

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет «ЛЭТИ»

В. А. БУКАНИН В. Н. ПАВЛОВ А. О. ТРУСОВ

БЕЗОПАСНЫЕ И ЭФФЕКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ

Электронное учебное пособие

Санкт-Петербург
Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
2013

УДК 628.979.001:612.014.44

ББК 31.294н я73

Б 906

Б906 Буканин В. А., Павлов В. Н., Трусов А. О. Безопасные и эффективные системы освещения: эл. учеб. пособие / Под ред. В. Н. Павлова. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ “ЛЭТИ”, 2013. 84 с.

ISBN 978-5-7629-1468-0

Описано влияние света на человека; перечислены основные свето-технические величины; приведены сведения об основных видах источников света и осветительных приборов; описаны основные технические решения по обеспечению требований норм и правил безопасности для систем освещения, а также методики расчёта, и указаны особенности проектирования систем освещения для различных условий применения – образовательных учреждений, компьютерных классов, офисов и т. д. Затронуты вопросы обеспечения эффективности и энергосбережения систем освещения.

Предназначено для студентов всех специальностей СПбГЭТУ “ЛЭТИ”.

УДК 628.979.001:612.014.44

ББК 31.294н я73

Рецензенты: кафедра безопасности жизнедеятельности СПбГПУ; засл. деят. науки и техники РФ, д-р техн. наук, проф. каф. безопасности жизнедеятельности О. Н. Русак (СПбГЛТУ).

Утверждено

редакционно-издательским советом университета

в качестве электронного учебного пособия

ISBN 978-5-7629-1468-0

© СПбГЭТУ “ЛЭТИ”, 2013

Оглавление

Введение.....	4
Воздействие оптического излучения на человека	5
Основные характеристики освещения	18
Виды и характеристики зрительной работы.....	27
Основные виды и назначение освещения.....	28
Нормирование качества освещения	30
Источники света и системы освещения	38
Виды оптических излучений.....	38
Характеристики ламп и их параметры.....	39
Основные типы источников света и тенденции их развития	39
Стандартные лампы накаливания.....	40
Галогенные лампы	42
Разрядные лампы.....	43
Люминесцентные лампы	44
Ртутные лампы высокого давления (РЛВД).....	48
Металлогалогенные лампы	49
Натриевые лампы	49
Индукционные лампы.....	51
Светодиоды	51
Характеристики светильников.....	53
Регулирование света	57
Особенности организации рабочего места.....	58
Распределение светового потока и блескость.....	59
Основные методы расчёта и проектирования систем освещения.....	66
Введение в методы проектирования внутреннего освещения	67
Оценочный (грубый) метод выбора или расчёта системы внутреннего освещения	68
Приближённый расчёт освещения с учётом коэффициента использования.....	71
Точный точечный метод расчёта внутреннего освещения.....	72
Компьютерные методы расчёта внутреннего освещения	73
Основы проектирования наружного освещения. Освещение автодорог	74
Основные составляющие энергосберегающего эффекта.....	77
Выбор стратегии управления освещением	78
Технологии управления освещением.....	81
Заключение	83
Список рекомендуемой литературы.....	83

ВВЕДЕНИЕ

Свет – один из самых необходимых источников для жизни и деятельности человека. Философы и учёные изучают природу света и механизмы зрения человека уже более 2 тыс. лет. За это время открыто зримое и незримое влияние света на человека, которое в настоящее время пытаются использовать при разработке разнообразных искусственных осветительных устройств для различных отраслей промышленности и бытовых условий. Как известно, свет представляет собой сложный процесс передачи через вакуум или прозрачную среду корпускулярных частиц и электромагнитных полей определённой длины волны от различных источников. Он оказывает огромное информационное воздействие на человека. Окружающий мир человек воспринимает в основном через органы зрения. Он выполняет различные виды зрительной работы (получение информации, её распознавание и переработку и т. д.), начиная с момента пробуждения и заканчивая отходом ко сну.

В отличие от недавнего времени, когда на практике использовались преимущественно только естественные источники света, сейчас обойтись без искусственных источников уже, как правило, не удаётся. Всё напряжённее становится зрительная работа для большинства людей, занимающихся различного вида деятельностью. Перенапряжение глаз является следствием внедрения во многие её отрасли современной техники и информационной технологии. Появились новые виды деятельности, например работа за компьютером. Использование экранов мониторов, видеоэкранов, монтажных столов с подсветкой снизу изменило световые условия, характерные для традиционного зрительного процесса чтения, которое состоит в восприятии тёмных знаков на ярком фоне при падающем световом потоке. Большое количество зрительной информации, исходящий от самосветящихся объектов, оказывается для человека в некоторых случаях настолько вредным, что может вызвать многие болезни не только глаз, но и центральной нервной и сердечно-сосудистой систем. Основными симптомами таких болезней являются покраснение глазного яблока, резь в глазах, слезотечение, быстроразвивающиеся дальнозоркость или близорукость, боль во лбу и в висках и т. д.

Свет может явиться не только вредным, но и опасным фактором. Так же, как и недостаток, его избыток, резкое изменение интенсивности во времени и слепящее действие могут привести к внезапному расстройству органов зрения и к потере их функций, что, в свою очередь, может вызвать травму, спровоцировать аварийную или другую нежелательную ситуацию. С этим необходимо считаться любому, кто занимается обычной деятельностью, относящейся к определённому виду зрительной работы с использованием освещения для себя самого или при проектировании систем освещения для других людей.

Рассматриваемые вопросы являются только небольшой частью раздела безопасности жизнедеятельности, с которыми необходимо познакомиться-

ся выпускнику вуза, в какой бы области он не работал. Тем же специалистам, которым нужно более подробно изучить данный предмет, рекомендуем обратиться к первоисточникам, приведённым в списке литературы, поскольку из-за ограниченности объёма не все вопросы освещены достаточно подробно.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЧЕЛОВЕКА

Средняя область спектра электромагнитных излучений, охватывающая инфракрасные (ИК) излучения с длиной волны λ от 1.0 мм до 0.78 мкм, видимые излучения (свет) с $\lambda = 0.78...0.38$ мкм и ультрафиолетовые (УФ) излучения с $\lambda = 0.38...0.01$ мкм, носит название оптической области спектра. На рис. 1 показаны области разбиения по длинам волн соответствующих видов оптического диапазона излучения и для примера – предельно допустимые уровни (ПДУ) для человека плотности потока мощности.

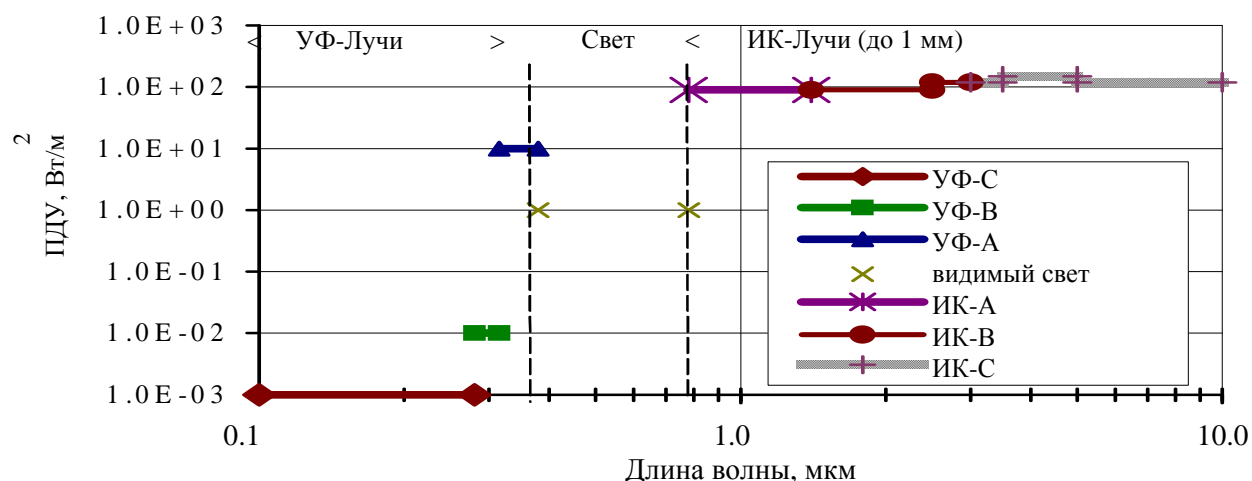


Рис. 1. Область оптического излучения и ПДУ для УФ- и ИК-излучений

Видимое излучение (или свет) – излучение, вызывающее непосредственно зрительное ощущение. Принципы нормирования его характеристик значительно отличаются от нормирования ИК- и УФ-излучений и будут приведены далее.

Все тела излучают и поглощают энергию, пришедшую извне. Поток излучения Φ_e , падающий на тело, частично поглощается и частично отражается им (рис. 2).

Оптические характеристики тел описываются коэффициентами поглощения α_e , отражения ρ_e и пропускания τ_e . Они определяются отношениями поглощённого, отражённого и прошедшего потоков к потоку излучения, упавшему на тело: $\alpha_e = \Phi_{e\alpha}/\Phi_e$; $\rho_e = \Phi_{e\rho}/\Phi_e$; $\tau_e = \Phi_{e\tau}/\Phi_e$; $\alpha_e + \rho_e + \tau_e = 1$, где Φ_e – поток излучения, упавший на тело; $\Phi_{e\alpha}$, $\Phi_{e\rho}$, $\Phi_{e\tau}$ – соответственно, поглощённый, отражённый и прошедший потоки излучения.

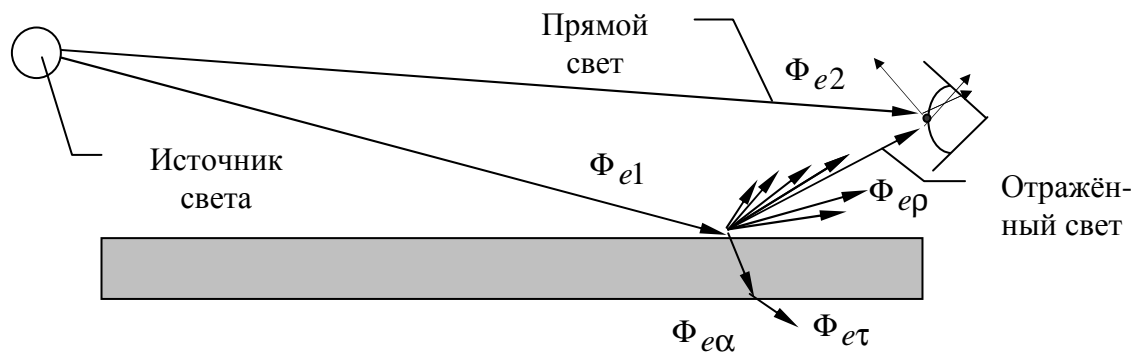


Рис. 2. Схема распространения светового потока

При падении на тело света от любого источника в теле происходит преобразование энергии излучения в особые формы движения материи, включая электрическую, биологическую, тепловую, химическую и др.

Поглощённая энергия может быть выражена в следующем виде:

$$Q_{e\alpha} = \alpha_e \int_{t_0}^t \Phi_e(t) dt = Q_{e\text{эф}} + \Delta Q_e,$$

где $Q_{e\alpha}$ – энергия излучения, поглощённая телом за интервал времени от t_0 до t ; α_e – коэффициент поглощения излучения веществом; $\Phi_e(t)$ – мгновенные значения потока излучения, упавшего на облучаемое тело; $Q_{e\text{эф}}$ – эффективная энергия, преобразованная в особую форму (тепловую, электрическую, химическую, биологическую и т. д.); ΔQ_e – энергия потерь, численно равная энергии тех форм движения материи, которые побочно возникают в исследуемом процессе преобразования.

Тела, в которых происходит преобразование излучения, называют *приёмниками энергии излучения*. Имеются две группы приёмников – органической и неорганической природы. Приёмники первой группы называют *биологическими*, а второй – *физическими* и *химическими* приёмниками.

Основными энергетическими характеристиками любого приёмника являются его интегральная и спектральная чувствительности. Чувствительность K приёмника определяется отношением эффективной энергии $Q_{e\text{эф}}$ к энергии излучения, упавшего на приёмник, Q_e :

$$K = c Q_{e\text{эф}} / Q_e = c \alpha_e \eta_e,$$

где c – коэффициент, зависящий от выбора единиц $Q_{e\text{эф}}$, α_e – коэффициент поглощения; η_e – энергетический выход процесса преобразования энергии излучения.

В практических случаях чувствительность приёмника определяют как отношение эффективной мощности $P_{e\text{эф}}$ к потоку излучения: $K = c P_{e\text{эф}} / \Phi_e$.

Большинство приёмников поглощают энергию избирательно для различных длин волн. Чувствительность к монохроматическим (однородным) излучениям принято называть спектральной чувствительностью приёмника в отличие от интегральной чувствительности, определяемой для сложного излучения, падающего на приёмник. Спектральная чувствительность приёмника определяется как $K(\lambda) = cdP_{\text{эф}}(\lambda)/d\Phi_e(\lambda)$.

Приёмники имеют очень разнообразные характеристики спектральной чувствительности. Для различных приёмников зоны чувствительности расположены на разных участках спектра (рис. 3). Например, наибольшая чувствительность кожи приходится на ультрафиолетовое излучение, в то время как глаз человека наилучшим образом воспринимает зону светового диапазона, приходящуюся на длину волны 0.55 мкм.

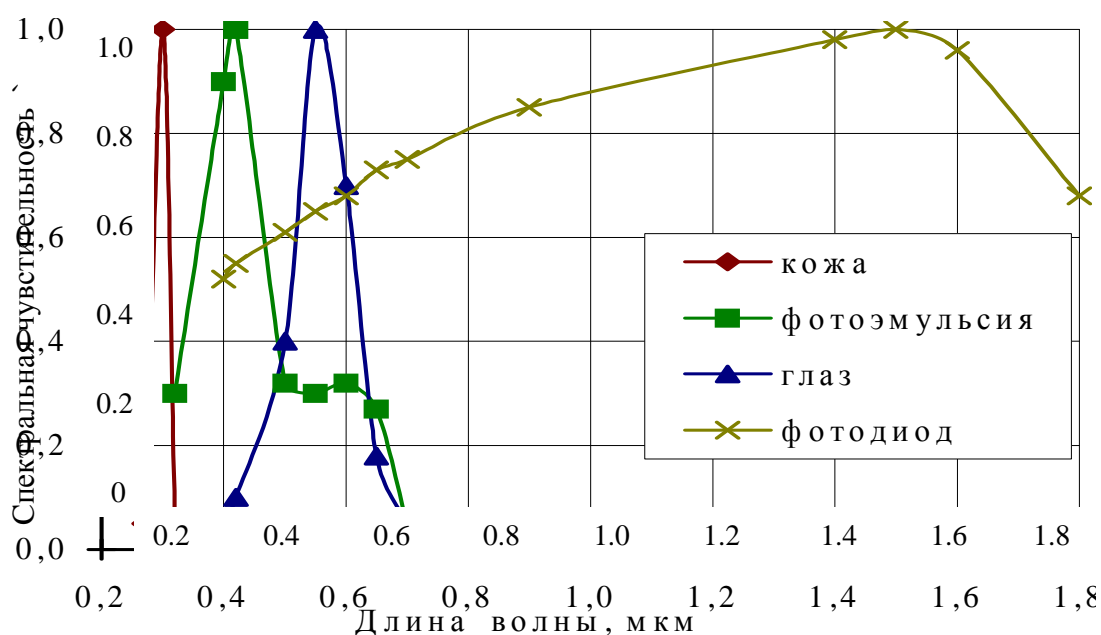


Рис. 3. Относительные спектральные характеристики различных приёмников энергии

Разработаны три системы эффективных величин – световая, эритемная и бактерицидная. В *световой* системе образцовым приёмником является глаз человека. *Эритемная* система опирается на специфический результат – покраснение кожи человека и последующую пигментацию её в результате облучения. В *бактерицидной* системе мерой реакции на излучение принята некоторая средняя характеристика губительного действия ультрафиолетового излучения на бактерии.

Зрительные ощущения в результате действия видимого излучения на орган зрения позволяют судить о яркости и цветности излучения, форме тел, излучающих или отражающих свет, их движении и взаимном расположении.

Система зрения человека состоит из двух глаз, зрительного нервного пути и конечного центра в зрительной зоне затылочной области коры больших полушарий мозга.

Глаз является сложным приёмником видимого излучения, в котором происходит трёхкратное преобразование энергии излучения. Энергия, поглощённая светочувствительным веществом глаза, преобразуется в химическую энергию распада молекул, затем в электрическую энергию импульсов тока, возникающих в волокнах зрительного нерва, и наконец в энергию биологических процессов зрительного ощущения.

Световоспринимающей системой глаза является его сетчатая оболочка (ретины), прилегающая к стекловидному телу и заполненная светочувствительными клетками, называемыми *зрительными рецепторами* (рис. 4).

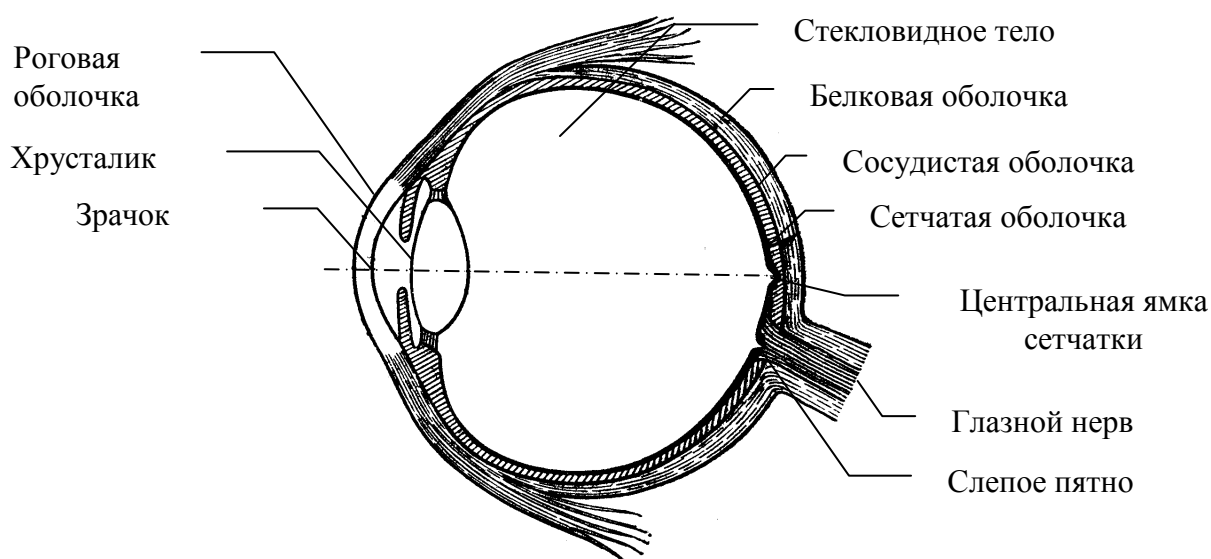


Рис. 4. Схематичное изображение глаза человека

С помощью волокон зрительного нерва, на концах которого находятся две основные разновидности этих клеток – *палочки* и *колбочки*, рецепторы соединены с клетками затылочной части коры головного мозга, являющегося центральным звеном органа зрения. В сетчатой оболочке глаза имеется около 130 миллионов палочек и более 7 миллионов колбочек. Максимальная концентрация палочек наблюдается в зоне, смещённой на $10...12^\circ$ от центра. Колбочки, которые являются рецепторами дневного зрения, расположены наиболее плотно в центральной части сетчатки. Их плотность достигает максимума 10^5 на 1 мм^2 в центральной части оболочки. Нервные волокна обслуживают не более двух-трёх светочувствительных элементов. В отличие от этого, в периферической части сетчатой оболочки на одно волокно нерва приходится несколько десятков и сотен палочек, вследствие чего глаз обладает способностью различать мельчайшие детали, размеры изображения которых не превышают тысячных долей миллиметра (угловой размер $1.3...1.5'$).

Глаз воспринимает излучение только определённой длины волны – от 0.4 до 1.4 мкм. Наибольшая прозрачность вещества, из которого состоит глаз, достигающая почти 100 %, лежит в области $0.5...0.9\text{ мкм}$.

Поток излучения проходит через твёрдую прозрачную роговую оболочку. После преломления в ней лучи попадают через зрачок на хрусталик. Сетчатая оболочка глаза состоит из трёх слоёв клеток зрительного нерва – нейронов. Соединения смежных нейронов называют *синапсами*. Излучение достигает первого слоя нейронов и поглощается молекулами светочувствительного вещества, заполняющего палочки и колбочки. Неиспользуемая часть излучения поглощается пигментным слоем, предотвращая этим рассеянный засвет светочувствительных элементов. Палочки не воспринимают цвет и содержат светочувствительное вещество, называемое *родопсином*, которое при поглощении света диссоциирует на ионы протеина и ретинена. Ретинен (или зрительное жёлтое вещество) – белковое вещество, являющееся производным витамина А. Родопсин активно участвует в зрительном процессе в условиях сумеречного зрения. Колбочки являются цветочувствительными элементами, содержат светочувствительное вещество, а светочувствительное вещество, заполняющее наружные членики колбочек, окрашено в фиолетовый цвет и называется *иодопсином*.

Каждому значению плотности эффективного облучения соответствует определённая концентрация молекул родопсина и иодопсина, устанавливающаяся в результате баланса распада и восстановления молекул этих веществ. Максимум спектральной чувствительности родопсина соответствует длине волны 0.512, а иодопсина – длине 0.555 мкм. Вследствие значительно большей чувствительности родопсина палочки работают на низких уровнях возбуждения глаза (обеспечивают различение объектов при уровне яркости 0.01 кд/м^2), в то время как колбочки, обладающие меньшей чувствительностью, работают при высоких уровнях его возбуждения – более 50 кд/м^2 . В связи с этим можно разделить зрение на дневное и ночное (рис. 5). Ночная, или куриная слепота объясняется отсутствием палочкового аппарата или резким ослаблением его деятельности, например при авитаминозе.

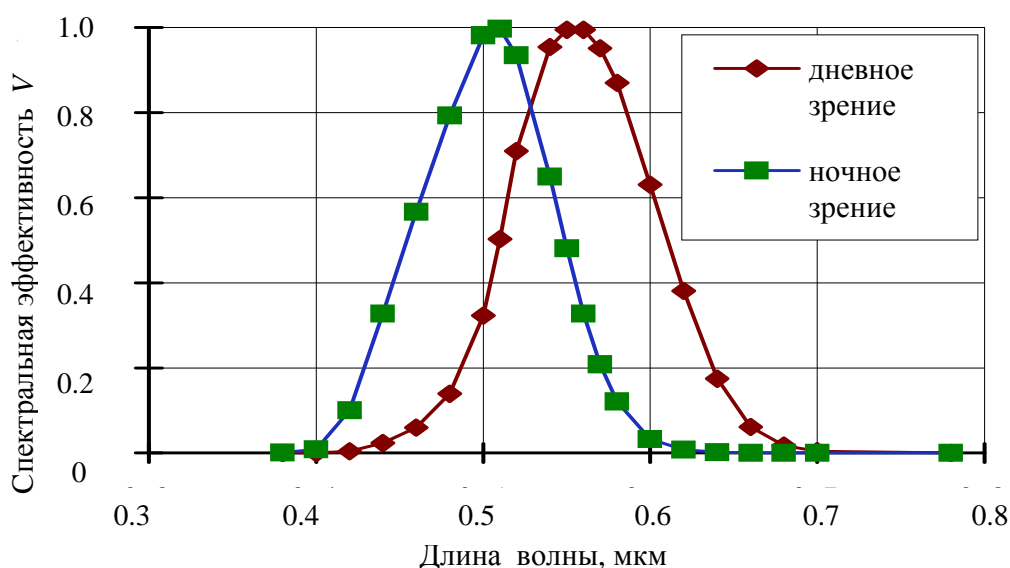


Рис. 5. Относительная спектральная световая эффективность

Воспринимая предметы, человек способен различать их не только по форме, но и по цвету. Колбочки глаза разделяются на красноощущающие (к-рецепторы), зелёноощущающие (з-рецепторы) и синеощущающие (с-рецепторы), которые имеют различную спектральную чувствительность. Окончательное формирование образа и восприятие цвета происходят в зрительных центрах коры головного мозга. Когда орган зрения одновременно получает возбуждение от раздражителей всех волн видимого спектра, глаз видит белый свет. Если же раздражители определённой длины волны преобладают в пучке света, то вызванное им ощущение будет соответствовать доминирующей длине волны.

Цветовое зрение – способность глаза реагировать на воздействие излучений различной длины волны и различать цвета предметов. *Нормальное зрительное ощущение цвета (трихроматопсия)* – способность нормально различать три основных цвета – красный, синий и зелёный. Цветовая слепота представляет собой состояние ошибочного светового видения и разделяется на дальтонизм, т.е. неспособность различать красный и зелёный цвета, и дихромазию – зрение, основанное не на трёх, а на двух первичных цветах.

Цветностью излучения называют качественную характеристику, определяемую различием соотношений уровней реакции трёх приёмников среднего глаза. Излучения, вызывающие одинаковые ощущения цветности, принято называть одноцветными.

В зависимости от условий зрительной работы и места её проведения освещённость может меняться в широких пределах, начиная почти от нуля и кончая 100 000 лк (рис. 6).

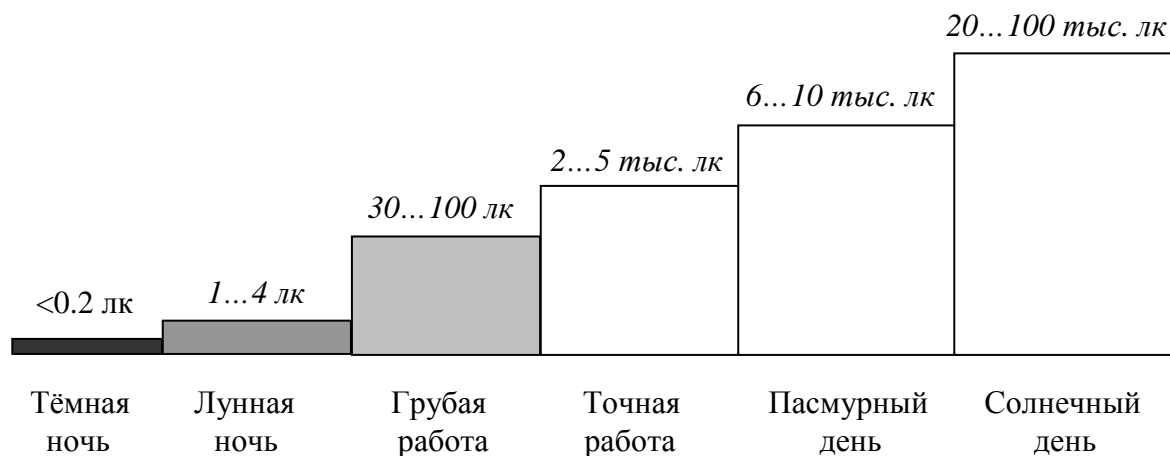


Рис. 6. Примерные значения освещённости, встречающиеся на практике

Зрительный аппарат человека адаптируется (приспосабливается) к яркости и цвету. Это происходит как за счёт расширения или сужения зрачка, так и регулирования концентрации молекул родопсина и иодопсина в палочках и в колбочках. *Темновая адаптация* – приспособление глаза к работе при снижении яркости в поле зрения человека. Её продолжительность составляет 1...2 ч. *Световая адаптация* – приспособление глаза к работе при высоких

значениях яркости. Это происходит за счёт сужения зрачка и экранирования сетчатки тёмным пигментом. Резкие перепады яркости вызывают характерную реакцию: глаза прикрываются веками (сощуриваются) и окружающие предметы наблюдаются сквозь ресницы. Продолжительность световой адаптации длится 5...10 мин. Диаметр зрачка может меняться в широких пределах (примерно, в 4 раза – от 2 до 8 мм). Чрезмерно высокая яркость освещения сетчатки может вызвать спазмы век или зрачков.

Несмотря на то, что человек обладает замечательной способностью адаптации к условиям окружающей среды, в которой он находится, его психофизиологическое состояние и утомляемость зависят от светового окружения. Без света у окружающих предметов отсутствовали бы цвет, форма, перспектива. Однако слишком их большая освещённость может оказаться столь же вредной, как и её недостаток. Кроме того, заслуживают внимания как спектральный состав излучения, так и цветовая окраска окружающих предметов. Полная оценка значения света и цвета для здоровья человека возможна лишь с учётом всех указанных факторов.

Часто наблюдаются разнообразные случаи расстройства зрительного восприятия людей на рабочих местах. Поэтому специалисты по освещению должны стараться обеспечить для них оптимальные условия. Нередко сотрудничество в данном вопросе между архитекторами, специалистами по гигиене труда и специалистами по освещению возникает слишком поздно, поэтому ошибки, появившиеся на начальной стадии проектирования, с трудом поддаются исправлению в дальнейшем. На подготовительном этапе проектирования следует проанализировать типы ламп, световые потоки, яркость и световую отдачу ламп, а также спектральный состав их излучения. Кроме того, серьёзных ошибок можно избежать, если одновременно проводить планирование схемы цветовой окраски объектов в зоне рабочего места и цветовой отделки помещения.

Яркостью объекта наблюдения определяется уровень зрительного ощущения. Неудовлетворительное распределение яркости в освещаемом пространстве и неудачный выбор спектра излучения источников света приводят к возникновению неприятных ощущений и снижению функций зрения. Неприятные ощущения, характеризующиеся чувством неудобства и напряжённости, называются *зрительным дискомфортом*. Он вызывает отвлечение внимания, уменьшение сосредоточенности и приводит к повышенному утомлению. Снижение функции зрения при неравномерном распределении яркости в поле зрения, а также при наличии в поле зрения ярких источников, носит название *ослеплённости*.

Зрительное утомление – утомление организма, возникающее в результате производственной деятельности человека, связанной со зрительной работой. Результаты утомления – понижение активности сетчатой оболочки, глазных мышц и центрального звена органа зрения, а также увеличение количества ошибок в работе.

Оценку зрительной работоспособности (т. е. способности выполнять зрительную работу и поддерживать высокую степень мобилизации зрительных функций, а значит, производительность труда) и зрительного утомления от освещённости можно представить в виде некоторых обобщённых качественных зависимостей (рис. 7).

Следует отметить, что анализ этих зависимостей объясняет причину того, что слишком интенсивный световой поток может привести к расстройству нервной системы и ухудшению здоровья. С увеличением освещённости рабочего места производительность труда возрастает, однако растёт и зрительное утомление.

Заслуживает внимания и тот факт, что с возрастом острота зрения у большинства людей ухудшается. Под *остротой зрения* понимается способность различать и воспринимать отдельно мелкие детали. В частности, снижается диапазон *аккомодации* – процесса, при котором фокус глаза изменяется с изменением дистанции от одного объекта до другого, и возрастает восприимчивость к блескости. Система саморегулирования, ранее обеспечивающая чёткость изображения на сетчатке путём изменения кривизны хрусталика, после 45 лет перестаёт нормально работать из-за потери эластичности (старческая дальнозоркость). Ближайшая точка ясного видения отодвигается от глаза, и когда расстояние до неё станет превышать 40 см, без очков не обойтись. Пожилые люди часто высказывают жалобы и на неудовлетворительное освещение. Это тоже является причиной снижения производительности труда и быстрого утомления.

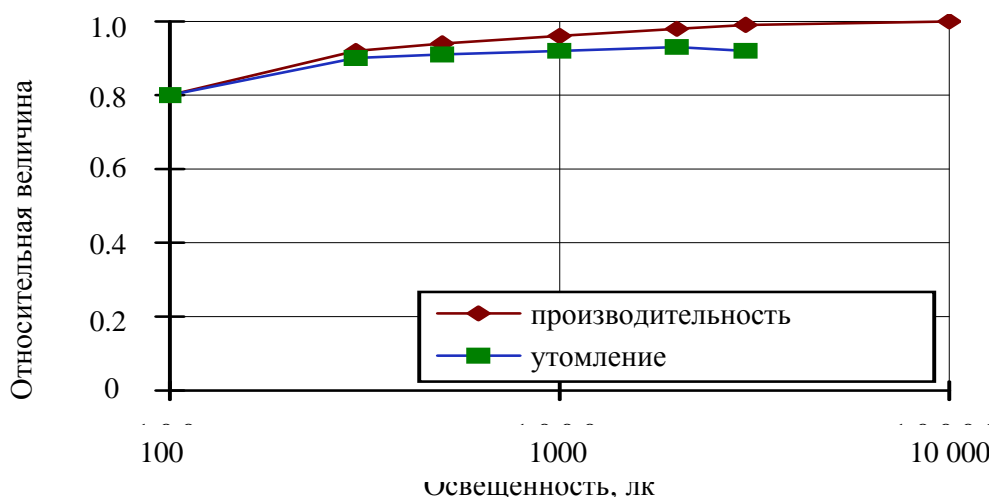


Рис. 7. Зависимость производительности труда и зрительного утомления от освещённости

Исследования показывают, что после 40 лет для обеспечения одинаковой остроты зрения с увеличением возраста необходимо резкое увеличение уровня яркости (рис. 8).

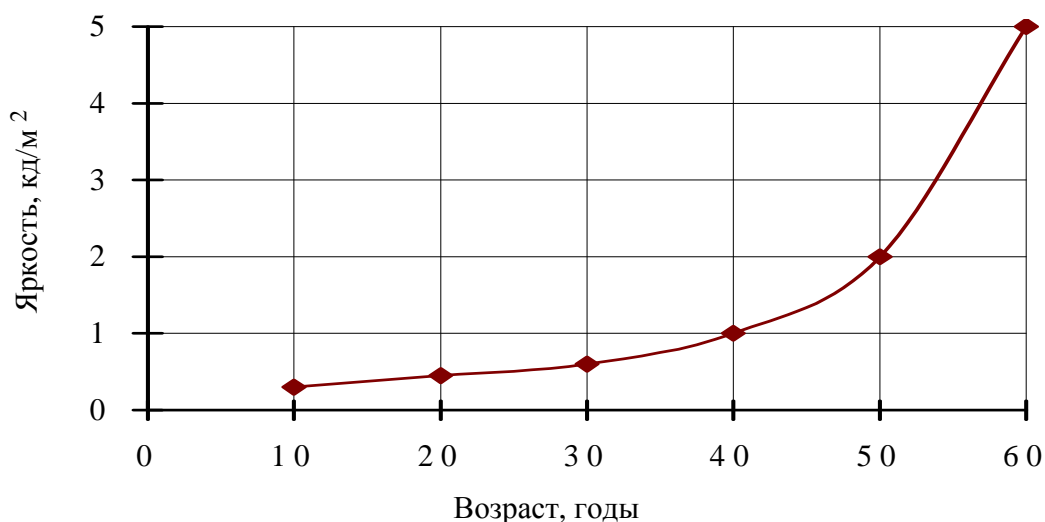


Рис. 8. Необходимый уровень яркости в зависимости от возраста человека

На зрительном восприятии человека сказываются и такие характеристики, как блеск и блескость.

Блеск – величина, применяемая при визуальном наблюдении источника света, когда наблюдатель не воспринимает размеров источника.

Блескость – характеристика отражения светового потока от источника света или рабочей поверхности в направлении глаз работающего. Она определяет уровень снижения видимости из-за чрезмерного увеличения яркости источника света или рабочей поверхности и величины вуалирующего действия, снижающего контраст между объектом и фоном. Блескость ухудшает зрительные функции человеческого глаза, что способствует снижению зрительной работоспособности (в данном случае блескость называется слепящей). Она может привести также к ухудшению рабочего настроения (в этом случае блескость относится к разряду психологического или дискомфортного фактора). Кроме указанных видов блескости различаются *прямая* и *отражённая* блескости.

Возникновение блескости обуславливается воздействием избыточного светового потока, т. е. избыточной яркости в поле зрения. Такое воздействие препятствует процессу адаптации глаза. Существуют также понятия *релятивной* блескости (когда в поле зрения наблюдаются избыточные контрасты), *абсолютной* блескости (когда используется слишком яркий источник света, нарушающий видимость) и *адаптируемой* блескости (пока человеческий глаз еще не адаптировался к общему уровню яркости).

Прямой блескости избежать относительно легко. Предотвратить её можно правильным размещением светильников, установкой жалюзи под источником света, установкой ламп в сферические рефлекторы, ограждением ламп светонепроницаемыми или призматическими затемняющими экранами.

Сконцентрированный в одном месте световой поток, обуславливающий в поле зрения повышенную яркость, может вызвать отражённую блескость, приводящую к снижению функции зрения. Подобное изменение, которое в большинстве случаев не осознаётся работниками, выполняющими операции, связанные со зрительным восприятием, вызывает повышенное общее и зрительное утомление.

Отражённая блескость может быть уменьшена применением рассеяного освещения и корректировкой угла падения прямого светового потока. Наблюдатель обычно видит перед собой предмет под углом зрения 25° к вертикали. Однако для избежания блескости источник света следует располагать вне угла зрения, равного 45° (рис. 9). Для исключения блескости, создаваемой светильниками местного освещения, нижний край светильника при его установке должен находиться ниже пунктирной линии (1) или выше пунктирной линии (2) (рис. 9). Для ограничения блескости светильник должен выбираться с определённым защитным углом θ , зависящим от угла смещения φ над горизонтальной линией зрения.

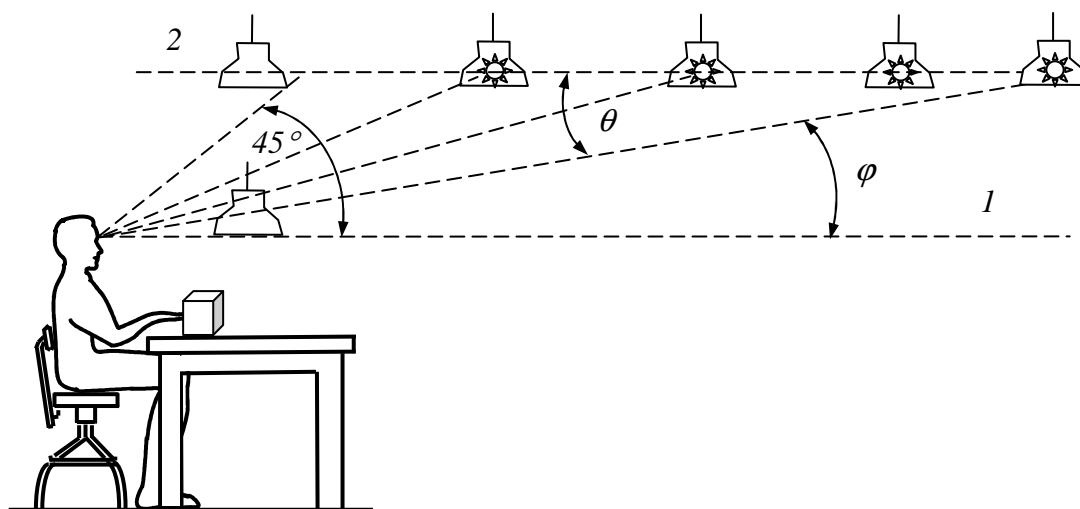


Рис. 9. К пояснению появления эффекта блескости источников света

Если считать, что у людей в возрасте 20 – 40 лет имеется нормальная зрительная восприимчивость к блескости, то у группы людей в возрасте 40 – 50 лет эта восприимчивость выше в три раза, у группы людей в возрасте 50 – 60 лет – в семь раз, а у группы людей в возрасте 60 – 70 лет – в 10 раз.

Свет и цвет влияют на здоровье человека таким же образом, как микроклимат и акустические условия. Для инженеров-светотехников и физиологов, занимающихся проблемами света и цвета, это является стимулом для проведения исследований по определению оптимальных комбинаций света и цвета для каждого цеха, для каждого технологического процесса и т. п. При проведении таких исследований указанные специалисты должны уделять качественной стороне проблемы такое же внимание, как и количественной.

Осветительные средства обладают широкими возможностями в связи с наличием ламп с максимумами излучения в диапазонах трёх длин волны и многочисленных люминесцентных ламп, разработанных в последнее время. Однако в настоящее время замена естественного освещения искусственным с тем же воздействием на человека не представляется возможной. Тем не менее, окна цехов и учреждений, даже несмотря на свои значительные размеры, имеют второстепенное значение для создания достаточной освещённости. Гораздо более важной функцией окон является визуальный контакт внутренней среды помещения с внешней средой.

Открытый в 1823 г. чешским учёным Я. Пуркине эффект посветления синего и потемнения красного цветов по сравнению с белым при переходе от дневного зрения к ночному определяется смещением относительной спектральной световой чувствительности в сторону коротких волн. При этом в глазе повышается концентрация молекул родопсина. Эффект Пуркине в настоящее время используется при проектировании экономичного освещения, в котором используются источники света, создающие синюю составляющую в спектре излучений, воспринимаемую глазом как более яркую по сравнению с другими составляющими цветового ряда света.

Существуют три области применения цвета:

- 1) личная область, где человек имеет возможность выбора цвета в соответствии с индивидуальным вкусом;
- 2) область окружающей среды, на которую человек может влиять незначительно;
- 3) производственная область, в которой желательно использовать цвета, выбранные на научной основе. Такие цвета могут благоприятно влиять на состояние здоровья, способствовать повышению производительности труда и улучшению качества продукции, а также предотвращению несчастных случаев на промышленных предприятиях.

Восприятие цветов неосвещённых предметов обуславливается отражением световых волн определённой длины. Известно, что белая поверхность одинаково отражает все цвета спектра видимого света. Этим объясняется, почему многие предприниматели полагают, что ими сделано все возможное для здоровья своих сотрудников, если производственные помещения ежегодно окрашиваются в белый цвет и обеспечивается их хорошее освещение, позволяющее таким образом создать высокую яркость. Однако белый цвет проявляет наилучший психологический эффект лишь в сочетании с хроматическими цветами. Окрашенные же в белый цвет помещения и белое производственное оборудование вызывают у людей преждевременное утомление и не стимулируют активный и созидательный труд в отсутствие каких-либо других цветов.

Последние исследования, связанные с освещённостью, показали, что искусственное освещение при отсутствии естественного стимулирует влияние на вегетативную нервную систему человека. Выбором соответствующего

цвета можно влиять как на эрготрофное возбуждение, вызывающее воодушевление и активность, так и на гистротрофное возбуждение, приводящее к уменьшению напряжения и восстановлению сил в организме. Это означает, что для достижения эффектов активности и релаксации, т. е. для притока энергии, используются “тёплые цвета”, а для отдачи энергии – “холодные цвета”. На рис. 10 приведены диапазоны основных цветовых тонов.

Сочетание цветовых тонов, составленных из оттенков жёлто-красного спектра (кремовый, жёлто-коричневый, золотисто-коричневый) может создавать зрительное впечатление теплоты. Светло-голубые и бледно-зелёные цветовые сочетания относятся к холодным. Удовлетворительные условия могут быть достигнуты использованием сочетаний тёплых и холодных тонов.

Однако на практике для достижения указанных ранее эффектов подбор цветов производить чисто умозрительно никогда не следует. Правильный выбор цвета производится на основе предварительного анализа выполняемой работы и рабочего помещения. Выбор цветового оттенка имеет менее важное значение, чем отражательная способность цвета (рис. 11).



Рис. 10. Диапазоны тёплых и холодных цветовых тонов

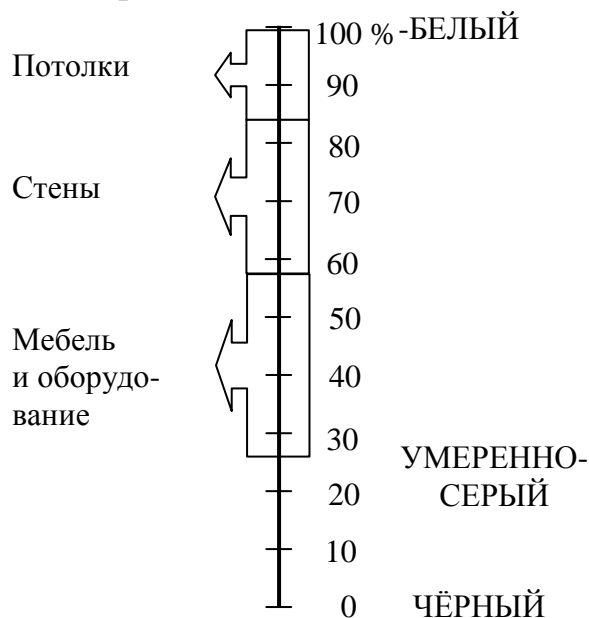


Рис. 11. Рекомендуемые коэффициенты отражения света

Приведённые общие соображения дают возможность заключить, что освещение, цвет света, цветопередача и выбор цвета в помещении должны соответствовать друг другу, что осуществляется тщательным подбором. Комбинации указанных параметров создают *цветовой климат*. Для достижения равноценных условий комфорта в части освещения следует сочетать с более яркими цветами не “тёплые”, а “холодные” источники.

Цвет освещения, степень распределения светового потока, цветопередача и цвета, используемые в помещении, являются существенными критериями, с помощью которых оценивается воздействие и влияние света и цвета на настроение человека. Яркие цвета создают впечатление приятности и

освещённости и обеспечивают спокойствие, несмотря на то, что они вносят в помещение большее количество света. Тёмные цвета могут создавать мрачный и депрессионный эффект.

Все изложенное показывает, что наличие множества цветов и множества факторов не позволяет сформулировать определённые критерии выбора цвета. Тем не менее, могут быть установлены некоторые основные правила, которые могут использоваться на практике:

1. Источники, излучающие “тёплые цвета” света, увеличивают насыщенность цвета предметов. Малая доля коротковолнового излучения препятствует эффективному воздействию “холодных цветов”.

2. Нейтральный белый цвет света является безопасным и передаёт все цветовые оттенки в правильных соотношениях.

3. Светлые цвета (т. е. цветовые тона, отличающиеся малой насыщенностью, или так называемые пастельные тона) хорошо подходят для фона, в то время как для окраски самих объектов предпочтительны более концентрированные, более насыщенные цвета. Для окраски объектов в общем случае предпочтительны “холодные” цвета, которые, следовательно, считаются безопасными цветами объекта.

4. Восприятие цвета объекта в значительной степени зависит от цвета фона. Эта особенность существенно влияет на эффективность источника света.

Приведённые правила также показывают взаимосвязь между светом и цветом. Свет должен выбираться в соответствии с цветом, и наоборот. Зелёные поверхности, кривая передачи которых имеет пики в жёлто-зелёном и сине-зелёном диапазонах в солнечном свете, покажут оптическое смещение к жёлтому при освещении их лампами накаливания. Аналогичные отклонения возникают при использовании люминесцентных ламп, которые в соответствии с излучаемым ими спектром подчеркивают либо тёплый, либо холодный участок последнего (например, пурпурно-красный становится настоящим красным в “тёплом цвете” света).

Особый случай имеет место при использовании источников света с монохроматическим распределением спектральной энергии, в частности натриевой лампы, которая передает только жёлтый свет.

Кроме того, эффект цвета всегда зависит от окружающего фона. Жёлтый цвет на чёрном фоне кажется светящимся. Однако на белом фоне этот цвет теряет свои светящиеся свойства. Такой эффект, называемый *одновременным контрастом*, следует учитывать в отношении всех цветов и цветовых тонов. Любой цвет на чёрном фоне становится ярче, а на белом фоне – бледнее. Этот эффект обусловлен реакцией, происходящей в сетчатке глаза. Белое остаточное изображение чёрного фона накладывается на изображение цветного объекта и увеличивает его излучение. Тем не менее, чёрное остаточное изображение белого фона накладывается на любой иной цвет и делает его более тёмным. Любой цвет может быть субъективно изменён с помощью соответствующего цвета фона (например, жёлтый цвет покажется золотисто-

жёлтым на сине-зелёном фоне и зелёно-жёлтым на красно-фиолетовом фоне). Следовательно, цвета могут быть подразделены на три группы:

- 1) цвета, которые оказывают влияние на фон (одновременный контраст);
- 2) цвета, влияющие на свой фон (эффект Бецолля);
- 3) цвета, образованные передачей остаточного изображения какого-либо цвета, рассматриваемого непосредственно перед этим изображением (последовательный контраст).

Другим фактором, имеющим на практике большое значение, является влияние фона на объект, и наоборот. Этот фактор включает яркость, тени, насыщенность и текстуру. Значительное количество имеющейся информации относительно света и цвета, на первый взгляд, может показаться запутанным. Однако это должно заставить человека осознать, что решение проблем освещения не может быть предоставлено электрику, а решение проблем планировки цвета не может быть оставлено за художником. Благоприятное психологическое воздействие световой среды помогает уменьшению утомления глаз, сокращению ошибок в работе, повышает производительность труда.

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСВЕЩЕНИЯ

Эффективность действия какого-либо излучения на любой образцовый приёмник можно оценить отношением эффективного потока к потоку излучения. Эту величину, равную интегральной чувствительности образцового приёмника, называют *эффективностью излучения*. Световые характеристики излучения являются разновидностью эффективных характеристик, когда приёмником энергии служит глаз человека. Решением Международной комиссии по освещению (МКО) основной функцией спектральной чувствительности глаза принята функция относительной световой эффективности в условиях дневного зрения, являющаяся основой построения системы световых величин и единиц. Соотношение между двумя видами величин (энергетических и световых) приведено в табл. 1.

Световой поток является эффективным потоком и определяется действием на селективный приёмник, спектральная чувствительность которого нормализована функциями относительной спектральной световой эффективности излучения $V(\lambda)$ – для дневного зрения и $V'(\lambda)$ – для ночного зрения.

Поток излучения Φ , лм, может быть выражен в виде

$$\Phi = 680 \int_{\lambda=0.38}^{\lambda=0.78} \phi_e(\lambda) V(\lambda) d\lambda,$$

где $\phi_e(\lambda)$ – спектральная плотность потока излучения, Вт/мкм.

1 лм численно равен световому потоку, излучаемому в единичном телесном угле (стерадиан) равноинтенсивным точечным источником с силой

света 1 кд. Световой поток в 1 Вт монохроматического излучения с длиной волны $\lambda = 0.55$ мкм равен 680 лм. Таким образом, максимальное значение спектральной световой эффективности, лм/Вт, численно равно 680.

Таблица 1

Соответствие энергетических и световых величин

Энергетические		Световые	
Наименование	Единица	Наименование	Единица
Поток излучения	Ватт (Вт)	Световой поток	Люмен (лм)
Энергия излучения	Джоуль (Дж)	Световая энергия	Люмен-секунда (лм·с)
Сила излучения	Ватт настерадиан (Вт/ср)	Сила света	Кандела (кд)
Плотность облучения	Ватт на квадратный метр (Вт/м ²)	Освещённость	Люкс (лк)
Энергетическая светимость	Ватт на квадратный метр (Вт/м ²)	Светимость	Люмен с квадратного метра (лм/м ²)
Энергетическая экспозиция	Джоуль на квадратный метр (Дж/м ²)	Экспозиция	Люкс-секунда (лк·с)
Энергетическая яркость поверхности	Ватт настерадиан и квадратный метр (Вт/(ср·м ²))	Яркость поверхности	Кандела с квадратного метра (кд/м ²)

Световая отдача источника света η , лм/Вт, характеризуется отношением светового потока к мощности источника света W и определяет его коэффициент полезного действия:

$$\eta = \Phi / W.$$

Световая энергия Q , лм·с, определяется произведением светового потока на время его действия t :

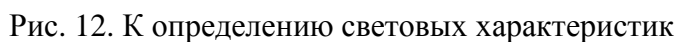
$$Q = \int_0^t \Phi(t) dt.$$

Сила света I , кд (1кд = 1лм/ср – пространственная плотность светового потока в заданном направлении):

$$I = d\Phi / d\Omega,$$

где Ω – телесный угол, определяемый отношением площади сферической поверхности, заключённой внутри конуса телесного угла с вершиной в центре сферы, к квадрату радиуса этой сферы.

За направление $I_{\alpha,\beta}$ принимают ось телесного угла $d\Omega$, ориентированную углами α, β в продольной и в поперечной плоскостях (рис. 12). Кандела – сила света, испускаемая в перпендикулярном направлении с площади в $1/600\,000$ м² чёрного тела при температуре затвердевания платины $T = 2045$ К и давлении $101\,325$ Па.


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

Яркость поверхности $L_{\alpha,\beta}$, кд/м² – отношение силы света излучающего элемента к площади его проекции на плоскость, перпендикулярную заданному направлению α, β (рис. 12):

$$L_{\alpha,\beta} = \frac{dI_{\alpha,\beta}}{\cos \alpha dA}.$$

$$M_{\text{пов}} = d\Phi/dA.$$

Светимостью можно характеризовать плотность светового потока, отражённого от диффузной поверхности с коэффициентом отражения ρ : $M_\rho = \rho E$ или прошедшего через рассеивающие материалы с коэффициентом пропускания τ : $M_\tau = \tau E$.

В России слепящая и дискомфортная блескости оцениваются показателями дискомфорта и ослеплённости.

Показатель дискомфорта M – критерий оценки дискомфортной блескости, вызывающей неприятные ощущения при неравномерном распределении яркостей в поле зрения, выражающийся формулой

$$M = \frac{L_c \omega^{0.5}}{\phi_n L_{ад}^{0.5}},$$

где L_c – яркость блеского источника, кд/м²; ω – угловой размер блеского источника, ср; ϕ_n – индекс позиции блеского источника относительно линии зрения; $L_{ад}$ – яркость адаптации, кд/м².

Данный показатель при проектировании рассчитывается инженерным методом.

Показатель ослеплённости P – критерий оценки слепящего действия осветительной системы, определяемый выражением $P = 1000 \cdot (S - 1)$, где S – коэффициент ослеплённости, равный отношению пороговых разностей яркости при наличии в поле зрения блеских источников и при равномерном распределении яркости в поле зрения.

Индекс цветопередачи R_a – мера соответствия зрительных восприятий цветного объекта, освещённого исследуемым и эталонным источниками света, при определенных условиях наблюдения. Общий индекс цветопередачи характеризует степень соответствия визуального восприятия цвета восьми эталонных образцов, освещённых исследуемым источником света, с цветом тех же образцов, освещённых эталонным источником света. R_a может достигать максимального значения, равного 100, когда спектральное распределение испытуемого источника и эталонного источника практически одинаково.

Фон – поверхность, прилегающая непосредственно к объекту различения, на которой объект рассматривается. Фон считается:

- светлым – при коэффициенте отражения поверхности более 0.4;
- средним – то же от 0.2 до 0.4;
- тёмным – то же менее 0.2.

Контраст объекта различения с фоном K определяется отношением абсолютной величины разности между яркостями объекта и фона к яркости фона. Контраст объекта различения с фоном считается:

- большим – при K более 0.5 (объект и фон резко различаются по яркости);

- средним – при K от 0.2 до 0.5 (объект и фон заметно различаются по яркости);
- малым – при K менее 0.2 (объект и фон мало различаются по яркости).

Предметы становятся различимыми и опознаются посредством зрения благодаря различиям в яркости и контрасту, которые обеспечивают решение зрительной задачи. Между наблюдаемой конкретной деталью и её фоном должен существовать минимальный контраст. Он может быть создан благодаря различным коэффициентам отражения или с помощью цветового контраста. Обычно, яркостные и цветовые контрасты используются для решения указанной задачи одновременно.

Коэффициент естественной освещённости (КЕО) – отношение естественной освещённости, создаваемой в некоторой точке заданной плоскости внутри помещения светом неба (непосредственным или после отражения), к одновременному значению наружной горизонтальной освещённости, создаваемой светом полностью открытого небосвода. На рис. 13 показан один из примеров зависимости КЕО от расстояния до окна помещения при одностороннем естественном освещении. Нормирование КЕО проводится на расстоянии 1 м от стены помещения, противоположной окнам, если они расположены с одной стороны, или в её середине – при двухстороннем освещении.

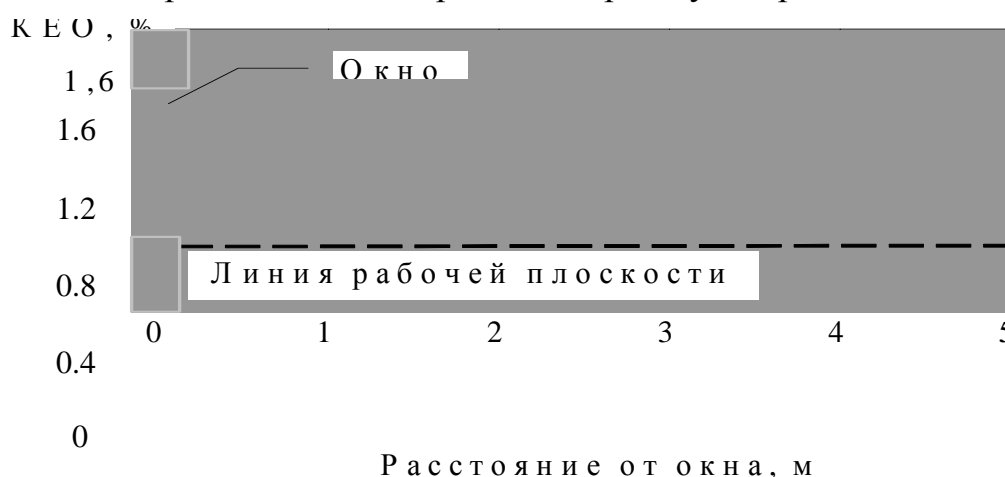


Рис. 13. Распределение коэффициента естественного освещения

Коэффициент запаса – расчётный коэффициент, учитывающий снижение КЕО и освещённости в процессе эксплуатации вследствие загрязнения и старения светопрозрачных заполнений в световых проёмах, ослабления светового потока источников света (ламп и светильников), а также снижение отражающих свойств поверхностей помещения. Согласно СНиП 23-05-95, этот коэффициент может приниматься от 2.0 до 1.5 для производственных помещений, содержащих пыль, дым и копоть, а также пары и газы, обладающие

большой коррозирующей способностью. Для помещений общественных зданий и населённых пунктов коэффициент запаса может быть от 1.7 до 1.2.

Коэффициент равномерности освещённости – отношение минимальной к максимальной или минимальной к средней освещённости поверхностей в поле зрения.

Коэффициент пульсации освещённости, %, может быть представлен как относительное периодическое изменение светового потока (или освещённости):

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

где $\Phi_{e \max}$ и $\Phi_{e \min}$ – максимальное и минимальное значения потока излучения за время $T = 0.02$ с (один период при частоте тока 50 Гц), $\Phi_{e \text{ ср}}$ – сред-

нее значение потока излучения за полный период T : $\Phi_{e \text{ ср}} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T \Phi_e(t) dt$.

Здесь $\Phi_e(t)$ – функция изменения мгновенных макроскопических значений потока во времени.

Большие колебания потока источника излучения во времени вызывают:

- стробоскопический эффект (обычно, при $K_{\Pi} > 10$ %);
- пульсацию плотности потока излучения во времени на рабочей поверхности;
- утомление зрения и снижение производительности труда.

Коэффициент пульсаций потока может быть снижен за счёт использования специальных схем включения, например в разные фазы трёхфазной сети, и повышения частоты источника питания.

Стробоскопический эффект (от греческих слов “вращение” и “видеть”) – явление искажения зрительного восприятия вращающихся, движущихся или сменяющихся объектов в мелькающем свете. Этот эффект возникает при совпадении кратности частотных характеристик движения объектов и изменения светового потока во времени в осветительных установках, использующих газоразрядные источники света, питаемые переменным током. При освещении движущегося предмета отдельными периодически повторяющимися вспышками зрительное восприятие движения может распадаться на отдельные фазы.

При большой скорости движения, обеспечивающей большие расстояния, пройденные

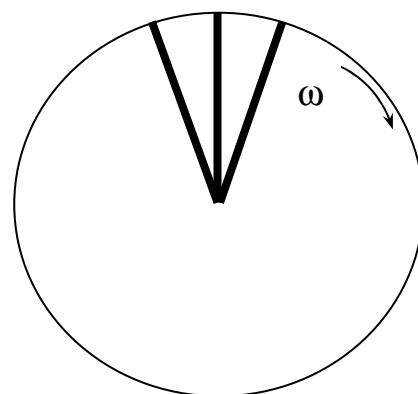


Рис. 14. К пояснению стробоскопического эффекта

телом за каждый период вспышки, движущийся предмет будет зрительно восприниматься находящимся одновременно в разных точках своего пути, т. е. один движущийся предмет будет иллюзорно восприниматься, как несколько одинаковых предметов. При наблюдении периодического движения в условиях проблескового освещения, например вращающегося светлого диска с тёмным сектором (рис. 14), его зрительное восприятие определяется соотношением периода вспышек и периода вращения.

При кратном или при одинаковом значении периодов вспышек и вращения диск будет зрительно восприниматься неподвижным, так как новая вспышка будет соответствовать одному и тому же положению сектора. При несколько большем периоде времени вращения по сравнению с периодом вспышек каждая последующая вспышка будет освещать диск в положении несколько отстающей фазы вращательного движения. При этом будет казаться, что диск медленно вращается в противоположном направлении. Обратное соотношение длительности периодов вызывает кажущееся зрительное впечатление движения в ту же сторону, но с другой скоростью. Этот эффект появляется не только при чередовании световых вспышек и темноты, но и при глубоких периодических колебаниях светового потока.

Фликер – субъективное восприятие человеком колебаний светового потока искусственных источников освещения, вызванное колебаниями амплитуды напряжения в сети питания. Наиболее раздражающее действие фликера проявляется при частотах колебаний 6...10 Гц. Доза фликера P_f – мера восприимчивости человека к воздействию фликера за установленный промежуток времени, т. е. интегральная характеристика колебаний напряжения, вызывающих у человека накапливающееся за установленный период времени раздражение мерцаниями (миганиями) светового потока.

Методика измерения фликера определена в ГОСТ 51317.4.15-99. Фликерметры на основе измерений колебаний напряжения в сети производят вычисление дозы фликера методами моделирования реакции “лампа-глаз-мозг”.

Дозу фликера вычисляют по выражению:

$$P_f = \frac{1}{T_{\text{оср}}} \sum g_f^2 \int \delta U_f^2 dt ,$$

где δU_f – действующие значения составляющих разложения в ряд Фурье изменений напряжения с размахом δU_f ; g_f – коэффициент приведения действительных размахов изменения напряжения к эквивалентным; $T_{\text{оср}}$ – интервал времени осреднения.

Наибольшее влияние фликер оказывает на источники искусственного освещения. Причём при одинаковых колебаниях напряжения отрицательное влияние у ламп накаливания проявляется в значительно большей мере, чем у газоразрядных и светодиодных ламп. Кратковременная доза фликера $P_{\text{ст}}$, измеренная в интервале времени 10 мин, и длительная доза фликера $P_{\text{лт}}$, изме-

ренная в интервале времени 2 ч, относятся к показателям качества электроэнергии по ГОСТ Р 54149–2010. Наиболее вероятными виновниками колебаний напряжения являются электроприёмники с переменной нагрузкой. В целях уменьшения ущерба от фликера (утомляемость зрения, усталость, профессиональные заболевания) рекомендуется по возможности подключать источник фликера в точке сети, где расчётная мощность короткого замыкания значительно превышает мощность, потребляемую аппаратом.

Цветовая температура $T_{\text{ц}}$, К – температура излучателя Планка (чёрного тела), при которой его излучение имеет ту же цветность, что и излучение рассматриваемого объекта. Восприятие цвета, создаваемое освещением, зависит не только от цвета светового потока, но и от общего уровня освещённости. Цветовая температура лампы накаливания мощностью 100 Вт – приблизительно 2800 К, в то время как цветовая температура соответствующей люминесцентной лампы находится в пределах 4000 К. (Цветовая температура облачного неба может достигать 10 000 К.)

Круитов с помощью диаграммы комфорта (рис. 15), вызвавшей некоторую дискуссию, показал, что можно сохранять чувство комфортности при низком уровне освещённости, если цветовая температура относительно низкая.

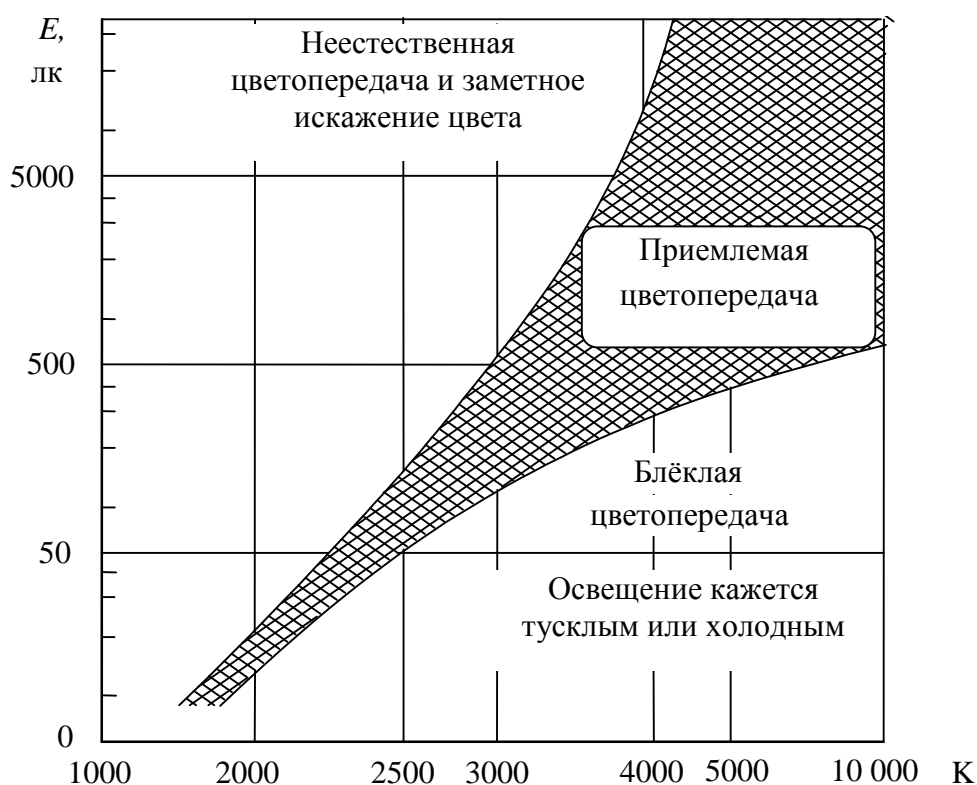


Рис. 15. Предпочтительная цветовая температура освещения при различных уровнях освещённости (диаграмма Круитова)

Однако цветовая температура 1750 К, которая соответствует пламени свечи, едва ли достаточна на рабочем месте, хотя вполне возможно ощущать

комфорт при освещении свечами. Из диаграммы видно, что свет может иметь ярко-жёлтый цвет, если уровень яркости слишком высок, и казаться голубоватым, если этот уровень слишком низок. Свет воспринимается “белым” лишь в середине области, которая расширяется в функциях температуры и уровня освещённости. Очевидно, что этот свет является оптимальным для здоровья человека.

Выбор *цвета светового потока*, играет важную роль в обеспечении хорошего качества освещения. Выбор правильного цвета светового потока определяется его предназначением, и соответствующие требования диктуются зрительным восприятием. Чем более цвет излучения приближается к белому, тем лучше будет цветопередача и эффективность светового потока. Чем более цвет приближается к красному, тем хуже будет качество цветопередачи, но зато освещение создаст эмоциональную атмосферу.

Цветопередача – общее понятие, характеризующее влияние спектрального состава источника света на зрительное восприятие цветных объектов, сознательно или бессознательно сравниваемое с восприятием тех же объектов, освещённых стандартным источником света. Поскольку искусственный свет имеет спектральный состав, отличающийся от спектрального состава естественного света, цветопередача при искусственном освещении отличается от цветопередачи при естественном свете и поэтому специалисты по освещению пытаются максимально приблизить искусственный свет к естественному.

Цвет излучения, образуемый естественными источниками света, может быть подразделён на три области, которые не имеют четких границ и связаны с цветовой температурой:

- 1) белый дневной свет – около 6000 К;
- 2) нейтральный белый – около 4000 К;
- 3) тёплый белый – около 3000 К.

Индекс общей цветопередачи R_a характеризует уровень, при котором цвет объекта согласуется с его внешним видом при различных эталонных источниках света. В действительности, хорошая цветопередача соответствует индексу R_a 100. Существуют четыре степени цветопередачи по качеству: 1-я – 85...100; 2-я – 70...84; 3-я – 40...69 R_a и 4-я – ниже 40 R_a .

Цилиндрическая освещённость $E_{ц}$ – характеристика насыщенности помещения светом. Она определяется как средняя плотность светового потока на поверхности вертикально расположенного в помещении цилиндра, радиус и высота которого стремятся к нулю. Расчёт цилиндрической освещённости производится инженерным методом.

Полуцилиндрическая освещённость $E_{пц}$ – характеристика насыщенности светом пространства и тенеобразующего эффекта освещения для наблюдателя, движущегося по улице параллельно её оси. Она определяется как средняя плотность светового потока на поверхности вертикально распо-

ложенного на продольной линии улицы на высоте 1.5 м полуцилиндра, радиус и высота которого стремятся к нулю. Полуцилиндрическая освещённость рассчитывается также инженерным методом.

ВИДЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗРИТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Если источником излучения являются солнце, осветительные приборы, экраны телевизоров или мониторы компьютеров, светящиеся циферблаты или сигнальные приборы и панели, то такие источники являются *прямыми*, а зрительная работа относится к работе с *самосветящимися объектами* (рис. 16). Выполнять такую зрительную работу не всегда безвредно и безопасно из-за специфических свойств, которые присущи этим источникам. Основные вредные факторы, способствующие болезням глаз при работе с монитором, следующие: нерациональное освещение рабочего места, нерациональные характеристики монитора (яркость, контрастность, низкое разрешение, мерцание, низкочастотное дрожание изображения, недостаточное количество цветов и оттенков и т. д.).

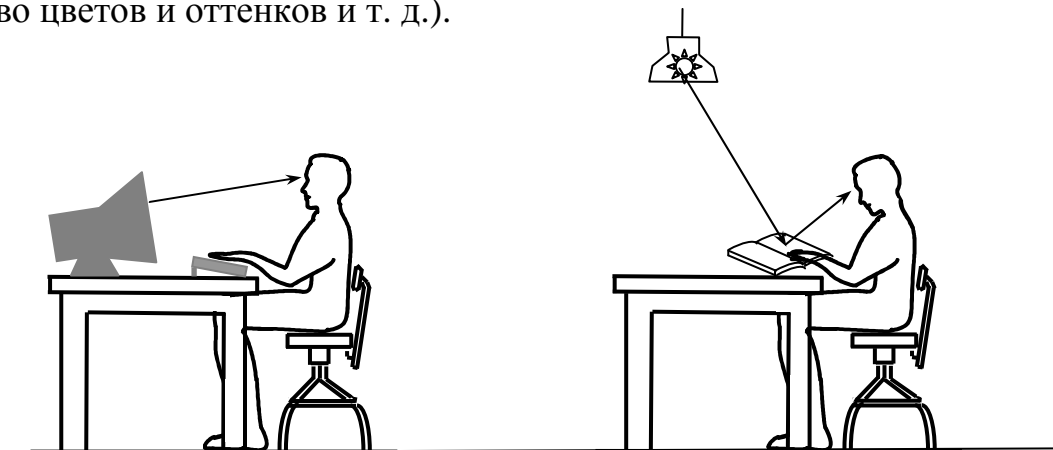


Рис. 16. Примеры работ в прямом и в отражённом свете

Если же свет отражается от объекта, на который направлены глаза человека во время работы, то такая работа относится к работе в *отражённом свете*. Она уже менее вредна. Например, бывает гораздо приятнее читать распечатанный текст на принтере, чем на экране монитора.

Для промышленных условий имеются восемь разрядов зрительной работы, которые зависят от наименьшего или эквивалентного размера объекта различения: I – наивысшей точности, II – очень высокой точности, III – высокой точности, IV – средней точности, V – малой точности, VI – грубая работа (очень малой точности), VII – работа с самосветящимися объектами и изделиями в горячих цехах, VIII – общее наблюдение за ходом производственного процесса и общее наблюдение за инженерными коммуникациями. Подразряды зрительной работы зависят от контраста объекта с фоном и характеристики фона, например, подразряд “а” означает малый контраст и тёмный фон и т. д.

Для непромышленных и бытовых условий принята следующая характеристика зрительной работы: различение объектов при фиксированной и нефиксированной линиях зрения (А – очень высокой точности, Б – высокой точности и В – средней точности), обзор окружающего пространства при очень кратковременном, эпизодическом различении объектов независимо от размера объекта различения (Г – при высокой насыщенности, Д – при нормальной насыщенности и Е – при низкой насыщенности помещений светом), общая ориентировка в пространстве интерьера – Ж и общая ориентировка в зонах передвижения – З.

Одной из характеристик зрительной работы является *объект различения*. Это рассматриваемый предмет, отдельная его часть или дефект, которые требуется различать в процессе работы. Как правило, этот параметр используется при условии, что объект различения расположен до глаз на расстоянии не более 50 см. Если это условие не соблюдается, размер объекта различения определяется по специальным поправочным таблицам.

ОСНОВНЫЕ ВИДЫ И НАЗНАЧЕНИЕ ОСВЕЩЕНИЯ

Основные виды освещения и определения освещения приведены далее.

Естественное освещение – освещение помещений светом неба (прямым или отражённым), проникающим через световые проёмы в наружных ограждающих конструкциях. Оно должно быть обеспечено при постоянном пребывании людей в помещении, подразделяется на боковое, верхнее и комбинированное.

Боковое естественное освещение – естественное освещение помещения через световые проёмы в наружных стенах.

Верхнее естественное освещение – естественное освещение помещения через фонари, световые проёмы в стенах, находящиеся в местах перепада высот здания.

Совмещённое освещение – освещение, при котором недостаточное по нормам естественное освещение дополняется искусственным. Его следует предусматривать для производственных помещений I – III разрядов зрительной работы, а также в больших по размеру зданиях с широкими пролётами, где трудно обеспечить нормированное значение КЕО. Для жилых, общественных и административно-бытовых зданий оно используется только тогда, когда это требуется по условиям выбора рациональных объёмно-планировочных решений.

Искусственное освещение подразделяется на рабочее, аварийное, охранное и дежурное.

Рабочее освещение – освещение, обеспечивающее нормируемые осветительные условия (освещённость, качество освещения) в помещениях и в местах производства работ вне зданий.

Искусственное освещение может быть двух систем – общее и комбинированное.

Общее освещение – освещение, при котором светильники размещаются в верхней зоне помещения равномерно (общее равномерное освещение) или применительно к расположению оборудования (общее локализованное освещение). Предусматривать систему общего освещения для разрядов I – III, IVa, IVб, IVв и Va допускается только при технической невозможности или экономической нецелесообразности применения системы комбинированного освещения. Общее искусственное освещение производственных помещений, предназначенных для постоянного пребывания людей, должно обеспечиваться разрядными источниками света. Использование ламп накаливания допускается только в случае невозможности или технико-экономической нецелесообразности использования разрядных ламп.

Комбинированное освещение – освещение, при котором к общему освещению добавляется местное.

Местное освещение – освещение, дополнительное к общему, создаваемое светильниками, концентрирующими световой поток непосредственно на рабочих местах. Кроме разрядных ламп здесь можно использовать лампы накаливания, в том числе галогенные. Источники света должны выбираться по их цветовым характеристикам. Применение ксеноновых ламп внутри помещений не допускается.

Аварийное освещение разделяется на освещение безопасности и эвакуационное.

Освещение безопасности – освещение для продолжения работы при аварийном отключении рабочего освещения. Оно предусматривается в случае, если отключение рабочего освещения и связанное с ним нарушение обслуживания оборудования и механизмов могут привести к взрыву, пожару, отравлению людей, нарушению работы ответственных объектов (электростанций, узлов радио- и телевизионных передач, вентиляции и кондиционирования воздуха, в которых недопустимо прекращение работы, и т. д.)

Эвакуационное освещение – освещение для эвакуации людей из помещения при аварийном отключении нормального освещения. Оно применяется в местах, опасных для прохода людей, на эвакуационных лестницах, в лестничных клетках жилых зданий при высоте шести и более этажей, в производственных помещениях, где выход людей связан с опасностью травматизма при продолжении работы оборудования, и в производственных помещениях без естественного света. Наименьшая освещённость в производственных помещениях должна быть в размере 5 % от нормируемой освещённости рабочего освещения (обычно, не более 30 лк при разрядных лампах и 10 лк при лампах накаливания), но не менее 1 лк.

Дежурное освещение – освещение в нерабочее время.

НОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ОСВЕЩЕНИЯ

Целью нормирования освещения является создание в освещаемом помещении *световой среды*, обеспечивающей светотехническую эффективность систем освещения с учётом требований физиологии зрения, гигиены труда, техники безопасности и т. п. при минимальных затратах электроэнергии и других материальных ресурсов. Световая (цветосветовая среда) помещения определяется спектральными характеристиками и распределением во времени и в пространстве прямых и отражённых световых потоков, излучаемых источниками света, и её психофизиологическое действие оценивается по критериям, характеризующим общее состояние человека.

В мировой практике при разработке нормативных документов показатели эффективности освещения (уровень производительности труда, вероятность правильного решения зрительной задачи, уровень видимости, безаварийности работы транспорта и т. д.) используются лишь как критерии нормирования, а в качестве регламентируемых характеристик принимаются количественные и качественные параметры освещения.

В качестве количественных характеристик используются яркость, освещённость, цилиндрическая освещённость, коэффициент естественного освещения. Качество освещения характеризуется ослеплённостью и дискомфортом, неравномерностью распределения яркости или освещённости, коэффициентом пульсации светового потока, спектральным составом излучения источников света.

Выбор освещённости в качестве нормируемого параметра объясняется наличием большого количества исследований, устанавливающих связь между показателями эффективности систем освещения, производительностью труда, зрительной работоспособностью, видимостью и яркостью, на которую непосредственно реагирует орган зрения (освещённость однозначно связана с яркостью поверхности через коэффициент её отражения). Кроме того, освещённость достаточно легко рассчитывается и может быть измерена переносными люксметрами.

Классификация зрительной работы по точности, являющаяся основой нормирования в России (Свод правил СП 52.13330.2011, Актуализированная редакция строительных норм и правил СНиП 23-05-95), на протяжении всей истории нормирования почти не претерпела изменений. В настоящее время почти все зарубежные страны перешли на аналогичную классификацию. Сложность зрительной работы при одинаковой точности определяется её продолжительностью, степенью разрешения зрительной задачи (обнаружение или различение), количеством объектов различения в поле зрения, необходимостью их поиска, ограничением времени обнаружения, а также возрастом работающих.

Количественной характеристикой освещения является освещённость рабочей поверхности, на которой непосредственно расположены объекты

различия. Она нормируется в зависимости от отражающих свойств, точности и сложности зрительной работы.

Нормированные значения освещённости в люксах, отличающиеся на *одну ступень*, следует принимать по шкале: 0.2; 0.3; 0.5; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 10; 15; 20; 30; 50; 75; 100; 150; 200; 300; 400; 500; 600; 750; 1000; 1250; 1500; 2000; 2500; 3000; 3500; 4000; 4500; 5000. Повышение или понижение освещённости на одну или две ступени необходимо в некоторых частных случаях, определяемых в СНиП.

Условия зрительной работы зависят не только от освещённости, но и от качества освещения. Поэтому в нормативах всех стран приводятся требования к разным характеристикам качества освещения.

Нормирование слепящего действия. Рекомендации МКО и ряда стран дают понятие физиологической слепимости (ослеплённости) и психологической слепимости (дискомфорта). Оценка ослеплённости позволяет избежать дискомфорта или ухудшения видимости в прямой или в косвенной зоне зрения. Критическая зона обзора лежит между 45° и 85° (рис. 17).

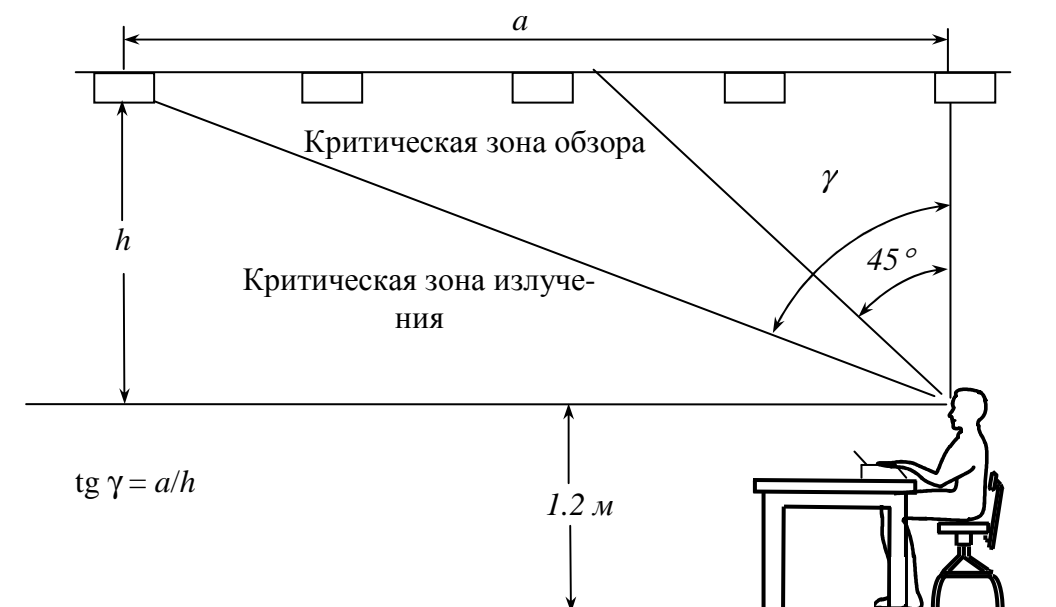


Рис. 17. Критическая зона обзора и соответствующая критическая зона излучения светильника, в которой требуется ограничение яркости

В России в качестве оценки слепящего действия промышленного освещения используется показатель ослеплённости, который может находиться в диапазоне от 10 или 20 – для работ очень высокой и наивысшей точности, до 40 – для работ ниже высокой точности. Этот показатель при любой системе освещения регламентируется только для общего освещения.

Для местного освещения рабочих мест рекомендуется использовать светильники с непросвечивающими отражателями. Они должны располагать-

ся таким образом, чтобы их светящие элементы не попадали в поле зрения работающих на освещаемом рабочем месте и на других рабочих местах.

Местное освещение при работе с трёхмерными объектами различения выполняется:

- при диффузном отражении фона – светильником, отношение наибольшего линейного размера светящей поверхности которого к высоте расположения её над рабочей поверхностью составляет не более 0.4 при направлении оптической оси в центр рабочей поверхности под углом не менее 30° к вертикали;
- при направленно-рассеянном и смешанном отражениях фона – светильником, отношение наименьшего линейного размера светящей поверхности которого к высоте расположения её над рабочей поверхностью составляет не менее 0.5, а её яркость – от 2500 до 4000 кд/м². Яркость рабочей поверхности не должна превышать 2000, 1500, 1000, 750 и 500 кд/м²;
- при площади рабочей поверхности, соответственно, менее 10^{-4} , $10^{-4} \dots 10^{-3}$, $10^{-3} \dots 10^{-2}$, $10^{-2} \dots 10^{-1}$ и более 10^{-1} м².

Метод оценивания дискомфорта при слепящем действии источников света в ряде стран и в России используется для нормирования слепящего действия в помещениях общественных зданий. Показатель дискомфорта может быть от 40...60 при точных зрительных работах (15...25 – для таких же работ в помещениях с повышенными требованиями к качеству освещения, например, в спальнях комнат детских садов, яслей или санаториев, в дисплейных классах и т. д.), до 90 или же не регламентироваться совсем в случае обзора пространства и общей ориентировки. Он не ограничивается для помещений, длина которых не превышает двойной высоты установки светильников над полом.

Нормирование неравномерности распределения яркости и освещённости в поле зрения. Рекомендации для этих видов нормирования достаточно близки между собой и могут быть сформулированы следующим образом. Центральная часть поля зрения, где производится зрительная работа, не должна быть темнее окружения или много светлее его. В обоих случаях снижается видимость объекта различения, отвлекается внимание, появляется повышенное утомление и дискомфорт. В то же время яркость поля зрения не должна быть полностью равномерна, это вызывает неприятное ощущение монотонности. Наилучший вариант, когда яркость окружения немного меньше яркости центра. В ряде стран, в том числе и в России, приводится соотношение освещённости от общего и от местного освещения, причём общее освещение в системе комбинированного освещения должно создавать освещённость не менее 10...20 % суммарного значения, но не менее 140...160 лк. Для зрительной работы средней и малой точностей, когда суммарная освещён-

ность не превышает 300 лк, доля освещённости от общего освещения поднимается до 50...70 %. Согласно СНиП 23-05-95, для производственных помещений доля общего освещения должна быть не менее 10 % и освещённость должна быть не менее 200 лк – при разрядных лампах и не менее 75 лк – при лампах накаливания. Создавать освещённость от общего освещения в системе комбинированного более 500 лк – при разрядных лампах и более 150 лк – при лампах накаливания (ЛН) допускается только при наличии обоснований этого. В помещении без естественного света освещённость рабочей поверхности, создаваемой светильниками общего освещения, следует повышать на одну ступень. Отношение максимальной освещённости к минимальной не должна превышать для работ I – III разрядов при люминесцентных лампах (ЛЛ) 1.3, при других источниках света 1.5, для работ разрядов IV – VII – 1.5 и 2.0 соответственно.

Освещение проходов или участков, в которых работа не производится, должно составлять не более 25 % нормируемой освещённости, создаваемой светильниками общего освещения, но не ниже 75 лк при разрядных лампах и не менее 30 лк при лампах накаливания.

Ограничение пульсации светового потока. Работа в условиях пульсирующей освещённости снижает работоспособность органа зрения, вызывает повышенное утомление, головные боли и т. д. Значение коэффициента пульсации регламентируется в зависимости от точности зрительной работы и наличия в поле зрения движущихся или вращающихся объектов. Согласно СНиП 23-05-95, он может составлять от 10 до 20...40 % – для промышленных предприятий и от 10 до 15...20 % – для жилых, общественных и административно-бытовых зданий. Специальные, более жёсткие требования коэффициента пульсации, который не должен превышать 5 %, предъявляются только санитарными правилами и нормами СанПиН 2.2.2.1340-03 для работ с видеодисплейными терминалами персональных ЭВМ. При питании источников света током частотой 300 Гц и более, например за счёт использования различных высокочастотных пускорегулирующих аппаратов, коэффициент пульсации не определяется и не нормируется.

Коэффициент естественного освещения. В зависимости от характера зрительной работы при совмещённом освещении КЕО для промышленных предприятий может быть от 6.0 или 2.0 – для наивысшей точности работ до 0.2 или 0.1 – при наблюдении за коммуникациями, соответственно, при использовании верхнего и комбинированного освещения или при боковом освещении. Для помещений жилых и общественных зданий может быть от 4.0 или 1.5 – для высокой точности работ, до 2.0 или 0.5 – при низкой насыщенности помещения светом и кратковременном различении объектов во время обзора окружающего пространства, соответственно, при верхнем и боковом или только при боковом освещении. КЕО менее точных работ не нормируется.

Для зданий, расположенных в различных климатических районах России, нормированный КЕО определяется умножением его табличного значе-

ния на коэффициент светового климата, который определён СНиП 23-05-95 и может принимать значения от 1.2 до 0.7. *Световой климат* – совокупность условий естественного освещения в той или иной местности (освещённость, создаваемая на различных вертикальных поверхностях рассеянным светом неба и солнцем, продолжительность солнечного сияния и т. д.) за период более 10 лет.

Требования к спектральному составу излучения. В нормах разных стран большое внимание уделяется созданию благоприятного цветового климата в помещении, особенно при выполнении точных зрительных работ. В зависимости от нормируемой освещённости и требований к цветопередаче в СНиП 23-05-95 даются рекомендации по выбору индекса цветопередачи, цветовой температуры с перечислением конкретных типов источников света.

Комплексный показатель (КП) цветоцветовой среды. В качестве КП принята относительная производительность труда, зависящая от яркости рабочей поверхности и качества освещения. КП, %, определяется как произведение относительных уровней производительности труда в функции яркости рабочей поверхности при идеальном качестве освещения P_L и производительности труда в функции качества освещения при оптимальной яркости P_q : $KП = 100 \cdot P_L / P_q$. Значения КП лежат в пределах 88...97 % в зависимости от системы освещения, разряда и подразряда зрительной работы. Иными словами, допускается получить производительность труда в пределах 0.88...0.97 максимально возможного уровня, имеющего место при оптимальных условиях освещения. Предполагается, что с учётом строгой экономии электроэнергии для систем комбинированного освещения $KП = 95$ %, для систем общего освещения $KП = 85...95$ %. Признано целесообразным использовать КП цветоцветовой среды только для зрительных работ Ia – IIIa, так как для более грубых работ снижение освещённости ниже 200 лк недопустимо по гигиеническим соображениям.

Требования к освещению помещений промышленных предприятий (КЕО, нормируемая освещённость, допустимые сочетания показателей ослеплённости и коэффициента пульсации освещённости) (табл. 2), а также жилых, общественных и административно-бытовых зданий (КЕО, нормируемая освещённость, цилиндрическая освещённость, показатель дискомфорта и коэффициент пульсации освещённости) приведены в СНиП 23-05-95.

Учёт возраста. СНиП 23-05-95 предусматривается, что в случае, если половина или более работающих в помещении – люди старше 40 лет, уровень освещённости должен быть повышен на одну ступень по сравнению с табличной величиной.

Учёт времени работы. СНиП 23-05-95 предусматривается повышение освещённости на одну ступень, если зрительная работа I – IV разрядов выполняется более половины рабочего дня.

Таблица 2

Характеристика зрительной работы. Размер объекта, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Освещение																						
					искусственное					естест- венное	совме- щённое																
					освещённость, лк			Показатель ослеплённости и коэффициент пульсации	КЕО, %																		
					при системе комбиниро- ванного освещения		при системе общего освещения		Верхнее или комбинированное		Боковое	Верхнее или комбинированное	Боковое														
					Всего	В том числе от общего								P	$K_{п}$, %												
Наивысшей точности (менее 0.15)	I	а	М	Т	5000	500	–	20	10	–	–	6.0	2.0														
					4500	500	–	10	10																		
		б	М	Ср	4000	400	1250	20	10					–	–	6.0	2.0										
					3500	400	1000	10	10																		
		в	М	Св	2500	300	750	20	10									–	–	6.0	2.0						
					Ср	Ср	2500	300	750													20	10				
					Б	Т	2000	200	600													10	10				
					Ср	Св	1500	200	400													20	10				
		г	Б	Св	1500	200	400	20	10													–	–	6.0	2.0		
					Б	Св	1500	200	400																	20	10
					Б	Ср	1250	200	300																	10	10
					Б	Ср	1250	200	300																	10	10
Очень высокой точности. (от 0.15 до 0.30)	II	а	М	Т	4000	400	–	20	10	–	–	4.2	1.5														
					3500	400	–	10	10																		
		б	М	Ср	3000	300	750	20	10					–	–	4.2	1.5										
					2500	300	600	10	10																		
		в	М	Св	2000	200	500	20	10									–	–	4.2	1.5						
					Ср	Ср	2000	200	500																	20	10
					Б	Т	1500	200	400																	10	10
					Ср	Св	1000	200	200																	20	10
		Б	Св	750	200	10	10																				
		Б	Св	750	200	10	10																				
		Б	Ср	750	200	10	10																				
		Высокой точности (от 0.30 до 0.50)	III	а	М	Т	2000	200	500													40	15	–	–	3.0	1.2
1500	200						400	20	15																		
б	М			Ср	1000	200	300	40	15	–	–	3.0	1.2														
					750	200	200	20	15																		
в	М			Св	750	200	300	40	15					–	–	3.0	1.2										
					Ср	Ср	750	200	300									40	15								
					Б	Т	600	200	200									20	15								
					Б	Т	600	200	200									20	15								
г	Ср			Св	400	200	200	40	10									–	–	3.0	1.2						
					Б	Св	400	200	200													40	10				
					Б	Св	400	200	200													40	10				
					Б	Ср	400	200	300													40	10				

Характеристика зрительной работы. Размер объекта, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Освещение								
					искусственное					естест- венное	совме- щённое		
					освещённость, лк			Показатель ослеплённости и коэффициент пульсации	КЕО, %				
					при системе комбиниро- ванного освещения		при системе общего освещения		Верхнее или комбинированное	Боковое	Верхнее или комбинированное	Боковое	
Всего	В том числе от общего	P	$K_{п}$, %										
Средней точности (от 0.5 до 1.0)	IV	a	M	T	750	200	300	40	20	4	1.5	2.4	0.9
		б	M Ср	Ср T	500	200	200	40	20				
	IV	в	M Ср Б	Св Ср T	400	200	200	40	20	4	1.5	2.4	0.9
		г	Ср Б Б	Св Св Ср	400	200	200	40	20				
Малой точности (от 1 до 5)	V	a	M	T	400	200	300	40	20	3	1.0	1.8	0.6
		б	M Ср	Ср T	—	—	200	40	20				
		в	M Ср Б	Св Ср T	400	200	200	40	20				
		г	Ср Б Б	Св Св Ср	—	—	200	40	20				
Грубая (очень малой точности). (более 5)	VI		Неза- виси- мо от фо- на и конт- раста объек- та	—	—	200	40	20	3	1.0	1.8	0.6	

П р и м е ч а н и е. Контраст объекта с фоном (Б – большой, М – малый, Ср – средний), характеристика фона (Св – светлый, Ср – средний, Т – тёмный).

Нормирование освещённости может проводиться для пола или для рабочей поверхности. *Рабочая поверхность* – поверхность, на которой производится работа и нормируется или измеряется освещённость. *Условная рабочая поверхность* – условно принятая горизонтальная поверхность, расположенная на высоте 0.8 м от пола.

Для нормирования уличного и дорожного освещения введены три категории объектов по освещению: А – магистральные дороги и улицы общегородского назначения (средняя яркость и горизонтальная освещённость дорожного покрытия, соответственно, $0.8...1.6 \text{ кд/м}^2$ и 15...20 лк), Б – магистральные улицы районного значения (средняя яркость и освещённость дорожного покрытия, соответственно, $0.4...1.0 \text{ кд/м}^2$ и 10...15 лк), В – улицы и дороги местного значения (средняя яркость и освещённость дорожного покрытия, соответственно, $0.2...0.4 \text{ кд/м}^2$ и 4...6 лк) в зависимости от интенсивности движения транспорта. Показатель ослеплённости не должен превышать 150 для категории объектов А и Б. Средняя яркость покрытий тротуаров, примыкающих к проезжей части, должна быть не менее половины приведённых значений яркости.

Для сельских поселений горизонтальная освещённость на уровне покрытий улиц, дорог, проездов и площадей должна составлять от 2 лк – для поселковых дорог до 4 лк – для главных дорог и основных улиц в жилой застройке.

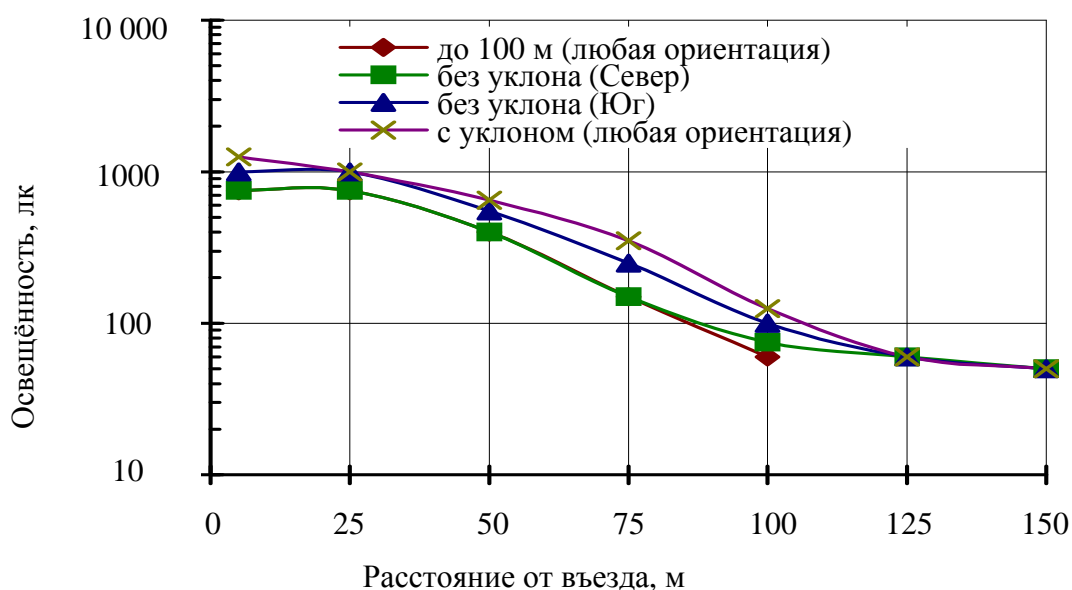


Рис. 18. Распределение освещённости по длине туннеля

Специальные требования предъявляются к освещению туннелей и путепроводов, при въезде в которые или выезде из них учитываются процессы адаптации зрения человека. Средняя горизонтальная освещённость дорожного покрытия под путепроводами и мостами в тёмное время суток должна быть не менее 30 лк при длине проезда до 40 м. Для большей длины, а также для городских транспортных туннелей, средняя освещённость дорожного по-

крытия должна быть 50 лк во всех режимах, а в дневное время при длине более 60 м должна зависеть от длины, уменьшаясь к середине туннеля (рис. 18).

Для наружного освещения рекомендуется использовать светильники с экономичными разрядными источниками света высокого давления, например натриевыми. В транспортных туннелях должны применяться светильники с защитным углом не менее 10°. Высота их расположения должна быть не менее 4 м. Это позволяет ограничить слепящее действие светильников на водителей и пассажиров.

ИСТОЧНИКИ СВЕТА И СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ

Виды оптических излучений

По физической природе различают два вида излучений – тепловое и люминесценцию. *Тепловым* называют излучение, возникающее при нагревании тел. У твёрдых тел оно имеет непрерывный спектр, зависящий от температуры тела и его оптических свойств. Тепловыми излучателями являются все источники, свечение которых обусловлено нагреванием, например лампы накаливания. *Люминесценцией* называют спонтанное излучение, избыточное над тепловым излучением, если его длительность значительно превышает период колебаний электромагнитной волны соответствующего излучения. Она наблюдается в газообразных, жидких и твёрдых телах.

Твёрдые или жидкие вещества, способные излучать свет под действием различного рода возбуждений, называют *люминофорами*. Спектр люминесценции может состоять из отдельных линий (излучение отдельных атомов и ионов), полос (излучение молекул) и непрерывных участков (излучение твёрдых тел и жидкостей). При люминесценции возможно более эффективное преобразование подводимой энергии в оптическое излучение, чем при тепловом возбуждении, поскольку люминесценция не требует нагрева тел.

В источниках света используются следующие виды люминесценции. *Электролюминесценция* – оптическое излучение атомов, ионов, молекул, жидких и твёрдых тел под действием ударов электронов (ионов), движущихся со скоростями, достаточными для возбуждения. Излучение разрядных ламп (РЛ) представляет собой электролюминесценцию газов и паров. Различные виды электролюминесценции твёрдых тел используются в электролюминесцентных панелях и светоизлучающих диодах. Свечение люминофоров под действием пучка электронов достаточной скорости называют *катодолюминесценцией*. Она используется в электронно-лучевых трубках.

Фотолюминесценция – оптическое излучение, возникающее в результате поглощения телами энергии внешнего излучения. В парах и газах наблюдается множество видов фотолюминесценции, определяемых энергией поглощаемых фотонов и строением поглощающих атомов, ионов или молекул, например резонансная флюоресценция паров и газов. Фотолюминесценция люминофоров применяется в люминесцентных и некоторых других РЛ.

Характеристики ламп и их параметры

Излучение ламп характеризуется световым потоком Φ_{λ} , силой света I , световой яркостью L , её распределением по поверхности светящегося тела по направлениям и спектром излучения. Цвет излучения ламп дополнительно характеризуется цветовыми параметрами: координатами цветности x и y , цветовой температурой $T_{\text{ц}}$ и индексом цветопередачи R_a . Цвет излучения дуговых ртутных ламп высокого давления (ДРЛ) оценивается так называемым красным отношением.

Тепловой режим характеризуется температурами тела накаливания, колбы, электродов и других узлов лампы. Необходимые температуры обеспечиваются правильным выбором размеров в соответствии с типом и мощностью, а также соблюдением определённых условий эксплуатации (рабочее положение лампы, вентиляция, рекомендуемая температура окружающей среды).

При оценке *эффективности лампы* наиболее важным показателем является световая отдача лампы, равная отношению светового потока к потребляемой мощности: $\eta_{\lambda} = \Phi_{\lambda} / P_{\lambda}$. Основными *показателями долговечности* являются полный и полезный сроки службы. Под *полным сроком* службы $\tau_{\text{пол}}$ понимают продолжительность горения ламп от начала эксплуатации или испытания до момента полной или частичной утраты ими работоспособности, например в ЛН – из-за перегорания нити, в РЛ – из-за потери способности зажигаться и т. п. *Полезным сроком* службы $\tau_{\text{п}}$ называют продолжительность горения ламп до момента ухода за установленные пределы одного из параметров, определяющих экономическую или техническую целесообразность использования ламп данного типа, например из-за снижения потока ниже определённого предела. Важным показателем надёжности является также вероятность безотказной работы ламп в течение заданного времени, которая часто регламентируется минимальной продолжительностью горения.

Основные типы источников света и тенденции их развития

Подавляющее большинство современных источников света, применяемых для искусственного освещения, можно отнести к одной из двух больших групп, вырабатывающих вместе около 98...99 % всего светового потока – это ЛН и РЛ. Так как на цели освещения расходуется около 14...20 %, а в некоторых случаях до 50...60 % общего расхода электроэнергии, повышение световой отдачи и срока службы, уменьшение спада светового потока в процессе горения и снижение стоимости осветительных ламп играют очень важную роль.

РЛ имеют самую высокую световую отдачу и **большой** срок службы по сравнению с ЛН, а также могут иметь разнообразные спектры излучения и широкий диапазон значений мощности, яркости и других параметров. Поэтому современные РЛ все шире применяются для освещения, постепенно

оттесняя ЛН. Уже сегодня в передовых странах мира РЛ создают более половины светового потока, и, по-видимому, в будущем эта доля возрастет.

Однако по массовости ЛН пока занимают первое место среди всех источников света. Это объясняется универсальностью их применения, исключительной простотой и удобством эксплуатации, а также относительно низкой ценой.

Следствием непрерывных научных изысканий является устойчивое повышение световой эффективности всех видов ламп. Теоретически самая высокая эффективность достигается в светодиодных источниках света, что соответствует светоотдаче приблизительно 243 лм/Вт. Однако практически современные лампы не достигают светоотдачи большей, чем 50 % от этих максимальных значений.

Стандартные лампы накаливания

Лампа накаливания – самый старый электрический источник света – впервые сконструирована Томасом Эдисоном в 1879 г. и имеет в настоящее время наибольшее разнообразие типов конструкций. Эти лампы могут применяться для решения практически любой осветительной задачи, особенно там, где требуются сравнительно маломощные источники света и предпочтительна простота и компактность. Устройство ЛН показано на рис. 19. Главной частью является тело накаливания. Оно может представлять собой нить, спираль, биспираль, триспираль из вольфрамовой проволоки, иметь разнообразные размеры и форму. Вольфрам имеет высокую температуру плавления (3650 К) и малую скорость испарения.

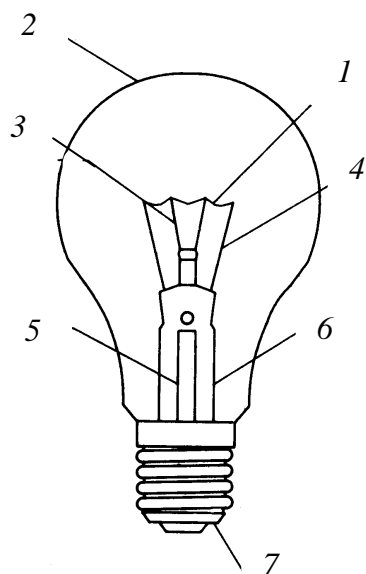


Рис. 19. Вид лампы накаливания

Основными частями электрической ЛН являются тело накаливания 1, колба 2, держатели 3, токовые электроды 4, штенгель 5, ножка 6 и цоколь 7.

Для обеспечения нормальной работы раскалённого вольфрамового тела необходимо изолировать его от кислорода воздуха путём размещения либо в безвоздушной среде (такие лампы называются *вакуумными*), либо в среде так называемых инертных газов или их смесей, не реагирующих с нагретым материалом (*газополные лампы*).

За 120 лет истории ЛН значительно улучшены их светотехнические характеристики и значительно уменьшены размеры. Если в 1879 г. светоотдача ламп составляла 2 лм/Вт, а средний срок службы – 45 ч, то к 2000 г. светоотдача выросла до 13.3 лм/Вт, а срок службы – до 1000 ч.

Теоретически, лампа накаливания, работающая при температуре плавления вольфрама (3653 К) без потерь на теплоотвод, имела бы светотдачу 53 лм/Вт. В действительности, светотдача лампы всегда значительно ниже, так как 70...76 % мощности излучения вольфрамового тела при его рабочих температурах лежит в области, близкой к ИК области спектра, в то время как на видимую часть приходится только от 7 до 13 %. Световой КПД вакуумных ламп равен 1.5, а газополных – 2...4 %.

Спектральные и цветовые параметры. Лампы накаливания имеют сплошной (непрерывный) спектр излучения. Из-за относительно невысоких рабочих температур тела накала (2400...2600 К, при этом $T_{ц} = 2500...2700$ К) в видимом излучении ЛН преобладают оранжево-красные лучи. Поэтому при освещении такими лампами усиливаются “тёплые” цветовые тона (красные, оранжевые, коричневые) и ослабляются “холодные” (зелёные, голубые, фио-летовые), что не позволяет обеспечить высокое качество цветопередачи. Путём применения светофильтров и цветных колб, частично поглощающих оранжево-красное излучение, можно повысить цветовую температуру до 3500...4000 К, но световой поток при этом снизится на 30...35 %.

На рис. 20 показаны зависимости светового потока, эффективности, потребляемой мощности и срока службы ЛН в зависимости от напряжения питания V . Как можно видеть, с увеличением напряжения на 8 % можно повысить КПД лампы на 15 %, однако срок службы уменьшится очень сильно, почти в 5 раз.

Резервы совершенствования ЛН далеко не исчерпаны, о чём свидетельствует прежде всего значительный разрыв между теоретически возможной световой отдачей вольфрама и фактической световой отдачей ЛН.

В табл. 3 приведены некоторые распространённые типы ЛН и их основные характеристики.

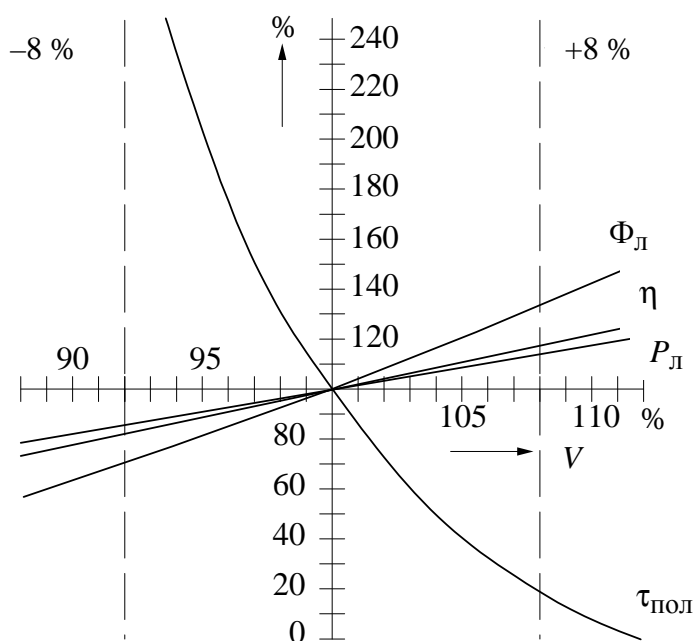


Рис. 20. Изменение параметров ЛН при отклонении напряжения питания V от номинального значения

Таблица 3

Тип	V, В	P, Вт	Φ, лм	η, лм/Вт	τ _{ср} , ч
Вакуумные (В)	215...225	25	220	8.8	1000
Биспиральные аргонные (Б)		40	430	10.8	
Тоже криптоновые (БК)			475	11.9	
– «– аргонные (Б)		60	730	12.2	
– «– криптоновые (БК)			800	13.3	
– «– аргонные (Б)		100	1380	13.8	
– «– криптоновые (БК)			1500	15.0	
Газополные моноспиральные (Г)		150	2090	13.9	

Эти характеристики необходимы, например при приближённых расчётах количества ламп в помещении.

Галогенные лампы

Первая галогенная лампа появилась в 1959 г. Высокая температура нити в нормальной лампе накаливания приводит к испарению вольфрама и конденсации его на стенках колбы, вследствие чего уменьшается светоотда-

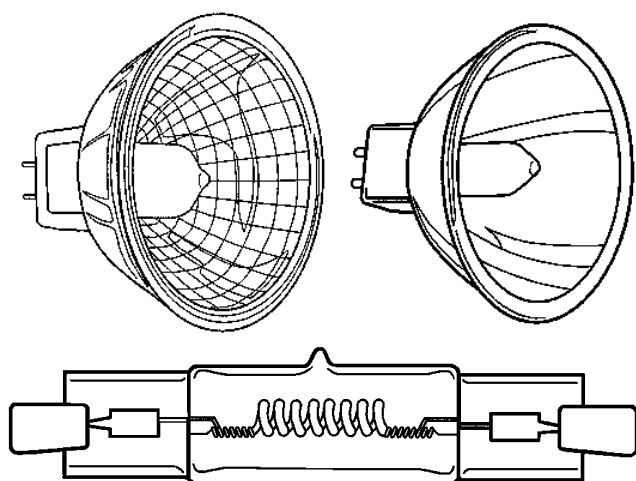


Рис. 21. Основные виды галогенных ламп

ча. Галогенные лампы имеют галогенную добавку (например, йода, хлора, брома) к заполняющему колбу инертному газу и работают по принципу галогенового регенеративного цикла, чтобы предотвратить уменьшение светоотдачи. Их основное отличие от нормальных ламп накаливания кроме галогенового цикла состоит в размерах колбы (рис. 21). Так как температура колбы должна быть высокой, галогенные лампы имеют колбы значительно меньшего размера.

Преимущества галогенной лампы перед нормальной лампой накаливания следующие:

- намного более длительный срок службы (до 2000 ч), в течение которого происходит лишь незначительное снижение светоотдачи;
- более высокая цветовая температура.

Галогенные лампы характеризуются высокой эффективностью (приблизительно, на 10 % выше, чем у нормальной лампы накаливания) и почти неизменной светоотдачей в течение всего срока службы. Для обычных осветительных целей они имеют цветовую температуру 2800...3200 К.

Источник света, следовательно, даёт более белый световой поток с соответственно более холодным цветоощущением, чем нормальная лампа накаливания. Галогенная лампа обеспечивает превосходную цветопередачу (индекс цветопередачи $R_a = 100$).

Разрядные лампы

Принцип действия РЛ основан на электрическом разряде между двумя электродами, запаянными в прозрачную для оптического излучения колбу той или иной формы. Иногда для облегчения зажигания впаивают дополнительные электроды. Внутреннее пространство колбы после удаления воздуха и тщательного обезгаживания лампы (удаление сорбированных в материале колбы и в электродах паров воды и других газов при помощи нагрева под откачкой) наполняется определённым газом (чаще всего инертным) до заданного давления или инертным газом и небольшим количеством металла с высокой упругостью паров, например, ртутью, натрием, галогенидами различных металлов.

Недостатком РЛ является некоторая сложность их включения в сеть, связанная с особенностями разряда. Для его зажигания требуется более высокое напряжение, чем для устойчивого горения. Для обеспечения устойчивого горения в цепь каждой лампы необходимо включать балласт, ограничивающий ток разряда требуемыми пределами. Другой недостаток РЛ с парами обусловлен зависимостью их характеристик от теплового режима, поскольку температура определяет давление паров рабочего вещества лампы. Номинальный режим устанавливается в них только спустя некоторое время после включения. Повторное зажигание ламп с разрядом в парах металла при высоком и сверхвысоком давлении без специальных приёмов возможно только по истечении некоторого времени после выключения.

В разряде низкого давления и при малой плотности тока наибольший поток излучения сосредоточен в так называемых резонансных линиях, т. е. при длинах волн, соответствующих переходам возбужденных атомов из “нижнего” возбуждённого состояния в основное, невозбуждённое. При особо благоприятных условиях в резонансное излучение может преобразовываться до 80...85 % подводимой к столбу энергии.

По мере повышения давления и плотности тока растёт число различных соударений между электронами и атомами газа и вместе с тем обмен энергией между ними. В результате температура электронов падает, а температура газа возрастает. При давлении порядка 10^5 Па и выше и токе в несколько ампер температуры электронов и газа становятся практически равными друг другу и достигают 4000...5000 К и более (термическая плазма). Возникающий в этих условиях большой перепад температур от осевых частей разряда к периферии приводит к стягиванию разряда в яркий светящийся шнур.

Преобразование излучения разряда при помощи люминофоров открыло широкие возможности создания РЛ с самыми различными спектрами излучения. Обычно, для возбуждения люминофора используется УФ-излучение разряда, которое люминофор преобразует с определёнными потерями в более длинноволновое излучение.

Газоразрядные источники излучения практически безынерционны. В лампах высокого давления происходит почти полное затухание газового разряда к моменту времени, когда ток в цепи лампы достигнет нуля. Инерционные свойства люминесцентных ламп низкого давления и дуговых ртутных ламп высокого давления зависят от инерционности люминофоров, нанесённых на внутреннюю поверхность их колб. Поток излучения таких источников имеет некоторое конечное значение при токе, равном нулю.

Люминесцентные лампы

Люминесцентные лампы (ЛЛ) представляют собой разрядные источники света, в которых УФ-излучение разряда в парах ртути низкого давления преобразуется люминофором в более длинноволновое излучение. За прошедшие годы характеристики ЛЛ непрерывно улучшались: продолжительность горения увеличилась с 2,5 тыс. ч (в 1940 г.) до 15...18 тыс. ч, световая отдача возросла с 50 до 105 лм/Вт, а спад световой отдачи к концу средней продолжительности горения при этом уменьшился с 40 до 20 %.

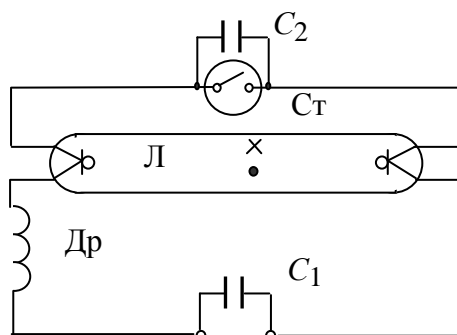


Рис. 22. Схема ЛЛ

Наибольшее распространение нашли люминесцентные лампы с подогревными электродами (рис. 22). В этих лампах электроды, выполненные в виде вольфрамовых спиралей, покрытых оксидом, подогреваются электрическим током для эмиттирования электронов. Включение спиралей для подогрева и выключение их осуществляется стартером Ст.

В цепь лампы Л последовательно с ней включается балластный дроссель Д, предназначенный для стабилизации тока в цепи лампы, а также для повышения напряжения на электродах лампы в момент её зажигания за счёт перенапряжения, возникающего при размыкании контактов стартера.

Дроссель и конденсаторы С, служащие для улучшения коэффициента мощности и снижения радиопомех, объединяются в пускорегулирующий аппарат (ПРА).

Автоматический стартер выполняется в виде маломощной неоновой лампы тлеющего разряда, один электрод которой выполнен из биметалла. При включении люминесцентной лампы вначале включается стартер, так как

потенциал зажигания тлеющего разряда ниже напряжения сети. Возникший в стартере тлеющий разряд нагревает биметаллический электрод, который в результате нагрева распрямляется и соприкасается со вторым электродом. Короткое замыкание стартера вызывает возникновение в цепи электродов лампы ток, несколько превосходящий по силе рабочий ток. Этот ток нагревает вольфрамовые электроды лампы, которые начинают эмиттировать электроны в заполненное аргоном при малом давлении пространство трубки. По истечении некоторого времени биметаллический электрод стартера охлаждается и размыкает цепь зажигания.

В момент размыкания значительно повышается напряжение на электродах лампы, что приводит при наличии эмиссии электронов с подогретых электродов лампы к возникновению разряда. Возникший разряд испаряет остатки металлической ртути, после чего устанавливается стабилизированный дуговой разряд в парах ртути с примесью аргона.

Ультрафиолетовые излучения разряда, падая на поверхность стенок трубки, покрытой слоем люминофора, трансформируются этим слоем в видимые излучения лампы. Эффективность преобразования излучения разряда в излучение фотолюминесценции определяется структурой и толщиной слоя люминофора или смеси люминофоров.

Достоинства ЛЛ:

- высокая световая отдача и большой срок службы;
- благоприятный спектр излучения, обеспечивающий высокое качество цветопередачи;
- низкие яркость и температура поверхности лампы.

Люминофоры, применяемые в ЛЛ, хорошо возбуждаются резонансным излучением атома ртути с длинами волн 184.9 и 253.7 нм. Квантовый выход люминесценции лучших люминофоров достигает 90 %. Таким люминофором является галофосфат кальция, активированный сурьмой и марганцем. Различные марки этого люминофора синтезируют с разной концентрацией марганца – от 0.3 до 1.2 % массы, в результате чего в спектре люминесценции получается различное соотношение энергии в “сурьмяной” спектральной полосе с максимумом при 485 нм и в “марганцевой” спектральной полосе с максимумом при 585 нм.

Цветовые температуры основных типов люминесцентных ламп следующие: ЛД (дневного света) – $T_{ц} = 6000$ К, ЛБ (белого света) – $T_{ц} = 3450$ К, ЛХБ (холодного белого света) – $T_{ц} = 4300$ К, ЛТБ (тёплого белого света) – $T_{ц} = 2800$ К, ЛЕ (естественного света) – $T_{ц} = 4000$ К. Изготавливаются также лампы с исправленным спектральным составом излучения (дополнительный индекс Ц) типов ЛДЦ, ЛБЦ, ЛХБЦ и ЛТБЦ, обеспечивающие достаточно хорошую цветопередачу.

Мировая практика показывает, что световая отдача ЛЛ мощностью 40 Вт цветностей Б, ТБ и ХБ на этих люминофорах в настоящее время при-

ближается к 80 лм/Вт. По расчётам предельная световая отдача ЛЛ мощностью 40 Вт цветности Б может достигать 120 лм/Вт. Параметры некоторых ЛЛ приведены в табл. 4.

Таблица 4

Мощность, Вт	Световой поток, лм						Средняя продолжительность горения, тыс. ч
	номинальный для цветностей				после 2000 ч горения, %	после 70 % средней продолжительности горения, %	
	Б	ДЦ	ЕЦ	ТБЦ			
18	1250	850	850	735*	80, 75, 70**	70, 65, 62**	15, 15, 13**
20	1200	850	865	700	85	70	15
36	3050	2200	2150	—	80, 75, 70**	70, 65, 62**	15, 15, 13**
40	3200	2200	2190	1750	85	70	15
80	5400	3800	—	—	80	70	15

Примечание. * Для цветности ТБЦ с Ra = 82, ** для цветностей Б, ДЦ, ЕЦ соответственно.

В течение срока эксплуатации люминесцентной лампы её световой поток уменьшается. После 8000 ч работы он составляет 70...90 % от начального значения. Основная (первая) причина старения – постепенное снижение эффективности порошков люминофора. При использовании смеси различных люминофоров возможно изменение цветопередачи более старых ламп по сравнению с новыми. Вторая причина старения – затемнение стенок трубки распылённым материалом нити накаливания. Использование высокочастотной пускорегулирующей аппаратуры уменьшает распыление материала нити, что, в свою очередь, снижает эффект старения.

Особенности эксплуатации ЛЛ – включение в сеть только с ПРА и возможность работы только в ограниченном диапазоне температуры окружающей среды. При отрицательной температуре ЛЛ или не зажигаются, или горят тускло. Для большинства ЛЛ рабочий диапазон температуры составляет 5...50 °С. Светоотдача достигает максимума при температуре воздуха 25 °С.

Напряжение на ЛЛ при горении должно быть примерно в два раза ниже напряжения сети. В этом случае возможно использование простейшей схемы включения ЛЛ со стартером и с индуктивным или с емкостным балластом. Отклонения напряжения сети от номинального значения приводят к соответствующим отклонениям светового потока, мощности и тока ЛЛ, снижению продолжительности горения. При этом снижение напряжения сети так же опасно, как и его повышение, поскольку катод рассчитан на работу при номинальном токе. Снижение напряжения сети более чем на 10...20 % приводит к отказу в зажигании ЛЛ.

Пульсация светового потока при питании ЛЛ переменным током вызвана пульсацией УФ-излучения столба разряда и несколько сглаживается послесвечением люминофора. Коэффициент пульсации для ЛЛ типа ЛБ – 22...23, для ЛЕЦ – 73...75, для ЛТБЦ – 68...70 % при включении в сеть частотой 50 Гц. Это соответствует частоте пульсации светового потока 100 Гц.

Для сглаживания пульсации освещённости несколько ЛЛ включают так, чтобы их токи были сдвинуты по фазе относительно друг друга, за счёт чего коэффициент пульсации доводится до нормы. Наиболее заметна (и это вызывает раздражение глаза при наблюдении) пульсация яркости свечения концевых участков ЛЛ, так как здесь частота пульсаций вдвое ниже – 50 вместо 100 Гц в середине лампы, а коэффициент пульсации, соответственно, выше. Радикальным средством снижения пульсаций является переход на высокочастотное питание 20...100 кГц. Высокочастотное электропитание обеспечивает увеличение светоотдачи лампы приблизительно на 10 %.

ПРА с высокочастотным преобразованием напряжения питания (электронный балласт) обладает важными преимуществами перед стандартными балластами:

- повышенной эффективностью системы;
- отсутствием стробоскопического эффекта;
- мгновенным запуском без отдельного стартера;
- увеличенным сроком службы лампы;
- превосходными возможностями светорегулирования;
- отсутствием необходимости исправления коэффициента мощности;
- меньшими тепловыми потерям;
- отсутствием гудения или другого шума;
- меньшей массой, особенно для мощных ламп;
- возможностью использования на постоянном токе.

ЛЛ малоприспособны для наружного освещения и освещения высоких помещений, что обусловлено незначительной мощностью (в пределах от 4 до 150 Вт), большими размерами ЛЛ, трудностью перераспределения и концентрации их светового потока в пространстве, а также ненадёжной работой при низких температурах окружающей среды.

Перспективы развития ЛЛ заключаются в повышении КПД разряда за счёт питания высокочастотным током, в применении более эффективных редкоземельных люминофоров, особенно в ЛЛ с трубкой-колбой малого диаметра (до 8...10 мм), где требуется высокая стабильность люминофора.

На рис. 23 приведены основные виды ЛЛ: *а* – прямая трубчатая; *б* – U-образная; *в* – компактная со встроенным балластом.

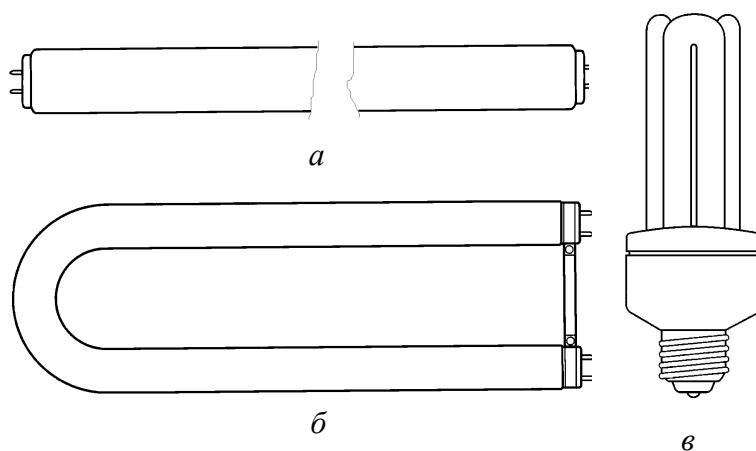


Рис. 23. Виды люминесцентных ламп

Широкое распространение получают компактные ЛЛ, позволяющие улучшить экономические показатели светильников и снизить их материалоемкость. Достоинством таких ламп является то, что их можно включать вместо ламп накаливания, не затрачивая никаких усилий на монтаж.

Ртутные лампы высокого давления (РЛВД)

РЛВД представляют собой трубку, большей частью из кварцевого стекла, по концам которой впаяны активированные самокалящиеся вольфрамовые электроды. Внутри трубки после тщательного обезгаживания вводятся строго дозированное количество ртути и спектрально-чистый аргон при давлении 1.5...3 кПа. Аргон служит для облегчения зажигания разряда и защиты электродов от распыления в начальной стадии разгорания лампы, так как при комнатной температуре давление паров ртути очень низкое (около 1 Па). В отдельных типах ламп кварцевая разрядная трубка помещается во внешнюю колбу. Лампы включают в сеть с соответствующими ПРА.

После зажигания дугового разряда разрядная трубка нагревается и ртуть испаряется. Давление её паров повышается, вместе с тем изменяются все характеристики разряда: растут напряжение на лампе и мощность, разряд стягивается в яркий светящийся шнур по оси трубки, растут поток излучения и КПД. Этот процесс продолжается в течение 5...7 мин до тех пор, пока вся ртуть не испарится, после чего все характеристики стабилизируются.

Общий вид РЛВД показан на рис. 24. Лампа состоит из внешней стеклянной колбы, слоя люминофора, разрядной трубки из прозрачного кварцевого стекла, рабочего электрода, зажигающего электрода, ограничительных резисторов в цепи зажигающих электродов и экрана. Световая отдача РЛВД составляет 45...55 лм/Вт.

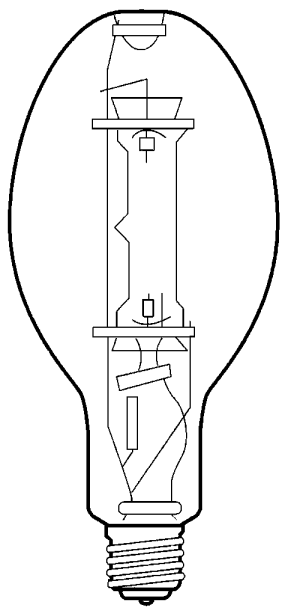


Рис. 24. Лампа РЛВД

При разряде излучение происходит частично в видимой области спектра, частично в ультрафиолетовой. При освещении РЛВД возникает сильное искажение цвета предметов, особенно человеческой кожи, что объясняется отсутствием излучения в оранжево-красной части спектра.

В наиболее распространённой лампе этого типа ДРЛ внутренняя поверхность внешней колбы покрыта тонким слоем порошкообразного люминофора для преобразования УФ-излучения ртутного разряда высокого давления, составляющего около 40 % всего потока излучения, в недостающее излучение в красной части спектра. Качество исправления цветопередачи ламп типа ДРЛ определяется относительным содержанием красного излучения — отношением светового потока в красной области

спектра (600...780 нм) к общему световому потоку лампы (“красное отношение”).

Лампы выпускаются трёх модификаций – с “красным отношением” 6, 10 и 12...15 %. Для этих ламп индекс цветопередачи $R_a = 42$, координаты цветности $x = 0.39$, $y = 0.40$. Световой поток пульсирует с двойной частотой сети. При работе в сети с частотой 50 Гц в схеме со стандартным дросселем коэффициент пульсации лампы составляет 63...74 %.

Светоотдача и срок службы лампы зависят от изменений окружающей температуры незначительно. Ртутная лампа высокого давления малочувствительна и к снижению напряжения питания.

Металлогалогенные лампы

Металлогалогенные лампы по своей конструкции подобны конструкции ртутной лампы высокого давления. Главное различие между ними состоит в том, что разрядная трубка первых в дополнение к ртути содержит ряд соединений металлов с галогенами (I, Br, Cl). После зажигания разряда, когда достигается рабочая температура колбы, галогениды металлов частично переходят в парообразное состояние. Попадая в центральную зону разряда с температурой в несколько тысяч кельвинов, молекулы галогенидов диссоциируют на галоген и на металл. Атомы металла возбуждаются и излучают характерные для них спектры. Диффундируя за пределы разрядного канала и попадая в зону с более низкой температурой вблизи стенок колбы, они воссоединяются в галогениды, которые вновь испаряются. Этот замкнутый цикл обеспечивает два принципиальных преимущества:

1) в разряде создаётся достаточная концентрация атомов металлов, дающих требуемый спектр излучения, потому что при рабочей температуре кварцевой колбы 800...900 °С давление паров галогенидов многих металлов значительно выше, чем самих металлов, таких как таллий, индий, скандий, диспрозий и др.;

2) появляется возможность вводить в разряд щелочные (натрий, литий, цезий) и другие агрессивные металлы (например, кадмий, цинк), которые в чистом виде вызывают весьма быстрое разрушение кварцевого стекла при температурах выше 300...400 °С, а в виде галогенидов такого разрушения не вызывают.

Металлогалогенные лампы также требуют включения балласта в цепи питания. Напряжение, ограничиваемое балластом, недостаточно, чтобы запустить лампу, поэтому необходимо внешнее пусковое устройство.

Натриевые лампы

Натриевые газоразрядные лампы – одна из наиболее эффективных групп источников видимого излучения. Они обладают самой высокой световой отдачей среди известных РЛ и незначительным снижением светового по-

тока при длительном сроке службы. Поэтому натриевые лампы, в первую очередь высокого давления, все шире применяются в разных системах освещения, особенно в наружном освещении. Недостатком ламп является низкое качество цветопередачи.

Натриевые лампы низкого давления. Видимое излучение этих ламп создаётся непосредственно разрядом в газе. Процесс запуска лампы (до достижения номинального светового потока) продолжается приблизительно 10 мин. Лампа имеет светоотдачу до 200 лм/Вт и длительный срок службы. Лампы применяются в областях, где цветопередача не имеет большого значения и требуется главным образом контрастное распознавание.

Лампы излучают почти полностью в видимой части спектра на длине волны 589 нм (спектральная линия натрия). Хотя только приблизительно 35...40 % входной мощности излучается на этой длине волны по сравнению с 65 % излучения с длиной волны 253.7 нм в ртутной лампе низкого давления (остальное составляют тепловые потери), *светоотдача* натриевой лампы вдвое выше, чем белой трубчатой ЛЛ. Принципиальной причиной этого является то, что излучение на длине волны натрия близко к максимальной спектральной чувствительности человеческого глаза.

При включении натриевая лампа низкого давления имеет красный цвет. По мере её прогрева *цветоощущение* постепенно изменяется, и приблизительно через десять минут она приобретает свой истинный жёлтый цвет, который не может быть изменён с помощью фильтров. Все объекты представляются как жёлтые или имеющие оттенки жёлтого цвета.

Натриевые лампы высокого давления. В разрядную трубку натриевой лампы высокого давления (НЛВД) введены в избыточном количестве натрий и ртуть, чтобы создать в процессе работы лампы насыщенные пары и буферную газовую смесь. Имеется также ксенон, облегчающий зажигание и ограничивающий теплоотвод от дуги разряда к стенкам трубки.

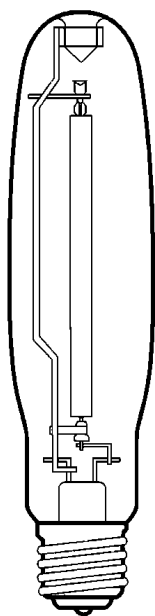


Рис. 25. Общий вид НЛВД

Общий вид такой лампы показан на рис. 25. Лампа состоит из разрядной трубки, стеклянной внешней колбы, теплоотражающего экрана, светорассеивающего покрытия, бариевого газопоглотителя и резьбового цоколя. Натриевые лампы высокого давления излучают энергию в благоприятной для глаза части видимого спектра. Они дают вполне приемлемую *цветопередачу*. *Светоотдача* составляет до 130 лм/Вт при цветовой температуре около 2000 К. Эти лампы все шире используются для наружного освещения всех типов и для освещения цехов с высокими пролётами.

Светоотдача уменьшается с ростом давления паров натрия. Это связано с явлением самоаннулирования излучения натрия на длине волны, соответствующей максимальной чувствительности глаза, и с увеличением излучения в крас-

ном и синем концах спектра, где чувствительность глаза низка.

Цветовосприятие излучения может быть изменено повышением давления паров натрия. Когда давление соответствует максимальной светоотдаче, лампа создаёт “золотисто-жёлтое” излучение.

Натриевые лампы высокого давления обычно используются с индуктивным балластом и стартером.

Индукционные лампы

Индукционная лампа основана на принципе разряда в газе низкого давления. Схематическое представление лампы QL (Philips) приведено на рис. 26. Основная особенность лампы – отсутствие электродов для ионизации газа. Взамен используется внутренний индуктор, подключённый к внешнему высокочастотному генератору (2.65 МГц) и создающий электромагнитное поле внутри разрядной трубки. Это вызывает электрический ток в газе, что приводит к его ионизации.

Принципиальное преимущество данного крупного достижения – продление срока службы лампы до 60 000 ч.

Индукционная лампа может гореть по восемь часов в день в течение, приблизительно, двадцати лет. Правильно установленная в светильнике лампа будет гореть в течение всего срока службы без заметного ухудшения своих характеристик. Сетевой низкочастотный фильтр генератора обеспечивает электромагнитную совместимость устройства по цепи питания. Время включения лампы – меньше 0.1 с. Коэффициент мощности – выше 0.9.



Рис. 26. Индукционная лампа

Светодиоды

Светодиод – полупроводниковый прибор, основанный на $p-n$ -переходе, в котором энергия рекомбинации дырок с электронами расходуется преимущественно на излучение фотонов в видимой части спектра. Для освещения используются светодиоды, излучающие белый свет. Как правило, белый свет получается смешением излучения голубого светодиода с излучением жёлтого люминофора, нанесённого на поверхность кристалла светодиода и возбуждаемого его голубым светом.

Светодиодные лампы с различными цоколями для использования в самых разных светильниках для внутреннего и уличного освещения в послед-

нее время набирают популярность. Светодиодные лампы пока относительно дороги, но уже сейчас они начинают теснить лампы накаливания и энергосберегающие лампы во всех сферах освещения.

Светодиодное освещение экономично. Световая отдача лучших светодиодов в рабочем режиме уже превышает 130 лм/Вт. Сравнительно дешёвые массовые светодиоды имеют световую отдачу 60...80 лм/Вт, что по экономичности равно обычным люминесцентным лампам.

Светодиодные системы освещения отличаются длительным сроком службы. При правильной схемотехнике источников питания, а также при применении качественных компонентов и обеспечении надлежащего теплового режима срок службы светодиодных систем освещения прогнозируется до 70 и даже 150 тыс. ч.

Светодиодные системы освещения обладают высокой виброустойчивостью и механической прочностью, экологически безопасны.

Спектр светодиодов отличается от солнечного. Но подбор люминофоров позволяет получить светодиоды белого света с любой цветовой температурой, что дает возможность всегда обеспечить отличную цветопередачу.

Светодиоды стабильно работают при низкой температуре среды, что делает их привлекательными для систем наружного освещения.

Таблица 5

Тип	Мар- ка	Мощ- ность, Вт	Световой по- ток, лм	Светоот- дача, лм/Вт	Цве- топе- ре- дача	Ам- мор- тиза- ция, %	Бал- ласт	Время запус- ка, мин
ЛН	GLS	15... 500	120...8400	8...17	4	50	—	0
ГЛН	—	75... 2000	975...5000	13...25	5	40		
ЛЛ	PL	5...40	250...3500	50...88	4	≥0	И, Э	
	FL	15... 140	750...7300	50...104	3, 4		И	
РЛВД	HP	50... 1000	1800...58000	36...58	2, 3			3
МГЛ	HPI, MHN	70... 2000	5500...189000	79...95	4, 5	≈0		И
НЛНД	SOX	18... 180	1800...33000	100...200	1		10	
НЛВД	SON	50... 1000	3300...130000	66...138	2, 3		5	
	SDW	35... 100	1300...4800	37...48	4	5		
Инд.	QL	85	6000	70	4		Э	0
LED	—	6... 13	350 ...1055	60 ...80	4		В	0

Примечание. Сокращения и обозначения: ЛН – лампа накаливания, ГЛН – галогенная лампа, ЛЛ – люминесцентная лампа, РЛВД – ртутная лампа высокого давления, МГЛ – металлогалогенная лампа, НЛНД – натриевая лампа низкого давления, НЛВД – натриевая лампа высокого давления, Инд. – индукционная лампа; LED – светодиодная лампа, И, Э, В – соответственно, индукционный, электронный и встроенный балласты; 1, 2, 3, 4, 5 – соответственно, очень плохая, плохая, удовлетворительная, хорошая и очень хорошая цветопередачи.

Вместе с тем при применении светодиодов необходимо учитывать ряд особенностей. Напряжение питания светодиода значительно меньше напряжения питания других ламп. Поэтому светодиоды соединяют последовательно и используют преобразователи напряжения со стабилизаторами тока, что дополнительно увеличивает объём, снижает энергоэффективность и общую надёжность светильника. При выходе из строя одной из последовательно соединённых ламп весь светильник перестанет работать. Придётся находить повреждённый светодиод и менять его на новый.

Для светодиодов требуется обеспечить качественный теплоотвод от кристалла, поскольку температура оказывает решающее влияние на надёжность. Даже небольшое уменьшение температуры перехода относительно максимально допустимой (обычно не более 110 °С) может способствовать увеличению полезного срока службы в несколько раз. Поэтому правильно спроектированные светодиодные светильники должны содержать схемы контроля температуры и термозащиты для снижения тока через светодиод при перегреве.

Некачественная фильтрация питающего напряжения, перегрузки светодиодов по току могут вызывать существенные пульсации светового потока.

В табл. 5 и 6 приведены характеристики некоторых типов ламп фирмы “Philips” и данные распределения энергии на излучение и тепловые потери.

Таблица 6

Выходной энергетический баланс ламп

Лампа			Излучение, %			Тепловые потери, %
Тип	Модель	P , Вт	видимое	ИК	УФ	
ЛН	GLS	100	5.0	83.0	0	12.0
Трубчатая ЛЛ	TL (Ra = 82)	36	27.7	37.3	0.6	34.4
РЛВД	HP	400	12.5	65.0	2.5	20.0
РЛВД с люминофором	HPL-N	400	16.8	56.5	3.7	23.0
Смешанного света	ML	160	9.1	48.5	0.3	42.1
МГЛ	HPI-T	400	24.3	59.2	1.3	15.2
НЛНД	SOX	180	35.0	34.4	0	30.6
НЛВД	SON-T	400	29.5	55.2	0.3	15.0
LED	–	13	30	0	0	70

Как видно из табл. 6, меньше всего излучают в видимой области спектра лампы накаливания, а больше всего – натриевые лампы низкого давления. Остальные виды ламп занимают промежуточное положение.

Характеристики светильников

Светильником называется устройство, содержащее лампу и светотехническую арматуру и предназначенное для освещения. Светотехническая арматура перераспределяет свет лампы в пространстве или преобразует его свойства (изменяет спектральный состав излучения или поляризует его).

Наряду с этим светильник выполняет функции защиты лампы от воздействия окружающей среды, механических повреждений; обеспечивает крепление лампы и подключение к источнику питания.

Классификация светильников осуществляется по следующим признакам:

- вид лампы (ЛН, РЛ, лампы смешанного света и т. д.);
- конкретная светотехническая функция (общее, местное, декоративное освещение, эвакуационное освещение и т. п.);
- форма фотометрического тела (симметричные, круглосимметричные и несимметричные);
- класс светораспределения (в соответствии с ГОСТ 17677-82);
- тип кривой силы света (КСС) (в соответствии с ГОСТ 17677-82);
- возможность перемещения при эксплуатации (стационарные, переносные и передвижные);
- способ установки светильника (в соответствии с ГОСТ 16703-79);
- класс защиты от поражения электрическим током (в соответствии с ГОСТ 12.2.007.0-75);
- исполнение для работы в определённых условиях эксплуатации;
- степень защиты от пыли и воды (для светильников ГОСТ 17677-96);
- способ питания лампы (сетевые, с индивидуальным источником питания, комбинированного питания);
- возможность изменения положения оптической системы (подвижные, неподвижные);
- возможность изменения светотехнических характеристик (регулируемые, нерегулируемые);
- способ охлаждения (с естественным охлаждением, с принудительным охлаждением).

В светильниках могут устанавливаться одна лампа, две или более ламп (в многоламповых люстрах, например, число ламп может исчисляться сотнями и даже тысячами). Светотехническая арматура для РЛ включает обычно аппаратуру для зажигания и стабилизации работы ламп.

По исполнению для работы в определённых условиях эксплуатации светильники подразделяются с учётом следующих признаков:

- 1) по климатическому исполнению и категории размещения (в соответствии с ГОСТ 15150-69);
- 2) по доминирующему воздействию фактору:
 - температуре и относительной влажности воздуха (в соответствии с ГОСТ 15543.1-89);
 - механическим воздействиям (в соответствии с ГОСТ 17516.1-90);
 - особым факторам среды (в соответствии с ГОСТ 15150-69 применительно к каждому конкретному случаю);

- наличию заметных концентраций химически активных веществ (применительно к каждому конкретному случаю);
- взрывоопасности среды (в соответствии с ГОСТ 12.2.020-76).

Светораспределение – важнейшая светотехническая характеристика светильника, определяющая распределение его светового потока в пространстве. Светораспределение светильников общего освещения обуславливается формой фотометрического тела и описывается кривыми силы света. При этом под фотометрическим телом понимается геометрическое место концов радиусов-векторов, выходящих из светового центра светильника, длина которых пропорциональна силе света в соответствующем направлении. Кривой силы света (КСС) называется кривая зависимости силы света светильника от меридиальных и экваториальных углов, получаемая сечением фотометрического тела плоскостью (рис. 27).

В зависимости от формы фотометрического тела светильники подразделяются на симметричные, фотометрическое тело которых имеет ось или плоскость симметрии, и несимметричные, отличающиеся отсутствием элементов симметрии фотометрического тела (рис. 28).

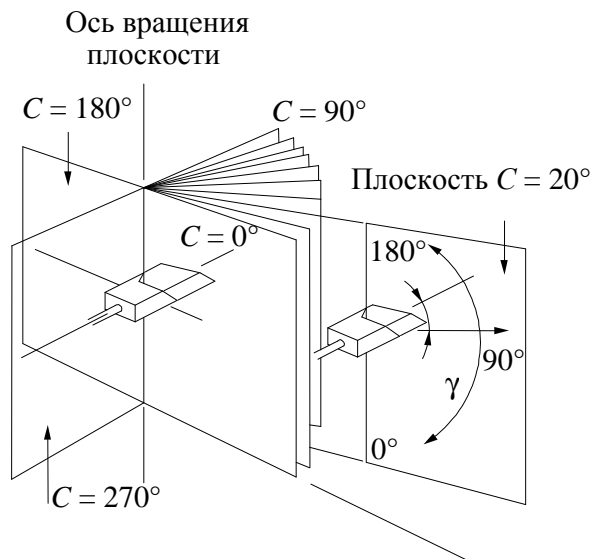


Рис. 27. Система полярных координат для построения кривых силы света

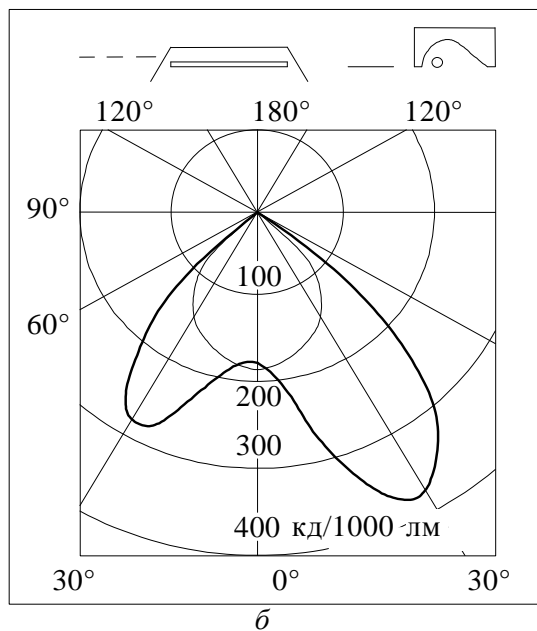
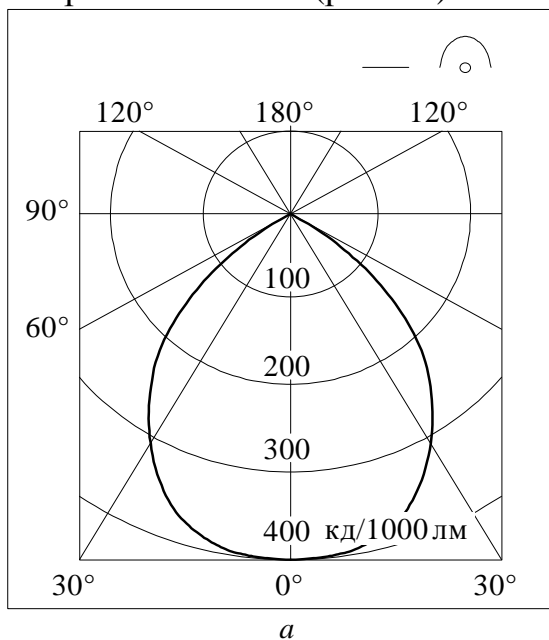


Рис. 28. Кривые силы света: а – симметричное и б – несимметричное распределения

По светораспределению светильники в зависимости от соотношения светового потока, направляемого в нижнюю полусферу, и полного светового потока светильника подразделяются на пять классов, приведённых в табл. 7.

Кривые силы света светильников указанных классов (в любых меридиональных плоскостях в верхней и в нижней полусферах) в зависимости от формы КСС подразделяются на семь типов (табл. 8).

В соответствии с классификацией каждому светильнику присваивается светотехническое наименование, которое образуется из наименований его класса по светораспределению и типа КСС. При этом в наименовании светильника, как правило, указывается, каким полусфере или меридиональной плоскости свойственна данная типовая КСС.

Под коэффициентом формы $K_{\phi} = I_{\max} / I_{\text{ср}}$ понимается отношение максимальной силы света в меридиональной плоскости к условному средне-арифметическому значению силы света.

Таблица 7

Классификация светильников по светораспределению

Класс светильника		Доля светового потока, направляемая в нижнюю полусферу, %
Обозначение	Наименование	
П	Прямого света	Свыше 80
Н	Преимущественно прямого света	60...80
Р	Рассеянного света	40...60
В	Преимущественно отражённого света	20...40
О	Отражённого света	20 и менее

Таблица 8

Типы КСС светильников

Тип КСС		Зона возможных направлений максимальной силы света, ...°	K_{ϕ}
К	Концентрированная	0...15	$K_{\phi} \geq 3$
Г	Глубокая	0...30; 180...150	$2 < K_{\phi} < 3$
Д	Косинусная	0...35; 180...145	$1.3 < K_{\phi} < 2$
Л	Полуширокая	35...55; 145...125	$1.3 < K_{\phi}$
Ш	Широкая	55...85; 125...95	$1.3 < K_{\phi}$
М	Равномерная	0...90; 180...90	$K_{\phi} < 1.3$
С	Синусная	70...90; 110...90	$K_{\phi} < 1.3$

Наибольшую K_{ϕ} имеют светильники с концентрированной КСС, а наименьшую – светильники с равномерной и синусной КСС.

Регулирование света

Кроме соответствия эстетическим требованиям и условиям эксплуатации светильники должны обеспечивать управление и распределение светового потока ламп. Диапазон видов оптических систем регулирования света простирается от систем рассеянного излучения, создающих равномерный во всех направлениях неслепящий световой поток, до систем, фокусирующих свет в узкий луч, который испускается в одном направлении или нескольких определённых направлениях. Такие системы могут также содержать экраны для ограничения ослеплённости, окрашивать излучаемый световой поток. В каждом случае оптическая система включает один элемент или несколько следующих элементов: рефлекторы, рефракторы, рассеиватели, экраны, фильтры.

Рефлекторы. В оптических системах светильников используются три типа отражения, а именно: зеркальное, полужеркальное и рассеивающее.

Зеркальный рефлектор используется для точного распределения светового потока.

Полужеркальный рефлектор применяется, если требуется умеренная степень оптического управления, позволяющая создать плавно-оконтуренный луч требуемой формы.

Рассеивающий рефлектор теоретически отражает световой луч, падающий под любым углом, во всех направлениях (диффузное отражение). Рассеивающий рефлектор не может обеспечивать точное перенаправление лучей подобно зеркальному рефлектору, но не оценим для освещения больших пространств, не предъявляющих особых требований к направленности света.

Рефракторы. Используются в светильниках для придания световому потоку лампы или нескольких ламп определённой направленности.

Рассеиватели. Используются в светильниках, чтобы рассеять световой поток, испускаемый лампой или лампами, во всех направлениях и таким образом уменьшить яркость светильника для всех углов обзора.

Экраны (или ограждения). Используются, чтобы направить световой поток светильника, скрыть лампу или лампы из поля зрения. Экраны могут являться составной частью светильника или представлять собой отдельные устройства.

Цветные фильтры. В некоторых системах освещения, особенно в декоративном освещении, для достижения желательного эстетического эффекта иногда используются цветные источники света. В некоторых случаях окрашенный световой поток создаётся непосредственно лампой, но также возможно применение цветных фильтров, установленных в светильнике. В оптических системах светильников используются два типа цветных фильтров, а именно, пропускающие и поглощающие.

Эффективность светильника. Характеризуется коэффициентом полезного действия, определяемым как отношение светового потока светильника к сумме световых потоков установленных в нём ламп.

ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОЧЕГО МЕСТА

Приводятся некоторые рекомендации по организации рабочего места при выполнении зрительной работы. Для удовлетворительного зрительного восприятия объектов должны соблюдаться следующие условия:

1. Минимальный контраст:

- яркостный благодаря различным коэффициентам отражения;
- яркостный благодаря теневым эффектам;
- цветовой благодаря различным красителям;
- цветовой благодаря различным цветовым коэффициентам отражения.

2. Минимальная яркость:

- рабочей поверхности (фона);
- ближайших окружающих предметов (периферии);
- основной рабочей зоны (поверхностей, прилегающих к рабочей зоне).

3. Минимальный размер, зависящий:

- от расстояния до рассматриваемого объекта; угла зрения;
- использования вспомогательных оптических средств.

4. Минимальное время перемещения:

- объекта;
- направления линии зрения.

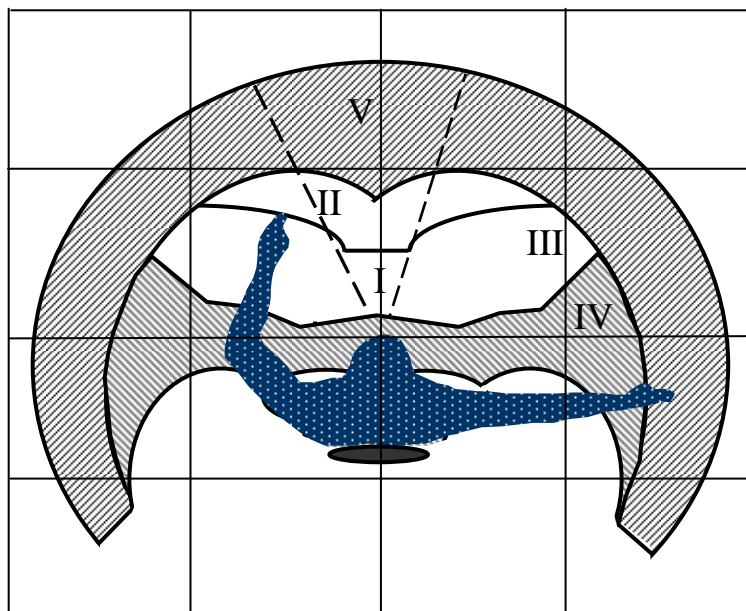


Рис. 29. Зоны зрительного восприятия на схеме рабочего места рабочей зоны в сочетании с характером зрительной работы является предварительным условием для планировки рабочего места.

5. Адаптация, которая должна быть оптимальной для заданной яркости поля зрения.

Из перечисленных факторов наиболее важное значение имеют расстояния до наблюдаемого объекта и угол зрения. Данными факторами определяется возможная планировка рабочего места.

Пространство, соответствующее такой планировке, может быть подразделено на пять зон (рис. 29).

Пространство вокруг

В табл. 9 приведена характеристика рассматриваемых зон.

Общеизвестно, что предпочтение должно быть отдано хорошему общему освещению по сравнению с местным освещением рабочего места. Это позволяет избежать значительных перепадов яркостей фона и рабочей зоны, в которой выполняется зрительная работа. Такой подход не исключает возможной необходимости введения на определенных рабочих местах дополнительного местного освещения, например для работ, требующих особо высокой точности исполнения.

Таблица 9

Характеристики рабочих зон

Зона	Напряженность зрительной работы/ характер рабочих движений
I	Очень напряжённая/ частые, требующие больших затрат времени
II	Напряжённая/ менее частые, требующие больших затрат времени
III	Умеренно напряжённая/ требующие малых затрат времени
IV	Малонапряжённая/ требующие малых затрат времени
V	Ненапряжённая/ следует избегать выполнения работы в этой зоне

Кроме освещённости на рабочем месте и цвета окружающих объектов наиболее важное значение имеют отражающие свойства обрабатываемых материалов, т. е. большую роль играет *яркость*. В этой связи должны приниматься в расчёт угол падения света и угол зрения. Зрительные ощущения зависят от яркости излучения, попадающего на сетчатку глаза. Если на рабочем месте требуется высокий уровень освещённости, то яркость должна быть оптимальной. Это является предварительным условием для выполнения точной зрительной работы при минимальном утомлении.

Следовательно, необходимо тщательно проанализировать зону, в которой выполняется зрительная работа. Проведение такого анализа имеет важное значение потому, что происходит постоянная переадаптация глаза с одной яркости на другую. Качество выполняемой работы в значительной степени зависит от видимости объектов. Утомление зрения также определяется видимостью, которая, в свою очередь, зависит от уровня яркости и качества освещения.

Распределение светового потока и блескость

Распределение светового потока на рабочем месте должно быть максимально равномерным. Это позволяет избежать значительных различий в уровнях яркости, создающих отрицательный эффект из-за постоянной переадаптации глаза и его преждевременного утомления. Для обеспечения равномерности общее освещение должно поддерживаться стабильным.

Частые значительные изменения в уровнях освещённости и яркости также снижают характеристики зрения. Следовательно, пространственная равномерность освещения должна сочетаться с временной равномерностью.

Использование для отделки поверхности светлых тонов существенно улучшает эффективность осветительных средств. Освещение рабочей плоскости обычно содержит большую долю светового потока, создаваемого рассеянным светом, отражённым от поверхности потолка и верхних участков стен. Если поверхности потолка и стен окрашены в тёмный цвет, то значительная часть полезного отражённого света будет поглощаться этими поверхностями или теряться.

Необходим контроль искусственного освещения в соответствии с изменениями в интенсивности естественного освещения.

Объёмность освещения может быть определена как способность света показать текстуру и трёхмерную форму объекта созданием комбинации света и тени.

Если освещённость элемента поверхности E , то для получения хорошей объёмности горизонтальная E_{Γ} , вертикальная $E_{\text{в}}$, средняя сферическая $E_{\text{сф}}$, цилиндрическая $E_{\text{ц}}$ и полуцилиндрическая освещённости $E_{\text{пц}}$ должны удовлетворять соотношениям:

$$E_{\text{в}}/E_{\Gamma} > 0.25; \quad E/E_{\text{сф}} = 4; \quad 0.3 \leq E_{\text{ц}}/E_{\Gamma} \leq 3 \quad \text{и} \quad 0.8 < E_{\text{в}}/E_{\text{пц}} < 1.3.$$

Освещение помещений, имеющих рабочие места (РМ), оборудованные видеодисплейными терминалами (ВДТ) или дисплеями, обладают некоторой спецификой. Они характеризуются наличием нескольких разноудалённых и разнородных зон зрительной работы: клавиатура и рабочая документация находится на рабочем столе на расстоянии наилучшего зрения (около 350 мм); экран ВДТ обычно удалён на расстояние 450...600 мм. В постах управления и центральных операционных залах добавляется еще дальняя зона зрительной работы: технологическое оборудование – в цехе либо центральный щит или мнемосхема – в зале. Регулярный перевод взгляда ведёт к большой нагрузке механизмов аккомодации и конвергенции. Изменение в процессе работы контраста объекта наблюдения с фоном и переадаптация глаза с большей яркости на меньшую и обратно также вызывают зрительное утомление работающего.

При проектировании освещения указанных помещений необходимо учитывать более высокую ослеплённость от прямой блескости. Поскольку при считывании с экрана линия зрения пользователя горизонтальна (а не направлена под углом вниз, как это имеет место при работах за столом), угол действия различных слепящих источников (осветительные приборы, солнечный свет из окна и т. п.) уменьшается и, соответственно, их слепящее действие возрастает.

Наличие зеркально отражающей неплоской наружной поверхности экрана и почти всегда блестящей клавиатуры не позволяет полностью устранить из поля зрения пользователя все отражённые блики. Вероятность возникновения отражённых бликов сильно увеличивается за счёт практикуемого

в эргономике наклона экрана ВДТ назад на $10...20^\circ$. Отражённая блескость помимо слепящего действия от яркого блика ведёт к падению контраста знака с фоном на экране видеодисплейного терминала и, соответственно, к снижению его видимости. Ряд способов, применяемых для снижения яркости бликов (химическое протравливание или механическое матирование экрана, использование противобликовых плёнок, поляризационных фильтров и др.) также ведёт к снижению контраста знаков с фоном и к размыванию их границ.

Необходимость работы с пульсирующим самосветящимся объектом – экраном, несущим яркие знаки, усугубляет дискомфортность зрительной работы. Пульсирующие самосветящиеся объекты – это источники света, которые (в соответствии с нормативными требованиями по ограничению пульсации и ослеплённости) не должны располагаться в центре поля зрения. При работе с ВДТ светящиеся знаки на экране дисплея представляют собой постоянно размещённый в центре поля зрения самосветящийся объект, пульсирующий с частотой 50 – 120 Гц, что вызывает утомление оператора.

На РМ с ВДТ имеет место неблагоприятное распределение яркости в поле зрения, так как хорошо освещённые поверхности периферии поля зрения (потолок, стены, мебель и т. п.) оказываются более светлыми, чем центр поля зрения – тёмный, ограниченно освещённый и часто слабо-заполненный знаками экран ВДТ. С точки зрения условий зрительной работы, предпочтительны дисплеи, имеющие светлый и матовый экраны с тёмными знаками. Однако такие ВДТ имеют пока ограниченное распространение. Наиболее часто используются одноцветные ВДТ с яркостью знака не менее 100 кд/м^2 и многоцветные – не менее 50 кд/м^2 , что обеспечивает с учётом возможности регулирования яркости контраст от 3 до 12. Оптимальным считается контраст от 5 до 1. Дополнительная подсветка экрана общим освещением улучшает распределение яркости в рабочей зоне, но одновременно ведёт к некоторому снижению контраста читаемых знаков, что может затруднить считывание информации. В целях ограничения чрезмерной освещённости экрана желательно, чтобы он имел защитный козырёк.

Ввиду сложной специфики указанных РМ первоочередной задачей проектировщика является наилучшее (в пределах достижимого) согласование яркостей в поле зрения работающего и максимально возможное уменьшение ослеплённости от прямой и отражённой блескости. Успешное решение проблем освещения РМ с ВДТ возможно только с учётом ряда требований и ограничений на ранних стадиях проектирования. Хорошее освещение в таких помещениях может быть спроектировано лишь при комплексном решении следующих вопросов: светотехники – в целом; строительства – в части подбора помещений по размерам, естественному освещению и обеспечению необходимой отделки интерьера и оборудования; технологии – в части правильной компоновки и размещения РМ в помещении.

При выборе помещения для РМ с ВДТ необходимо учитывать, что окна могут давать блики на экране и вызывать значительную ослеплённость у сидящих перед ним, особенно летом и в солнечные дни. Для размещения РМ с ВДТ наиболее пригодны помещения с односторонним расположением светопроёмов, обязательно снабжённых солнцезащитными устройствами (шторы, жалюзи и т. п.). Площадь остекления не должна быть очень большой, желательно в пределах 25 % площади стены со светопроёмами. Для минимизации засветки экранов ВДТ за счёт солнца окна должны быть ориентированы на север (северо-запад, северо-восток). Большие залы с разнотипными РМ, в том числе снабжёнными ВДТ, нежелательны. Наиболее целесообразны относительно небольшие помещения с группой однотипных РМ. В больших залах рекомендуется изолировать группы РМ друг от друга с помощью дополнительных перегородок.

Создавать блики на экранах ВДТ и слепить работающих могут не только окна, но и другие ярко освещённые светлые поверхности, в том числе потолок, стены, поверхности оборудования, столов, шкафов и даже одежда персонала. Поэтому все они должны иметь не слишком высокие коэффициенты отражения. Светлая и особенно блестящая одежда работающих также нежелательна.

Учитывая повышенную трудность зрительной работы с экраном, несущим знаки, резко контрастирующие с фоном, для отделки интерьеров, где размещаются РМ с ВДТ, целесообразно использовать ненасыщенные пастельные тона. Все отделочные материалы (краска, плёнка, пластик и т. п.) должны быть матовыми, блестящие элементы недопустимы. Крупный и чрезмерно контрастный рисунок на обоях, плёнке, пластике и других применяемых при отделке интерьера материалах нежелателен.

Улучшение качества освещения может быть обеспечено при жёсткой регламентации расположения РМ с ВДТ. Размещение в одном помещении разнотипных РМ не рекомендуется. При наличии в помещении РМ с ВДТ и РМ без них последние целесообразно разместить вблизи окон, а РМ с ВДТ – в глубине помещения. Рабочие места с ВДТ должны быть организованы в ряды, параллельные стене с окнами, а плоскости экранов дисплеев ориентированы перпендикулярно ей. Размещение РМ и ориентация экранов, при которых работающий обращён лицом либо спиной к окнам, недопустимо.

С учётом эргономических требований к размещению ВДТ на РМ рекомендуется располагать экран непосредственно перед работающим, не разворачивая его вправо или влево; РМ с ВДТ не рекомендуется размещать вблизи от хорошо освещённых стен или от других ярких поверхностей, которые могут отражаться в экране. Необходимо также учитывать, что РМ с ВДТ требуют увеличенной площади на одно РМ, так как при средней площади оборудования $0.8 \times 1.2 \text{ м}^2$ вокруг него должно оставаться свободное пространство не менее 1 м с каждой стороны.

Светотехнические требования к осветительным установкам РМ с ВДТ специфичны. Вопросы выбора системы освещения, нормируемых уровней освещённости и требований к качеству освещения могут быть правильно решены только при их взаимосвязанном рассмотрении и учёте множества различных, часто противоречивых требований. Подробный анализ возможных решений приводит к необходимости учёта не только специфики зрительной работы пользователя за экраном, но и её доли в общем балансе рабочего времени, а также особенностей экранов.

Увеличение утомления при росте доли зрительной работы могло бы частично компенсироваться повышением освещённости. Однако отрицательное влияние пульсации с ростом освещённости увеличивается. Поэтому в целях улучшения качества освещения было бы желательно не повышение, а напротив, некоторое ограничение освещённости. Наличие разных типов ВДТ (одноцветные и многоцветные, алфавитно-цифровые и графические) обуславливает возможность изменения как размера различаемых объектов, так и их контраста с фоном. Возникающие при этом вариации трудности зрительной задачи диктуют необходимость дифференциации требований к освещению с учётом особенностей экранов.

При определении уровней освещённости различных зон РМ необходимо также учитывать ряд противоречивых требований, в том числе целесообразность повышения освещённости на столе для улучшения условий зрительной работы с бумажным носителем и необходимость исключения неблагоприятных перепадов яркости между хорошо освещённой поверхностью стола и сравнительно тёмным экраном дисплея. Увеличение вертикальной освещённости в плоскости экрана, которое может облегчить считывание знаков, стимулируя рост остроты зрения, затрудняет считывание из-за одновременного падения при этом видимого контраста знаков.

Пульсация яркости объекта наблюдения на экране дисплея с частотой 50 Гц и более визуально незаметна, так как она немного выше критической частоты слияния мельканий, но, воздействуя на высшие отделы органа зрения, она вызывает их утомление, что является одной из причин специфического утомления работающих. Пульсация искусственного освещения может усугублять это утомление, а также приводить к снижению контрастности изображения или к его мельканию с низкой частотой за счёт стробоскопического эффекта. Повышение уровня освещённости от искусственного освещения и повышение яркости знаков на дисплее усиливают влияние пульсации.

Ввиду большой вредности блескости (как прямой, так и отражённой) ужесточаются требования по её ограничению. Применяемые осветительные приборы (ОП) общего освещения должны иметь повышенный защитный угол (35...40°). Для ограничения ослеплённости за счёт прямой и отражённой блескости видимая яркость всех светящихся элементов должна быть ограничена, особенно в углах излучения 50...90°. Для ограничения и снижения отражённой блескости средняя и максимальная яркости больших освещён-

ных поверхностей (потолок, стены и т. п.) в помещениях с видеодисплейными терминалами также не должны превышать этих значений. Такое ограничение относится к яркости солнцезащитных средств на окнах.

Первоначально освещение помещений с ВДТ проектировалось с использованием только системы общего освещения, поскольку применение комбинированного освещения имеет как преимущества, так и недостатки. Наличие местного освещения позволяет обеспечить лучшие условия работы с документацией за счёт увеличения горизонтальной освещённости стола. При этом не происходит дополнительной засветки экрана и работающий получает возможность регулировать (в определённых пределах) уровень освещённости и направление падения светового потока в соответствии с индивидуальными потребностями. Расход электроэнергии в системе комбинированного освещения уменьшается. Однако увеличение перепада яркости в поле зрения, наступающее при комбинированном освещении, может несколько ухудшить комфортность зрительной работы. За рубежом разработан ряд специальных осветительных приборов местного освещения для РМ с ВДТ. Имеются ОП местного освещения с компактными ЛЛ, регулируемые по высоте и устанавливаемые на струбине ОП с компактными ЛЛ, а также специальные ОП местного освещения смешанного света с компактной ЛЛ и ЛН.

В помещениях с ВДТ общее освещение всегда должно решаться как общее локализованное. Оно может быть реализовано двумя способами – освещение прямым светом и отражённое освещение. В первом случае для сохранения должного качества освещения необходимо обеспечить падение света на РМ сбоку. Для этого могут быть использованы определённым образом располагаемые приборы, имеющие максимум силы света под углами $25...35^\circ$ к вертикали. В этом случае целесообразно применять зеркальные приборы с параболическими или параболоцилиндрическими отражателями и такими же решётками, но имеющими не абсолютно зеркальное, а направленнорассеянное отражение, что обеспечивает уменьшение неравномерности распределения яркости в поле зрения за счёт отсутствия резких теней. При этом для исключения вредного действия пульсаций следует применять модификации с высокочастотными ПРА. Целесообразно пользоваться модификацией “кососвет”, обеспечивающей возможность уменьшения пульсации освещённости за счёт сдвига токов в соседних лампах по фазе.

Отражённое освещение рекомендуется использовать в основном в помещениях малой площади и небольшой высоты. Его целесообразно выполнять с помощью специальных напольных ОП либо ОП, встроенных в оборудование, на котором имеются дисплеи. Осветительные приборы должны направлять световой поток только в верхнюю полусферу и иметь широкое или полуширокое светораспределение. При отражённом освещении ОП должны обеспечивать равномерное освещение потолка со средней его яркостью, не превышающей 200 кд/м^2 .

Для местного освещения должны использоваться ОП с непросвечивающим отражателем и большим защитным углом (не менее 40°), имеющие достаточное число степеней свободы, позволяющее каждому работающему устанавливать их в соответствии с индивидуальными потребностями.

На основании результатов различных исследований, а также изложенных ранее соображений и рекомендаций, сформулированы следующие требования к освещению помещений с ВДТ, закреплённые в СНиП 2.09.08-90 на проектирование зданий вычислительных центров и помещений для размещения ЭВМ:

1. Для освещения помещений с ВДТ может применяться как система общего, так и система комбинированного освещения.

2. Общее освещение и общее освещение в системе комбинированного должны выполняться в виде локализованного (при использовании ОП прямого света) и в виде равномерного (при использовании ОП отражённого света) освещения.

3. Местное освещение в системе комбинированного следует использовать исключительно для освещения зоны горизонтальной поверхности стола, где производится работа с бумажным носителем информации. Для местного освещения следует применять ОП с непросвечивающими отражателями, имеющими защитный угол не менее 40° .

4. Уровни нормируемой освещённости при ВДТ с положительным контрастом изображения (светлый знак на тёмном фоне) приведены в табл. 10.

Таблица 10

Характеристики дисплея и зрительной работы		Нормируемая освещённость, лк, в плоскости стола $E_{ст}$ и экрана $E_{эк}$, при системе освещения				
Дисплей	Время работы за дисплеем, % длительности смены	общего		комбинированного		
		$E_{ст}$ не менее	$E_{эк}$	$E_{ст}$, не менее	в том числе $E_{ст}$ от общего	$E_{эк}$
Алфавитно-цифровой одноцветный	Более 50	300	100...150	400	300	100...150
Алфавитно-цифровой многоцветный	Менее 50	400	150...200	500	400	150...200
Графический: одноцветный	Более 50	300	75...100	— 200	200	— 75...100
многоцветный	Менее 50		—			

5. Коэффициент запаса для ОП общего освещения с РЛ в помещениях с нормальными условиями среды не должен превышать 1.3, в производственных помещениях с тяжёлыми условиями среды – 1.5.

6. Коэффициент пульсации освещённости от общего освещения или общего освещения в системе комбинированного не должен превышать 5 %.

7. Коэффициент пульсации освещенности от местного освещения во всех случаях не должен превышать 5 %.

8. Общее локализованное освещение следует использовать при определённой компоновке РМ. Рекомендуется применять ОП с полушироким специальным светораспределением, желательно двухламповыми “кососветами” с максимумом силы света под углами 25...40°, яркость которых в зоне углов излучения 50...90° не более 200 кд/м².

9. Равномерное отражённое освещение целесообразно использовать только в достаточно низких помещениях (до 4 м), преимущественно там, где обеспечить требования по специальному расположению РМ и экранов ВДТ невозможно.

10. ОП общего локализованного освещения в целях ограничения отражённой блескости целесообразно располагать сбоку от РМ с ВДТ. При этом требуется регулярное размещение РМ с одинаковой ориентацией экранов ВДТ, а значит, и линии зрения работающих. РМ с ВДТ для ограничения прямой и отражённой блескости от светопроёмов целесообразно располагать в помещениях с односторонним остеклением, имеющим солнцезащитные устройства (шторы, жалюзи и т. п.), и по возможности в максимальном удалении от окон. При этом экраны ВДТ должны быть ориентированы перпендикулярно остеклённой стене.

ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЁТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ОСВЕЩЕНИЯ

Освещение преследует три главные цели (при зримом воздействии на органы зрения):

- Создание оптимальных условий для работы зрения.
- Обеспечение зрительного комфорта.
- Обеспечение эстетичности восприятия помещения или территории.

Кроме этого следует учитывать незримое воздействие света и создавать стимулирующее освещение, повышающее умственную деятельность и производительность труда. Так, увеличение освещённости с необходимого минимума до значения, превышающего его в 3-4 раза, может привести к улучшению работоспособности, увеличению производительности труда и длительности непрерывной работы в 2-3 раза.

Но эти две задачи часто вступают в противоречие. Оптимальное их решение может быть обеспечено как результат некоторого компромисса. Желательно, чтобы осветительные установки создавали биологически стимулирующее освещение и вместе с тем отвечали традиционным рекомендациям, касающимся зрительной работы.

Приступая к расчёту и проектированию систем освещения необходимо разделять:

- Проектирование внутреннего освещения с целью обеспечения выполнения какой-либо деятельности (производственные помещения, склады, офисы, классы, коридоры, лестницы и т. п.).
- Проектирование внутреннего освещения (музеи, галереи, церкви и т. п.) с целью реализации художественного или дизайнерского замысла.
- Проектирование наружного освещения с целью освещения дорожного покрытия.
- Проектирование наружного освещения с целью освещения территории и находящихся на ней объектов (стадионы, открытые склады, открытые эстрады, портовые сооружения и т. п.).

Напомним, что целью расчёта является выбор оптимального метода обеспечения зрительного комфорта для участников зрительной работы. Поэтому в том случае, когда объекты в поле зрительной работы являются жёстко привязанными к месту и наблюдатель относительно них занимает определённую позицию, целью проектирования является выбор оптимальной яркости объектов наблюдения. Этот случай характерен для наружного освещения дорог (положения водителя и пешехода на дороге и необходимые им зоны обзора прогнозируются в зависимости от рельефа местности и от рекомендуемой скорости движения) и (отчасти) для архитектурно-художественных объектов, расположение которых относительно зрителя может быть спрогнозировано. Для внутреннего производственного и бытового освещения, а также для наружного освещения производственных и культурных зон яркость будет определяться переменными по характеру, габаритам и т. д. объектами наблюдения, и, следовательно, целью проектирования является выбор уровня освещённости.

Введение в методы проектирования внутреннего освещения

Цель проектирования внутреннего освещения – гарантировать выполнение зрительной работы, визуальный комфорт или требуемое их сочетание при высокой энергетической эффективности и экономии электроэнергии и денежных средств на приобретение систем освещения и их установку.

Исходным данным для расчёта системы внутреннего освещения является требуемый уровень освещённости. Само проектирование сводится к выбору качественных характеристик применяемых источников света, расчёту количества источников света и к определению их пространственного расположения в помещении.

Известно (см. ранее), что уровень необходимой освещённости зависит:

- от вида деятельности в помещении. Определяется вид деятельности, для которой должно обеспечиваться освещение. Одновременно устанавливается расположение поверхностей, на которых выполняется зрительная работа;

- от характеристики зрительной работы. Определяются контрасты и размеры объектов различения, а также длительность выполнения зрительной работы;
- от коэффициентов отражения поверхностей проектируемой зоны. Все поверхности помещения влияют на перераспределение светового потока. Кроме того, на поверхностях могут возникать блики, мешающие выполнению зрительной работы. Поэтому при проектировании обязательно должны учитываться коэффициенты отражения поверхностей помещения, рабочей поверхности, а также поверхностей предметов.

В зависимости от этих показателей (от точности предполагаемой зрительной работы) выбирается нормированное значение минимальной (или оптимальной) освещённости.

Расчёт освещённости, как правило, касается только выбора стационарной системы освещения. Иными словами, под понятием “*проектирование системы внутреннего освещения*” понимается только расчёт “общего освещения”, и приведённые нормы выбираются только для “общего освещения”.

Уровень освещённости обычно определяется (и затем проверяется) на горизонтальной поверхности на высоте 0.8 м от пола – для рабочих мест и на высоте 0.2 м – для проходов. При этом коэффициент равномерности освещённости не должен быть ниже 0.8, а отношение между значениями освещённости любых двух смежных помещений не должно превышать 5:1.

Оценочный (грубый) метод выбора или расчёта системы внутреннего освещения

Рассматриваемый метод чаще носит название “*метода удельной мощности*”. Он основан на использовании данных о светоотдаче каждого типа источников света (ламп), т. е. о значении светового потока, создаваемого лампой данного типа и данной электрической мощности. Пример таких характеристик и параметры ламп общего назначения приведены в табл. 11.

По этим данным можно рассчитать примерную необходимую мощность источников света того или иного типа при данной их высоте подвеса над расчётной (рабочей) поверхностью. В этих расчётах надо учесть:

- что в качестве расчётной высоты подвеса источника света здесь следует выбирать расстояние от источника света до расчётной поверхности;
- увеличение мощности источника света в n раз (или увеличение количества источников в n раз) приводит к увеличению освещённости на расчётной высоте подвеса относительно табличного значения примерно в n раз;
- использование источников света с рефлекторами приводит к увеличению (за счёт перераспределения светового потока) силы света (а следовательно, и освещённости) в направлении максимума излучения в 1.5-3 раза.

Таблица 11

Тип лампы	Обозначение	Световой поток Φ , лм	Свето- отдача, лм/Вт	Освещённость E , лк, на расстоянии h , м		
				2 м	3 м	5 м
Накаливания	В-220-25	220	8.8	4.7	2.1	0.8
	Б-220 -75	960	12.8	19.7	8.6	3.1
	БК-200-60	800	13.3	16.1	7.1	2.6
	Б-220-100	1380	13.8	27.5	12.3	4.5
	Г-220-150	2090	13.9	41.6	18.6	6.7
	Ц-230-25	190	7.6	4.4	2.0	0.8
	ЗК-220-60	950	15.8	28.9	12.4	5.2
	ЗД-220-100	700	7.0	22.3	10.1	4.4
	ЗШ-220-300	1100	3.7	36.1	14.7	6.0
Галогенные нака- ливания	GLN-12-35	850	24.3	17.1	7.7	2.8
	GLN-12-50	1250	25.0	25.6	11.2	4.0
	GLN-220-75	1700	22.7	34.7	15.1	5.5
	GLN-220-150	3000	20.0	61.1	26.8	9.7
	ГЛН-2000	5000	25.0	103.0	45.4	16.2
Люминесцентные газоразрядные	ЛБ-18	1250	69.5	25.8	11.2	4.1
	ЛД-18	850	47.2	17.2	7.6	2.7
	ЛДЦ-18	850	47.2	17.2	7.6	2.7
	ЛБ-20	1200	60.0	25.0	10.7	4.0
	ЛД-20	865	43.2	17.3	7.7	2.8
	ЛДЦ-20	850	42.5	17.2	7.6	2.7
	ЛБ-36	3050	84.7	62.0	27.3	9.8
	ЛД-36	2200	61.1	44.5	19.7	7.1
	ЛДЦ-36	2150	59.7	44.2	19.6	7.0
	ЛБ-40	3200	80.0	65.4	28.5	10.3
	ЛД-40	2200	55.0	44.7	19.9	7.2
	ЛДЦ-40	2190	54.7	44.7	19.8	7.2
	PL40	3500	88.0	70.9	31.2	11.2
	FL 140	7300	104.0	148.0	65.1	23.5
СС	ML500	13 000	26.0	265.0	116.0	41.7
РЛВД	HP 1000	58 000	58.0	1170.0	520.0	186.0
МГЛ	MHN 2000	189 000	95.0	3790.0	1690.0	605.0
НЛНД	SOX180	33 000	200.0	660.0	294.0	106.0
НЛВД	SON1000	130 000	138.0	2600.0	1160.0	416.0
	SDW100	4800	48.0	97.0	42.9	15.7
Индукционная	85	6000	70.0	120.0	54.0	19.6

По этим данным можно рассчитать примерную необходимую мощность источников света того или иного типа при данной их высоте подвеса над расчётной (рабочей) поверхностью. В этих расчётах надо учесть:

- что в качестве расчётной высоты подвеса источника света здесь следует выбирать расстояние от источника света до расчётной поверхности;
- увеличение мощности источника света в n раз (или увеличение количества источников в n раз) приводит к увеличению освещённости на

расчётной высоте подвеса относительно табличного значения примерно в n раз;

- использование источников света с рефлекторами приводит к увеличению (за счёт перераспределения светового потока) силы света (а следовательно, и освещённости) в направлении максимума излучения в 1.5-3 раза.

Такой грубый расчёт дает возможность выбрать желаемый тип источников света и определить потребляемую системой освещения электрическую мощность. При выборе необходимо также учитывать желательный спектр света, опасность ослепления наблюдателя, ожидаемые условия эксплуатации и т. д. Но этот расчёт не позволяет с приемлемой точностью выбрать даже количество источников света, не говоря уже об их расположении.

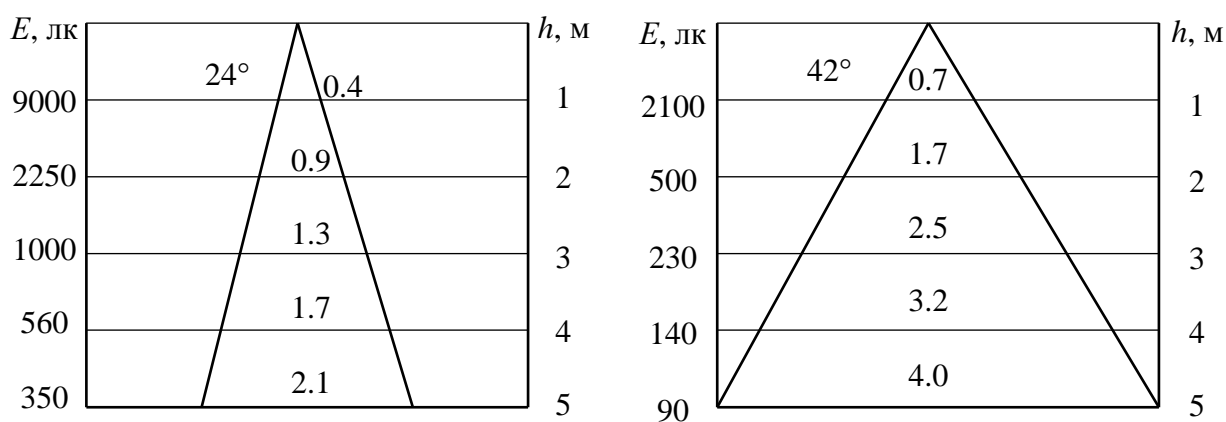


Рис. 30. Примеры круглосимметричных диаграммы половинной интенсивности для светильников с разной шириной диаграммы (под диаграммой приведены диаметры кругов, освещённость на границе которых составляет половину от освещённости в центре круга)

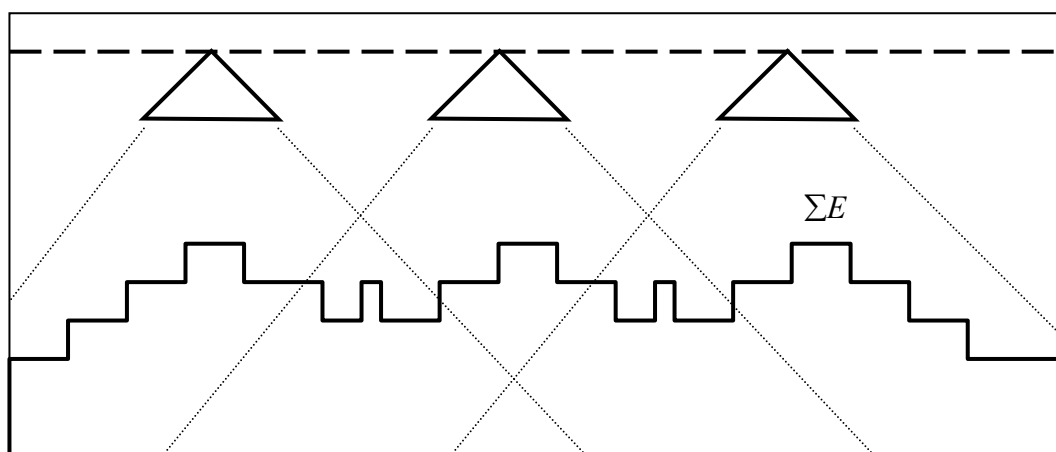


Рис. 31. Способ определения суммарной освещённости от нескольких источников света

Если же расположение источника света в помещении определяется некими иными, например конструктивными или технологическими ограничениями (т. е. когда позиция светильника не рассчитывается, а выбирается), а

также если следует учесть характеристики не только источника света, но и всего светильника, то используются либо пространственные кривые условной горизонтальной освещённости для различных типов КСС, либо круглосимметричные диаграммы половинной интенсивности (см. рис. 30).

С их помощью можно оценить суммарную освещённость от нескольких источников света (рис. 31).

Такой способ также является приближённым, но позволяет уже более точно оценить суммарную освещённость в разных зонах помещения с учётом взаимного расположения светильников.

Приближённый расчёт освещения с учётом коэффициента использования

Исходные данные для расчёта:

- требуемые характеристики освещения (уровень освещённости, требования по яркости, допускаемая ослеплённость, цвет и т. д.);
- знание полярных кривых силы света и коэффициента использования светильника с соответствующим источником света в нём.

Прежде всего выбираются уровень освещённости и класс ослеплённости.

Далее определяются характеристики выбранного светильника (см. ранее).

Для прямоугольной комнаты длиной a , шириной b и расстоянием от рабочей поверхности до светильника h определяется “индекс помещения”:

$$\phi = ab/h(a + b).$$

Необходимое количество светильников может быть вычислено по формуле

$$N = Eab/(\Phi\eta K_3),$$

Таблица 12

Элемент	Коэффициент отражения									
Потолок	0.8	0.5	0.7	0.8	0.5...0.3	0.0				
Стена	0.5...0.3	0.5...0.3	0.5	0.5...0.3	0.5...0.3	0.0				
Пол	0.3			0.2	0.1	0.0				
Индекс ϕ	η									
0.60	0.36	0.30	0.34	0.30	0.35	0.34	0.29	0.33	0.29	0.25
0.80	0.46	0.40	0.44	0.39	0.44	0.43	0.38	0.42	0.37	0.34
1.0	0.51	0.46	0.49	0.44	0.49	0.48	0.43	0.46	0.42	0.38
1.25	0.58	0.53	0.55	0.51	0.55	0.54	0.50	0.52	0.48	0.45
1.5	0.62	0.57	0.59	0.55	0.58	0.57	0.53	0.55	0.52	0.48
2.0	0.67	0.62	0.63	0.59	0.62	0.60	0.57	0.58	0.55	0.52
2.5	0.71	0.67	0.66	0.63	0.66	0.63	0.61	0.61	0.58	0.55
3.0	0.75	0.71	0.69	0.67	0.68	0.65	0.63	0.63	0.61	0.58
4.0	0.77	0.74	0.71	0.69	0.70	0.67	0.69	0.65	0.62	0.60
5.0	0.80	0.77	0.73	0.71	0.72	0.68	0.67	0.66	0.64	0.62

где E – требуемая средняя освещённость, лк; Φ – световой поток источника, лм; η – коэффициент использования, зависящий от индекса помещения и отражающих свойств его поверхностей (некоторые значения η для использования светильников типа ЛДОР приведены в табл. 12); K_z – коэффициент запаса.

Общий метод потока позволяет вычислять только:

- среднее значение освещённости на горизонтальной поверхности;
- количество светильников при регулярном расположении;
- освещение помещений только прямоугольной формы.

Точный точечный метод расчёта внутреннего освещения

Точечный метод расчёта является достаточно трудоёмким для простого ручного расчёта и применяется при создании соответствующих компьютерных средств расчёта. Точные вычисления основываются на точечном методе, в основе которого лежит зависимость освещённости данной точки пространства от расположения точечного источника:

$$E_p = I \cos \alpha / d^2,$$

где E_p – освещённость, лк, в точке p , I – сила света, кд, в направлении p ; d – расстояние, м, между световым источником и точкой p .

Горизонтальная и вертикальная освещённости (рис. 32) определяются выражениями:

$$E_{\Gamma} = I \cos^3 \alpha / h^2; \quad E_{\text{в}} = I \sin \alpha \cos^2 \alpha / h^2$$

или, в случае вертикальной поверхности, сдвинутой на угол β :

$$E_{\text{в}} = I \sin \alpha \cos^2 \alpha \cos \beta / h^2.$$

Суммарное действие N светильников создаёт в точке p освещённости:

$$E_{p\Gamma} = \sum_{i=1}^n E_{\Gamma i}; \quad E_{p\text{в}} = \sum_{i=1}^n E_{\text{в}i}.$$

Произведя серию подобных вычислений для различных точек рабочей поверхности, можно определить среднюю освещённость.

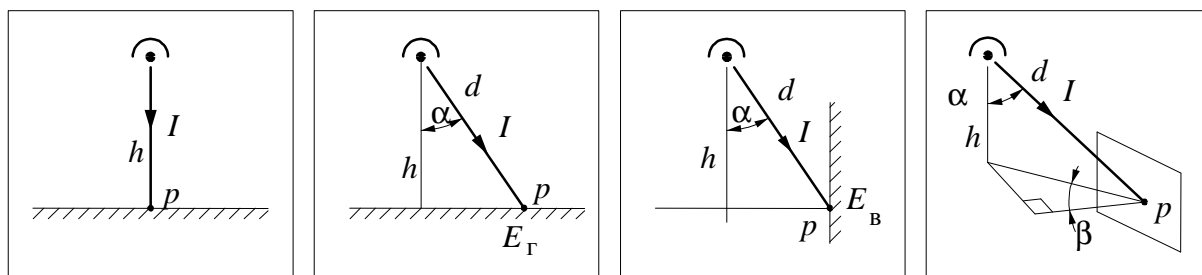


Рис. 32. Горизонтальная и вертикальная освещённость, создаваемые в точке p точечным источником

Формулы могут учитывать прямую и отражённую составляющие светового потока. Для предварительной оценки освещённости можно учитывать только среднее значение вклада отражённого светового потока:

$$E_{\text{отр}} = (\sum \Phi / \sum A) \rho_{\text{ср}} / (1 - \rho_{\text{ср}}),$$

где $\sum \Phi$ – суммарный световой поток всех светильников; $\sum A$ – общая площадь поверхностей помещения; $\rho_{\text{ср}}$ – средний коэффициент отражения поверхностей помещения, определённый как $\rho_{\text{ср}} = (\sum \rho_{\text{п}} A_{\text{п}}) / \sum A_{\text{п}}$.

Здесь $\rho_{\text{п}}$ – коэффициент отражения поверхности $A_{\text{п}}$ помещения.

Равномерность освещённости может быть оценена как $U_p = E_{\text{min}} / E_{\text{ср}}$.

Прямая и отражённая освещённости могут полностью учитываться даже при множественных переотражениях с ограничениями только по быстродействию и по объёму памяти компьютера. Для моделирования отражений, теней, яркости источников используется *метод конечных элементов* для разбиения поверхностей и определения соответствующих коэффициентов формы (метод “Radiosity&Ray-Tracing” – точек и лучей).

Компьютерные методы расчёта внутреннего освещения

В настоящее время имеется ряд коммерческих программ (например, программа “Litestar 4.0” итальянской фирмы “Oxytech” и др.), предназначен-

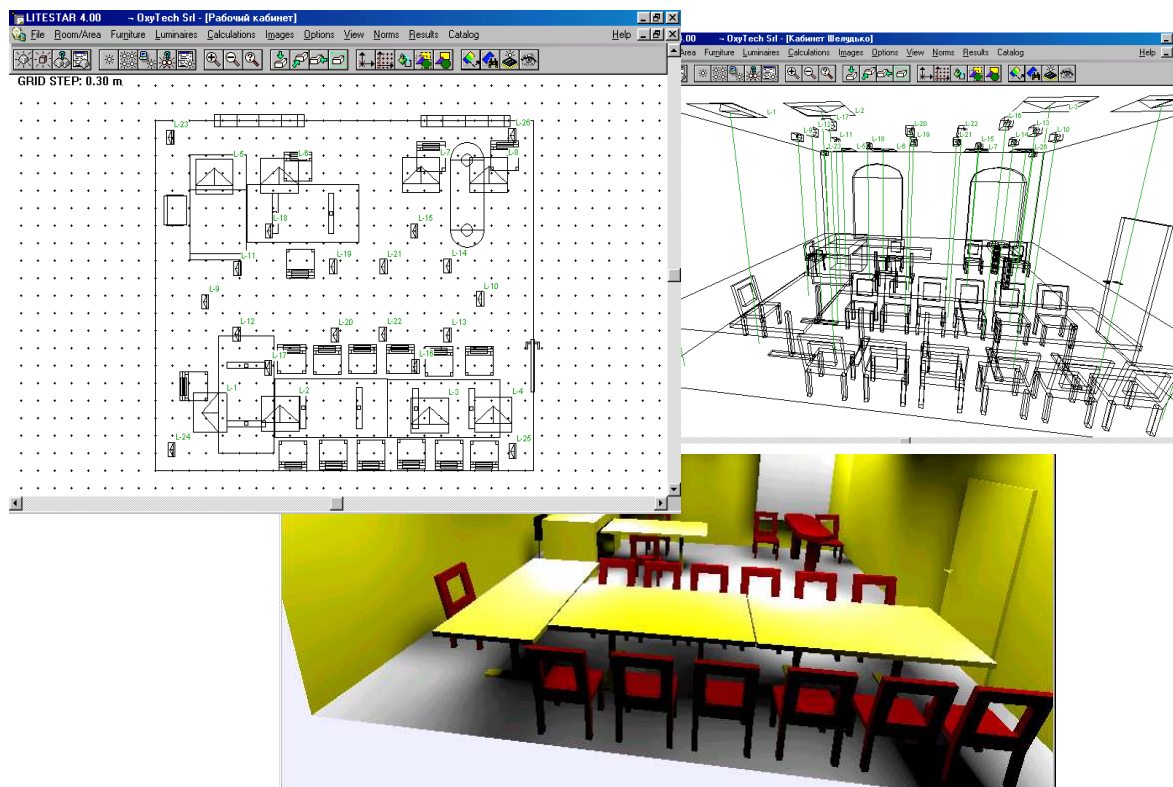


Рис. 33. Пример экранной формы с результатами расчёта с использованием пакета “Litestar”

ных для проектирования систем освещения, которые основаны на точечном методе расчёта освещённости. Пример экранной формы, демонстрирующей интерфейс пользователя и возможности пакета, представлен на рис. 33.

Полные расчёты внутренних систем производить повсеместно не представляется возможным. Обычно пренебрегают полной моделью внутреннего освещения, учитывающей изменения уровня естественного освещения в течение дня, интеграцию светильников с системой кондиционирования воздуха, наличие центрального автоматического управления освещением (микропроцессорный блок или управляющая ЭВМ и компьютер), обеспечивающего поддержание необходимой освещённости с учётом соотношения естественной и искусственной составляющих, снижения эффективности ламп в процессе эксплуатации, а также производящего учёт потребления энергии, и т. д.

Подобным образом могут производиться расчёты освещения помещений только в критических случаях и/или с целью соответствовать передовым тенденциям развития техники.

Основы проектирования наружного освещения. Освещение автодорог

Коэффициент яркости q точки p дорожного покрытия определяется положением наблюдателя относительно источника света (рис. 34).

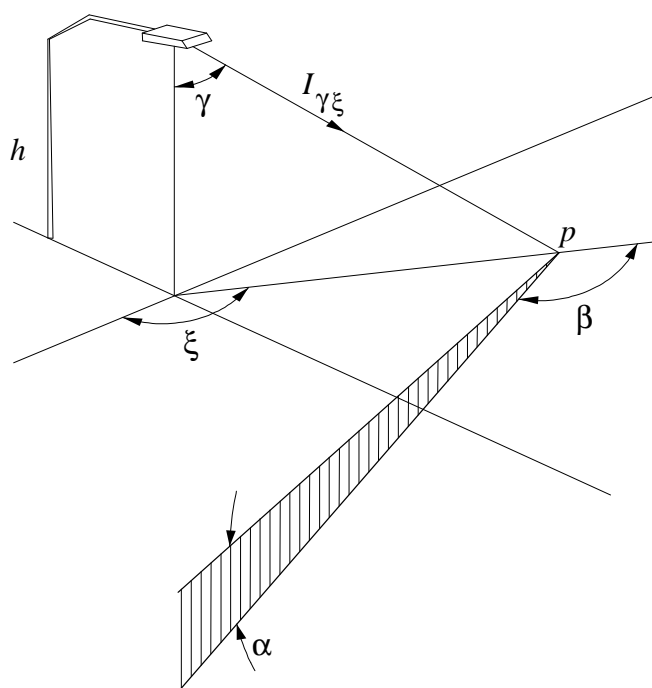


Рис. 34. Схема формирования углов, от которых зависит коэффициент яркости

На рисунке: α – угол наблюдения (к горизонтали); β – угол между плоскостью падения света и плоскостью наблюдения; γ – угол падения света.

Коэффициент яркости рассчитывается как отношение яркости L в точке p к горизонтальной освещённости E в той же самой точке:

$$q = L/E = q(\alpha, \beta, \gamma) \cong q(\beta, \gamma).$$

Яркость определяется следующим выражением:

$$L = qE = \frac{qI \cos^3 \gamma}{h^2} = \frac{rI}{h^2},$$

где $r = q \cos^3 \gamma$ – относительный коэффициент яркости дорожного покрытия, кд/м²/лк; I – сила света светильника в направлении точки p , кд.

Кривая силы света каждого источника света должна быть приведена к координатам “ $\xi - \gamma$ ” (см. рис. 34).

Значения r определяются через коэффициенты отражения (S_1) и поглощения (Q_0):

$$S_1 = \frac{r(0,2)}{r(0,0)}; \quad Q_0 = \left(\frac{1}{\Omega_0} \right) \int_0^{\Omega_0} q d\Omega,$$

где Ω_0 – телесный угол, включающий все направления падения света в точке дорожного покрытия, принимаемые во внимание при усреднении (рис. 35); $r(0, 2)$ – относительный коэффициент яркости для $\beta = 0$ и $\text{tg } \gamma = 2$; $r(0, 0)$ – относительный коэффициент яркости для $\beta = 0$ и $\text{tg } \gamma = 0$.

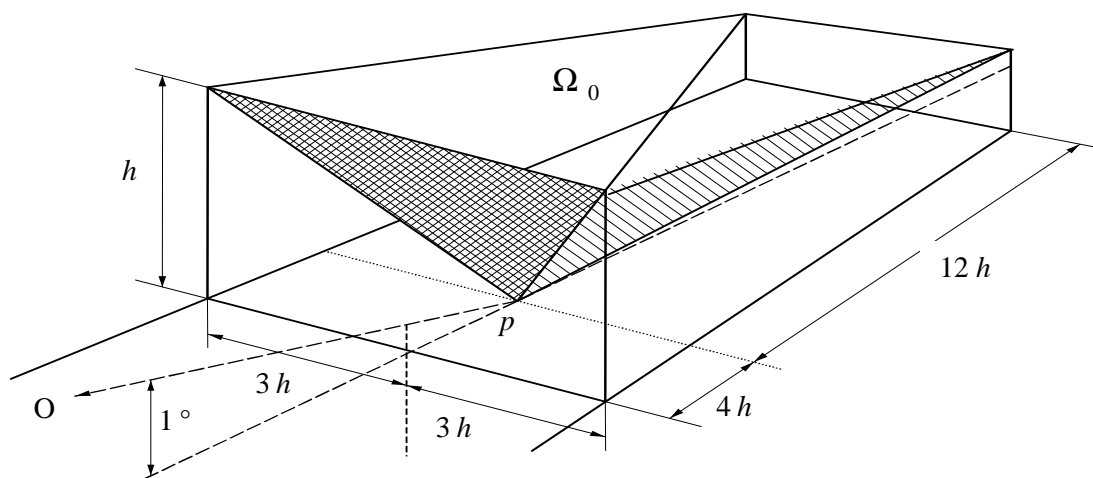


Рис. 35. Телесный угол, принимаемый во внимание при вычислении яркости в точке p

В качестве критериев для оценки визуальной эффективности и визуального комфорта водителя используются общая ($U_o = L_{\min} / L_{\text{ср}}$) и продольная ($U_1 = L_{\min} / L_{\max}$) равномерность освещения. Минимальное значение яркости (L_{\min}) и её среднее значение ($L_{\text{ср}}$) должны быть вычислены согласно схеме на рис. 36. При этом значения L_{\min} и L_{\max} рассматриваются только по оси собственного движения наблюдателя.

Для оценки уровня ослеплённости достаточно рассмотреть вклад только тех источников, которые попадают в поле зрения под углом до 20° относительно горизонтальной плоскости (рис. 37).

Указанные вычисления могут производиться:

- с использованием компьютерных программ, гарантирующих быстродействие и точность;
- с использованием типовых схем, разработанных производителями светильников. Они включают полный набор данных для разных способов применения (тип светильника и источника света; типичный перекрёсток дорог; класс дорог и дорожного покрытия; способ и высота установки; специфическая позиция наблюдателя; характеристики яркости, освещённости и слепимости).

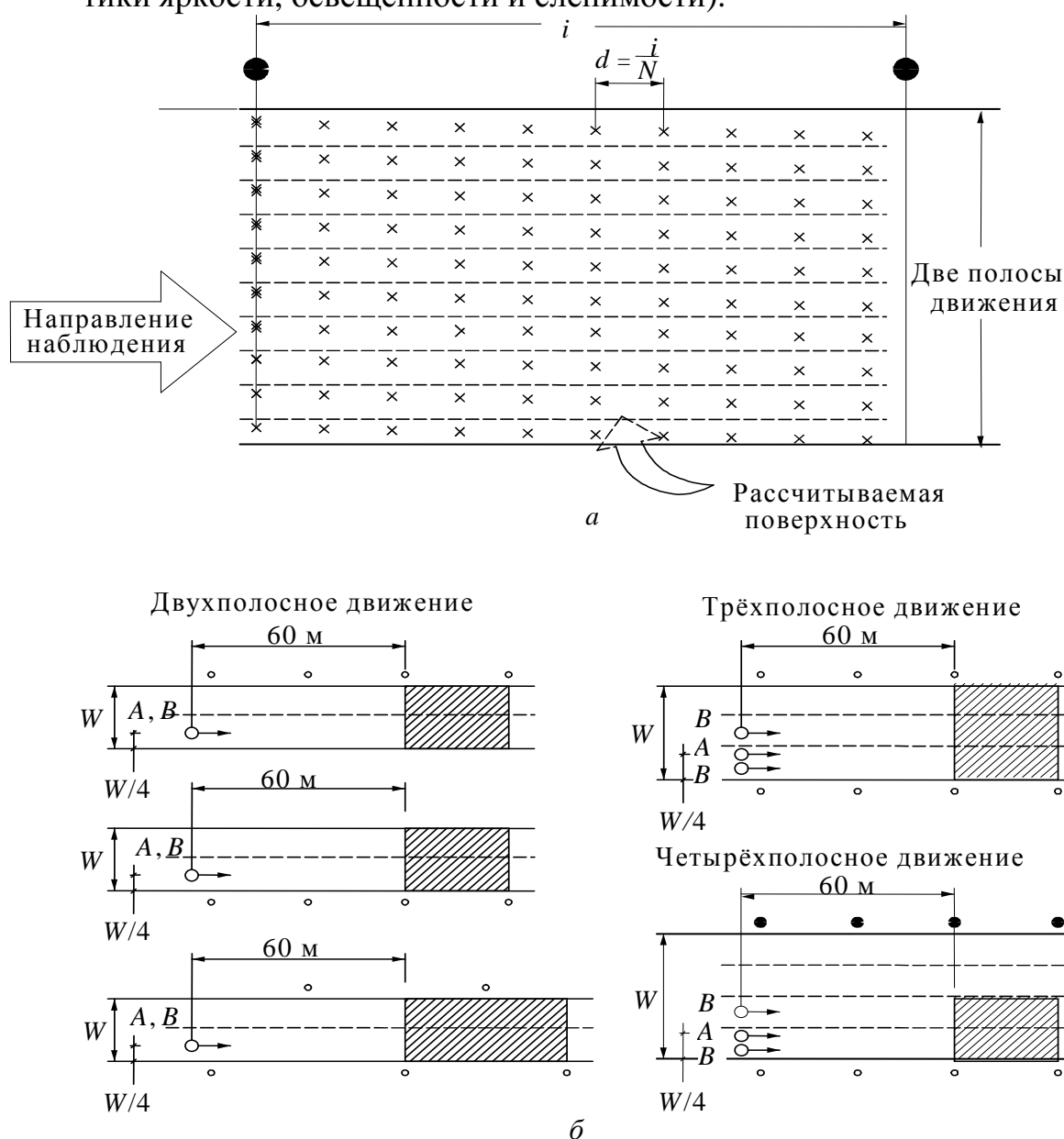


Рис. 36. Схема дороги для расчёта: а – точки вычислений освещённости и яркости; б – позиция наблюдателя ($N = 10$, если $i \leq 50$ м)

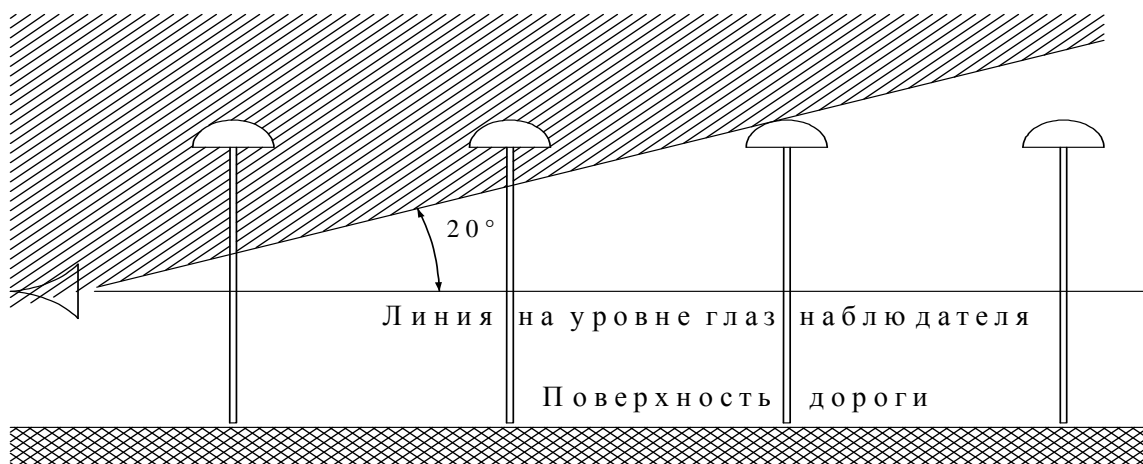


Рис. 37. Источники света, учитываемые при расчёте ослеплённости

Существует много коммерческих программ, позволяющих проектировать дорожное освещение.

В базы данных таких программ включены фотометрические характеристики применяемых светильников и источников света.

Установив требуемые средние значения яркости и освещённости, выбрав класс дороги и дорожного покрытия, можно быстро оптимизировать расположение источников света (т. е. их высоту и расстояния между ними) для любой комбинации светильников и используемых ламп.

Программы позволяют также проверять любой другой качественный показатель, например, показатель дискомфорта (G), неспособность превышения яркостью порога комфорта (TI), удельную энергетическую и экономическую эффективность.

Основные составляющие энергосберегающего эффекта

Вопрос сбережения энергии становится все более актуальным как на государственном уровне, так и на уровне отдельных организаций. Применительно к системам освещения это означает необходимость поиска путей снижения электропотребления при обеспечении требуемого санитарными нормами качества освещения.

Уровень энергопотребления систем освещения определяется, с одной стороны, энергоёмкостью установленного оборудования, а с другой – режимами его эксплуатации, которые задаются пользователями, исходя из производственных и личных интересов и потребностей. Первая составляющая энергопотребления определяется энергоёмкостью осветительных установок – приоритет следует отдавать более современным и менее энергоёмким. Применение ламп накаливания общего назначения для освещения ограничивается Федеральным законом от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ. С 01 января 2011 г. не допускается применение для освещения ламп накаливания общего назначения мощностью 100 Вт и более.

Световая отдача источников света для общего искусственного освещения помещений при минимально допустимых индексах цветопередачи не должна быть меньше значений, приведенных в табл. 13.

Таблица 13

Тип источника света	Световая отдача, лм/Вт, не менее, при минимально допустимых индексах цветопередачи Ra			
	Ra ≥ 80	Ra ≥ 60	Ra ≥ 45	Ra ≥ 25
Дуговые ртутные лампы	–	–	55	–
Компактные люминесцентные лампы	70	–	–	–
Люминесцентные лампы	65	75	–	–
Металлогалогенные лампы	75	90	–	–
Натриевые лампы высокого давления	–	75	–	100
Светодиодные лампы	60	65	–	–
Светодиодные модули	70	80	–	–

Вторая составляющая энергопотребления систем освещения зависит от возможностей регулирования освещения.

При анализе организационно-технических аспектов энергопотребления систем освещения следует рассматривать, по крайней мере, четыре основных составляющих:

- *режимная составляющая*, связанная с возможностью изменения режимов работы осветительного оборудования по времени и величине энергопотребления в заданных периодах суток с целью минимизации расходов на дежурное освещение;
- *технологическая составляющая*, связанная с неэффективным использованием осветительного оборудования (максимальное энергопотребление и повышенная освещённость, не соответствующая классу решаемых зрительных задач) по объективным и субъективным причинам.
- *личностная составляющая*, связанная с возможностью изменения режимов работы осветительного оборудования пользователем в зависимости от специфики выполняемых в данный момент работ и личных потребностей.
- *бесхозная составляющая*, связанная с незаинтересованностью, безразличием людей к энергопотерям разного вида.

В различных учреждениях указанные составляющие энергопотерь имеют разный удельный вес, но в целом могут достигать 15...30 % и более от общего энергопотребления систем освещения.

Выбор стратегии управления освещением

Реализация технологий энергосбережения может опираться на следующие стратегии управления освещением:

1. *Стратегия планового регулирования*. В помещениях с неизменным режимом использования осветительные приборы могут включаться по зара-

нее разработанному графику (коридоры, холлы, читальные залы, столовые, территории внутренних дворов). Такая стратегия может уменьшить расходы на освещение пространства в отсутствие людей. Примером может служить система централизованного автоматического перевода систем освещения здания в ночное время в режим дежурного освещения. Это позволит не только уменьшить прямые потери электроэнергии из-за забывчивости сотрудников, но и сэкономить на установке отдельной системы дежурного освещения.

2. *Стратегия учёта (использования) естественного (дневного) света.* Обычно днем часть пространства помещения вблизи оконных проёмов может освещаться естественным солнечным светом. В этих зонах, регулируя уровень искусственной освещённости в соответствии с изменением яркости дневного света, можно уменьшить расход электроэнергии (рис. 38).

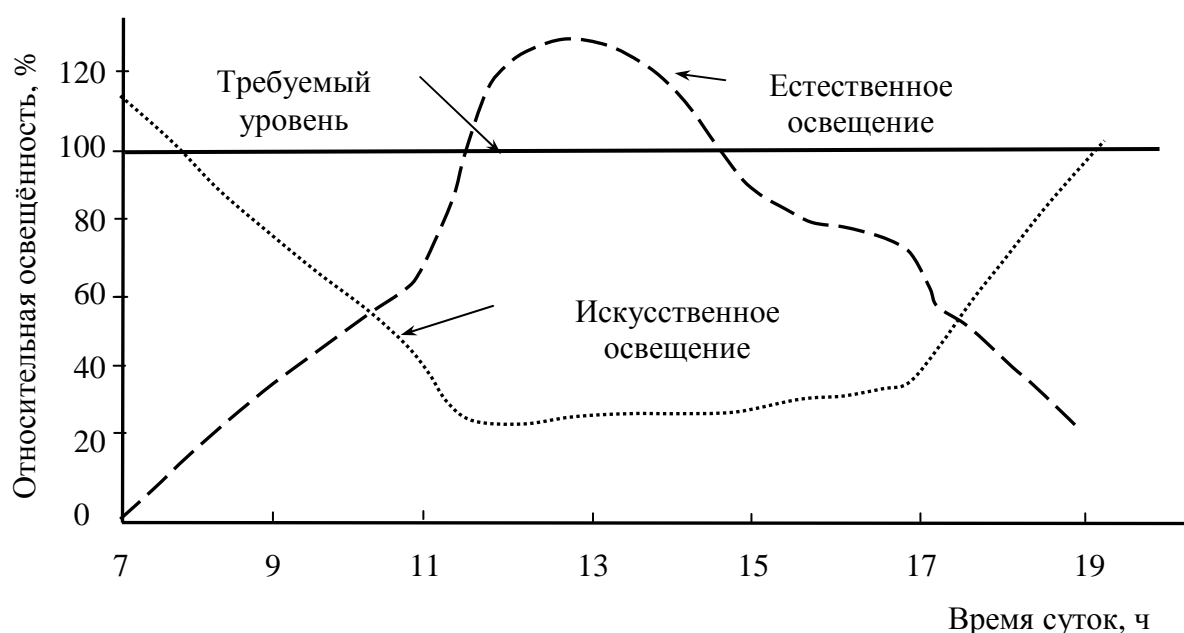


Рис. 38. Стратегия поддержания постоянного уровня освещённости (соответственно изменению естественной освещённости) с использованием управляемых фотоэлементом регуляторов

Экономия электроэнергии за счёт естественного освещения зависит от многих факторов, таких как климатические условия, форма и ориентация окон, дизайн здания. Размер и форма зон управления освещением обычно ограничены резким снижением горизонтальной освещённости при удалении от окон — обычно это полоса вдоль окон глубиной до 4 м. Наибольшая экономия электроэнергии достигается при применении автоматических систем регулирования светового потока светильников в локальных зонах вдоль окон, управляемых фотодатчиками освещённости.

3. *Стратегия непредсказуемого управления.* События эпизодического появления людей во вспомогательных помещениях (архивах, туалетных комнатах, некоторых коридорах) непредсказуемы и непланируемы. Системы автоматического управления с датчиками присутствия в таких условиях могут обеспечить экономию энергии по сравнению с вариантом ручного управле-

ния. Для безопасности и комфорта пользователей освещение в этих местах лучше выполнять тускнеющим, переходящим в режим дежурного освещения, а не выключающимся полностью. Наибольший эффект от такой стратегии управления достигается в помещениях с нелимитированным кругом пользователей, тогда как для служебных помещений с постоянными рабочими местами в большинстве случаев целесообразнее ручное управление.

4. *Стратегия стабилизации светового потока.* Системы освещения обычно проектируются из расчёта поддержания необходимого уровня освещённости с запасом 20...35 % на амортизацию светильников (снижение световой отдачи ламп, загрязнение осветительной арматуры, снижение коэффициента отражения поверхностей помещения). Эта стратегия управления предполагает уменьшение начального светового потока новой системы до установленного минимального уровня. По мере амортизации светильников увеличивается количество энергии, подводимой к лампам, в результате чего поддерживается постоянство их светового потока. Полная мощность подаётся только в конце периода эксплуатации светильника, тем самым снижая израсходованную энергию за срок службы лампы (рис. 39).

5. *Стратегия функционального управления.* Например, административные и учебные помещения часто являются универсальными по применению. При этом при выполнении разных задач возникают разные требования к качеству освещения. В учебных аудиториях или в залах заседаний повышенная освещённость может требоваться для письменных работ или чтения документов, а при демонстрации слайдов освещённость должна быть уменьшена в десять раз или более. Средство управления должно настроить освещение в соответствии с текущей задачей визуальной деятельности человека – необходимый уровень освещённости в помещении должен зависеть от заданного персоналом разряда зрительной работы.

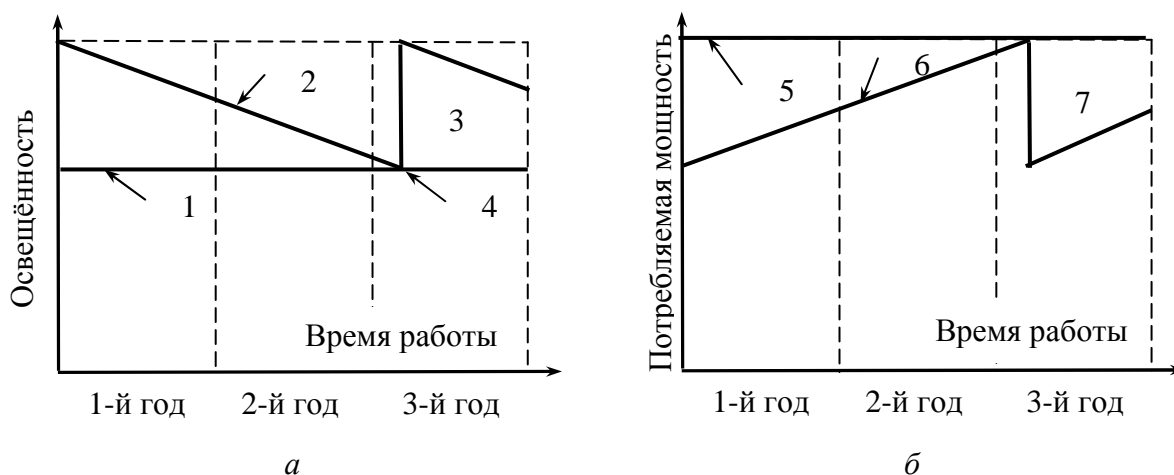


Рис. 39. Стратегия стабилизации светового потока

а – схема изменения светового потока при постоянной мощности; *б* – схема, обеспечивающая экономию энергии путём стабилизации светового потока;

1 – требуемый уровень освещённости; 2 – текущий уровень; 3 – избыток освещённости; 4 – чистка светильника и смена ламп; 5 – максимальная мощность; 6 – текущее значение потребляемой мощности; 7 – экономия энергии

Системы управления, реализующие указанные стратегии управления, различаются по степени автоматизации от ручного управления (настенные выключатели) до высоко автоматизированных. Для сокращения расхода энергии эффективно автоматическое управление, так как оно не связано с человеческой инициативой, но его применение не всегда эффективно по отношению к стоимости и к удобствам пользователей помещений.

Технологии управления освещением

Выбором структуры системы управления определяется выбор аппаратуры, который осуществляется по трём главным направлениям:

- переключение или плавное управление;
- локальный или центральный пульт управления;
- степень автоматизации управления.

Чаще всего практикуется ручное управление освещением. Так как управление зависит от инициативы пользователей, удобство и гибкость переключения очень сильно влияют на эффективность энергосбережения. При проектировании должны учитываться следующие обстоятельства:

- каждое отдельное помещение должно иметь собственный переключатель освещения (с учётом дневного освещения – двухуровневый);
- при использовании многоламповых осветительных арматур, лампы каждого светильника должны быть помещены в разные контуры управления для обеспечения пространственной равномерности освещённости при ступенчатом изменении светового потока;
- зоны пространства, требующие повышенных уровней освещённости, должны управляться отдельными выключателями;
- светильники вблизи окон должны быть объединены в отдельный независимый контур управления.

Таймеры (от простых механических до микропроцессорных, позволяющих программировать последовательность событий на несколько часов вперёд) должны программироваться с некоторым “перерегулированием” на случай отклонений от предварительно устанавливаемого графика. Функция таймера – управлять освещением в ответ на известные или намеченные последовательности событий.

Фоточувствительные элементы обычно содержат электронные компоненты, преобразовывающие световой поток в электрический сигнал. Выходной сигнал может обрабатываться по релейному закону либо обеспечивать непрерывное управление. Система с фоточувствительными элементами и релейным законом управления должна иметь зону нечувствительности. Порог освещённости, при превышении которой выключаются лампы, должен быть выше порога освещённости, ниже которой они включаются. Это предотвратит нестабильность работы системы управления около пороговых

уровней освещённости. Системы, непрерывно изменяющие световой поток в ответ на изменяющийся сигнал фоточувствительного элемента, наиболее эффективны для учёта дневного света и стабилизации светового потока. Фоточувствительный элемент конструктивно может быть интегрирован в осветительную арматуру или установлен отдельно от светильника или группы светильников, работой которых он управляет.

Главная функция *датчиков присутствия* – автоматически выключить освещение, когда в зоне наблюдения нет людей. Появление людей вызывает локальное включение светильников. Присутствие людей может определяться акустическими или оптическими средствами. При выборе типа датчика и места его размещения проектировщик должен гарантировать, что все важные движения в пределах контролируемой зоны будут обнаружены, а ложные сигналы (в ответ на движение неодушевлённых объектов внутри зоны или людей вне зоны) – исключены.

Центральные процессоры выполняют операции сбора информации, рассчитывают управляющее воздействие и передают команды исполнительным органам. Наиболее сложные процессоры могут формировать несколько различных режимов работы освещения, собирать информацию о потреблении энергии, передавать итоговые сообщения для составления счетов арендатора и домоуправления. Порядок работы всех процессоров в принципе однотипен – с датчиков собираются информационные сигналы, данные анализируются в соответствии с predetermined сводом правил, команды на изменение режимов работы осветительных приборов вырабатываются самим процессором. Процессоры могут управлять ступенчатым или плавным изменением светового потока светильников, а кроме того могут реагировать на ручное управление, автоматически изменять режимы освещения в зависимости от времени суток или от условий освещённости.

Заключение

Таким образом, оптическое излучение, и в частности свет, является тем физическим полем, которое обычно несёт для человека наибольший объём информации и может воздействовать на него как весьма благоприятно (поднимать его настроение, повышать производительность), так и неблагоприятно (приводить к утомлению, вредно воздействовать на органы зрения).

Для обеспечения комфортных условий труда и удовлетворения требованиям безопасности и безвредности применительно к зрительным работам, выполняемых человеком в процессе своей деятельности, желательно учитывать не только требования действующих в РФ нормативных документов, но и ориентироваться на качественные показатели освещения, действующие в развитых странах мира.

При проектировании систем света необходимо правильно выбрать источники света с учётом их основных характеристик и предложить оптимальную систему освещения. Причём оценочное проектирование (определение ориентировочного количества элементов системы освещения) можно провести методом удельной мощности. Итоговое же проектирование (выбор оптимальной по конфигурации системы освещения и определение лучшего расположения отдельных её элементов) целесообразно осуществлять точным точечным методом с использованием ПЭВМ и современных пакетов программ проектирования, учитывающих переотражения светового потока от освещаемых поверхностей, в том числе и от элементов обстановки. Важным элементом в принятии окончательного решения по осветительной системе является также экономия электроэнергии за счёт учёта различных факторов.

Список рекомендуемой литературы

СП 52.13330.2011 Свод правил. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*. Ввод в действие 20.05.2011 / ОАО ЦПП, М., 2011.

Вейнерд Д. Светодиодное освещение: Справочник/ Philips Solid-State Lighting Solution, 2010.

Кнорринг Г. М., Фадин И. М., Сидоров В. Н. Справочная книга по проектированию электрического освещения. 2-е изд., перераб. и доп. СПб.: Энергоатомиздат, 1992.

Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю. Б. Айзенберга. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Знак, 2006.

Энциклопедия по безопасности и гигиене труда / Пер. с англ. М.: Профиздат, 1986.

Буканин Владимир Анатольевич,
Павлов Владимир Николаевич,
Трусов Александр Олегович

Безопасные и эффективные системы освещения

Электронное учебное пособие

Подписано в печать 07.11.13. Формат 60×84 1/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Печ. л. 5,25.

Гарнитура “Times New Roman”. Тираж 100 экз. Заказ 240.

Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
197376, С.-Петербург, ул. Проф. Попова, 5