рекомендуется для очистки отражателей, покрытых маслянистой грязью. Время очистки 3—4 мин при температуре 50—60 °С.

На ранних стадиях загрязнения, т. е. для «текущей» очистки, И. И. Несторович рекомендует воду с мыльным раствором.

Технология массовой очистки светильников в условиях мастерских еще полностью не отработана. В качестве одного из ва-

риантов может быть рекомендована следующая организация работ по очистке.

Поступающие из цехов светильники помещаются на стеллажи первичного хранения, откуда очередная партия светильников на специальных передвижных стеллажах подвозится к сдвоенным эмалированным ваннам. В первой из ванн производится очистка соответствующим составом, во второй — обмывание водой. При очистке могут быть использованы механические щетки. Очищенные светильники помещаются на стеллажи, сушатся и отвозятся к месту хранения, после чего возвращаются в цехи.

Само собой очевидно, что если очистка светильников производится в мастерской, то должен иметься своего рода «обменный фонд» светильников, которые устанавливаются на место снятых для очистки.

Помимо очистки светильников, в мастерской должен производиться их текущий ремонт, т. е. в большинстве случаев замена патронов, стартеродержателей и других деталей, а также проверка и замена пускорегулирующих аппаратов. Следует предостеречь от попыток замены в условиях мастерских эмалировки или иного покрытия отражателей: сделать это с хорошим качеством невозможно.

Пары ртути, содержащиеся в газоразрядных лампах, сильно ядовиты, поэтому ни в коем случае нельзя хранить новые или использованные газоразрядные лампы иначе как в специальном помещении, в надежной таре; по мере накопления использованных ламп они должны помещаться в контейнере и специальными автомашинами вывозиться для захоронения в отведенные для этого места.

Более прогрессивным решением является выполнение дезактивации (точнее — демеркуризации) использованных ламп, со сбором ртути для вторичного использования или с переводом ее в безвредное химическое соединение.

Демеркуризационные установки должны отвечать строгим санитарным требованиям. Их целесообразно выполнять механизированными; возможная же производительность таких установок многократно превышает потребности самого крупного предприятия. Поэтому ставится вопрос о создании таких установок в городском или районном масштабе.

Все работы, связанные с обслуживанием осветительных установок, должны производиться с соблюдением требований техники безопасности, изложенных в нормативных документах. Основными из них являются:

работавшие должны иметь соответствующую квалификационную группу по технике безопасности;

все операции по обслуживанию светильников на месте их установки должны выполняться при отключенных групповых линиях или, по крайней мере, при отключении данного светильника с помощью контактного разъёмного соединения или выключателя;

работы на высоте должны выполняться двумя работниками, из которых один непосредственно выполняет работу, другой же является страхующим.

Выше вопросы эксплуатации рассматривались в предположении, что они полностью решаются персоналом предприятия. Весьма перспективен, однако, и другой вариант, широко применяемый в зарубежной практике, а именно: создание специальных бюро обслуживания осветительных установок. В задачу таких бюро входит замена ламп, а также текущий ремонт и очистка светильников (для выполнения остальных работ должна быть сохранена в уменьшенном объеме светотехническая служба предприятия). В этом случае используются все преимущества узкой специализации, а обслуживающий персонал может быть вооружен наиболее совершенными техническими приспособлениями. Пока в нашей стране имеется только опыт работы хозрасчетного предприятия «Грузсвет», осуществляющего обслуживание установок наружного и архитектурно-декоративного освещения.

8.4. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОБОСНОВАННОСТЬ ВЫБОРА ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

На освещение во всем мире затрачивается около 15% всей вырабатываемой электрической энергии, т. е. в масштабах нашей страны — около 150 млрд. кВт·ч ежегодно. Стоимость выполнения осветительных установок составляет 15—25% от всей стоимости промышленных электроустановок, стоимость же их монтажа достигает 30—50% от всей стоимости электромонтажных работ.

Средства, затрачиваемые на устройство и эксплуатацию освещения, никоим образом не являются непроизводительными, поскольку без искусственного освещения значительную часть времени невозможно нормальная жизнедеятельность людей. Более того как ранее было отмечено, в большинстве случаев разумное увеличение затрат на освещение с лихвой окупается одним только увеличением производительности труда.

Однако, как и во всех других областях техники, при устройстве и эксплуатации освещения следует не допускать необоснованных излишеств и стремиться к созданию необходимых осветительных условий при наименьших затратах. Естественными и основными путями экономии энергии и средств в осветительных установках являются:

1. Включение освещения там и тогда, где и когда это необходимо, что достигается правильным режимом эксплуатации и применением соответствующих систем управления, в частности программного или фотоавтоматического. Вместе с тем в этом вопросе следует избегать таких крайностей, которые могут быть источником опасности, например кратковременное включение освещения лестничных клеток только на время прохода человека.

2. Использование высокоэкономичных источников света. Так, в разгар энергетического кризиса в капиталистических странах в массовом порядке осуществлялась замена ламп ДРЛ и даже ДРИ более экономичными лампами ДНаТ.

3. Поддержание в чистоте светопроемов естественного освещения и светильников.

4. Обеспечение высоких коэффициентов отражения стен и потолков помещений, а также полов и самого оборудования.

Существенное значение имеет выбор при проектировании или устройстве освещения наиболее экономичных вариантов, в связи с чем подробнее остановимся на методике технико-экономического сопоставления последних.

В осветительных установках различаются первоначальные капитальные вложения K и годовые эксплуатационные затраты P .

Составляющими K являются: стоимость приобретения оборудования и материалов, стоимость электромонтажных работ, а также строительных работ, связанных с оборудованием освещения, и в отдельных случаях — стоимость оборудования светотехнических мастерских или лабораторий.

Составляющими P являются: стоимость электроэнергии, расходуемой источниками света, теряемой в сети, а также затрачиваемой на операции обслуживания (например, на перемещение кранов, если светильники обслуживаются с них), амортизационные отчисления от суммы капитальных вложений, стоимость текущего ремонта осветительного оборудования, стоимость заменяемых ламп, зарплата персонала, обслуживающего осветительную установку.

Значения K определяются по сметам проекта и являются одним из оснований для выбора между несколькими возможными решениями. Эти же значения, заимствованные из проектов-аналогов или статистически обработанных удельных показателей по ранее выполненным проектам используются для предварительного определения стоимости установки на начальных стадиях проектирования.

В разное время изучались и использовались удельные значения K , отнесенные к различным измерителям: площади или объему здания, «светоточке», киловатту установленной мощности. При любом измерителе удельные значения K в силу ряда причин оказываются крайне неустойчивыми и не могут быть твердо фиксированы даже для зданий определенного типа. Здесь играют роль такие обстоятельства, как детали архитектурного решения, удаленность источника питания и др. Наиболее устойчивы показатели, отнесенные к единице объема здания, наиболее устойчивы показатели, отнесенные к 1 кВт установленной мощности. Для грубой ориентации укажем, что стоимость оборудования 1 кВт чаще всего лежит в пределах 100—150 руб. — для ламп накаливания и 300—450 руб. — для газоразрядных ламп, хотя может выходить и за эти пределы.

В некоторых случаях, когда речь идет не о сопоставлении для конкретных объектов, а о решении задач в общем виде, оказывается возможным и удобным стоимость C того или иного вида однородных изделий, отличающихся мощностью, сечением и т. п., определять по формуле:

$$C = a + bX, \quad (8-1)$$

где X — изменяющийся параметр. Так, стоимость (в рублях) лампы ДРЛ с ошибкой не более 8% может быть выражена формулой

$$21,7 + 0,0173P,$$

где P — мощность, Вт.

Для определения параметров формулы (8-1) строится график зависимости S от X , и если он может быть приближенно заменен прямой линией, то формула (8-1) является обычным уравнением этой прямой.

Размер эксплуатационных затрат $P_э$ используется в сочетании со значением K при сопоставлении вариантов.

Пусть для двух вариантов найдены показатели K_1, K_2 и $P_{э1}, P_{э2}$. Если оба эти показателя отличаются в одном направлении, т. е. $K_1 > K_2$ при $P_{э1} > P_{э2}$ и $K_1 < K_2$ при $P_{э1} < P_{э2}$, то выбор более экономичного варианта очевиден, и дополнительные расчеты нужны, лишь когда эти показатели различаются в разных направлениях.

Пусть, например, $K_1 > K_2$, но $P_{э1} < P_{э2}$, тогда по действующим положениям первый вариант признается более экономичным и может быть выбран, если увеличенные капитальные затраты окупаются уменьшением эксплуатационных расходов не более чем за 8,3 года. Это позволяет оценивать экономичность сопоставляемых вариантов по минимуму приведенных затрат.

Применительно к осветительным установкам приведенные затраты складываются из 12% капитальных вложений на выполнение установки (приобретение и монтаж светильников, ламп, электрооборудования, осветительных сетей) и годовых затрат на ее эксплуатацию. Доля капитальных вложений в размере 12% в приведенных затратах обусловлена установленным для капитального строительства коэффициентом окупаемости вложений, равным 0,12, что соответствует указанному выше сроку окупаемости — $1 : 0,12 = 8,3$ годам.

Из сказанного следует, что приведенные затраты выражаются формулой

$$Z = 0,12K + P_э. \quad (8-2)$$

Из нескольких сравниваемых вариантов наиболее выгодным будет тот, для которого значение Z оказывается наименьшим.

Для практических расчетов удобно выражение (8-2) несколько преобразовать. В состав эксплуатационных затрат входят, как указано, амортизационные отчисления и стоимость текущего ремонта. Первые составляют определенный процент от капитальных вложений: 10% — для электрооборудования и 4% — для строительной части здания; вторые, применительно к освещению, можно считать учитываемыми совместно с текущим обслуживанием светильников. Тогда формуле приведенных затрат можно придать следующий вид:

$$Z = 0,22K_э + 0,14K_с + Э, \quad (8-3)$$

где $K_э$ и $K_с$ — капитальные вложения соответственно в электро-техническую и в строительную часть; $Э$ — «чистые» эксплуатационные расходы, складывающиеся из оплаты энергии, стоимости заменяемых ламп и заработной платы обслуживающего персонала.

Экономические сопоставления являются полноценными лишь в случаях, когда сопоставляемые варианты одинаковы по всем качественным показателям, чего в технике освещения далеко не всегда можно достичь и что вызывает ряд затруднений, а то и спорных вопросов.

Пусть при заданной наименьшей освещенности 100 лк сопоставляются два варианта расположения светильников, в одном из которых определена наименьшая освещенность 90 лк и $Z = 100$ единиц, а в другом освещенность 120 лк и $Z = 110$ единиц. Поскольку в обоих случаях освещенность лежит в пределах установленных для расчета допусков, оба варианта являются правомерными и может показаться, что выбору подлежит первый из них. Хотя такая точка зрения и имеет сторонников, но в принципе она неверна: производительность труда и все другие показатели, характеризующие эффективность освещения, осязаемо изменяются и при изменении освещенности в пределах установленных допусков и варианты «-10%» и «+20%» не являются равноценными. Освещенность можно рассматривать как своего рода продукцию осветительной установки и оценивать экономичность последней по стоимости единицы этой продукции (в зарубежной литературе часто сопоставляются показатели, отнесенные к единице полезного светового потока). В приведенном случае затраты на один люкс составляют в первом варианте 1,11 единиц, во втором — 0,92 единицы, т. е. второй вариант оказывается экономичнее.

Более глубокое рассмотрение задачи выявляет еще два вопроса.

Зависимость зрительных функций, а также производительности труда от освещенности носит логарифмический характер, и возможно уместнее в подобных расчетах оперировать не освещенностями, а их логарифмами, что связано с дополнительными, чисто математическими затруднениями, которые мы не будем рассматривать. Далее, производительность цеха в целом и психофизиологическая эффективность освещения определяется не значением минимума освещенности в случайных точках, а средней освещенностью, а то и пространственными характеристиками освещения. Эти вопросы еще не решены, и пока мы придерживаемся принципа минимизации расходов на 1 лк, по крайней мере, в случаях, когда не учитывается особо экономический эффект, достигаемый повышением производительности труда. О сопоставлении вариантов с резко отличающимися значениями освещенности, что наблюдается, например, при выборе источников света, будет сказано в дальнейшем.

Нередко приходится сопоставлять варианты, отличающиеся такими качественными признаками, которые не влияют непосредственно на производительность труда (или принимать вариант освещения для помещений, в которых вообще не производятся работы), но отличаются эстетическим или психологическим воздействием на людей, влиянием на их здоровье, безопасность и т. д. В подобных случаях выбор варианта не может, конечно, основываться на минимуме затрат и экономические показатели могут быть использованы лишь для того, чтобы показать, какой ценой достигается то или иное качественное преимущество, и субъективно оценить допустимость этого.

Приходится отметить некоторую условность экономических расчетов в светотехнике, так как расходы, связанные с эксплуатацией, мы неизбежно оцениваем, исходя из нормативов заданного режима эксплуатации, хотя отлично знаем, например, что требуемые нормами СНиП [1] 18 очисток светильников в год для пыльных цехов являются обеспокоенными, но практически едва ли где-нибудь осуществляются.

В настоящее время не допускается вводить в экономические расчеты какие-либо коэффициенты, учитывающие относительную ценность или дефицитность

отдельных составляющих. Единственной мерой стоимости являются деньги. Тем не менее надо сказать, что вопросы регулярного обслуживания осветительных установок настолько важны, а возможности выделения для этого достаточного количества монтеров столь ограничены, что при прочих равных условиях должно отдаваться предпочтение варианту, требующему меньших затрат труда на обслуживание.

При сопоставлении вариантов отнюдь не требуется каждый раз учитывать все составляющие затрат. Те из них, которые в сопоставляемых вариантах не изменяются, могут, естественно, не входить в величину Z .

Обратимся к рассмотрению основных составляющих эксплуатационных расходов.

Оплата стоимости электроэнергии. Установленная мощность освещения P определяется как суммарная мощность ламп с учетом потерь в пускорегулирующей аппаратуре, стоимость же электроэнергии находится по формуле

$$\mathcal{E}_0 = f \tau k_{\text{сп}} P, \quad (8-4)$$

где f — тариф на электроэнергию, руб/(кВт·ч); τ — годовое число часов использования освещения; $k_{\text{сп}}$ — коэффициент спроса.

Значение f принимается по данным местной энергосистемы, при отсутствии же таких данных (или при выполнении расчетов, не привязанных к определенному району страны) должно приниматься равным 0,015 руб/(кВт·ч).

Значения τ приводятся во многих справочниках и даются в зависимости от сменности работы, географической широты расположения объекта и наличия или отсутствия естественного освещения. Надо, однако, сказать, что эти данные рассчитаны по световому календарю, а не определены статистическим путем и скорее всего являются заниженными.

Возможной составляющей затрат является стоимость потерь электроэнергии в сети. Пусть линия, например, однофазная, рассчитана на нагрузку P , характеризуется относительной потерей напряжения ΔU , имеет расчетный ток I и сопротивление проводов в оба конца составляет R . Известен также коэффициент мощности нагрузки.

Потеря мощности определяется выражением

$$\Delta P = \frac{I^2 R}{P} = \frac{I R}{U \cos \varphi},$$

но так как потеря напряжения рассчитывается по формуле

$$\Delta U = \frac{I R \cos \varphi}{U},$$

то, сопоставляя оба эти выражения, находим

$$\Delta P = \frac{\Delta U}{\cos^2 \varphi}, \quad (8-5)$$

при безындукционной же нагрузке $\Delta P = \Delta U$. В этом последнем случае ΔP не может, очевидно, превышать 5—6%.

Вопреки некоторым указаниям в литературе в большинстве случаев учитывать ΔP в экономических расчетах не следует, причем не только из-за ее малости. Во-первых, очень часто ΔP оказывается одинаковой для сопоставляемых вариантов, во-вторых, если в силовых сетях мощность, теряемая в сети, прибавляется к мощности, потребляемой нагрузкой, то в осветительных сетях дело обстоит иначе: имея нагрузку суммарной мощностью P и увеличивая ΔP , мы будем забирать от источника питания все меньшую, а не большую мощность. В итоге учет ΔP необходим лишь в некоторых случаях, например, когда рассматривается вопрос о применении вольтодобавочных трансформаторов или о целесообразности увеличения потерь напряжения в сети. В этом случае, учитывая ΔP , мы должны также учитывать не номинальные значения мощности и светового потока ламп, а соответствующие пониженному напряжению.

Стоимость обслуживания светильников. Вполне официальных данных по этому вопросу до сих пор нет. Время, затрачиваемое на обслуживание, зависит в основном от конструкции светильника, способа доступа к нему и технологии очистки, в свою очередь определяемую характером загрязнений.

Пока в практике расчетов часто используются данные, опубликованные в журнале «Светотехника», согласно которым усредненная стоимость одной очистки принимается 0,3 руб. — для светильников с лампами накаливания, 0,4 руб. — для светильников с лампами ДРЛ и ДРИ и 0,5 руб. — для светильников с люминесцентными лампами. Эти значения должны быть, однако, умножены на коэффициенты, характеризующие сложность доступа к светильникам, в частности, 1,0 — при обслуживании с уровня пола или настила светотехнических мостиков, 1,25 — при обслуживании с лестниц или стремянок, 2,25 — с мостовых ремонтных кранов и 2,5—4 — с технологических кранов в зависимости от степени их занятости. Число очисток, согласно СНиП, принимается в пределах от 2 до 18 в год.

Стоимость замены ламп. Если в сети ожидается нормальный режим напряжения, то срок службы ламп τ принимается равным номинальному, если же есть основания ожидать, что среднее эксплуатационное напряжение будет отличаться от номинального, или если такой режим предусматривается намеренно, то срок службы ламп определяется по кривым рис. 2-4. В обоих случаях число замен ламп в год составит $T : \tau$, где T — годовое число часов использования освещения. На кратность замены ламп должна быть умножена их суммарная стоимость с учетом также стоимости рабочей силы по замене ламп. Последнюю можно приравнять к стоимости обслуживания светильников, так как во времени, необходимом для замены ламп, значительную долю составляет время, необходимое для доступа к светильнику и снятия стекла или решетки. Стоимость замены ламп с различным сроком службы определяется отдельно.

Несколько иначе решается вопрос, если предусматривается групповая замена люминесцентных ламп. В этом случае под τ следует понимать срок, по истечении которого планируется общая замена ламп, т. е. 0,7—0,8 их номинального срока службы, стоимость же рабочей силы при замене должна учитываться только в том слу-

чае, если отдельно не учитывается стоимость очистки светильников, так как замена ламп совмещается с очередной очисткой.

На некоторых других составляющих затрат мы здесь не останавливаемся.

Ниже приводятся некоторые примеры экономических сопоставлений при выборе вариантов и перечисляются наиболее характерные задачи, которые приходится решать на практике. Отмечается, что некоторые вопросы методики могут быть спорными.

Обоснование экономической целесообразности ограничения напряжения

К групповому щитку присоединено 250 ламп накаливания средней мощностью по 200 Вт каждая (общая мощность 50 кВт). Годовое число часов использования освещения около 4000. Обслуживание производится со стремянок 12 раз в год. Среднее эксплуатационное напряжение равно 104% номинального, соответственно чему расчетный срок службы ламп 600 ч и мощность 107% номинальной. Требуется определить, является ли целесообразной установка перед щитком ограничителя напряжения типа ТОН 3-220-63, имеющего коэффициент полезного действия 0,99 и стоящего, включая установку, 800 руб.

Составляющей K будет в этом случае только стоимость ограничителя, составляющей \mathcal{E} — изменяющаяся оплата за энергию и расходы на замену ламп. Все остальные расходы можно считать неизменными.

Годовая стоимость энергии:

$$50 \cdot 1,07 \cdot 4000 \cdot 0,015 = 3210 \text{ руб. — без ограничителя;}$$

$$(50 + 50 \cdot 0,01) \cdot 4000 \cdot 0,015 = 3030 \text{ руб. — с ограничителем.}$$

Кратность замены ламп составляет $4000 : 600 = 6,7$ — без ограничителя и $4000 : 1000 = 4$ — с ограничителем. Стоимость 250 ламп, включая рабочую силу для их замены, составляет около 200 руб. Таким образом, годовая стоимость замены ламп будет:

$$200 \cdot 6,7 = 1340 \text{ руб. — без ограничителя;}$$

$$200 \cdot 4 = 800 \text{ руб. — с ограничителем.}$$

Отсюда изменяющаяся часть приведенных затрат:

$$3210 + 1340 = 4550 \text{ руб. — без ограничителя;}$$

$$0,22 \cdot 800 + 3030 + 800 = 4006 \text{ руб. — с ограничителем.}$$

Экономическая целесообразность применения ограничителя напряжения очевидна.

Установка вольтодобавочного трансформатора

Здание с расчетным максимумом нагрузки 25 кВт при $\cos \varphi = 1$ питается кабелем от подстанции, удаленной на 500 м. Годовое число часов использования освещения 2500. Полная допустимая потеря напряжения в сети 40%, из которых в питающей сети может быть потеряно 3%, для чего по расчету необходим кабель с сечением фазовой жилы 95 мм².

Рассмотреть экономическую целесообразность установки перед вводным щитком вольтодобавочного трансформатора (ВДТ) напряжения 220/12 В.

Расчетный ток нагрузки 37 А. Такой ток не превышает номинального тока вторичной обмотки трехфазного трансформатора 220/12 В, мощностью 1500 В·А, который и выбираем. Так как трансформатор добавляет к напряжению 12 В, т. е. 5,4%, то питающий кабель может быть рассчитан уже на потерю $3 + 5,4 = 8,4\%$ и его сечение будет 35 мм² (что, кстати, более чем достаточно по току нагрузки). Потеря мощности в самом трансформаторе пренебрежимо мала, и изменяющимися составляющими затрат можно считать только стоимость кабеля, трансформатора и, что особо отмечается, в данном случае должны быть учтены

потери энергии в кабеле, так как установка добавочного трансформатора не меняет мощности, потребляемой источниками света, но ведет к увеличению потерь энергии в сети.

Вариант без установки вольтодобавочного трансформатора. Стоимость питающего кабеля длиной 500 м сечением 95 мм², включая стоимость прокладки, составляет 3 руб·500 = 1500 руб.

Стоимость потерь энергии в питающем кабеле

$$25 \cdot 0,03 \cdot 2500 \cdot 0,015 = 28 \text{ руб.}$$

Изменяющаяся часть приведенных затрат

$$0,22 \cdot 1500 + 28 = 358 \text{ руб.}$$

Вариант с установкой вольтодобавочного трансформатора. Стоимость питающего кабеля длиной 500 м сечением 35 мм², включая стоимость прокладки, составляет 1,9 руб·500 = 950 руб.

Стоимость трехфазного трансформатора мощностью 1500 В·А с установкой 35 руб.

Стоимость потерь энергии в питающем кабеле

$$25 \cdot 0,084 \cdot 2500 \cdot 0,015 = 79 \text{ руб.}$$

Изменяющаяся часть приведенных затрат

$$0,22 (950 + 35) + 79 = 296 \text{ руб.}$$

Вариант с установкой трансформатора несколько экономичнее.

В числе других задач, при решении которых используются методы экономического сопоставления, могут быть отмечены следующие.

1. Выбор схемы питания или рода проводки. В подобных случаях сопоставляемые варианты имеют, как правило, одинаковые эксплуатационные расходы и оптимальный вариант непосредственно определяется по минимуму капитальных вложений. При равенстве или близости последних для различных вариантов выбор может определяться такими факторами, как удобство обслуживания, степень индустриализации монтажных работ и т. д.

2. Решение вопроса о необходимости компенсации реактивной мощности в установках с лампами ДРЛ. В полном объеме вопрос может быть решен только в комплексе других вопросов электрооснабжения. Если ограничиться осветительной установкой как таковой, то и в ее пределах есть ряд показателей, на которые влияет установка компенсирующих конденсаторов. При установке конденсаторов уменьшаются: число групп на щитках и соответственно стоимость последних; протяженность групповой сети и соответственно, ее стоимость; питающие сети, сечения которых могут быть уменьшены; стоимость аппаратуры на распределительном устройстве; потери энергии в питающей сети за счет увеличения нагрузки, однако увеличивается стоимость самих конденсаторов, а также активные потери энергии в конденсаторах.

3. Выбор типа источников света. Если производится выбор между различными типами газоразрядных ламп, то имеет место обычная экономическая задача, которая решается сопоставлением

приведенных затрат в осветительной установке. Дополнительными факторами являются качественные показатели: спектральный состав света, коэффициент пульсации освещенности и т. д. Значительно сложнее обстоит дело при сопоставлении ламп накаливания и газоразрядных ламп из-за различия в этом случае самих норм освещенности.

Исчерпывающее решение может быть получено только в результате полного экономического анализа, с учетом влияния условий освещения на производительность труда. Для этого нет необходимости ставить соответствующие исследования именно на данном предприятии, так как накапливаются и публикуются данные, позволяющие приблизительно оценить связь между освещенностью и производительностью труда. Эту связь можно задать «коэффициентом отзывчивости» — числом, на которое надо умножить относительное изменение освещенности труда. Например, по данным, опубликованным в журнале «Светотехника» № 6 за 1972 г., этот коэффициент близок к 0,025 — для ткацких цехов, и составляет 0,005 — для грубых работ и т. д. (приведенные числа не являются статистически достоверными ввиду малого объема опытов).

Часто исчерпывающий анализ заменяется подсчетами, носящими иллюстративный характер и используемыми для агитации в пользу газоразрядного освещения, кстати вполне уместной.

Нетрудно, например, подсчитать, что генерирование одного и того же количества световой энергии (люмен-часов) обходится при использовании газоразрядных ламп существенно дешевле, чем при лампах накаливания.

Если принять, что капитальные вложения на один киловатт составляют 125 руб при лампах накаливания и 250 руб — при люминесцентных лампах, и учесть, что средняя световая отдача ламп накаливания около 15 лм/Вт, а световая отдача ламп ЛБ-40, с учетом потерь в ПРА, 63 лм/Вт, то можно убедиться, что капитальные вложения при сопоставляемых источниках света выравниваются, даже если при люминесцентных лампах осуществляются удвоенные значения освещенности. Сопоставляя срок службы и цену лампы накаливания и люминесцентной лампы, легко убедиться, что расходы на замену ламп, отнесенные к равному потоку, при люминесцентных лампах меньше.

4. Выбор типа светильника. Если сопоставляемые типы светильников близки по цене и рассчитаны на одинаковую мощность ламп, то может оказаться достаточным оценить их относительную экономичность по значениям коэффициентов использования; в более сложных случаях необходим анализ всех изменяющихся составляющих затрат.

5. Выбор способа доступа к светильникам для обслуживания. Если от принятого способа доступа к светильникам не зависят остальные решения, то сопоставляются только расходы, непосредственно связанные с обслуживанием установки: стоимость мости-

ков или площадок и их амортизация, затрата времени персонала, потребление энергии крановыми двигателями при обслуживании с кранов и т. д.

6. Выбор периодичности очистки светильников. Эта достаточно сложная задача упоминается здесь лишь для того, чтобы показать, какие специфические вопросы возникают в области экономики освещения. На рис. 8-6 представлена так называемая пилообразная кривая, схематически иллюстрирующая изменение освещенности в процессе эксплуатации установки. Из факторов, влияющих на уменьшение освещенности, на рисунке учтено только загрязнение светильников.

Для того чтобы в наихудший момент освещенность не была ниже нормированной (E_n), начальная освещенность должна быть равна

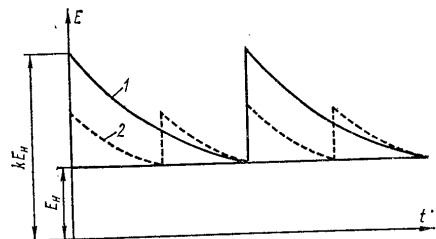


Рис. 8-6. Пилообразная кривая изменения освещенности

kE_n . При относительно редкой очистке (кривая 1) коэффициент запаса должен быть больше, чем при частой очистке (кривая 2), и естественным решением задачи является минимизация суммы затрат на очистку и на расходы, связанные со значением коэффициента запаса, а также стоимость энергии и отчисления от капитальных вложений. При этом, однако, не учитывается то обстоятельство, что при редкой очистке средняя во времени освещенность будет выше, чем при частой очистке, что, конечно, играет определенную роль.

7. Комплексное сопоставление вариантов осветительных установок. Большая многовариантность возможных проектных решений осветительных установок часто затрудняет выбор наиболее целесообразных и экономичных из них. В таких случаях прибегают к комплексному технико-экономическому сопоставлению вариантов по минимальным приведенным затратам или по капитальным вложениям и годовым эксплуатационным затратам.

Для выполнения таких сопоставлений необходимо для каждого варианта произвести расчет освещения рассматриваемого объекта (помещения или его части — модуля, территории предприятия или

отдельных характерных ее участков и т. д.), выявить для каждого варианта тип и мощность ламп, тип и количество устанавливаемых светильников и задавшись другими исходными показателями, влияющими на капитальные затраты и годовые эксплуатационные расходы (стоимость ламп, светильников, монтажа светильников и осветительных сетей, годовое число часов использования осветительной установки, тариф на электроэнергию, периодичность и стоимость чистки светильников) по определенным расчетным формулам произвести подсчет приведенных затрат или капитальных вложений и эксплуатационных затрат, и затем путем сопоставления полученных результатов для разных вариантов произвести выбор наивыгоднейшего.

Подробные указания по выполнению таких расчетов, расчетные формулы и другие необходимые пояснения приведены в статье [44].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СНиП II-4-79. Естественное и искусственное освещение. Нормы проектирования. — М.: Стройиздат, 1980.
2. Ашкенази Г. И. Цвет в природе и технике. — М.: Энергия, 1974.
3. Электрическое освещение производственных и гражданских зданий/ Н. В. Волоцкой, Г. М. Кнорринг, М. С. Рябов, А. С. Шайкевич. — Л.: Энергия, 1964.
4. Инструкция по проектированию электрооборудования общественных зданий массового строительства. СН 19-74/Госгражданстрой. — М.: Стройиздат, 1975, 111 с.
5. Инструкция по проектированию силового и осветительного электрооборудования производственных предприятий. СН 357-77. — М.: Стройиздат, 1977.
6. ПУЭ. Раздел VI. Электрическое освещение. М.: Атомиздат, 1977.
7. Типовая методика определения экономической эффективности капитальных вложений. — М.: Экономика, 1969.
8. Айзенберг Ю. Б., Ефимкина В. Ф. Осветительные приборы с люминесцентными лампами. — М.: Энергия, 1968.
9. Айзенберг Ю. Б., Бухман Г. Б., Пятигорский В. М. Новый принцип внутреннего освещения осветительными устройствами со щелевыми светододами. — Светотехника, 1976, № 2.
10. Кнорринг Г. М. Светотехнические расчеты в установках искусственного освещения. — Л.: Энергия, 1973.
11. Мещков В. В., Епанешников М. М. Осветительные установки. — М.: Энергия, 1972.
12. Дадимов М. С. Проекторное освещение. — Л.: Энергия, 1978.
13. Гуров М. М. Средняя цилиндрическая освещенность. — Светотехника, 1963, № 10.
14. Гуров М. М. Графический метод определения средней цилиндрической освещенности от больших светящих поверхностей. — Светотехника, 1964, № 3.
15. Епанешников М. М. Расчет цилиндрической освещенности при проектировании освещения общественных зданий. — Светотехника, 1965, № 12.
16. Епанешников М. М., Сидорова Т. Н. Методы расчета цилиндрической освещенности в установках внутреннего освещения общественных зданий. — Светотехника, 1972, № 4.
17. Свиридов Ю. И. Расчет коэффициента пульсации в осветительных установках с газоразрядными источниками света. — Светотехника, 1967, № 6.
18. Кроль Ц. И., Свиридов Ю. И. Методы расчета коэффициента пульсации освещенности в установках внутреннего освещения с газоразрядными источниками света. — Светотехника, 1972, № 2.
19. Островский М. А. Расчет яркости дорожных покрытий. — Светотехника, 1961, № 5.

20. Зильберлат Я. Б. Метод расчета средней яркости дорожных покрытий. — Светотехника, 1962, № 10.

21. Инструкция по проектированию наружного освещения городов, поселков городского типа и сельских населенных пунктов. ВСН 22-75/Госгражданстрой. — М.: Стройиздат, 1976.

22. Кнорринг Г. М. К вопросу целесообразности применения в осветительных сетях тиристорных ограничителей напряжения. — Светотехника, 1976, № 7.

23. ГОСТ 13109—67. Нормы качества электрической энергии у ее приемников, присоединенных к электрическим сетям общего пользования.

24. Дадюмов М. С. Управление осветительными сетями. — Л.: Энергия, 1978.

25. Изделия заводов Главэлектромонтажа. Шинопроводы. Электромонтажные изделия. — М.: Энергия, 1975.

26. СНиП III-33-76. Правила производства и приемки работ. Электротехнические устройства. — М.: Стройиздат, 1977.

27. Справочная книга для проектирования электрического освещения/ Г. М. Кнорринг, Ю. Б. Обленцев, В. М. Крючков и др.; Под ред. Г. М. Кнорринга. — Л.: Энергия, 1976.

28. Рябов М. С., Цицермай Л. А. Электрическая часть осветительных установок. — М.: Энергия, 1966.

29. Гиндин Э. Л., Кузнецов В. М. Конструктивные узлы осветительных установок. — Л.: Энергия, 1978.

30. Черниловская Ф. М. Освещение промышленных предприятий и его гигиеническое значение. — Л.: Медицина, 1971.

31. Пикман И. Я. Электрическое освещение взрывоопасных и пожароопасных помещений. — М.: Энергия, 1978.

32. Инструкция по монтажу электрооборудования пожароопасных установок напряжением до 1000 В. ВСН 294-74/ММСС СССР. — М.: Энергия, 1971.

33. Инструкция по монтажу электрооборудования силовых и осветительных сетей взрывоопасных зон. ВСН 332-74/ММСС СССР. — М.: Энергия, 1976.

34. Инструкция по проектированию электрооборудования общественных зданий массового строительства. ВСН 19-74/Госгражданстрой. — М.: Стройиздат, 1975.

35. Кнорринг Г. М. Искусственное освещение музеев. — М.: Энергия, 1969.

36. Царьков В. М. Освещение спортивных сооружений. — М.: Энергия, 1971.

37. Шефтель Е. Б. Освещение лечебных учреждений. — М.: Энергия, 1977.

38. Щипанов А. С. Освещение в архитектуре интерьера. — М.: Госстройиздат, 1960.

39. Типовые решения освещения улиц и дорог. — М.: Стройиздат, 1976.

40. Инструкция по разработке проектов и смет для промышленного строительства. СН 202-76. — М.: Стройиздат, 1976.

41. Кнорринг Г. М. Проектирование осветительных установок. — М.—Л.: Госэнергоиздат, 1958.

42. Епанешников М. М. Электрическое освещение. — М.: Энергия, 1976.

43. Лурье М. Г., Райцельский Л. А., Цицермай Л. А. Устройство, монтаж и эксплуатация осветительных установок. — М.: Энергия, 1972.

44. Кловс С. А. Технико-экономические расчеты при проектировании осветительных установок. — Светотехника, 1975, № 8.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава первая. Принципиальные основы устройства осветительных установок	5
1-1. Основные светотехнические единицы и соотношения	8
1-2. Зрение и освещение	15
1-3. Принципы нормирования освещения	21
1-4. Цвет в технике освещения	27
1-5. Качество освещения	27
Глава вторая. Светотехническая часть осветительных установок	37
2-1. Выбор освещенности	42
2-2. Системы освещения	48
2-3. Виды освещения	54
2-4. Выбор источников света	64
2-5. Расположение светильников	76
2-6. Характеристики и классификация светильников	79
2-7. Выбор светильников по светотехническим характеристикам	82
2-8. Экономическая обоснованность выбора типа светильника	84
2-9. Выбор конструктивного исполнения светильников	87
2-10. Общая характеристика сортамента светильников	91
2-11. Щелевые светильники-световоды	94
2-12. Оздоровительное облучение в системе общего освещения	94
Глава третья. Расчет освещенности	96
3-1. Основные принципы расчета	98
3-2. Метод коэффициента использования	103
3-3. Упрощенные формы метода коэффициента использования	110
3-4. Точечный метод	127
3-5. Специальные методы расчета	139
3-6. Проекторное освещение	139
Глава четвертая. Расчет качественных характеристик освещения	150
4-1. Цилиндрическая освещенность	155
4-2. Коэффициент пульсации	157
4-3. Средняя яркость дорожных покрытий	157
Глава пятая. Электроснабжение осветительных установок	160
5-1. Напряжение осветительных сетей	167
5-2. Источники питания и питающие сети	174
5-3. Групповые сети	183
5-4. Схемы управления освещением	183

Глава шестая. Электрические осветительные сети	189
6-1. Выполнение осветительных сетей	—
6-2. Выбор сечения проводников по току нагрузки и защита осветительных сетей	197
6-3. Расчет сетей по потере напряжения	202
6-4. Заземление, зануление и нулевые провода	211
Глава седьмая. Особенности освещения некоторых объектов	216
7-1. Общие сведения	—
7-2. Пожаро- и взрывоопасные зоны	217
7-3. Помещения общественных зданий	222
7-4. Архитектурно-художественное освещение	235
7-5. Освещение открытых пространств	242
Глава восьмая. Проектирование, эксплуатация и экономическая обоснованность выбора осветительных установок	251
8-1. Организация и методика проектных работ	—
8-2. Стадия рабочего проектирования	254
8-3. Эксплуатация осветительных установок	260
8-4. Экономическая обоснованность выбора осветительных установок	270
Список литературы	281

Киорриг Г. М.
 К 53 Осветительные установки. — Л.: Энергоиздат. Ленингр. отделение, 1981. — 288 с., ил.

В пер.: 1 р. 30 к

В книге излагаются теоретические основы и даны практические указания по устройству, проектированию и эксплуатации осветительных установок. Рассматриваются выбор нормируемых характеристик, типы источников света, виды и системы освещения, схемы питания и управления, а также вопросы расчета освещения и осветительных сетей.

Предназначена служить руководством для работников проектных организаций и заводских энергобюро, ведущих работы по реконструкции и эксплуатации освещения, а также может быть полезна студентам электротехнических техникумов.

К 30310—1.25 141—81 (Э). 2302060000

ББК 31.294

6П2.19