

**С. В. КУДАШЕВ, Е. Э. НЕФЕДЬЕВА
Г. А. СЕВРЮКОВА, Т. И. ДАНИЛЕНКО
В. Ф. ЖЕЛТОБРЮХОВ**

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

С. В. Кудашев, Е. Э. Нефедьева, Г. А. Севрюкова,
Т. И. Даниленко, В. Ф. Желтобрюхов

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Учебное пособие

Под редакцией заслуженного эколога Российской Федерации
В. Ф. Желтобрюхова

Допущено Учебно-методическим объединением вузов Российской Федерации по университетскому образованию в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 230100.62 «Информатика и вычислительная техника»



Волгоград
2015

Рецензенты:

кафедра «Безопасность жизнедеятельности в техносфере»
Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета,
зав. кафедрой д-р техн. наук профессор *В. Н. Азаров*;

доцент кафедры «Безопасность жизнедеятельности и методика преподавания
безопасности жизнедеятельности» Волгоградского государственного
социально-педагогического университета *Ю. Н. Кондауров*

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Волгоградского государственного технического университета

Кудашев, С. В.

Теоретические основы и светотехнические расчеты производственного освещения : учеб. пособие / С. В. Кудашев, Е. Э. Нефедьева, Г. А. Севрюкова, Т. И. Даниленко, В. Ф. Желтобрюхов; под ред. В. Ф. Желтобрюхова; ВолгГТУ. – Волгоград, 2015. – 120 с.

ISBN 978–5–9948–1706–3

В учебном пособии системно рассмотрены теоретические основы организации производственного освещения. Освящены вопросы, связанные с нормированием и светотехническими расчетами естественного и искусственного освещения. Особое внимание уделено гигиеническим аспектам световой среды в помещениях, оборудованных персональными электронно-вычислительными машинами, а также физиологическим основам зрительного восприятия.

Предназначено для студентов направлений подготовки 09.03.01 (230100.62) «Информатика и вычислительная техника» и 280700 «Техносферная безопасность» при изучении дисциплины «Безопасность жизнедеятельности». Может быть использовано при выполнении семестровых и курсовых работ, в дипломном проектировании, а также для самостоятельной работы студентов.

Ил. 22. Табл. 42. Библиогр.: 24 назв.

ISBN 978–5–9948–1706–3

© Волгоградский государственный
технический университет, 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
Глава 1. Физиологические основы зрительного восприятия.....	7
Глава 2. Основные светотехнические величины.....	16
Глава 3. Классификация производственного освещения.....	23
Глава 4. Виды источников искусственного освещения.....	28
Глава 5. Функции и типы электрических светильников.....	41
Глава 6. Цветовое оформление производственных помещений и средства индивидуальной защиты органов зрения.....	53
Глава 7. Приборы для контроля производственного освещения.....	55
Глава 8. Нормирование производственного освещения.....	59
Глава 9. Гигиенические требования к освещению рабочих мест пользователей компьютерной техники.....	74
Глава 10. Светотехнический расчет производственного освещения.....	81
Вопросы и задания для самоконтроля.....	96
Рекомендуемый библиографический список.....	99
Приложение Справочные таблицы для расчета производственного освещения.....	100

ВВЕДЕНИЕ

Производственное освещение – это комплекс взаимосвязанных условий и параметров, характеризующий возможности зрительного восприятия человеком окружающего мира и оказывающий влияние на уровень безопасности труда. Правильно спроектированное и рационально размещенное освещение производственных помещений способствует повышению безопасности, работоспособности и производительности труда путем снижения утомляемости, расстройства нервной системы, аварий и травматизма работающих. Низкая освещенность может оказаться причиной ухудшения зрения (перенапряжение глаз, развитие близорукости), привести к нарушению координации движения и, как следствие, к несчастному случаю. Повышенная освещенность (слепящий эффект) также оказывает неблагоприятное влияние на зрение (фотоожоги глаз, кератиты и катаракты) и психофизиологическое состояние человека.

Производственное освещение выполняет важную психофизиологическую функцию, способствуя появлению благоприятного эмоционального состояния у человека, воздействует на обмен веществ, нервно-психическую и сердечно-сосудистую систему. Важно, что неправильная эксплуатация производственного освещения (осветительных установок) может привести к пожару, взрыву и повлечь за собой несчастные случаи (в особенности при эксплуатации в пожаро- и взрывоопасных цехах). Указанные выше обстоятельства особенно важны при проектировании комфортного жизненного пространства для человека-пользователя компьютерной техники, что достигается соблюдением нормативных требований и компоновочных решений при создании оптимальной световой среды в помещении.

Предлагаемое учебное пособие рассматривает вопросы организации производственного освещения и его гигиеническое нормирование с учетом физиолого-гигиенических основ зрительного восприятия. Термины и определения приводятся в соответствии с действующими нормами и правилами в светотехнике.

Настоящее издание ориентировано, прежде всего, на студентов направления подготовки 09.03.01 (230100.62) «Информатика и вычислительная техника» с учетом специфики технического вуза. Для усвоения материала настоящего учебного пособия студенту необходимы знания, полученные при изучении дисциплин математического, естественнонаучного и профессионального циклов в соответствии с учебным планом: «Экология», «Информатика», «Физика» и «Электротехника».

При изложении основ организации производственного освещения авторы ориентировались на Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования (уровень высшего образования: бакалавриат; направление подготовки: 09.03.01 (230100.62) «Информатика и вычислительная техника»; квалификации: академический бакалавр, прикладной бакалавр) и примерную программу дисциплины «Безопасность жизнедеятельности» для бакалавриата и специалитета, рекомендованную Министерством образования и науки Российской Федерации, а также на многолетний научно-педагогический опыт кафедры «Промышленная экология и безопасность жизнедеятельности» Волгоградского государственного технического университета.

Изучение теоретических основ производственного освещения и освоение соответствующих светотехнических расчетов подразумевает комплексный подход, основанный на непосредственной взаимосвязи лекционного курса, лабораторно-практических занятий (включают приобретение инструментальных компетенций и практических навыков в измерении, оценке и нормировании освещения и световой среды в помещениях, оборудованных компьютерной техникой) и организованной самостоятельной работы (решение расчетных и практико-ориентированных светотехнических задач) студентов направления подготовки 09.03.01 (230100.62) «Информатика и вычислительная техника», что в конечном итоге способствует заложению мотивационных, теоретических и деятельностных основ у будущего бакалавра.

Предлагаемые подходы, изложенные в данном учебном пособии, позволяют сформировать у учащихся представление о неразрывной связи профессиональной деятельности человека с требованиями, предъявляемыми к организации освещения производствен-

ных помещений, оборудованных компьютерной техникой. Реализация этих требований гарантирует сохранение работоспособности и здоровья человека, готовит его к эффективным действиям в производственных условиях.

Важно отметить, что настоящее издание не может претендовать на полный и безусловный охват темы, связанной с особенностями организации производственного освещения и светотехническими расчетами, но дает хорошее представление о состоянии затронутых вопросов на современном этапе развития науки и техники. Извлечения из нормативно-технических документов в пособии приводятся лишь в пояснительных целях.

Авторы с интересом и благодарностью примут все критические замечания и пожелания.

Глава 1.

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЗРИТЕЛЬНОГО ВОСПРИЯТИЯ

Организм человека постоянно получает информацию о характеристиках внешней окружающей среды и внутренних системах организма. Физиологические аппараты, обеспечивающие прием и первичный анализ информационных сигналов, называются *анализаторами*. Информация, поступающая через анализаторы, называется *сенсорной*, а системы, осуществляющие ее прием и первичную обработку – *сенсорными системами*.

Центральным отделом зрительного анализатора являются подкорковые центры и высшие зрительные центры в затылочных долях коры больших полушарий. *Периферический* отдел анализатора представлен рецепторами, воспринимающими внешние и внутренние раздражения. Рецепторы снабжены вспомогательными структурами, обеспечивающими оптимальное восприятие действующего раздражителя. Например, периферическим отделом зрительного анализатора является глаз, имеющий ряд образований (оптическую систему, фоторецепторы, защитные системы), способствующих наилучшему восприятию светового раздражителя. *Проводниковый* отдел представлен проводящими нервными путями, соединяющими рецепторы с соответствующими зонами мозга.

Более 80 % осознаваемой информации об окружающем мире человек получает через зрительную систему. *Зрительная система* представляет собой совокупность защитных, оптических, рецепторных и нервных структур, воспринимающих и анализирующих световые раздражители. С физических позиций свет – это электромагнитные волны в интервале частот, воспринимаемых человеческим глазом. Основные функциональные элементы органа зрения следующие (рис. 1):

– *световоспринимающий аппарат* (фоторецепторы) обеспечивает восприятие квантов света, кодирование поступающей инфор-

мации и передачу ее по чувствительным путям зрительного нерва в центральную нервную систему;

– *оптическая система* (слезная жидкость, роговица, водянистая влага, хрусталик, стекловидное тело) обеспечивает фокусирование световых лучей на сетчатке и формирование в области ее центральной ямки перевернутого, уменьшенного изображения рассматриваемых зрительных объектов;

– *глазодвигательный аппарат* (наружные и внутренние мышцы глаза) обеспечивает необходимые для зрения фиксацию, поворот глаз и установку зрительных осей, а также аккомодацию зрения;

– *защитно-вспомогательные органы* (веки, ресницы, слезный аппарат) обеспечивает увлажнение и питание роговицы, защиту глаз;

– *система жизнеобеспечения структур глаза* (кровообращение, выработка внутриглазной и слезной жидкостей).

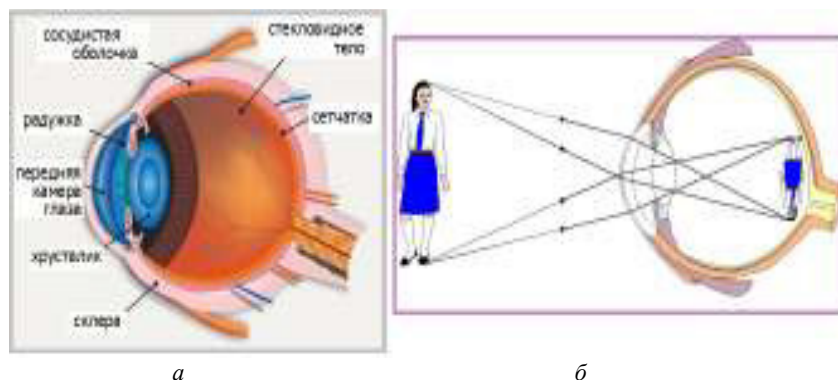


Рис. 1. Структура глаза (а) и формирование изображения на сетчатке (б)

Рецепторный отдел зрительного анализатора состоит из фоторецепторов трех типов:

1. Колбочки функционируют в условиях яркой освещенности и характеризуются разной чувствительностью к спектральным свойствам света. В каждом из трех типов колбочек содержится по одному из пигментов – сине-голубому (диапазон поглощения 390–550 нм), зеленому (440–650 нм) и красному (500–760 нм). Аномалии, связанные с отсутствием колбочек, сопровождаются моно- или ахромазией (полная цветовая слепота), а недостаток одного из видов колбочек –

частичной цветовой слепотой. Протанопия (дальтонизм) – слепота на красный цвет, дейтеранопия – не восприятие зеленого цвета, тританопия – цветовая слепота на фиолетовый цвет и дефектное зрение на синий и желтый.

Основные функции колбочек: обеспечение центрального зрения в условиях хорошей освещенности, остроты зрения, цветовосприятия (цветовое – хроматическое зрение).

2. Палочки содержат пигмент родопсин («зрительный пурпур»), поглощающий электромагнитное излучение в диапазоне от 400–620 нм. Основные функции палочек: обеспечение периферического и сумеречного зрения в условиях слабой освещенности, черно-белого или ахроматического зрения, восприятия движений.

Эти два типа фоторецепторов расположены в рецепторном слое сетчатки глаза перпендикулярно к направлению светового луча (рис. 2).

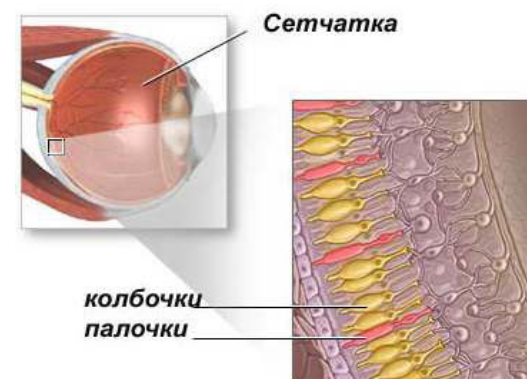


Рис. 2. Фоторецепторы органа зрения: колбочки и палочки

3. Меланопсинсодержащие ганглиозные клетки сетчатки (МГКС). Исследования последнего десятилетия доказали участие МГКС в формировании зрительного образа. Эти клетки были открыты в 2000 году и, как определили ученые, вовлечены в нервные реакции, такие как рефлекторное сужение зрачка на свет и регуляция цикла «сон – бодрствование».

Зрительный анализатор обеспечивает поступление информации в мозг об окружающем мире благодаря своим свойствам: с в е т о -

восприятия – способности воспринимать действие световых волн как специфического раздражителя и приспосабливаться к восприятию окружающего пространства при различных уровнях освещенности и контраста; цветовосприятия – способности дифференцировать световые электромагнитные волны по их длине.

На основе анализа световых сигналов зрительный анализатор обеспечивает центральное предметное зрение (различие формы, деталей, величины предметов), периферическое зрение (восприятие части пространства вокруг фиксированной точки), стереоскопическое зрение (восприятие объема, расстояния между объектами, между наблюдателем и объектами) и динамическое зрение (восприятие деталей объектов при их движении относительно друг друга и/или относительно наблюдателя).

Важнейшими медико-биологическими понятиями, характеризующими возможности зрительного восприятия организма, являются адаптация, аккомодация и конвергенция.

Адаптация – это процесс приспособления функций организма человека и его органов (в данном случае зрительного анализатора) к условиям окружающей среды.

Аккомодация представляет собой процесс приспособления глаза к ясному видению предметов, находящихся на различных расстояниях, что осуществляется изменением преломляющей силы его оптической системы, ведущим к фокусировке изображения на сетчатке.

Конвергенция – поворот осей зрения обоих глаз так, чтобы они пересекались на рассматриваемом объекте.

К основным показателям, характеризующим зрение как физиологический акт, относятся:

- 1) диапазон воспринимаемых частот или длин волн света;
- 2) диапазон интенсивностей световых волн от порога восприятия до болевого порога;
- 3) пространственная разрешающая способность (острота зрения);
- 4) временная разрешающая способность (время суммации и критическая частота мельканий);
- 5) порог чувствительности и адаптация;
- 6) способность к восприятию цветов;
- 7) способность к восприятию глубины (стереоскопия).

Свет как электромагнитное излучение с различными длинами волн характеризуется частотой и интенсивностью. Воспринимаемая частота (величина обратная длине волны) определяет окраску света (табл. 1).

Таблица 1

Психофизические эквиваленты частоты света

Длина волны, нм	Психологический коррелят
400	Фиолетовый
450	Синий
500	Зеленый
550	Желто-зеленый
600	Оранжевый
700	Красный

Интенсивность или яркость имеет диапазон от порога восприятия до болевого порога (160 дБ) (табл. 2).

Таблица 2

Психофизические эквиваленты интенсивности света

Интенсивность, дБ	Психологический коррелят
200	–
180	–
160	Болевой порог
140	Солнечный свет
120	–
100	–
80	Белая бумага при свете настольной лампы
60	Экран телевизора
40	Наименьшее освещение, при котором различимы цвета
20	Пороговая освещенность для темно-адаптированного глаза

Децибел (дБ) – логарифмическая единица уровней, затуханий и усиления, применяемая для измерения отношения некоторых величин, такая же, как кратность или проценты, причем к полученному отношению применяется логарифмический масштаб. Величина, выраженная в децибелах, численно равна десятичному логарифму безразмерного отношения физической величины к одноименной

физической величине, принимаемой за исходную, умноженному на десять: $A_{дБ} = 10\lg(A/A_0)$, где $A_{дБ}$ – величина в дБ; A – измеренная физическая величина; A_0 – величина, принятая за базис.

Воспринимаемая человеком яркость объекта зависит не только от интенсивности, но и от окружающего его фона. Если фигура (зрительный стимул) и фон находятся в одинаковых условиях освещения, то между ними нет контраста.

На рис. 3 представлены кривые относительной спектральной эффективности излучения для дневного – $V(\lambda)$ и ночного – $V'(\lambda)$ зрения. Как видно, указанные кривые имеют выраженные максимумы $\lambda = 555$ нм (для колбочек, дневное зрение) и $\lambda = 515$ нм (для палочек, ночное зрение).

Пространственная разрешающая способность (*острота зрения*) – это минимальное различимое глазом угловое расстояние между двумя объектами (точками). Принято, что человеческий глаз с остротой зрения, равной единице, различает две точки, угловое расстояние между которыми равно одной угловой минуте или $1'' = 1/60$ на расстоянии, например, 5 м. Откуда острота зрения прямо пропорциональна расстоянию просмотра. Острота зрения определяется с помощью специальной таблицы Головина–Сивцева, состоящей из букв или колец Ландольта.

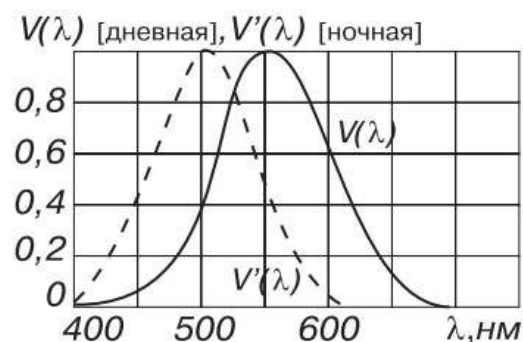


Рис. 3. Кривые спектральной чувствительности

Острота зрения зависит от общей освещенности окружающих предметов. При дневном свете она максимальна, в сумерках и темноте острота зрения падает. Процесс регенерации светочувстви-

тельного вещества происходит в палочках существенно медленнее, чем в колбочках. При этом палочки, в отличие от колбочек, вообще не различают цветов.

Время суммации и критическая частота мельканий – это временные характеристики зрения. Зрительная система характеризуется *инерционностью* – это время, требующееся для развития химических процессов в рецепторах. Чем короче зрительный стимул, тем большую интенсивность он должен иметь, чтобы вызвать зрительное ощущение.

Зависимость пороговой интенсивности света от длительности его воздействия называется *временной суммацией*. Этот показатель используется для оценки функции зрительной системы. Частота вспышек, при которой ряд последовательных вспышек воспринимается как непрерывный свет, называется *критической частотой мельканий* (КЧСМ).

Процесс суммации обеспечивает плавное слияние последовательных изображений в непрерывный поток зрительных впечатлений. КЧСМ при средней интенсивности света составляет 16–20 в 1 с. Чем выше интенсивность световых вспышек, тем выше КЧСМ.

Порог световой чувствительности – это наименьшая интенсивность света, которую способен увидеть человек. Она составляет 10^{-10} эрг/с. На величину порога влияет процесс адаптации или изменения чувствительности зрительной системы в зависимости от исходной освещенности (яркости фона) (рис. 4, а).

При низкой интенсивности света в окружающей среде примерно за 30 мин развивается темновая адаптация зрительной системы, которая увеличивает чувствительность зрения. При высокой освещенности окружающей среды за 15–60 с происходит световая адаптация. Время темновой и световой адаптации обусловлено скоростью химических процессов распада и синтеза пигментов сетчатки (рис. 4, б).

Порог различия (закон Э. Вебера) – минимальное изменение силы действующего раздражителя (света), воспринимаемое субъективно в виде изменения интенсивности ощущения, в частности, применительно к зрительному анализатору это интенсивности светового потока. При этом отношение прироста силы раздражения (ΔI) к силе действующего раздражителя (I) есть величина постоянная: $\Delta I/I = \text{const}$.

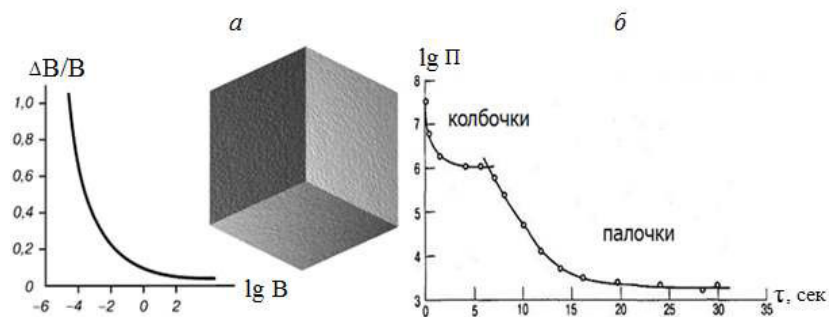


Рис. 4. Зависимости дифференциального порога ($\Delta B/B$) зрения от логарифма яркости фона ($\lg B$) (а) и логарифма интенсивности порога ($\lg \Pi$) от времени темновой адаптации (τ) (ход темновой адаптации) (б)

Интенсивность ощущений также может быть критерием чувствительности сенсорной системы, поскольку интенсивность ощущения, возникающего при одной и той же силе раздражителя, зависит от возбудимости самого анализатора на всех ее уровнях. Интенсивность ощущения прямо пропорциональна логарифму силы раздражения (закон Г. Фехнера). Это положение выражается формулой:

$$E = a \log I + b, \quad (1)$$

где E – интенсивность ощущений; a и b – константы, различные для разных анализаторов; I – сила действующего раздражителя.

При оценке работы зрительного анализатора равные приращения яркости воспринимаются одинаковыми не по своему абсолютному значению, а по их отношению к исходному уровню яркости.

Следует заметить, что в условиях очень яркого или, наоборот, чрезмерно слабого освещения наблюдаются отклонения от законов Э. Вебера и Г. Фехнера. При очень большой яркости освещения, например, под прямыми лучами солнца, большинство предметов (особенно светлых) кажутся фактически одинаково светлыми. Эти предметы также кажутся плоскими, так как тени, которыми передается рельеф, в условиях яркого освещения мало заметны. При очень слабом освещении все предметы (особенно наиболее темные из них) кажутся почти одинаковыми по цвету и лишены деталей, ввиду чего объемные формы становятся плохо различимыми.

Восприятие света зрительным анализатором зависит от его длины волны. Однако белый свет содержит все длины световых волн. Ощущение любого цвета, возникает в результате смешения семи чистых тонов спектра, которые образуются из трех основных чистых цветов (тонов) красного (700 нм), зеленого (546 нм) и синего (435 нм).

Цветовое (хроматическое) зрение – способность зрительного анализатора дифференцировать электромагнитные световые волны по их длине с формированием ощущения цвета. Каждый цвет имеет три характеристики – тон, насыщенность и яркость.

Цветовой тон определяется длиной волны чистого спектрального цвета, с которым схож рассматриваемый цвет, *насыщенность* обеспечивается содержанием в нем чистого тона, а *яркость* зависит от примеси белого цвета.

Ощущение цвета связано с освещенностью. По мере ее уменьшения, прежде всего, перестают различаться красные цвета, позднее всего – синие и фиолетовые. Следует отметить, что наряду со световой и темновой адаптацией существует и цветовая адаптация, наиболее выраженная при действии света в диапазоне сине-фиолетовых волн.

Зрительный образ создается при участии обоих глаз (*бинокулярное зрение*). При этом объединяются два монокулярных изображения объектов, усиливая впечатление глубины. Поскольку глаза расположены в разных «точках» головы справа и слева, то в изображениях, фиксируемых разными глазами, имеются небольшие геометрические различия (*диспаратность*), которые тем больше, чем ближе находится рассматриваемый объект.

Диспаратность двух изображений лежит в основе стереоскопии, т. е. восприятия глубины. Диспаратность уменьшается с увеличением расстояния между глазами и объектом. Поэтому при рассмотрении на больших расстояниях глубина изображения не воспринимается.

Свет (видимое излучение) – это электромагнитные волны с длиной волны $\lambda = 380\text{--}760$ нм, воспринимаемые человеческим глазом. Как было показано в главе 1, *ощущение зрения* наиболее чувствительно к видимому излучению с длиной волны $\lambda \approx 555$ нм (желто-зеленый цвет).

Светотехнические величины (единицы) – это показатели освещения, основанные на оценке ощущений, которые непосредственно возникают от воздействия света на глаза человека. Различают количественные и качественные светотехнические величины. Рассмотрение основных показателей производственного освещения основано на понятии *лучистого потока* (Φ), представляющего собой мощность лучистой энергии электромагнитного излучения в оптическом диапазоне длин волн. Единицей измерения лучистого потока является Ватт (Вт). Проектирование системы производственного освещения невозможно без знания основ фотометрии.

Фотометрия – раздел оптики, изучающий вопросы измерения интенсивности света и его источников. В фотометрии используются *энергетические* (поток излучения, энергетическая светимость (излучательность), энергетическая сила света (сила излучения), энергетическая яркость (лучистость) и энергетическая освещенность (облученность)) и *светотехнические* величины.

К количественным светотехническим величинам (определяют достаточность освещения) относят световой поток, силу света, освещенность, яркость и коэффициент отражения, а к качественным показателям (характеризуют условия видения объекта различения, т. е. комфортность зрения) – фон, контраст объекта с фоном, объект различения, блескость, показатель ослепленности, коэффициент пульсации освещенности, видимость и спектральный состав света (табл. 3).

Таблица 3

Количественные и качественные светотехнические показатели

Наименование светотехнической величины	Единица измерения	Характеристика	Расчетная формула
Количественные показатели			
Световой поток (F)	Люмен (лм)	Мощность лучистой энергии, вызывающая цветовое ощущение, воспринимаемое человеческим глазом. $v(\lambda)$ – относительная спектральная световая эффективность (относительная видимость); $F_{e\lambda}(\lambda)$ – функция спектральной плотности потока излучения; $K_{\max}$ – спектральная световая эффективность (683 лм/Вт)	$F = K_{\max} \int_{380}^{760} F_{e\lambda}(\lambda) v(\lambda) d\lambda. (2)$
Сила света (I)	Кандела (кд)	Пространственная плотность светового потока, равная отношению светового потока к элементарному телесному углу (ω), в котором он излучается	$I = \frac{dF}{d\omega}. (3)$
Освещенность (E)	Люкс (лк)	Плотность светового потока на освещаемой поверхности, представляющая собой отношение светового потока, равномерно падающего на поверхность, к ее площади (S)	$E = \frac{dF}{dS}. (4)$
Яркость (B)	кд/м ²	Поток, посылаемый в данном направлении единицей видимой поверхности в единичном телесном угле (отношение силы света в данном направлении (I_a) к площади проекции (S) излучающей поверхности на плоскость, перпендикулярную к данному направлению). α – меридиональный угол, т. е. угол между данным направлением и вертикалью	$B = \frac{d^2F}{d\omega dS \cos \alpha} = \frac{dI_a}{dS \cos \alpha}. (5)$
Коэффициент отражения (ρ)	%	Способность поверхности отражать падающий на нее световой поток и определяемая как отношение отраженного от поверхности светового потока ($F_{отр}$) к падающему на нее световому потоку ($F_{пад}$)	$\rho = \frac{F_{отр}}{F_{пад}} \cdot 100 \% . (6)$

Наименование светотехнической величины	Единица измерения	Характеристика	Расчетная формула
Качественные показатели			
Фон	Светлый Средний Темный	Поверхность, непосредственно прилегающая к объекту различения, на которой он рассматривается	—
Наименьший размер объект различения	мм	Рассматриваемый предмет, отдельная его часть или дефект (точка, линия, знак, риска, трещина), которые требуется различать в процессе работы	—
Контраст объекта с фоном (K)	Малый Средний Большой	Характеризуется соотношением абсолютной величины яркостей рассматриваемого объекта ($B_{об}$) и фона ($B_{ф}$)	$K = \frac{ B_{об} - B_{ф} }{B_{ф}} \cdot (7)$
Коэффициент пульсации освещенности (K_n)	%	Критерий оценки относительной глубины колебаний освещенности в результате изменения во времени светового потока источников света в осветительной установке при питании их переменным током. E_{max} и E_{min} – соответственно максимальное и минимальное значения освещенности за период ее колебания, лк; E_{cp} – среднее значение освещенности за этот же период, лк	$K_n = \frac{E_{max} - E_{min}}{2E_{cp}} \cdot 100 \% \cdot (8)$
Видимость (V)	—	Величина, комплексно характеризующая зрительные условия работы, т. е. способность глаза воспринимать объект и определяемая числом пороговых контрастов ($K_{пор}$), содержащихся в действительном контрасте (K_d)	$V = \frac{K_d}{K_{пор}} \cdot (9)$
Показатель ослепленности (P)	—	Критерий оценки слепящего действия источников света (осветительной установки). При оценке P учитывается видимость объекта различения при отсутствии (V_1) и наличии (V_2) слепящих источников света в поле зрения	$P = 1000 \left(\frac{V_1}{V_2} - 1 \right) \cdot (10)$
Блескость	—	Повышенная яркость светящихся поверхностей, вызывающая ухудшение видимости объектов	—

Графическая интерпретация некоторых светотехнических величин показана на рис. 5.

Световой поток – это физическая и физиологическая величина, непосредственно связанная со зрительным восприятием света. Отношение светового потока, отражаемого или пропускаемого поверхностью, к ее площади называется светимостью.

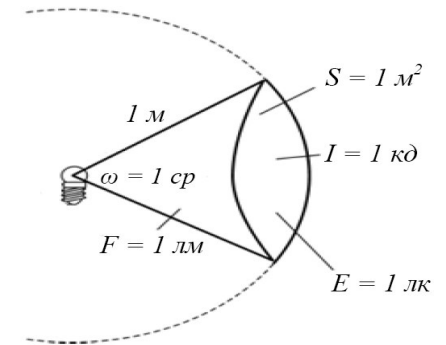


Рис. 5. К определению светотехнических величин

Неравномерность излучения светового потока в пространство от источников света оценивается *силой света*, оценка которой включает величину телесного угла. О распределении силы света в пространстве подробно сказано в главе 4.

Телесный угол (ω) – это некоторая часть пространства (ξ), которая является объединением всех лучей, выходящих из данной точки (вершины угла) и пересекающих некоторую поверхность (поверхность, стягивающая данный телесный угол) (рис. 6). Телесный угол представляет собой отношение площади (S) той части сферы с центром в вершине угла, которая вырезается этим телесным углом, к квадрату радиуса сферы (R):

$$d\omega = \frac{dS \cos \alpha}{R^2}, \quad (11)$$

где α – угол, образованный между световым лучом и перпендикуляром к площади dS .

Единицей измерения телесного угла в системе СИ является стерadian (ср). Полная сфера образует полный телесный угол, равный 4π ср.

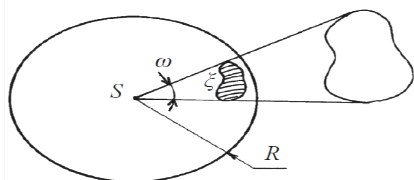


Рис. 6. Телесный угол

1 кд – это сила света источника, испускающего световой поток 1 лм в пространстве с телесным углом в 1 ср. Тогда сила света точечного источника с учетом полного телесного угла вокруг точки (4π ср) будет иметь вид:

$$I = \frac{F}{4\pi} . \quad (12)$$

При рассмотрении физических характеристик световой среды вводится понятие *спектральная световая эффективность (видимость)*, максимальное значение при соответствующей длине волны $\lambda \approx 555$ нм составляет $K_{\max} = 683$ лм/Вт. Также для количественной оценки световой среды используется величина *освещенности*. Физический смысл единицы измерения освещенности заключается в том, что 1 лк – это уровень освещенности поверхности площадью 1 м^2 , на которую падает, равномерно распределяясь, световой поток в 1 лм. Таким образом, $1 \text{ лк} = 1 \text{ лм} / 1 \text{ м}^2$.

Освещенность поверхности не зависит от ее свойств (формы, цвета и светлоты). Одинаковый по величине световой поток создает равную освещенность на светлой и темной поверхностях при равенстве их площадей.

Необходимость в показателе K_n (формула (8)) вызвана применением источников искусственного освещения. При питании их переменным током наблюдается пульсация во времени светового потока таких источников с частотой, вдвое большей частоты питающей сети (рис. 7).

Яркость поверхности зависит от степени освещенности и угла, под которым рассматривается данная поверхность и является светотехнической характеристикой, которую непосредственно воспринимает глаз человека. Повышенная яркость или так называемая *блескость* – частая причина снижения чувствительности и работоспособности глаза. Яркость освещенных поверхностей зависит от их световых свойств и от степени освещенности, а также от угла, под которым поверхность рассматривается.

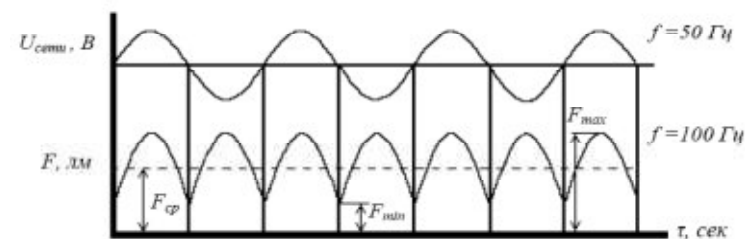


Рис. 7. Изменение светового потока во времени

Различают *прямую* (возникает от ярких источников света или конкретных элементов осветительной установки) и *отраженную* блескость (характеристика отражения светового потока от рабочей поверхности в направлении глаз работающего, определяющая снижение видимости вследствие чрезмерного увеличения яркости рабочей поверхности и вуалирующего действия, снижающего контраст между объектом и фоном). Уменьшение блескости возможно достичь использованием матовых поверхностей, снижением яркости источника света, рациональным направлением светового потока осветительной установки на рабочую поверхность и увеличением высоты подвеса светильников.

Снижение нормальных зрительных функций из-за блескости называется *слепимостью*. Для устранения слепящего действия источника света необходимо размещать лампы на определенной высоте, учитывая мощность осветительной установки, отражательные свойства поверхностей и величину защитного угла светильника (подробнее см. главу 5).

Как видно из табл. 3, *видимость* связана с пороговым контрастом, представляющим собой наименьший различимый глазом контраст, при небольшом уменьшении которого объект различения становится неразличимым. Яркость объекта и фона увеличивается за счет появления бликов, что способствует снижению видимости.

Световые свойства поверхности оцениваются безразмерными *коэффициентами отражения* ρ , *пропускания* τ и *поглощения* β , зависящими от цвета и фактуры поверхности, сумма которых соответственно составляет единицу:

$$\rho + \tau + \beta = 1 . \quad (13)$$

Коэффициент пропускания – величина, равная отношению прошедшего через поверхность светового потока ($F_{\text{пр}}$) к падающему на нее световому потоку:

$$\tau = \frac{F_{\text{пр}}}{F_{\text{пад}}} \cdot 100 \% . \quad (14)$$

Коэффициент поглощения представляет собой отношение поглощенного светового потока поверхностью ($F_{\text{пог}}$) к падающему на нее световому потоку:

$$\beta = \frac{F_{\text{пог}}}{F_{\text{пад}}} \cdot 100 \% . \quad (15)$$

Помимо коэффициентов α , β и τ световые свойства тел определяются характером поверхности объекта и его внутренней структурой. Так различают три вида отражения и пропускания света телами – направленное (тела с блестящей гладкой поверхностью), диффузное или рассеянное (мел, гипс и известь – диффузное отражение; молочное стекло – диффузное пропускание) и направленно-рассеянное (глянцевая бумага, матовая поверхность металла). Важно отметить, что яркость материалов с диффузным характером прямо пропорциональна их освещенности. Знание световых свойств тел особенно важно при проектировании цветового оформления производственных помещений (см. глава 6).

Одними из важнейших качественных характеристик производственного освещения являются *фон* и *контраст объекта с фоном*.

В соответствии со СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение» при коэффициенте отражения поверхности $\rho > 0,4$ фон считается светлым, при $\rho = 0,2-0,4$ – средним и, наконец, при $\rho < 0,2$ – темным. Контраст объекта с фоном считается большим, если $K > 0,5$ (объект и фон резко отличаются по яркости), средним при $K = 0,2-0,5$ (объект и фон заметно отличаются по яркости) и малым, если $K < 0,2$ (объект слабо заметен на фоне).

Глава 3.

КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Производственное освещение классифицируется по видам и по функциональному назначению, каждое из которых имеет ряд преимуществ и недостатков. Для создания оптимальных условий для зрительной работы в производственных, бытовых и служебных помещениях используются (*классификация по видам* (в соответствии со СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение»)):

I. Естественное освещение создается источниками естественного света, т.е. прямыми солнечными лучами и рассеянным светом небосвода. Данный вид освещения является наиболее гигиеничным и экономичным, однако, в ряде случаев оказывается недостаточным.

К достоинствам естественного освещения относятся: большая интенсивность светового потока, относительная равномерность освещения, благоприятное биологическое (оздоравливающее) действие на организм человека и низкие эксплуатационные затраты. Недостатками являются малая яркость на единицу площади, зависимость освещенности от времени года и суток, географического расположения промышленного объекта, облачности и прозрачности небосвода. Без естественного освещения допускается проектировать помещения, которые определены соответствующими главами строительных норм и правил на проектирование зданий и сооружений, нормативными документами по строительному проектированию зданий и сооружений отдельных отраслей промышленности, утвержденными в установленном порядке, а также помещения, размещение которых разрешено в подвальных этажах зданий и сооружений.

Различают следующие виды естественного освещения:

1) *боковое* – свет проходит сбоку с одной или с двух сторон через световые проемы (остекленные надстройки, возводимые над проемами, устраиваемые в покрытии здания; световые проемы бывают прямоугольные, трапециевидные, треугольные, зенитные и фонари-иллюминаторы) в наружных стенках (окна) или светопро-

зрачные ограждающие конструкции (боковое естественное освещение подразделяется на одно- и двухстороннее);

2) *верхнее* – свет проходит через светоаэрационные или зенитные фонари, световые проемы в кровле и перекрытиях, а также в местах перепада высот зданий;

3) *комбинированное* – совокупность верхнего и бокового освещения; данный вид естественного освещения является наиболее рациональным, поскольку создает относительно равномерное по площади помещения освещение.

II. Искусственное освещение создается электрическими источниками света (лампами) и устраивается в помещениях, где не достаточно естественного света, или для освещения производственных помещений в часы суток, когда отсутствует естественное освещение.

Достоинствами искусственного освещения являются возможность обеспечения оптимального светового режима (в т. ч. и при отсутствии естественного освещения). Однако данный вид производственного освещения имеет ряд существенных недостатков: некоторое искажение восприятия человеком цветов по причине преобладания желтых и красных лучей в спектре (при использовании ламп накаливания), сложность обеспечения требуемого спектрального состава источников искусственного освещения, слепящее действие, пульсация светового потока, вызывающая стробоскопический эффект, и, наконец, затраты на изготовление, монтаж и эксплуатацию светильников.

По *конструктивному исполнению* искусственное освещение может быть двух видов:

1) *общее* – применяется в помещениях, в которых по всей площади выполняются однотипные работы, т. е. для освещения всего помещения, что достигается равномерным распределением светильников с лампами одинаковой мощностью;

1.1) *общее равномерное искусственное освещение* – светильники размещаются в верхней зоне помещения равномерно по площади без учета расположения рабочих мест;

1.2) *общее локализованное искусственное освещение* – светильники размещаются в верхней зоне помещения с учетом конкретного расположения рабочего места;

2) *местное* – дополняет при необходимости общее искусственное освещение и концентрирует светильники непосредственно над

рабочими местами. Использование только местного освещения недопустимо, так как образуются резкие тени, приводящие к утомлению, что замедляет процесс работы и может стать причиной аварий и несчастных случаев (исключение составляет лишь *временное* местное искусственное освещение, относящееся к разряду переносного, осуществляемое ручными светильниками);

3) *комбинированное* – совокупность общего и местного искусственного освещения.

Классификация по функциональному назначению подразделяет производственное освещение на:

а) *рабочее* – освещение, обеспечивающее нормируемые осветительные условия (освещенность, качество освещения) в помещениях и в местах производства работ вне зданий (наружное освещение должно иметь управление, независимое от управления освещением внутри зданий);

б) *аварийное* – предусматривается для обеспечения минимальной освещенности в производственном помещении в случае внезапного отключения рабочего освещения. Аварийное освещение разделяется на *освещение безопасности* (охранное, сигнальное, дежурное) и *эвакуационное*.

Охранное – проектируется вдоль охраняемых границ производственных территорий (не менее 0,5 лк в ночное время). Охранное освещение (при отсутствии специальных технических средств охраны) должно предусматриваться вдоль границ территорий, охраняемых в ночное время. Освещенность должна быть не менее 0,5 лк на уровне земли в горизонтальной плоскости или на уровне 0,5 м от земли на одной стороне вертикальной плоскости, перпендикулярной к линии границы;

Сигнальное – предусматривается для обозначения границ опасных зон с обязательным указанием на наличие определенной опасности или на безопасный путь эвакуации;

Дежурное – включается во внерабочее время и необходимо для обеспечения нормальных условий для служб, выполняющих охранные и контрольные функции. При необходимости часть светильников рабочего или аварийного освещения может использоваться для дежурного освещения;

Эвакуационное – предназначено для обеспечения эвакуации людей из производственных помещений при авариях и соответст-

вующем отключении рабочего освещения (не менее 0,5 лк в помещении, а на открытых промышленных площадках – не менее 0,2 лк). Неравномерность эвакуационного освещения (отношение максимальной освещенности к минимальной) по оси эвакуационных проходов должна быть не более 40 : 1.

Освещение безопасности должно создавать на рабочих поверхностях в производственных помещениях и на территориях предприятий, требующих обслуживания при отключении рабочего освещения, наименьшую освещенность в размере 5 % освещенности, нормируемой для рабочего освещения от общего освещения, но не менее 2 лк внутри зданий и не менее 1 лк для территорий предприятий;

в) *специальное* – устанавливается для решения определенных санитарно-гигиенических и медико-профилактических задач:

1) *эритемное (ультрафиолетовое) искусственное освещение* – создается в производственных помещениях в районах (зонах) с недостатком или отсутствием естественного освещения (подземные сооружения, районы Севера) для улучшения обмена веществ, кровообращения и дыхательных процессов. Максимальное эритемное воздействие происходит под влиянием электромагнитных волн с длиной волны $\lambda = 297$ нм;

– *эритемное освещение длительного действия* – обеспечивается установкой общего ультрафиолетового освещения (облучения) совместно с рабочим с облучением работающих в течение всего рабочего дня;

– *эритемное освещение кратковременного действия* – облучение работающих происходит эритемными лампами в течение 3–5 мин соответственно до и после смены;

2) *бактерицидное искусственное освещение* – обеспечивается ультрафиолетовыми лучами с длиной волны $\lambda = 254–257$ нм с целью обеззараживания воздуха, питьевой воды и продуктов питания (персонал при этом не должен находиться в помещении).

III. Совмещенное освещение – вид производственного освещения, при котором недостаточное по нормам естественное освещение дополняется искусственным.

Систему естественного освещения здания (боковое, верхнее или комбинированное) следует выбирать с учетом следующих факторов: назначения и принятого архитектурно-планировочного, объемно-пространственного и конструктивного решения здания; тре-

бований к естественному освещению помещений, вытекающих из особенностей технологии производства и зрительной работы; климатических и светоклиматических особенностей места строительства; экономичности естественного освещения (по энергетическим затратам); верхнее и комбинированное естественное освещение должно применяться преимущественно в одноэтажных общественных зданиях большой площади (крытые рынки, стадионы, выставочные павильоны и т. п.); боковое естественное освещение должно применяться в многоэтажных общественных и жилых зданиях, одноэтажных жилых зданиях, а также в одноэтажных общественных зданиях, в которых отношение глубины помещений к высоте верхней грани светового проема над условной рабочей поверхностью не превышает 8.

При выборе световых проемов и светопропускающих материалов следует учитывать: требования к естественному освещению помещений; назначение, объемно-пространственное и конструктивное решение здания; ориентацию здания по сторонам горизонта; климатические и светоклиматические особенности места строительства; необходимость защиты помещений от инсоляции (облучение поверхностей солнечным светом (солнечной радиацией)) и степень загрязнения воздуха (запыленность, загазованность и задымленность).

Совмещенное освещение помещений производственных зданий следует предусматривать:

а) для производственных помещений, в которых выполняются работы I–III разрядов (см. главу 8);

б) для производственных и других помещений в случаях, когда по условиям технологии, организации производства или климата в месте строительства требуются объемно-планировочные решения, которые не позволяют обеспечить нормированное значение коэффициента естественной освещенности (многоэтажные здания большой ширины, одноэтажные многопролетные здания с пролетами большой ширины и т. п.), а также в случаях, когда технико-экономическая целесообразность совмещенного освещения по сравнению с естественным подтверждена соответствующими расчетами;

в) в соответствии с нормативными документами по строительному проектированию зданий и сооружений отдельных отраслей промышленности, утвержденными в установленном порядке.

В производственных помещениях в качестве источников искусственного освещения могут быть использованы лампы накаливания, газоразрядные и галогенные лампы, а также различные их модификации (табл. 4, рис. 8). К источникам искусственного освещения предъявляются следующие требования: освещение должно быть оптимальным по величине, стабильным (по изменению светотехнических характеристик в условиях эксплуатации), равномерно распределенным по площади производственного помещения, обеспечивать требуемую яркость в поле зрения и отвечать требованиям электро-, пожаро- и взрывобезопасности; спектр света должен быть приближен к солнечному; светильники не должны создавать резких теней на рабочих поверхностях; световые установки должны исключать слепящее действие, соответствовать эстетическим требованиям, отличаться удобством монтажа и эксплуатации, а также быть долговечными.

Для общего искусственного освещения помещений следует использовать, как правило, разрядные источники света, отдавая предпочтение при равной мощности источникам света с наибольшими световой отдачей и сроком службы (табл. 5). Применение ламп накаливания допускается в отдельных случаях, когда по условиям технологии, среды или требований оформления интерьера использование разрядных источников света невозможно или нецелесообразно.

Для местного освещения кроме разрядных источников света следует использовать лампы накаливания, в том числе галогенные. Применение ксеноновых ламп внутри помещений не допускается.

Важно отметить, что тип ламп должен выбираться также с учетом высоты производственного помещения (высоты установки (подвеса) светильников, характеристика которым дана в главе 5).

Таблица 4

Сравнительная характеристика различных источников искусственного освещения

Источник света		Характеристика
Лампы накаливания (ЛН)		Являются точечными источниками ($K_n = 7-9\%$). Свечение возникает в результате нагрева электрическим током вольфрамовой нити. Различают: вакуумные (марка НВ), газонаполненные биспиральные (НБ), рефлекторные (НР), биспиральные с криптоново-ксеноновым наполнением (НБК). Достоинствами ламп накаливания являются простота изготовления, удобство в эксплуатации. К недостаткам указанных ламп относят их малую световую отдачу ($7-20\text{ лм/Вт}$), преобладание в спектре желтых и красных лучей (искажение цветопередачи), небольшой срок службы ($800-1000\text{ ч}$), пожароопасность, снижение величины светового потока к концу службы на $14-17\%$
Галогенные лампы накаливания		Наряду с вольфрамовой нитью содержат пары йода (реже других галогенов), что позволяет повысить температуру накала нити и световую отдачу (лампы с йодным циклом). Большой мощностью обладают кварцевые галогенные лампы накаливания (КГ). Галогенные лампы характеризуются большим сроком службы (до 3000 ч), высокой световой отдачей (до 40 лм/Вт) при спектре излучения близкому к естественному, малыми значениями коэффициента пульсации освещенности ($K_n = 1-2\%$). Слепящее действие галогенных ламп обуславливает соответствующую их глубину утопления в светильнике
Газоразрядные лампы (ГРЛ)	высокого давления (ГРЛВД)	Свечение возникает в результате электрического разряда в атмосфере инертных газов, паров металлов или их смесей, а также за счет люминесценции (используются вещества люминофоры), при которой различные виды энергии (электрической, химической) превращаются в световое излучение, минуя стадию перехода в тепловую энергию. Различают газоразрядные лампы низкого и высокого давления (люминесцентные, металлогалогенные дуговые ртутные лампы высокого давления (ДРИ ($K_n = 37-48\%$)), натриевые (ДНаТ ($K_n = 72\%$)), дуговые ксеноновые (кварцевые) трубчатые лампы (ДКсТ, характеризуются большой единичной мощностью $5-50\text{ кВт}$)). Преимуществами газоразрядных ламп являются большая световая отдача ($50-100\text{ лм/Вт}$), повышенный срок службы ($8000-14000\text{ ч}$), благоприятный спектральный состав и возможность использования для освещения больших (в том числе открытых пространств) и высоких помещений. К существенным недостаткам следует отнести чувствительность ламп к колебаниям температуры окружающей среды, длительный период разгорания ($3-10\text{ мин}$), сложность в эксплуатации (использование пусковых приспособлений), шум, способность создавать радиопомехи, ослепляющее действие (малые размеры светящегося тела при высокой мощности (большой яркости)), стробоскопический эффект, а также токсичность компонентов лампы (пары ртути)
	низкого давления	В люминесцентных лампах (ЛЛ) свет возникает путем преобразования ультрафиолетового излучения газового разряда в парах ртути в видимое свечение люминофора, которым покрыта внутренняя поверхность газоразрядной трубки. Существуют дуговые люминесцентные ртутные лампы (ДРЛ ($K_n = 58\%$)), лампы дневного света (ЛД ($K_n = 55\%$)), дневного света с улучшенной (правильной) цветопередачей (ЛДЦ ($K_n = 72\%$)), лампы тепло-белого света (ЛТБ), холодного белого (ЛХБ) и белого света (ЛБ ($K_n = 34\%$)), а также эритемные лампы (ЛЭ15, ЛЭ30). К достоинствам люминесцентных ламп (большие размеры при малой яркости светящейся поверхности) следует отнести большой срок службы (до 15000 ч), высокую световую отдачу (75 лм/Вт), небольшую температуру поверхности лампы (как правило, на 5°C выше температуры окружающей среды), низкую пожароопасность и возможность использования для освещения небольших помещений при относительно малой высоте подвеса. Недостатками указанных ламп являются пульсация светового потока (стробоскопический эффект), высокая отраженная блескость, чувствительность к колебаниям температуры (оптимальный рабочий диапазон $18-25^\circ\text{C}$), существенное снижение светового потока к концу срока службы, а также использование различных пусковых приспособлений и схем включения (стартер и балластный дроссель)

Так, газоразрядным лампам низкого давления (люминесцентным) целесообразно отдавать предпочтение преимущественно при высоте установке светильников менее 4 м (в промышленных (особенно с наличием движущихся и вращающихся частей технологического оборудования), административно-общественных зданиях, в образовательных и культурно-развлекательных учреждениях следует использовать лампы ЛБ; при повышенных требованиях к цветопередаче – лампы ЛД, ЛДЦ или ЛХБ).

При высоте от 4 до 6 м могут быть рекомендованы люминесцентные лампы, дуговые ртутные люминесцентные лампы (ДРЛ) и в некоторых случаях галогенные лампы ДРИ (дуговые ртутные с йодидами (реже с другими галогенидами) галлия, натрия, индия, лития и иных редкоземельных элементов).

Газоразрядные лампы высокого давления (ДРЛ (могут быть использованы для освещения открытых пространств), ДНаТ (при не больших требованиях к цветопередаче) и ДРИ) следует использовать для освещения производственных помещений с большой высотой (при высоте подвеса свыше 6 м (иногда более 10 м)), а также для освещения территорий предприятий (ксеноновые лампы ДКсТ). В общем случае, при меньших высотах подвеса лучше использовать менее яркие лампы ДРЛ, а при больших высотах – лампы ДРИ с большой световой отдачей.

Для аварийного освещения (освещения безопасности и эвакуационного) следует применять: лампы накаливания, люминесцентные лампы (в помещениях с минимальной температурой воздуха не менее 5 °С и при условии питания ламп во всех режимах напряжением не ниже 90 % номинального) и разрядные лампы высокого давления (при условии их мгновенного или быстрого повторного зажигания как в горячем состоянии после кратковременного отключения питающего напряжения, так и в холодном состоянии).

Использование для этих целей ламп ДРЛ, ДКсТ, ДРИ и ДНаТ запрещается. Аварийное освещение должно отличаться от рабочего освещения специально нанесенной на светильник буквой А красного цвета. Для охранного освещения могут использоваться любые источники искусственного освещения, включая лампы накаливания.

Как было показано в табл. 4, для газоразрядных ламп и их конструктивных модификаций характерен так называемый стробоско-

пический эффект, т. е. явление искажения зрительного восприятия вращающихся, движущихся или сменяющихся объектов в мелькающем свете, возникающее при совпадении кратности частотных характеристик движения объектов и изменения светового потока во времени в осветительных установках, выполненных источниками света, питаемыми переменным током. Стробоскопический эффект приводит к сложностям выполнения производственных операций, что способствует повышению травматизма.

Стробоскопический эффект обусловлен инерцией зрения. Ощущение, вызванное световым сигналом, сохраняется в глазу в течение определенного времени (0,1–0,3 с) даже, несмотря на исчезновение данного сигнала. В связи с чем, при определенной частоте мелькающий сигнал воспринимается человеческим глазом как постоянно светящийся объект. Если время, разделяющее определенные дискретные акты наблюдения, меньше времени гашения зрительного образа, то наблюдение ощущается (субъективно) как непрерывное.

Значение K_{Π} может меняться от нескольких процентов (для ламп накаливания) до нескольких десятков процентов (для газоразрядных ламп). Малое значение K_{Π} для ламп накаливания объясняется большой тепловой инерцией нити накала, препятствующей заметному уменьшению светового потока $F_{\text{лн}}$ ламп в момент перехода мгновенного значения переменного напряжения сети через нуль (рис. 9, а). В то же время, газоразрядные лампы обладают малой инерцией и меняют свой световой поток почти пропорционально амплитуде сетевого напряжения.

Пример. Если вращающийся белый диск с черным сектором (стробоскопический волчок) освещать пульсирующим световым потоком (вспышками), то сектор будет казаться ($f_{\text{всп}}$ и $f_{\text{вращ}}$ – соответственно частоты вспышки и вращения диска):

- неподвижным при частоте $f_{\text{всп}} = f_{\text{вращ}}$,
- медленно вращающимся в обратную сторону при $f_{\text{всп}} > f_{\text{вращ}}$,
- медленно вращающимся в ту же сторону при $f_{\text{всп}} < f_{\text{вращ}}$

Пульсации освещенности вращающихся объектов могут вызывать видимость их неподвижности и быть причиной травматизма.

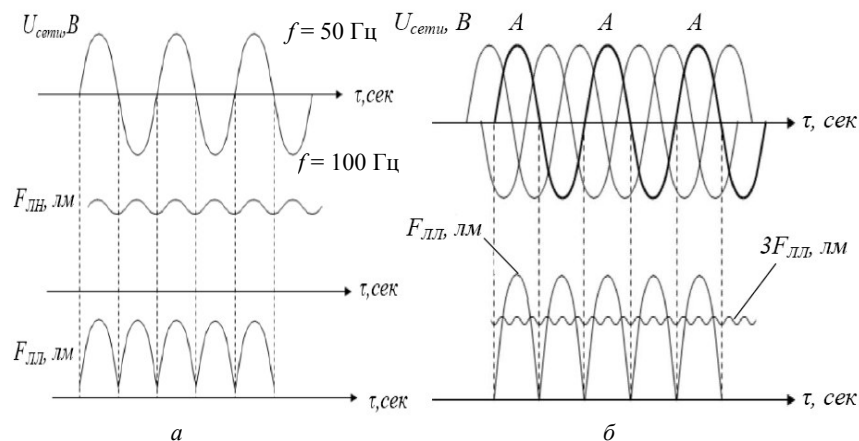


Рис. 9. Изменение светового потока ламп во времени, включенных в одну (а) и в три (б) фазы сети электропитания:
ЛН – лампа накаливания; ЛЛ – люминесцентная лампа

Для ослабления стробоскопического эффекта (снижения коэффициента пульсации) следует осуществлять:

- рациональный выбор типа лампы;
- включение ламп по схемам, обеспечивающим питание части ламп в светильнике отстающим, а части ламп – опережающим током (для люминесцентных ламп);
- увеличение частоты питающего напряжения (400 Гц и выше);
- поочередное присоединение соседних светильников в ряду (реже соседних рядов) к разным фазам сети;
- установка в одной точке двух или трех светильников разных фаз (лампы ДРЛ и ДРИ);
- питание различных ламп в многоламповых люминесцентных светильниках от разных фаз.

Схемы, иллюстрирующие использование специальных двухламповых схем с искусственным сдвигом фаз, а также включение соседних ламп в разные фазы трехфазной сети, показаны на рис. 10.

Трехфазное включение ламп в сеть хорошо иллюстрирует рис. 9 б, где показан характер изменения во времени светового потока (и связанной с ним освещенности) создаваемого тремя люминес-

центными лампами, включенными в фазу А и в три различные фазы сети. В последнем случае за счет сдвига фаз на 1/3 периода провалы в световом потоке каждой из ламп компенсируются световыми потоками двух других ламп, так что пульсации суммарного светового потока существенно уменьшаются (табл. 6). При этом среднее значение освещенности, создаваемой лампами, остается неизменным и не зависит от способа их включения.

На рис. 9 б схема светового потока люминесцентной лампы приведена условно. При увеличении напряжения до некоторой величины происходит пробой, загорается электрическая дуга, которая и является источником света. Лампа разгорается в течение времени, необходимого для инициации люминесценции. Поэтому изменение светового потока во времени точнее можно выразить трапециевидной кривой.

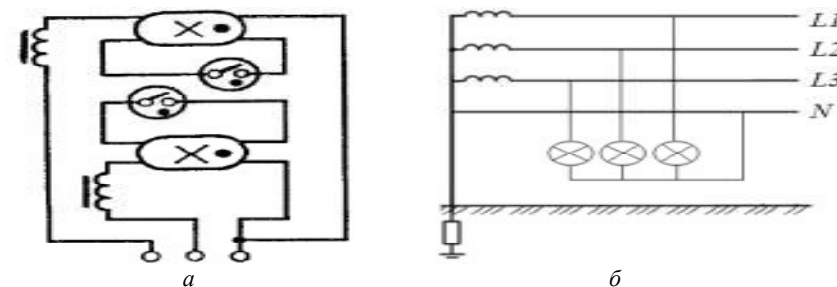


Рис. 10. Двухфазное (а) и трехфазное (б) включение ламп в сеть

Таблица 6

Значения коэффициента пульсации
для различных типов газоразрядных ламп

Лампа	Значение K_p , % при включении источников света, расположенных в одной световой точке*		
	в одну фазу	в две фазы	в три фазы
<i>Газоразрядные лампы высокого давления</i>			
ДРЛ	58	28	2
ДРИ (Na, Sc)	48	23	2
ДРИ (Na, In, Tl)	37	18	2
ДНаТ	77	38	6

Окончание табл. 6

Лампа	Значение K_n , % при включении источников света, расположенных в одной световой точке*		
	в одну фазу	в две фазы	в три фазы
<i>Газоразрядные лампы низкого давления (люминесцентные лампы)</i>			
ЛБ	34	14	3
ЛД	55	23	5
ЛДЦ	72	30	7
ЛБЦТ	26	11	2
ЛЕЦ	64	27	6

* современным эффективным способом снижения величины K_n является использование электронной пускорегулирующей аппаратуры (ЭПРА), которая преобразует частоту питающего напряжения. Применение трехфазных схем включения ламп является (в ряде случаев) затруднительным и требует обеспечения особых мер электробезопасности.

Важно отметить, что величину K_n следует использовать для оценки пульсации освещенности до 300 Гц. Пульсация освещенности свыше 300 Гц не оказывает влияния на общую и зрительную работоспособность (ГОСТ Р 54945-2012 «Здания и сооружения. Методы измерения коэффициента пульсации освещенности»).



Рис. 11. Упрощенная форма исполнения светодиода

Особо следует остановиться на так называемых светодиодах, в которых в качестве источника света используются светодиоды или Light emitting diode, т. е. LED-элементы (полупроводниковые приборы, излучающие свет определенного цвета), которые при работе практически не нагреваются (рис. 11). Принцип работы светодиодной лампы кардинально отличается от традиционных источников света, таких как лампы накаливания, люминесцентные лампы и газоразрядные лампы высокого давления.

Светодиод представляет собой источник света, основанный на испускании некогерентного излучения в видимом диапазоне длин волн при пропускании прямого тока через p - n -переход (электронно-дырочный переход) полупроводникового прибора.

Конструкция светодиодов позволяет использовать в производстве и работе самой лампы безопасные компоненты. Светодиодные лампы не содержат ртутьсодержащих компонентов, поэтому они не представляют опасности в случае выхода из строя или разрушения, устойчивы к перепадам напряжения и механическим повреждениям, имеют небольшие габариты, точную цветопередачу благодаря отсутствию УФ-излучения, а также характеризуются высокой световой отдачей и большим сроком службы (в ряде случаев до 10 лет) при относительно низком энергопотреблении.

К числу основных недостатков светодиодных ламп следует отнести: высокая цена, частичная деградация кристаллов светодиода по прошествии 3–5 лет (потеря яркости), для стабильной и долговечной работы этих ламп необходимо дополнительно использовать дорогостоящие источники питания и системы охлаждения, относительно высокое значение коэффициента пульсации освещенности при питании лампы напрямую от сети промышленной частоты (50 Гц).

Также следует упомянуть о компактных люминесцентных лампах (КЛЛ). В общем случае под этим термином следует понимать трубчатые люминесцентные лампы, снабженные в цоколе ЭПРА (электронный пускорегулирующий аппарат) (рис. 12). Производители присвоили данным источникам света наименование «энергосберегающие лампы» ввиду того, что их потребляемая мощность существенно ниже, например ламп накаливания при довольно длительном сроке службы до 15 лет. Важно, что в отличие от ламп накаливания, КЛЛ не являются точечными источниками, а излучают свет всей поверхностью колбы.

Основными недостатками источников искусственного света типа КЛЛ являются: относительно высокая стоимость, угнетающее психологическое воздействие при низких уровнях освещенности, электромагнитное излучение, генерируемое пусковой аппаратурой, существенная зависимость срока службы от перепадов напряжения в сети и частых включений-выключений лампы, а также трудности при эксплуатации КЛЛ при повышенной или пониженной темпера-

туре окружающей среды. Неполная совместимость ламп КЛЛ с существующей инфраструктурой освещения (выключатели с подсветкой, регуляторы яркости (диммеры), датчики движения, фотоэлементы и таймеры) технически затрудняет полноценное использование данных люминесцентных ламп.



Рис. 12. Некоторые элементы конструкции компактной люминесцентной лампы

Токсичность ртутьсодержащих компонентов КЛЛ (5–7 мг в одной лампе) обуславливает запрет на выброс отработавших свой срок ламп в мусоропроводы и уличные мусорные контейнеры (для этих целей должны устраиваться специальные пункты приема с оборудованными контейнерами). В связи с чем, применение КЛЛ для бытовых целей представляет определенную опасность для здоровья человека.

При выборе источника искусственного освещения следует учитывать не только мощность лампы, но и генерируемый оттенок (цвет). В связи с чем, была введена величина цветовой температуры (T_c , К) – температура излучателя Планка (черного тела), при которой его излучение имеет ту же цветность, что и излучение рассматриваемого объекта (табл. 7).

Цветовая температура источника света определяется точкой, соответствующей его цветности на линии черного тела, нанесенной на цветовом графике Международной комиссии по освещению (МКО). В практической светотехнике полезно ассоциировать цветовую темпе-

ратуру, воспроизводимую источниками искусственными освещения различного типа, с естественным источником освещения.

Таблица 7

Ориентировочные величины цветовой температуры

Источник	T_c , К
Натриевая лампа высокого давления	2200–2300
Галогенная лампа накаливания	2500–3400
Лампа накаливания	2800
Лампа теплого люминесцентного света	3700
Лампа холодного люминесцентного света	5700
Прямой солнечный свет	7000
Чистое голубое небо	8500–9000

Выбор конкретного источника искусственного освещения основан на сопоставлении ряда характеристик:

- 1) электрические характеристики – номинальное напряжение (рабочее напряжение на лампе и напряжение питания), сила тока и род тока (постоянный или переменный с определенной частотой), а также электрическая мощность лампы;
- 2) светотехнические характеристики – световой поток, максимальная сила света, яркость и спектральный состав светового потока;
- 3) конструктивные характеристики – габаритные и присоединительные размеры, форма колбы лампы, высота светового центра, оптические свойства колбы (прозрачная, матированная, зеркальная), форма тела накала (прямолинейная, спиральная), конструкция ввода, газотехнические особенности ламп (наличие, состав и давление газа, заполняющего колбу).
- 4) экономические характеристики:
 - а) световая отдача лампы (ψ , лм/Вт) – одна из основных характеристик, оценивающая эффективность источника искусственного освещения (при установившемся тепловом режиме):

$$\psi = \frac{F}{P}, \tag{16}$$

где F – световой поток, лм; P – электрическая мощность лампы, Вт.

Чем больше световая отдача лампы, тем выше ее экономич-

ность. Световая отдача источников света для общего искусственного освещения помещений при минимально допустимых *индексах цветопередачи* (мера соответствия зрительных восприятий цветового объекта, освещенного исследуемым и стандартным источниками света при определенных условиях наблюдения) не должна быть меньше значений, приведенных в табл. 8.

б) *надежность источника света* – характеризуется *полным* ($\tau_{\text{полн}}$ (ч), суммарное время работы лампы от момента включения до перегорания) и *полезным* ($\tau_{\text{полез}}$ (ч), время экономически целесообразной эксплуатации лампы, т. е. время, за которое световой поток изменится не более чем на 20 %) сроками службы лампы;

в) *экономичность источника света* – стоимость эксплуатации лампы, отнесенная к 1 лм·ч.

Таблица 8

Минимально допустимые световые отдачи источников света для общего искусственного освещения помещений [4, 14]

Тип источника света	Световая отдача, лм/Вт, не менее, при минимально допустимых индексах цветопередачи R_a			
	$R_a \geq 80$	$R_a \geq 60$	$R_a \geq 45$	$R_a \geq 25$
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	–	–

* Светодиодный модуль, снабженный устройством управления и стандартным цоколем;

** сборка из двух или более светодиодов с полным набором электрических, оптических, механических и тепловых компонентов без устройства управления.

В общем случае при выборе источников искусственного света необходимо отдавать предпочтение газоразрядным лампам, которые являются более экономичными и характеризуются продолжительным сроком службы.

Создание рационального (оптимального) производственного освещения достигается использованием электрических светильников, представляющих собой совокупность источника искусственного освещения и осветительной арматуры, необходимой для направления светового потока в сторону рабочей поверхности, с целью защиты глаз от слепящего действия ламп, а также предохранения источника света от механических воздействий и неблагоприятного влияния внешней среды (перепад температуры воздуха, запыленность, загазованность и задымленность воздушной среды).

Для освещения промышленных производств применяются светильники с газоразрядными лампами низкого и высокого давления, а также прожекторы. Светильники относят к источникам *ближнего* искусственного освещения, а прожекторы – к источникам *дальнего* освещения.

Для местного освещения рабочих мест следует использовать светильники с непросвечивающими отражателями. Светильники должны располагаться таким образом, чтобы их светящие элементы не попадали в поле зрения работающих на освещаемом рабочем месте и на других рабочих местах. Местное освещение рабочих мест, как правило, должно быть оборудовано регуляторами освещения (диммеры).

В основу классификации светильников могут быть положены различные признаки: характер светораспределения, форма кривой силы света, тип источника, способ установки, целевое назначение, декоративные особенности, надежность, эффективность и экономичность. Эксплуатационные характеристики светильника зачастую объединяют три последних признака. В общем случае, эффективность источника света следует определять по коэффициенту полезного действия (КПД, %), представляющего собой отношение светового потока светильника ($F_{\text{св}}$) к световому потоку лампы, по-

мещенной в светильник (F_n):

$$\text{КПД} = \frac{F_{\text{св}}}{F_n} \cdot 100 \% . \quad (17)$$

Различают *энергетический* (учитывает преобразование электрической энергии в оптическое излучение) и *эффективный* КПД светильника (учитывает часть энергии оптического излучения, которая вызывает ощущение зрения).

С целью ограничения слепящего действия лампы, конструкция осветительной установки может содержать отражатели (рассеиватели) и затенители света. Уменьшение негативного влияния слепящего действия светильника достигается определением *защитного угла* светильника, который представляет собой угол между горизонталью и линией, соединяющей нить накала (поверхность лампы) с противоположным краем отражателя (рис. 13). Защитный угол характеризует зону, в пределах которой глаз наблюдателя защищен от прямого действия лампы.

Самый распространенный способ увеличения защитного угла в светильниках с люминесцентными лампами – применение экранирующих решеток из металла или пластмассы. Величина защитного угла при этом регулируется высотой планок решетки и расстоянием между ними.

Тип светильника (марка, защитный угол, исполнение, количество ламп, возможность установки электронной пускорегулирующей аппаратуры с функцией увеличения частоты питающего напряжения) должен выбираться с учетом условий среды в производственном помещении (сырые, пыльные, жаркие, пожаровзрывоопасные цеха) и характера зрительной работы.

Защитный угол светильника определяют измерением конструктивных параметров светильника или визуально по рекомендациям ГОСТ 17677-82 «Светильники. Общие технические условия», а также с помощью поворотного устройства *гониофотометра*, выполненного по схеме с неподвижной фотометрической головкой. Допускается значение защитного угла светильника определять по рабочим чертежам.

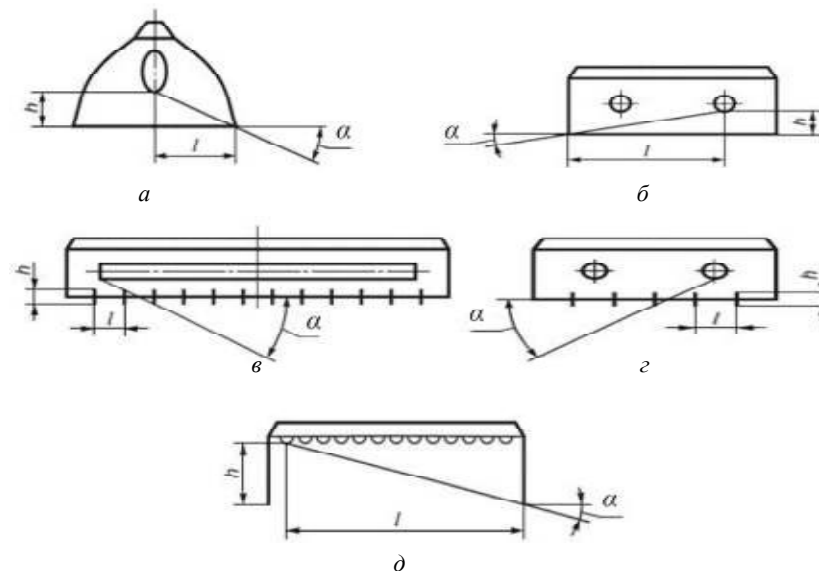


Рис. 13. Определение защитного угла светильника измерением конструктивных параметров:

α – защитный угол, l – расстояние от края отражателя, h – глубина утопления лампы. a – для светильников с лампами со светящей колбой; $б$ – для светильников с люминесцентными лампами без решетки; $в, г$ – для светильников с люминесцентными лампами с решеткой; $д$ – для светильников со светодиодами

Оптимальные значения защитного угла светильника с лампами накаливания составляют не менее 30° , а с люминесцентными лампами – не менее 15° . Для помещений, оборудованных компьютерной техникой, вводятся более жесткие требования – защитный угол светильников должен быть не менее 40° . Закрытые светильники имеют, как правило, условный (эффективный) защитный угол 90° . Необходимо отметить, что СНиП 23-05-95 допускает не ограничивать высоту подвеса светильников с защитным углом 15° и более (или с рассеивателями из молочного стекла без отражателей) на площадках для прохода людей или обслуживания технологического (или инженерного) оборудования, а также у входа в здание.

Помимо защитного угла, важной характеристикой светильника является профиль распределения силы света под углом в простран-

стве, который носит название кривой силы света (КСС). Графически кривая КСС выполняется в полярной системе координат (рис. 14, табл. 9) (ГОСТ 17677-82 «Светильники. Общие технические условия»).

Таблица 9

Классы светораспределения светильников

Класс светильника по светораспределению		Доля светового потока, направляемого в нижнюю полусферу, от всего светового потока светильника, %
Обозначение	Наименование	
П	Прямого света	Свыше 80
Н	Преимущественно прямого света	60–80
Р	Рассеянного света	40–60
В	Преимущественно отраженного света	20–40
О	Отраженного света	До 20

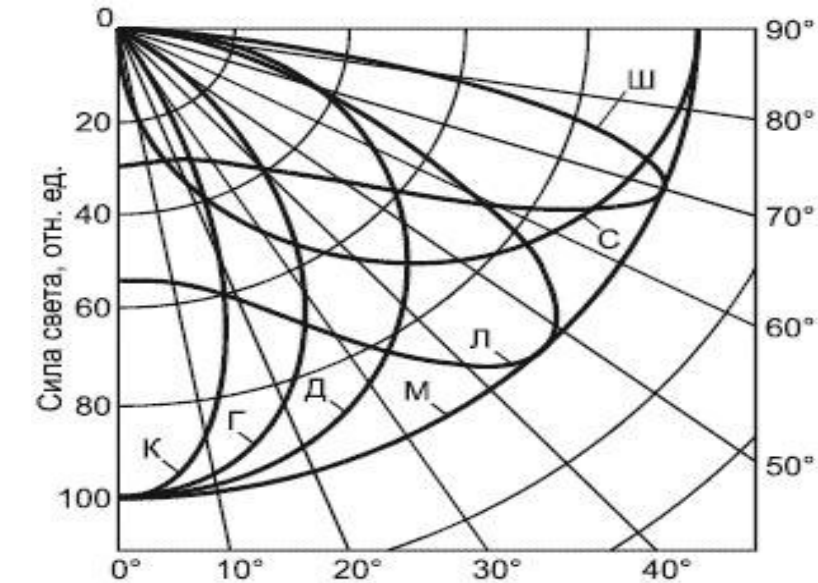


Рис. 14. Типовые кривые силы света

Типовые кривые КСС светильника рассчитаны на значение силы света при световом потоке лампы 1000 лм. Основным признаком, определяющим тип кривой, является отношение максимальной силы света светильника к средней арифметической для данной плоскости. Так, различают 7 видов КСС: *концентрированная (К), глубокая (Г), косинусная (Д), полуширокая (Л), широкая (Ш), равномерная (М) и синусная (С)*. Измерение распределения силы света осветительных приборов проводят на гониофотометре (распределительном фотометре) или на гониофотометре ближней зоны.

Известны также несколько иные формы кривых силы света, которые именуются специальными. Тип кривой силы света необходимо учитывать при выборе светильников в зависимости от характера зрительных работ. Так, если необходимо направить основной световой поток на рабочую поверхность, выбирают светильник с кривой КСС-К или КСС-Г. В случае создания в помещении и на рабочих поверхностях более равномерного освещения следует использовать светильники с кривой КСС-М, КСС-Л или КСС-Ш.

Подробное рассмотрение светотехнических характеристик светильников дано в ГОСТ 17677-82 «Светильники. Общие технические условия». Приведем некоторые важнейшие особенности в классификации светильников:

1) *классификация по распределению светового потока в пространстве* – светильники прямого света (направляют в нижнюю полусферу не менее 80 % всего светового потока), преимущественно прямого (направляют в нижнюю полусферу 60-80 % светового потока), рассеянного света (направляют в нижнюю и верхнюю сферы 40–60 % светового потока), отраженного (направляют в верхнюю полусферу более 80 % светового потока) и преимущественно отраженного света (направляют в верхнюю полусферу 60–80 % светового потока).

Светильники прямого и рассеянного света широко распространены для обеспечения освещения промышленных производств в отличие от светильников отраженного света, которые, как правило, мало используются;

2) *классификация по конструктивному исполнению с учетом характера среды в производственном помещении:*

а) светильники по защите от пыли – незащищенные (открытые, перекрытые), пылезащищенные (полностью или частично), пыленепроницаемые (полностью или частично);

б) светильники по защите от взрыва – повышенной надежности (Н4Б-300М, Н0Б-300, НЗБ-150) и взрывонепроницаемые (В4А, ВЗГ);

в) светильники по защите от влаги – незащищенные, влагозащищенные, пылевлагозащищенные (ПУ-100, ПУ-200, ПВЛ-1, ПВЛ-6), брызгозащищенные, пылебрызгозащищенные (СПБ), струезащищенные, водонепроницаемые и герметичные;

г) светильники по защите от химически агрессивной среды (УПМ-500, СХ-60, СХ-200, СХ-500);

3) классификация по назначению – светильники общего освещения взрывоопасных зон (ВЗГ-300, ВЗГ-200М, ВЗГ-100, ВЗГ-60) и местного освещения, которые по исполнению могут быть аккумуляторные (В2А, СЗГ) и сетевые (БЦ-62В, ПР-60В, ВЗГ-25);

4) классификация по твердости светотехнического покрытия – различают твердые (Т), средней твердости (СТ) и мягкие (М) материалы или покрытия отражателей и рассеивателей. Твердость светотехнического покрытия характеризует пригодность того или иного материала для изготовления отражателей и рассеивателей. Для отражающих свет материалов используются покрытия с силикатной или акриловой эмалью, нитроэмалью (НЦ-25), а для пропускающих свет – поликарбонат, полиметилметакрилат, поливинилхлорид, полиэтилен высокого давления и полистирол;

5) классификация светильников по конструктивно-светотехнической схеме – различают семь групп светильников (I–VII) с лампами накаливания (группа А) и люминесцентными лампами (группы Б1 и Б2) (табл. 10).

Таблица 10

Конструктивно-светотехнические схемы светильников групп I–VII

Конструктивно- светотехнические схемы светильников		I	II	III	IV	V	VI	VII
С лампами ЛН и ГРЛВД	А							
С лампами ЛЛ	Б1							
	Б2							

Окончание табл. 10

Конструктивно- светотехнические схемы светильников	I			II			III			IV		V		VI		VII
Группа твердости светотехнических материалов (покрытий)	Т	СТ	М	Т	СТ	М	Т	СТ	М	Т	СТ	Т	СТ	Т	СТ	Т
Эксплуатационная группа светильников	5	4	3	6	5	4	2	2	1	7	6	5	4	6	5	7

Классические светильники различных марок показаны на рис. 15.

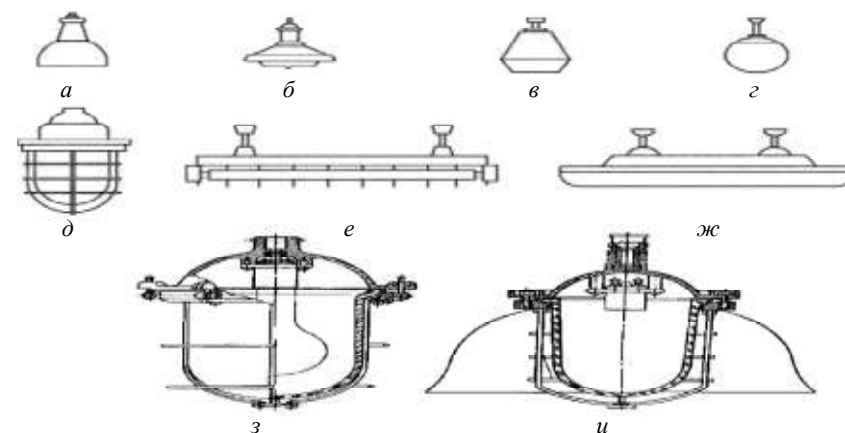


Рис. 15. Светильники различных марок:

а – «Универсаль»; б – «Глубокоизлучатель»; в – «Люцетта»; г – «Молочный шар»; д – взрывобезопасный марки ВЗГ, е – светильник открытый дневного света (ОД); ж – пылевлагозащищенный светильник (ПВЛ); з – светильник повышенной надежности против взрыва (Н0Б-300); и – светильник повышенной надежности против взрыва (НЗБ-150). а-д – для ламп накаливания; е, ж – для газоразрядных ламп; а, б – светильники прямого света; в, г – светильники прямого и рассеянного света (в зависимости от исполнения)

Для освещения производственных и складских помещений могут быть использованы закрытые светодиодные светильники (LED-светильники) марки «УСС» класса энергетической эффективности типа А (УСС 300 Магистраль III, УСС (260, 200, 240, 180, Эксперт

130)), способные эксплуатироваться в условиях динамично изменяющихся температур (от минус 60 до плюс 45 °С). Надежность данных светильников обеспечивается разделением на электрически независимые части и современными системами термостатирования, а также применением защитного стекла из противоударного оптического поликарбоната.

В производственных помещениях, где требуется соблюдение особых мер пожаровзрывобезопасности, предпочтение следует отдавать светодиодным светильникам во взрывозащищенном исполнении «УСС» (марки 150, 130, 70, 65), обеспечивающих уровень взрывозащиты ExnRПТ6 (являются заменой традиционных светильников РКУ, РСР, СВЛ, НПП, НСП с использованием ртутных ламп ДРЛ-250).

Светодиодные светильники марок СПВО (32N, 32M, 32W), СПО (70, 36, 18, 12) и ЖКХ 08N следует устанавливать в офисных помещениях, подъездах, коридорах и кладовых. Потребляемая мощность в номинальном режиме этих светильников варьируется от 32 (СПВО) до 80 Вт (СПО). Светильники серии ЖКХ предназначены для установки в подъездах, коридорах и других помещениях жилых и нежилых зданий (светодиоды Nichia, широкий диапазон питающих напряжений, диапазон рабочих температур от минус 20 до плюс 40 °С, противоударный корпус светильника («анти-вандальное» исполнение)).

К светодиодным светильникам предъявляются требования ГОСТ Р МЭК 60598-1-2003 «Светильники. Часть 1. Общие требования и методы испытаний» и ГОСТ Р МЭК 60598-2-22-99 «Светильники. Часть 2-22. Частные требования. Светильники для аварийного освещения». Дополнительные светотехнические требования к осветительным приборам со светодиодами излагаются в ГОСТ Р 54350-2011 «Приборы осветительные. Светотехнические требования и методы испытаний».

В настоящее время широкое распространение в административных, офисных и учебных помещениях получили навесные потолки «Armstrong» со светильниками, снабженными люминесцентными трубчатыми (Т8, Т5) или светодиодными лампами (рис. 16, табл. 11). Не обсуждая их преимущества, укажем, что подобного рода конструктивные исполнения в ряде случаев характеризуются

значительной отраженной блескостью, возникающей по причине использования в светильниках такого рода зеркальных составляющих, а также значением коэффициента пульсации не всегда удовлетворяющим требованиям к освещению помещений, оборудованных компьютерной техникой.



Рис. 16. Некоторые варианты исполнения современных светильников

Таблица 11

Сравнительная характеристика ламп Т8 и Т5 для цветовой температуры 4000 К (холодно-белая)

Характеристика	Т8		Т5	
Мощность, Вт	18	36	14	35
Световой поток, лм	1150	2850	1350	3650
Световая отдача, лм/Вт	64	79	96	104
Коэффициент цветопередачи	60–69		80–90	
Рабочая температура, °С	25		35	
Средний срок службы, ч	9000–13 000		20 000 (не менее)	
Снижение светового потока за 40 % среднего срока службы	20 %		5 %	

В то же время СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организация работы» накладывает ограничения на прямую блескость от источников освещения и отраженную блескость на рабочих поверхностях. Поэтому при световом оформлении помещений важно использовать элементы оптических систем – *отражатели* (применяются диффузные или матовые отражатели (материал – сталь или алюминий)), *преломлятели* (используются прозрачные пластмассы

и силикатные стекла), *рассеиватели* (различают диффузные, матовые и матированные рассеиватели (материал – молочное и опаловое стекло, полиэтилен, поливинилхлорид), экранирующие решетки и кольца). Характер изменения величины КПД светильника в зависимости от типа применяемых элементов оптических систем и соответствующих областей применения показан в табл. 12.

Таблица 12
Значения КПД светильников общего освещения производственных и общественных зданий (ГОСТ Р 54350-2011 «Приборы осветительные. Светотехнические требования и методы испытаний»)

Область применения светильников	КПД, %, не менее, для светильников		
	с рассеивателем и отражателем	с экранирующей решеткой или кольцами	без оптических и экранирующих элементов
Помещения общественных зданий	50	60	70
Помещения производственных зданий	60	70	80

Особенности размещения светильников в производственном помещении определяются высотой помещения, расстоянием от светильников до перекрытия, расстоянием между светильниками и т. д. Светильники с точечными источниками (лампы накаливания, ДРЛ и ДРИ) обычно располагают по углам квадрата (прямоугольника) или в шахматном порядке, а светильники с люминесцентными лампами – непрерывными или прерывистыми рядами с учетом защитного угла (рис. 17). Основными способами установки светильника являются потолочный, настенный, настольный и т. д.

Основное требование при выборе оптимальной высоты расположения светильников заключается в доступности их обслуживания (установка, ремонт, чистка). В связи с чем, при проектировании системы производственного освещения определяется расстояние от крайних светильников до стены, которое связано с расстоянием между соседними светильниками и рядами люминесцентных светильников уравнением:

$$l = (0,3 \div 0,5)L \tag{18}$$

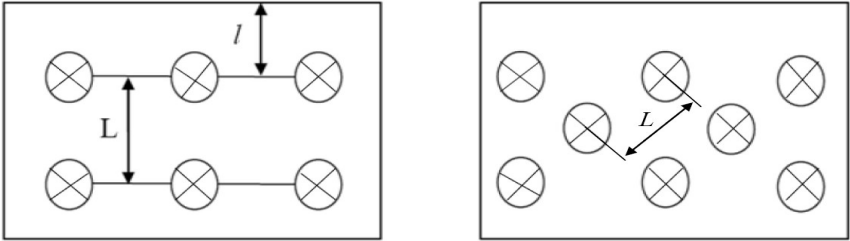


Рис. 17. Схема расположения светильников в производственных помещениях:
l – расстояние от крайних светильников до стены; *L* – расстояние между соседними светильниками и рядами люминесцентных светильников.
a – прямоугольное; *б* – шахматное

Важно отметить, что светильники с лампами ДРИ и ДРЛ можно дополнительно опускать на тросовых растяжках с учетом высоты основного и вспомогательного технологического оборудования. Для светильников различных типов необходимо определять энергетически выгодные отношения расстояния между светильниками к расчетной высоте подвеса над рабочей поверхностью (с учетом гигиенических и эксплуатационных факторов). Также следует принимать во внимание полную высоту помещения (*H*, м), высоту рабочей поверхности над полом (*H_p* = 0,8 м) и высоту подвеса светильников над полом (*H_n* = 4–5 м), а также *расстояние светового центра светильника от потолка, т. е. свес* (*H_c* = 0,5–0,7 м) (рис. 18). В общем случае, расстояние между рядами светильников и высота их подвеса связаны выражением: *L* = (1,4÷1,5)·*h*. Данные значения являются рекомендуемыми.

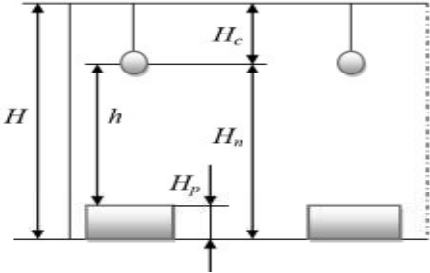


Рис. 18. Схема размещения светильников в разрезе:
h – высота подвеса

Указанные величины связаны соотношением:

$$H = H_p + h + H_c = H_n + H_c . \quad (19)$$

Чистка стекол световых проемов и светильников должна осуществляться ежегодно – не менее 2 раз в год для помещений с незначительной запыленностью (в т. ч. помещений, оборудованных компьютерной техникой) и не реже 4–12 раз в год для помещений со значительным пылевыделением. Соответствующие очистные работы должны проводиться при отключенном питании и с использованием передвижных тележек, приставных лестниц, стремянок или люлек. При этом для поддержания безопасности производственных работ необходимо проводить своевременную замену отработавших срок ламп, регулярные осмотры осветительных приборов, а также выполнять окраску стен и побелку потолков (или осуществлять их реконструирование в современные исполнения).

Глава 6.

ЦВЕТОВОЕ ОФОРМЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ И СРЕДСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ОРГАНОВ ЗРЕНИЯ

Оптимально спроектированное освещение в сочетании с рационально оформленным цветовым исполнением (с учетом цветового тона, насыщенности и яркости) производственного интерьера являются важнейшими факторами улучшения условий труда, жизнедеятельности человека и обеспечения промышленной безопасности (ГОСТ Р 12.4.026-2001 ССБТ «Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная. Назначение и правила применения. Общие технические требования и характеристики. Методы испытаний»).

Основные правила цветового оформления производственного помещения заключаются в следующем: в любом помещении должно быть светло; число цветов в производственном помещении должно быть минимальным; для повышения равномерности распределения яркости в поле зрения глаз человека потолки и стены необходимо окрашивать в светлые тона (кремовый, светло-зеленый или светло-желтый, салатовый, бирюзовый); фермы и перекрытия следует окрашивать в светло-голубой цвет, а в цехах, где отсутствует естественное освещение, – в белый; для производственных помещений со значительным тепловыделением целесообразно применять светло-голубой цвет. Оконные переплеты и фрамуги необходимо выполнять в белом цвете, верх стен – в светло-голубом, а панели стен и перегородки – в голубом.

В помещениях, в которых работа связана с повышенным напряжением зрения, эти конструкции рекомендуется окрашивать в светло-зеленый цвет. Углы производственных помещений, урны и участки пола вокруг них необходимо окрашивать в ярко-зеленый цвет. В цехах с повышенным тепловыделением, а также выделением пыли, дыма и копоти панели стен необходимо облицовывать керамической плиткой, не дающей бликов.

На производствах, в которых большое значение имеют зрительные функции (острота зрения, устойчивость ясного видения и быстрота различения) необходимо использовать цветовой контраст между фоном и обрабатываемыми деталями (например, если изделия имеют желтый цвет, то фон должен быть серо-голубым). В загроможденных оборудованием и небольших по площади цехах необходимо соблюдать равновесие между холодными и теплыми тонами. Важно отметить, чтобы цветковое решение внутренней отделки помещений соответствовало климатической зоне и ориентации здания по сторонам света.

В общем случае при выборе соответствующей цветовой отделки помещения следует учитывать, что *красный* цвет стимулирует нервные центры, однако может вызывать усталость и учащенное сердцебиение; *оранжевый* цвет – бодрит и стимулирует к активной деятельности; *желтый* и *лимонный* цвета – активизируют двигательные центры; *синий* и *голубой* цвета – способствуют уменьшению физического напряжения, однако могут вызывать депрессию и усталость; *белый* цвет является холодным и способен вызывать апатию; *черный* цвет – является мрачным и тяжелым, приводит к снижению настроения и в большинстве случаев является недопустимым для цветовой отделки производственного помещения.

К средствам индивидуальной защиты органов зрения от неионизирующих излучений оптического диапазона, а также повышенной яркости видимого излучения относятся защитные очки, щитки и шлемы, снабженные различными светофильтрами в зависимости от характера выполняемых работ: Г – при газовой сварке, П – при плазменной сварке и резке, Д – при работе у доменных печей и т. д. (ГОСТ 12.4.080-79 ССБТ «Светофильтры стеклянные для защиты глаз от вредных излучений на производстве. Технические условия»). Используемые светофильтры ослабляют наиболее вредную для глаз человека часть спектра излучения, обеспечивая вместе с тем достаточно комфортные условия визуального наблюдения за объектом работы.

Для измерения освещенности на рабочих местах применяются люксметры различных конструкций, принцип действия которых основан на *фотоэлектрическом эффекте*, то есть преобразовании энергии светового потока в электрическую. При попадании света на селеновый *Se-фотоэлемент* (пластина, на поверхность которой нанесен светочувствительный слой) люксметра в цепи соединенного с ним гальванометра возникает фототок, приводящий к отклонению стрелки миллиамперметра, шкалу которого градуируют в лк. Особенности использования селенового фотоэлемента обусловлены тем, что его спектральная чувствительность близка к спектральной чувствительности глаза человека.

Люксметр позволяет измерять освещенность в любой плоскости: горизонтальной, вертикальной и наклонной. Для этих целей следует соответственно ориентировать светоприемную пластину фотоэлемента. Для измерения освещенности фотоэлемент люксметра выводят в плоскость измерения, подбирая ближайшую шкалу, начиная с более «грубой» и регистрируют показания прибора. Чем больше световой поток, тем более сильно отклоняется стрелка прибора от нулевого значения.

При необходимости расширения пределов измерения вплоть до 1 000 000 лк на селеновый фотоэлемент надевают насадки (К, М, Р или Т). В общем случае, освещенность в интервале 0–100 лк измеряется открытым фотоэлементом без насадки. Погрешность люксметра имеет максимальную величину в начале шкалы, поэтому для большей точности измерения при малых отклонениях стрелки следует переходить на меньший предел измерения.

При измерениях показания прибора следует умножать на коэффициент пересчета шкалы (коэффициент ослабления) в зависимости от применяемых насадок. Так коэффициент ослабления для насадок К, М составляет 10, для К, Р – 100 и К, Т – 1000, а без насад-

ки с открытым фотоэлементом – 1. При определении освещенности фотоэлемент люксметра должен устанавливаться горизонтально на рабочих местах, а отсчет по измерителю, также расположенному горизонтально, производится на некотором расстоянии от фотоэлемента, чтобы тень от проводящего измерения человека не попала на фотоэлемент.

ГОСТ 24940-96 «Здания и сооружения. Методы измерения освещенности» регламентирует требования к методам определения *минимальной* (наименьшее значение освещенности в помещении, на освещаемом участке или в рабочей зоне), *средней* (освещенность, усредненная по площади освещаемых помещений, участка или рабочей зоны) и *цилиндрической* (характеристика насыщенности помещения светом, определяемая как средняя плотность светового потока на поверхности вертикально расположенного в помещении цилиндра, радиус и высота которого стремятся к нулю) освещенностей, коэффициента естественной освещенности в помещениях зданий и сооружений и на рабочих местах, а также минимальной освещенности в местах производства работ вне зданий.

Перед измерениями выбирают и наносят контрольные точки для измерения освещенности на план помещения, сооружения или освещаемого участка (или исполнительный чертеж осветительной установки) с указанием размещения светильников. Контрольные точки для измерения минимальной освещенности от рабочего освещения размещают в центре помещения, под светильниками, между светильниками и их рядами, у стен на расстоянии $(0,15-0,25) \cdot l$, но не менее 1 м, где l – расстояние между рядами светильников. В указанном выше нормативно-техническом документе приводятся схемы расположения контрольных точек при проведении измерений.

Для измерения освещенности следует использовать люксометры с измерительными преобразователями излучения, имеющими спектральную погрешность не более 10 %, определяемую как интегральное отклонение относительной кривой спектральной чувствительности измерительного преобразователя излучения от кривой относительной спектральной световой эффективности монохроматического излучения для дневного зрения $V(\lambda)$ (см. главу 1).

Для измерения яркости используются фотометры или яркометры. Они состоят из измерителя и выносного экрана. Фото-

метры могут быть *объективными* и *субъективными*. В фотометрах яркость поля прибора сравнивается с яркостью исследуемой поверхности.

ГОСТ 26824-2010 «Межгосударственный стандарт. Здания и сооружения. Методы измерения яркости» устанавливает методы измерения яркости рабочих поверхностей в зданиях и сооружениях. Так, для измерения яркости следует использовать приборы с измерительными преобразователями излучения, имеющими предел допускаемой погрешности средств измерений не более 10 % с учетом погрешности спектральной коррекции.

Яркость рабочей поверхности определяется усреднением яркости отдельных элементов с учетом расположения контрольных участков и точек при проведении измерений. Указанный стандарт также регламентирует перечень приборов для проведения прямого (основного) и косвенного (вспомогательного) методов измерения яркости.

Для измерения коэффициента пульсации освещенности следует использовать специальные приборы (п у л ь с м е т р ы) с измерительными преобразователями излучения, имеющими предел допускаемой погрешности средств измерений – не более 10 % (ГОСТ Р 54945-2012 «Здания и сооружения. Методы измерения коэффициента пульсации освещенности»). Линейность характеристик прибора для измерения коэффициента пульсации должна быть определена при помощи образцовых светоизмерительных ламп с погрешностью не более 5 %. Измерения коэффициента пульсации освещенности на рабочих местах (рабочих поверхностях) при системе общего и комбинированного освещения следует проводить в плоскости, указанной в данном стандарте (или на рабочей плоскости оборудования) в точках измерения освещенности.

Для проведения комплексного светотехнического контроля могут быть рекомендованы универсальные люксометры-яркометры, люксометры-пульсметры и люксометры-яркометры-пульсметры (рис. 19). С помощью указанных приборов можно определять освещенность, яркость, коэффициенты отражения и пульсации, контраст объекта с фоном и показатель ослепленности.



Рис. 19. Классическое (а) и современное (б–д) оборудование для измерения светотехнических величин:
 а – люксметр «Ю-116»; б – люксметр-пульсметр «ТКА-Пульс»;
 в – люксметр «Testo-545»; г – люксметр-пульсметр «Аргус-07»;
 д – люксметр-яркомер-пульсметр «Эколайт-02»

Приборы для проведения светотехнических измерений должны иметь соответствующий класс точности и свидетельства о метрологической аттестации и поверке, выданные органами стандартизации и метрологии (Росстандарт). По окончании измерений результаты необходимо оформлять в виде протокола измерений.

Глава 8.

НОРМИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Производственное освещение регламентируется СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение». Нормирование производственного освещения базируется на следующих понятиях:

1) **рабочая поверхность** – это поверхность, на которой производится работа и нормируется или измеряется освещенность;

2) **условная рабочая поверхность** – это условно принятая горизонтальная поверхность, расположенная на высоте 0,8 м от пола;

3) **характерный разрез помещения** – поперечный разрез середины помещения, плоскость которого перпендикулярна к плоскости остекления световых проемов (при боковом освещении) или к продольной оси пролетов помещения. В характерный разрез помещения должны попадать участки с наибольшим количеством рабочих мест, а также точки рабочей зоны, наиболее удаленные от световых проемов.

В соответствии со СНиП 23-05-95 территория Российской Федерации зонирована на *пять групп* административных районов по ресурсам светового климата (табл. П1 Приложения). Все зрительные работы подразделяются на *восемь разрядов* (I – наивысшей точности, II – очень высокой точности, III – высокой точности, IV – средней точности, V – малой точности, VI – грубая (очень малой точности), VII – работа со светящимися изделиями и работа в горячих цехах, VIII – любое наблюдение за ходом производственного процесса: постоянное, периодическое, при постоянном пребывании людей в помещении), каждый из которых, в зависимости от контраста объекта с фоном и характеристики фона, делится на *четыре подразряда* (а–г).

В разрядах и подразрядах нормируемый уровень освещенности определяется *наименьшим размером объекта различения* (при чер-

тежных работах – толщиной самой тонкой линии, при работе с приборами и аппаратурой – толщиной линии градуировки шкалы). При этом принимается во внимание, что расстояние от объекта различия до глаз работающего составляет 0,5 м. При увеличении этого расстояния свыше 0,5 м разряд работ следует определять в соответствии с требованиями СНиП 23-05-95.

1. Нормирование естественного и совмещенного освещения. Естественное освещение в отличие от искусственного нельзя задавать количественно. Естественное освещение нормируется не абсолютной величиной, а относительной, т. е. отношением естественной освещенности, создаваемой в некоторой точке заданной плоскости внутри помещения ($E_{\text{вн}}$, лк) светом неба (непосредственным или после отражения), к одновременному значению наружной горизонтальной освещенности, создаваемой светом полностью открытого небосвода ($E_{\text{н}}$, лк), которое носит название коэффициента естественной освещенности (КЕО или e):

$$\text{КЕО} = \frac{E_{\text{вн}}}{E_{\text{н}}} \cdot 100 \% . \quad (20)$$

Прямой солнечный свет при определении $E_{\text{вн}}$ и $E_{\text{н}}$ не принимают во внимание. Величина КЕО является относительной в силу того, что она не зависит от географической широты, метеорологических условий, времени года и суток. В зависимости от указанных условий, естественное освещение может резко меняться за очень короткий промежуток времени и в довольно широких пределах. Значения КЕО для различных помещений лежат в пределах 0,1–12 %. Точка для измерения наружной освещенности выбирается на открытом участке земной поверхности.

В связи с тем, что наружная освещенность непостоянна и резко колеблется как по времени года, так и по часам суток, то вводится величина неравномерности освещения (z), представляющая собой отношение среднего значения коэффициента естественной освещенности ($\text{КЕО}_{\text{ср}}$) к его наименьшему значению (КЕО_{min}) в пределах характерного разреза помещения:

$$z = \frac{\text{КЕО}_{\text{ср}}}{\text{КЕО}_{\text{min}}} . \quad (21)$$

Неравномерность естественного освещения производственных и общественных зданий с верхним или комбинированным освещением не должна превышать 3 : 1. Величина z не нормируется для помещений с боковым освещением и для производственных помещений, в которых выполняются зрительные работы VII и VIII разрядов, при верхнем и боковом освещении вспомогательных помещений, а также помещений общественных зданий, в которых выполняются зрительные работы разряда г.

При одностороннем боковом освещении нормируется минимальное значение (КЕО_{min}) в точке, наиболее удаленной от световых проемов (на расстоянии 1 м от поверхности стен или перегородок), при двухстороннем – в точке посередине помещения, а в помещениях с верхним и комбинированным (совмещенным) освещением – по среднему значению ($\text{КЕО}_{\text{ср}}$) на уровне пола для характерного разреза помещения в пределах рабочей зоны (рис. 20):

$$\text{КЕО}_{\text{ср}} = \frac{1}{n-1} \left(\frac{\text{КЕО}_1}{2} + \text{КЕО}_2 + \text{КЕО}_3 + \dots + \frac{\text{КЕО}_n}{2} \right) , \quad (22)$$

где n – число точек определения (первая и последняя точки определяются на расстоянии 1 м от поверхности стен помещения или перегородок); $\text{КЕО}_1, \text{КЕО}_2, \text{КЕО}_3, \dots, \text{КЕО}_n$ – величины КЕО при верхнем и совмещенном освещении в точках характерного разреза помещения.

При совмещенном естественном освещении величина $\text{КЕО}_{\text{сов}}$ определяется по формуле:

$$\text{КЕО}_{\text{сов}} = \text{КЕО}_{\text{б}} + \text{КЕО}_{\text{в}} , \quad (23)$$

где $\text{КЕО}_{\text{б}}$ и $\text{КЕО}_{\text{в}}$ – значения КЕО при боковом и верхнем освещении соответственно.

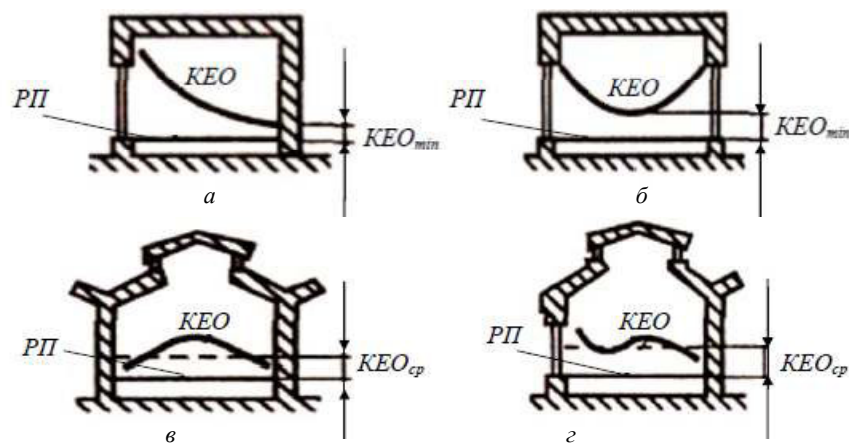


Рис. 20. Схема распределения КЕО по характерному разрез производственного помещения:

а – одностороннее боковое освещение; *б* – двухстороннее боковое освещение;
в – верхнее освещение; *г* – комбинированное освещение.
 РП – уровень рабочей поверхности

В производственных помещениях глубиной до 6,0 м при одностороннем боковом освещении нормируется $КЕО_{min}$ в точке, расположенной на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и условной рабочей поверхности на расстоянии 1,0 м от стены или линии максимального заглубления зоны, наиболее удаленной от световых проемов. В крупногабаритных производственных помещениях глубиной более 6,0 м при боковом освещении нормируется $КЕО_{min}$ в точке на условной рабочей поверхности, удаленной от световых проемов:

- на 1,5 высоты от пола до верха светопроемов для зрительных работ I–IV разрядов,
- на 2,0 высоты от пола до верха светопроемов для зрительных работ V–VII разрядов,
- на 3,0 высоты от пола до верха светопроемов для зрительных работ VIII разряда.

Достаточность естественного освещения в производственных помещениях регламентируется нормами СНиП 23-05-95. Величина

освещенности с учетом характера зрительных работ, вида производственного освещения и географического района расположения здания называется нормированным коэффициентом естественной освещенности (e_N):

$$e_N = e_n \cdot m_N, \quad (24)$$

где N – номер группы обеспеченности естественным светом (табл. П1 Приложения); e_n – нормированное значение КЕО (табл. 13, табл. П3 Приложения); m_N – коэффициент светового климата (табл. П2 Приложения).

Полученные по формуле (24) значения следует округлять до десятых долей.

Освещенность помещения естественным светом характеризуется величинами КЕО для ряда точек, расположенных в пересечении двух плоскостей: вертикальной плоскости характерного разреза помещения и плоскости, принимаемой за условную рабочую поверхность. Исследование естественной освещенности в производственных помещениях заключается в определении фактического значения КЕО.

Соответствующая оценка естественной освещенности дается на основании сопоставления экспериментально измеренного значения КЕО с нормативным по СНиП 23-05-95. Расчетное значение КЕО при верхнем и комбинированном естественном освещении должно быть не менее нормированного значения e_n при боковом освещении для соответствующих зрительных работ.

Освещенность рабочих мест определяется глубиной помещения, расстоянием от пола до подоконников, шириной простенков, а также степенью затемнения помещений расположенными рядом зданиями или установками. При экспериментальном определении значения КЕО необходимо учитывать уровень и характер загрязнения остекленных поверхностей и стен производственного помещения.

Упрощенно естественное освещение нормируется, исходя из так называемого светового коэффициента. *Световой коэффициент* ($K_{св}$) – санитарный показатель естественного освещения помещений, представляющий собой отношение площади остекленной поверхности окон (S_o) к площади пола (S_n):

$$K_{\text{св}} = \frac{S_0}{S_{\text{п}}} \quad (25)$$

При расчетах числитель дроби приводится к 1, для этого и числитель и знаменатель делят на величину числителя. В учебных учреждениях значение светового коэффициента должно быть не менее 1/4–1/5, в коридорах – не менее 1/5–1/6, во вспомогательных помещениях – не менее 1/8–1/10 и на лестничных площадках – не менее 1/12. Оценка естественного освещения методом $K_{\text{св}}$ не учитывает многих факторов (например, затемнение окон противостоящими зданиями, форму и ширину окон и т. д.).

Проектирование естественного освещения зданий должно базироваться на изучении трудовых процессов, выполняемых в помещениях, а также на светоклиматических особенностях места строительства зданий. При этом должны быть определены следующие параметры: характеристика и разряд зрительных работ, группа административного района, в котором предполагается строительство здания, нормированное значение КЕО с учетом характера зрительных работ и светоклиматических особенностей места расположения зданий, требуемая равномерность естественного освещения, продолжительность использования естественного освещения в течение суток для различных месяцев года с учетом назначения помещения, режима работы и светового климата местности, а также необходимость защиты помещения от слепящего действия солнечного света.

Проектирование естественного освещения здания должно выполняться в следующей последовательности:

1-й этап: определение требований к естественному освещению помещений; выбор систем освещения; выбор типов световых проемов и светопропускающих материалов; выбор средств для ограничения слепящего действия прямого солнечного света; учет ориентации здания и световых проемов по сторонам горизонта;

2-й этап: выполнение предварительного расчета естественного освещения помещений (определение необходимой площади световых проемов); уточнение параметров световых проемов и помещений;

3-й этап: выполнение проверочного расчета естественного освещения помещений; определение помещений, зон и участков,

имеющих недостаточное по нормам естественное освещение; определение требований к дополнительному искусственному освещению помещений, зон и участков с недостаточным естественным освещением; определение требований к эксплуатации световых проемов;

4-й этап: внесение необходимых корректив в проект естественного освещения и повторный проверочный расчет (при необходимости).

II. Нормирование искусственного освещения. Искусственное освещение нормируется *количественными* (минимальная освещенность (E_{min}), яркость) и *качественными* величинами (показатель ослепленности (P), показатель дискомфорта (M) и коэффициент пульсации освещенности ($K_{\text{п}}$), которые являются обязательными при создании безопасных и рациональных условий труда на производстве. Важно также учитывать спектральный состав источников искусственного освещения.

Нормы проектирования производственного освещения в соответствии со СНиП 23-05-95 приведены в табл. 14. В производственных помещениях освещенность проходов и участков, где работа не производится, должна составлять не более 25 % нормируемой освещенности, создаваемой светильниками общего освещения, но не менее 75 лк при разрядных лампах и не менее 30 лк при лампах накаливания. При этом необходимо принимать во внимание, чтобы яркость рабочей поверхности не превышала допустимых значений, указанных в табл. 13.

Таблица 13

Наибольшая допустимая яркость рабочей поверхности

Площадь рабочей поверхности, м ²	$B_{\text{наиб}}$, кд/м ²
Менее 0,0001	2000
От 0,0001 до 0,001	1500
От 0,001 до 0,01	1000
От 0,01 до 0,1	750
Более 0,1	500

Нормы проектирования освещения [1]

Характеристика зрительной работы	Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение					Естественное освещение		Совмещенное освещение	
						Освещенность $E_{\text{тп}}$, лк			Сочетание нормируемых величин показателя ослепленности и коэффициента пульсации	КЕО, $e_{\text{тп}}$, %				
						при системе комбинированного освещения		при системе общего освещения		при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	
						всего	в т.ч. от общего							P
Наивысшей точности	Менее 0,15	I	a	Малый	Темный	5000 4500	500 500	— —	20 10	10 10	—	—	6,0	2,0
			б	Малый Средний	Средний Темный	4000 3500	400 400	1250 1000	20 10	10 10				
			в	Малый Средний	Светлый Средний	2500 2000	300 200	750 600	20 10	10 10				
			г	Средний Большой	Светлый « Средний	1500 1250	200 200	400 300	20 10	10 10				
			а	Малый	Темный	4000 3500	400 400	— —	20 10	10 10				
б	Малый Средний	Средний Темный	3000 2500	300 300	750 600	20 10	10 10							
в	Малый Средний	Светлый Средний	2000 1500	200 200	500 400	20 10	10 10							
г	Средний Большой	Светлый Светлый Средний	1000 750	200 200	300 200	20 10	10 10							
Высокой точности	От 0,30 до 0,50	III	a	Малый	Темный	2000 1500	200 200	500 400	40 20	15 15	—	—	3,0	1,2
			б	Малый Средний	Средний Темный	1000 750	200 200	300 200	40 20	15 15				
			в	Малый Средний	Светлый Средний	750 600	200 200	300 200	40 20	15 15				
			г	Средний Большой	Светлый « Средний	400	200	200	40	15				

Средней точности	Св. 0,5 до 1,0	IV	a	Малый	Темный	750	200	300	40	20	4	1,5	2,4	0,9
			b	Малый	Средний	500	200	200	40	20				
			в	Малый	Светлый	400	200	200	40	20				
			г	Средний	Светлый	—	—	200	40	20				
Малой точности	Св. 1 до 5	V	a	Малый	Темный	400	200	300	40	20	3	1	1,8	0,6
			b	Малый	Средний	—	—	200	40	20				
			в	Малый	Светлый	—	—	200	40	20				
			г	Средний	Светлый	—	—	200	40	20				
Грубая (очень малой точности)	Более 5	VI			Независимо от характеристик фона и контраста объекта с фоном	—	—	200	40	20	3	1	1,8	0,6
Работа со светящимися материалами и изделиями в горячих цехах	Более 0,5	VII			То же	—	—	200	40	20	3	1	1,8	0,6
Общее наблюдение за ходом производственного процесса:		VIII												
— постоянное			a	«	«	—	—	200	40	20	3	1	1,8	0,6
— периодическое при постоянном пребывании людей в помещении			b	«	«	—	—	75	—	—	1	0,3	0,7	0,2
— периодическое при периодическом пребывании людей в помещении			в		Независимо от характеристик фона и контраста объекта с фоном	—	—	50	—	—	0,7	0,2	0,5	0,2
Общее наблюдение за инженерными коммуникациями			г		То же	—	—	20	—	—	0,3	0,1	0,2	0,1

Показатель дискомфорта (M) – это критерий оценки дискомфортной блескости, вызывающей неприятные ощущения при неравномерном распределении яркостей в поле зрения:

$$M = \frac{B_c \cdot \omega^{0,5}}{\varphi_\theta \cdot B_{ад}^{0,5}}, \quad (26)$$

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

Величина M определяется инженерным методом в зависимости типа кривой силы света светильника, распределения светового потока в верхнюю и нижнюю полусферы, коэффициентов отражения стен и пола, индекса помещения и площади выходного отверстия светильника.

В общеевропейской практике вместо показателя дискомфорта используется объединенный показатель дискомфорта (UGR), определяемый по формуле (n – число источников) [4, 14–16]:

$$UGR = 8 \lg \left[\frac{0,25}{B_{ад}} \sum_{i=1}^n \frac{B_{ci}^2 \omega_i}{\varphi_{\theta i}^2} \right]. \quad (27)$$

Объединенный показатель дискомфорта UGR связан с показателем дискомфорта M по формуле:

$$UGR = 16 \lg M - 4,8. \quad (28)$$

При проектировании объединенный показатель дискомфорта рассчитывается инженерным методом с помощью программных средств.

Определение показателя ослепленности (P) должно проводиться с учетом типов источника искусственного освещения и кривой силы света, геометрических размеров помещения и световых свойств поверхности, расстояния между светильниками в ряду и между линиями, а также с учетом высоты подвеса светильников над рабочей поверхностью. Помимо приведенной в главе 2 ориентировочной формулы (10), для оценки величины P может быть использовано выражение:

$$P = \frac{K \cdot 10^3}{B} \cdot \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{I_{\gamma i} \cos \theta_i}{l_i^2 \theta_i^2} \right)^{3/2} \right]^{2/3}, \quad (29)$$

где K – коэффициент, зависящий от яркости и спектрального состава излучения источника света; B – яркость рабочей поверхности, кд/м²; n – число светильников, учитываемых в расчете; $I_{\gamma i}$ – сила света i -го светильника в направлении к глазу наблюдателя, кд; θ_i – угол действия i -го светильника, град.; l_i – расстояние i -го светильника от глаз наблюдателя, м.

Важно, что для ограничения неблагоприятного влияния пульсации светового потока от газоразрядных ламп на организм человека необходимо учитывать сочетание показателя ослепленности и коэффициента пульсации, рекомендуемые значения которых приведены в табл. 13. Показатель ослепленности не нормируется для помещений, длина которых не превышает двойной высоты подвеса светильников над полом, а также для помещений с временным пребыванием людей и для площадок, предназначенных для прохода или обслуживания оборудования.

При нормировании искусственного освещения вводится величина неравномерности освещения (z), представляющая собой отношение максимального значения освещенности ($E_{\max}$) к ее минимальному значению ($E_{\min}$):

$$z = \frac{E_{\max}}{E_{\min}}. \quad (30)$$

Отношение максимальной освещенности к минимальной не должно превышать для работ I–III разрядов при люминесцентных лампах 1,3, при других источниках света – 1,5, для работ разрядов IV–VII – 1,5 и 2,0 соответственно. Неравномерность освещенности допускается повышать до 3,0 в тех случаях, когда по условиям технологии светильники общего освещения могут устанавливаться только на площадках, колоннах или стенах помещения.

Гигиенические требования к освещению помещений различного назначения представлены в табл. 15.

Нормы светотехнических величин и показателей по СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий» (извлечение)

Помещение	Естественное освещение*	Совмещенное освещение*	Искусственное освещение**		
	КЕО e_n , %	КЕО e_n , %	Освещенность E_{min} , лк	Показатель дискомфорта М, не более	Коэффициент пульсации K_p , %, не более
<i>Административные здания</i>					
Кабинеты, рабочие комнаты, офисы	1,0	0,6	300	40	15
Помещения для работы с дисплеями и видеотерминалами	1,2	0,7	400	15	10
Читальные залы	1,2	0,7	400	40	15
Аналитические лаборатории	1,5	0,9	500	40	10
Конференц-залы, залы заседаний	–	–	200	60	20
<i>Банковские и страховые учреждения</i>					
Операционный и кассовый залы	1,2	0,7	400	15	10
Серверная, электронная почта	–	–	400	40	10
<i>Учреждения общего образования, начального, среднего и высшего специального образования</i>					
Аудитории и лаборатории в высших учебных заведениях	1,2	0,7	400	40	10
Кабинеты информатики и вычислительной техники	1,2	0,7	400	15	10
<i>Жилые здания</i>					
Жилые комнаты, гостиные и спальни	0,5	–	150	–	–
Тренажерный зал	–	0,3	150	60	20

* при боковом освещении;

** при общем освещении.

III. Нормирование производственного освещения с учетом класса условий труда. Нормирование производственного освещения в зависимости от класса условий труда приведено в Р 2.2.2006-05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса» (табл. 16 и 17).

Таблица 16

Классы условий труда в зависимости от параметров световой среды

Фактор, показатель	Класс условий труда			
	допустимый	вредный		
	2	3.1	3.2	
Естественное освещение				
Коэффициент естественной освещенности КЕО, %	$\geq 0,5^*$	0,1–0,5*	< 0,1	
Искусственное освещение				
Освещенность рабочей поверхности E , лк для разрядов зрительных работ:	I–III, А, Б1	E^{**}	$0,5E_n \leq - < E_n$	< 0,5 E_n
	IV–XIV, Б2, В, Г, Д, Е, Ж	E_n^{**}	< E_n	–
Прямая блескость***	Отсутствие	Наличие	–	
Коэффициент пульсации освещенности K_n , %	K_n^{**}	K_n	–	

* Независимо от группы административных районов по ресурсам светового климата.

** Нормативные значения: освещенности – E_n , коэффициента пульсации освещенности – K_n в соответствии со СНиП 23-05-95, СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03, отраслевыми и ведомственными нормативными документами по освещению.

*** Контроль прямой блескости проводится визуально. При наличии в поле зрения работников слепящих источников света, ухудшения видимости объектов различения и жалоб работников на дискомфорт зрения условия труда по данному показателю относят к классу 3.1.

Таблица 17

Классы условий труда в зависимости от дополнительных параметров световой среды, регламентируемых СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 и отраслевыми (ведомственными) нормативными документами по освещению

Фактор, показатель	Класс условий труда	
	допустимый	вредный
	2	3.1
Яркость (B , кд/м ²)	B_n	> B_n
Отраженная блескость	Отсутствие	Наличие
Освещенность поверхности экрана ВДТ, лк	E_n	> E_n

Окончание табл. 17

Фактор, показатель	Класс условий труда	
	допустимый	вредный
	2	3.1
Неравномерность распределения яркости в поле зрения пользователя ПЭВМ (отн. ед.)*	≤ 300	> 300
Визуальные параметры ВДТ**:		
– яркость белого поля, кд/м ²	35	< 35
– неравномерность яркости рабочего поля, %	± 20	> 20
– контрастность для монохромного режима, отн. ед.	3	< 3
– пространственная (дрожание) и временная (мелькание) нестабильность изображения	Не должна визуально фиксироваться	Фиксируется визуально

* Контроль показателя «неравномерность распределения яркости в поле зрения пользователя ПЭВМ» проводят для рабочих мест, оборудованных ПЭВМ (СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03). Класс и степень вредности по этому показателю устанавливаются только для работ III категории трудовой деятельности в соответствии с классификацией СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03.

** Контроль визуальных параметров ВДТ на рабочем месте следует проводить только при наличии субъективных визуальных данных о необходимости их инструментальных измерений и оценки степени вредности.

При расположении рабочего места в нескольких зонах с различными условиями естественного освещения, в т. ч. и вне зданий, класс условий труда присваивается с учетом времени пребывания в этих зонах. Искусственное освещение оценивается по ряду показателей (освещенности, прямой блескости, коэффициенту пульсации освещенности и другим нормируемым показателям освещения).

После присвоения классов по отдельным показателям проводится окончательная оценка по фактору «искусственное освещение» путем выбора показателя, отнесенного к наибольшей степени вредности.

Общая оценка условий труда также производится с учетом возможности компенсации недостаточности или отсутствия естественного освещения путем создания благоприятных условий искусственного освещения и, при необходимости, компенсации ультрафиолетовой недостаточности (табл. 18).

Таблица 18

Оценка условий труда по фактору «Освещение»

Оценка естественного освещения	Оценка искусственного освещения*	Профилактическое ультрафиолетовое облучение работающих	Общая оценка освещения
2	2	–	2
	3.1	–	3.1
	3.2	–	3.2
3.1	2**	–	2
	3.1	–	3.1
	3.2	–	3.2
3.2	2**	имеется	3.1
		отсутствует	3.1
	3.1	имеется	3.1
		отсутствует	3.2
	3.2	имеется	3.2
		отсутствует	3.2

* Класс условий труда определен в соответствии с табл. 16 и 17.

** С учетом требований нормативной документации к повышению освещенности от искусственного освещения из-за недостаточности или отсутствия естественного освещения.

При выполнении на рабочем месте различных зрительных работ или при расположении рабочего места в нескольких зонах (помещениях, участках, на открытой территории и т. п.) оценка условий труда по показателям искусственного освещения проводится с учетом времени выполнения этих зрительных работ или с учетом времени пребывания в разных зонах работы. При этом вначале определяется класс условий труда с учетом времени воздействия по каждому показателю отдельно, а затем присваивается класс по фактору «искусственное освещение».

Безопасность и производительность труда оператора компьютерной техники напрямую зависит от *правильной организации* (создание на рабочих местах необходимых условий для высокопроизводительного труда и выполнения операций надлежащего качества при наиболее полном использовании компьютерного оборудования (планировка рабочего места с учетом эргономических и антропометрических характеристик), экономном расходовании физической и эмоциональной энергии оператора с сохранением его здоровья) и *режима труда* (особенности осуществляемого процесса, уровень специализации, степень разделения труда, используемые методы и приемы работы) на рабочем месте.

С позиции безопасности труда на здоровье пользователей компьютерной техники влияют: повышенное зрительное напряжение (развитие компьютерного зрительного синдрома (Computer Vision Syndrome или CVS)), нервно-эмоциональная перегрузка, длительное неизменное положение тела в процессе работы (гиподинамия), воздействие генерируемых электромагнитных полей и статического электричества, микроклимат, аэроионный и ингредиентный состав воздуха в помещении, а также состояние здоровья работающего (с учетом перенесенных заболеваний). Важно учитывать при гигиенической оценке интенсивность и длительность работы за компьютером.

Изображение на дисплее компьютера принципиально отличается от привычных глазу объектов наблюдения: является источником света, состоит из дискретных точек, мерцает, т. е. точки с определенной частотой зажигаются и гаснут, цветное компьютерное изображение не соответствует естественным цветам, свет от светодиодов является монохроматическим. Указанные факторы способст-

вуют развитию у пользователей *профессиональной офтальмопатии*. Важно отметить, что мерцание приводит к напряжению ресничных мышц, регулирующих ширину зрачка, а также соответствующих нервных центров мозга, приводя к ускорению процессов переутомления и снижения остроты зрения. Зрительная работа в неблагоприятных условиях вызывает нарушение аккомодации глаза, что особенно актуально при использовании в настоящее время ноутбуков, нетбуков и электронных книг. Разница в освещении способствует изменению ширины зрачка и неблагоприятному действию света на сетчатку при переводе взгляда от менее освещенного объекта к более освещенному. Таким образом, создание безопасных и комфортных зрительных условий труда пользователей компьютерной техники (или лиц, совмещающих эту работу с другой) составляет важную инженерно-техническую и медико-биологическую задачу.

Рациональное (оптимальное) производственное освещение – это освещение, отвечающее гигиеническим, эксплуатационным и экономическим требованиям (равномерное и достаточное освещение поверхности, равномерное распределение яркости, требуемый спектральный состав светового потока, обеспечение психологического комфорта, предупреждение развития зрительного и общего утомления, отсутствие слепимости и пульсации светового потока, безопасность работы при правильной эксплуатации световой установки, приемлемый срок службы светильника).

СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 (с изменениями и дополнениями от 27.04.2007 г. и 3.09.2010 г.) «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам (ПЭВМ) и организация работы» регламентирует требования к освещению рабочих мест пользователей ПЭВМ (включая принтеры, сканеры, клавиатуру, внешние модемы, сетевые устройства, устройства хранения информации, блоки питания) и видеодисплейных терминалов (ВДТ). При проектировании освещения в помещениях, оборудованных компьютерной техникой, также следует учитывать нормы СНиП 23-05-95, СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 и Р 2.2.2006-05.

Дизайн ПЭВМ должен предусматривать окраску корпуса в спокойные мягкие тона с диффузным рассеиванием света. Корпус ПЭВМ, клавиатура и другие блоки и устройства ПЭВМ должны

иметь матовую поверхность с коэффициентом отражения 40–60 % и не иметь блестящих деталей, способных создавать блики. Конструкция ВДТ должна предусматривать регулирование яркости и контрастности. Для дисплеев на электронно-лучевых трубках частота обновления изображения должна быть не менее 75 Гц при всех режимах разрешения экрана, гарантируемых нормативной документацией на конкретный тип дисплея, и не менее 60 Гц для дисплеев на плоских дискретных экранах (жидкокристаллических, плазменных и т. п.). Линия взора оператора должна быть перпендикулярна центру экрана и оптимальное ее отклонение от перпендикуляра, проходящего через центр экрана в вертикальной плоскости, не должно превышать $\pm 5^\circ$ (допустимое значение $\pm 10^\circ$). Регламентированные визуальные параметры устройств отображения информации представлены в табл. 19.

Таблица 19

Допустимые визуальные параметры устройств отображения информации
(визуальные параметры ВДТ, контролируемые на рабочих местах)

Параметр	Допустимые значения
Яркость белого поля	35 кд/м ^{2*}
Неравномерность яркости рабочего поля	$\pm 20\%$ **
Контрастность (для монохромного режима)	3:1*
Временная нестабильность изображения (непреднамеренное изменение во времени яркости изображения на экране дисплея)	Не должна фиксироваться
Пространственная нестабильность изображения (непреднамеренные изменения положения фрагментов изображения на экране). <i>L</i> – проектное расстояние наблюдения, мм	$2 \cdot 10^{(-4L)**}$

* не менее; ** не более.

В соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 эксплуатация компьютерной техники в помещениях без естественного освещения допускается только при соответствующем обосновании и наличии положительного санитарно-эпидемиологического заключения. Окна в помещениях, где эксплуатируется вычислительная техника, преимущественно должны быть ориентированы на север и северо-восток ($KEO_{\text{отт}} = 1,5\text{--}2,5\%$) и оборудованы регулирующими устройствами (жалюзи, занавеси, внешние козырьки). Рабочие столы

следует размещать таким образом, чтобы ВДТ были ориентированы боковой стороной к световым проемам (естественный свет должен падать преимущественно слева).

В помещениях, оборудованных компьютерной техникой, должна быть запроектирована система искусственного общего равномерного освещения (освещенность в горизонтальной плоскости должна быть не ниже $E_{\min} = 300$ лк). Регламентируемые правилами и нормами СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 значения светотехнических величин и показателей систематизированы в табл. 20.

В производственных и административно-общественных помещениях, в случаях преимущественной работы с документами, следует применять систему искусственного комбинированного освещения (к общему освещению дополнительно устанавливаются светильники местного освещения, предназначенные для освещения зоны расположения документов). В этом случае освещенность в горизонтальной плоскости должна быть не ниже $E_{\min} = 750$ лк, а при одновременной работе с документацией и видеодисплейным терминалом – $E_{\min} = 500$ лк. Следует отметить, что СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 регламентирует более жесткие нормативные требования к коэффициенту пульсации освещенности (5 % против 10 %), чем СНиП 23-05-95 и СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 для помещений, оборудованных компьютерной техникой (табл. 13 и 15).

Таблица 20

Требования к освещению и оформлению рабочих мест,
оборудованных ПЭВМ

Параметр	Величина
Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа	300–500 лк
Освещенность поверхности экрана	300 лк*
Яркость светящихся поверхностей (окна, светильники), находящихся в поле зрения	200 кд/м ^{2*}
Яркость бликов на экране ПЭВМ	40 кд/м ^{2*}
Яркость потолка	200 кд/м ^{2*}
Показатель ослепленности для источников общего искусственного освещения	20*
Показатель дискомфорта: – в административно-общественных помещениях – в дошкольных и учебных помещениях	40* 15*

окончание табл. 20

Параметр	Величина
Защитный угол светильника: – в системе общего освещения – в системе местного освещения с непросвечивающим отражателем	40° ** 40° **
Коэффициент пульсации освещенности	5 %*
Коэффициент запаса для осветительных установок общего освещения	1,4
Коэффициент отражения диффузно-отражающих материалов, служащих для внутренней отделки интерьера помещений: – потолок – стены – пол	70–80 % 50–60 % 30–50 %
Коэффициент отражения поверхности рабочего стола	50–70 %

* не более; ** не менее.

В качестве источников света при искусственном освещении следует применять преимущественно люминесцентные лампы типа ЛБ и компактные люминесцентные лампы (КЛЛ). При устройстве отраженного освещения в производственных и административно-общественных помещениях допускается применение металлогалогенных ламп. В светильниках местного освещения допускается применение ламп накаливания, в том числе галогенных. Следует отметить, что в соответствии с Изменениями № 3, утвержденными Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 03.09.2010 № 116, эти требования п. 6.10 СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 были исключены.

Указанные Изменения коснулись и п. 6.11, из которого в том числе были исключены требования к использованию светильников с зеркальными параболическими решетками, укомплектованными электронными пускорегулирующими аппаратами (ЭПРА). Новая редакция п. 6.11 оставила возможность применения многоламповых светильников с электромагнитными пускорегулирующими аппаратами (ЭМПРА), состоящими из равного числа опережающих и отстающих ветвей.

СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 также накладывает ограничения на неравномерность распределения яркости в поле зрения пользователя ПЭВМ (соотношение яркости между рабочими поверхностями

не должно превышать 3 : 1–5 : 1, а между рабочими поверхностями и поверхностями стен и оборудования – 10 : 1).

Общее освещение при использовании люминесцентных светильников следует выполнять в виде сплошных или прерывистых линий светильников, расположенных сбоку от рабочих мест, параллельно линии зрения пользователя при рядном расположении видеодисплейных терминалов. При периметральном расположении компьютеров линии светильников должны располагаться локализовано над рабочим столом ближе к его переднему краю, обращенному к оператору.

Режим труда и отдыха при работе с ПЭВМ регламентируют гигиенические критерии ТОИ Р-45-084-01 «Типовая инструкция по охране труда при работе на персональном компьютере», СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 и Р 2.2.2006-05, согласно которым общее время работы за компьютерной техникой не должно превышать 6 ч, а продолжительность работы с ПЭВМ при вводе данных, редактировании документов и программ, чтении информации с экрана не должна превышать 4 ч (при 8-часовом рабочем дне) (табл. 21). Важно отметить, что через каждый час работы должен устраиваться перерыв на 5–10 мин, а через 2 ч – перерыв на 15 мин. Время перерывов указано при соблюдении соответствующих требований СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. При несоответствии фактических условий труда этим требованиям время регламентируемых перерывов следует увеличивать на 30 %.

Таблица 21

Время регламентированных перерывов в зависимости от продолжительности рабочей смены, вида и категории трудовой деятельности с ПЭВМ

Категория	Уровень нагрузки за рабочую смену при видах работ за компьютером			Суммарное время регламентированных перерывов, мин	
	Группа А, количество знаков	Группа Б, количество знаков	Группа В, ч	При 8-часовой смене	При 12-часовой смене
I	До 20 000	До 15 000	До 2,0	30	70
II	До 40 000	До 30 000	До 4,0	50	90
III	До 60 000	До 40 000	До 6,0	70	120

При 12-часовой рабочей смене регламентированные перерывы должны устанавливаться в первые 8 ч работы аналогично перерывам при 8-часовой рабочей смене, а в течение последних 4 ч работы, независимо от категории и вида работ, каждый час продолжительностью 15 мин. Продолжительность непрерывной работы с видеодисплейным терминалом без регламентированного перерыва не должна превышать 1 ч. При работе с ПЭВМ в ночную смену (с 22 до 6 ч), независимо от категории и вида трудовой деятельности, продолжительность регламентированных перерывов следует увеличивать на 30 %.

С целью снижения нервно-эмоционального напряжения, утомления зрительного анализатора, устранения влияния гиподинамии и гипокинезии, а также предотвращения развития позитонического утомления целесообразно выполнять комплексы упражнений, изложенные в СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Следует упомянуть и о том, что профессиональные пользователи компьютерной техники должны проходить обязательные предварительные (при поступлении на работу) и периодические медицинские осмотры в установленные сроки, а также восполнять недостаток микроэлементов и витаминов А, С и группы В.

Глава 10. || СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

I. Светотехнический расчет естественного освещения. Его целью является определение необходимой площади световых проемов для помещения или значения коэффициента естественной освещенности. Расчет естественного освещения помещений производится без учета мебели, оборудования, озеленения и других затеняющих предметов, а также при 100 %-м использовании светопрозрачных заполнений в светопроемах. Расчетные значения КЕО следует округлять до сотых долей. Допускается снижение расчетного значения КЕО (e_p) от нормируемого КЕО (e_n) не более чем на 10 %.

Значения различных коэффициентов для расчета естественного освещения приведены в соответствующих таблицах СНиП 23-05-95. Расчет площади световых проемов, обеспечивающих нормированное значение e_n , осуществляется исходя из зависимостей:

– при боковом освещении:

$$S_o = \frac{S_{\pi} \cdot e_n \cdot K_z \cdot \eta_o \cdot K_{зд}}{100 \cdot \tau_{общ} \cdot r_1}, \quad (31)$$

– при верхнем освещении:

$$S_{\phi} = \frac{S_{\pi} \cdot e_n \cdot K_z \cdot \eta_{\phi} \cdot K_{\phi}}{100 \cdot \tau_{общ} \cdot r_2}, \quad (32)$$

где S_o , S_{ϕ} – площадь окон и фонарей, m^2 ; S_{π} – площадь пола, m^2 ; e_n – нормированное значение КЕО, %; K_z – коэффициент запаса, определяемый с учетом запыленности, загазованности и задымленности помещения, наклонного, горизонтального или вертикального расположения стекол и периодичности их очистки (табл. П4 Прило-

жения); η_o , η_ϕ – коэффициенты световой активности окна и фонаря (табл. П5 и П6 Приложения); $\tau_{\text{общ}}$ – общий коэффициент светопропускания, учитывающий оптические свойства стекла, частичные потери света в переплетах из-за загрязнения остекленной поверхности, наличия несущих и солнцезащитных конструкций перед окнами; $K_{\text{зд}}$ – коэффициент, учитывающий затемнение окон противостоящими зданиями (табл. П7 Приложения); r_1 , r_2 – коэффициенты, учитывающие отражение света при боковом и верхнем освещении (табл. П9 и П10 Приложения); K_ϕ – коэффициент, учитывающий тип фонаря (табл. П8 Приложения).

Общий коэффициент светопропускания ($\tau_{\text{общ}}$) рассчитывается по уравнению:

$$\tau_{\text{общ}} = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4 \cdot \tau_5, \quad (33)$$

где τ_1 – коэффициент светопропускания материала (значения коэффициентов τ_1 , τ_2 и τ_3 приведены в табл. П11 Приложения); τ_2 – коэффициент, учитывающий потери света в переплетах светопроема; τ_3 – коэффициент, учитывающий потери света в несущих конструкциях; τ_4 – коэффициент, учитывающий потери света в солнцезащитных устройствах (табл. П12 Приложения); τ_5 – коэффициент, учитывающий потери света в защитной сетке, устанавливаемой под фонарями ($\tau_5 = 0,9$).

По рассчитанной площади световых проемов определяется количество окон:

$$n = \frac{S_o}{S}, \quad (34)$$

где n – расчетное количество окон, шт.; S_o – расчетная площадь остекления, м²; S – площадь одного окна, м².

Установленные расчетом размеры световых проемов допускается изменять, в среднем, не более плюс 5 и минус 10 %.

Пример. Рассчитать площадь световых проемов в архиве хранения носителей информации (характеристика зрительной работы – грубая, разряд зрительной ра-

боты – VI). Помещение имеет размеры $A = 100$ м, $B = 30$ м и $H = 4$ м. При боковом освещении в средней полосе России находим по формуле (31) необходимую площадь световых проемов:

$$S_o = \frac{3000 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 10 \cdot 1}{100 \cdot 0,6 \cdot 1,2} = 500 \text{ м}^2.$$

В расчетах приняты: $e_H = 1 \%$, $\eta_o = 10$, $K_3 = 1,2$, $K_{30} = 1$, $\tau_{\text{общ}} = 0,6$, $r_1 = 1,2$, а $S_{\text{п}} = 100 \cdot 30 = 3000 \text{ м}^2$. Тогда общая площадь стен составит $2 \cdot (100 \cdot 4 + 30 \cdot 4) = 1040 \text{ м}^2$. При этом световые проемы должны составлять $(500 \cdot 100) / 1040 = 48 \%$. Принимаем расположение световых проемов на двух стенах с $L = 100$ м. На каждой из стен световые проемы должны составлять 250 м^2 или $(250 \cdot 100) / (4 \cdot 100) = 62,5 \%$.

При расчете естественного освещения помещений в условиях застройки коэффициент отражения строительных и облицовочных материалов ρ_m для фасадов противостоящих зданий (без остекленных проемов фасада) следует принимать:

- для строящихся зданий – по данным, приведенным в сертификате на отделочный материал фасада или по данным измерений;
- для существующей застройки – по справочным таблицам СНиП 23-05-95 и СП 52.13330.2011.

Средневзвешенный коэффициент отражения остекленных проемов фасада с учетом переплетов $\rho_{\text{ок}}$ в расчетах принимается равным 0,2. Средневзвешенный коэффициент отражения фасада ρ_ϕ с учетом остекленных проемов рассчитывается по формуле:

$$\rho_\phi = \frac{\rho_m S_m + \rho_{\text{ок}} S_{\text{ок}}}{S_m + S_{\text{ок}}}, \quad (35)$$

где ρ_m , $\rho_{\text{ок}}$ – коэффициент отражения материала отделки фасада и коэффициент отражения остекленных проемов фасада с учетом переплетов соответственно; S_m , $S_{\text{ок}}$ – площадь фасада без светопроемов и площадь светопроемов соответственно.

Расчетный (действительный) коэффициент естественной освещенности при боковом (формула (36)), верхнем (формула (37)) и совмещенном (формула (38)) освещении вычисляется по формулам:

$$KEO_{\text{расч}}^{\text{б}} = \frac{(\epsilon_n^{\text{б}} \beta_a + \epsilon_{\text{зд}} b_\phi \gamma_a K_{\text{зд}}) r_o \tau_{\text{общ}}}{K_3}, \quad (36)$$

$$KEO_{расч}^B = \frac{(\epsilon_n^B + \epsilon_{отр}^B) \tau_{общ}}{K_3}, \quad (37)$$

$$KEO_{расч}^C = KEO_{расч}^B + KEO_{расч}^B, \quad (38)$$

где ϵ_n^B – значение КЕО в расчетных точках при боковом освещении, создаваемое прямым светом участков неба, видимых через световые проемы; β_a – коэффициент ориентации световых проемов, учитывающий ресурсы естественного света по кругу горизонта; $\epsilon_{зд}$ – геометрический КЕО участка фасада противостоящего здания, видимого из расчетной точки через световой проем; b_ϕ – средняя относительная яркость фасадов противостоящих зданий; γ_a – коэффициент ориентации фасада здания, учитывающий зависимость его яркости от ориентации по сторонам горизонта; r_o – коэффициент, учитывающий повышение КЕО благодаря свету, отраженному от поверхностей помещения и подстилающего слоя при открытом горизонте (отсутствие противостоящих зданий); ϵ_n^B – значение КЕО в расчетных точках при верхнем освещении, создаваемом прямым светом неба; $\epsilon_{отр}^B$ – значение КЕО в расчетных точках при верхнем освещении, создаваемое светом, отраженным от внутренних поверхностей помещения.

Геометрический коэффициент естественной освещенности отличается от расчетного (действительного) тем, что учитывает только диффузный свет неба и не учитывает реальные условия освещения: неравномерную яркость небосвода, влияние остекления оконных проемов и усиление освещенности отраженным светом. Для определения геометрического КЕО известны ряд методов: Винера, Хигби, Бабурина, Хорошилова, Кожича, Дорнона, Дреслера и Данилюка.

Графический (графоаналитический) метод А. М. Данилюка заключается в разбиении полусферы небосвода на 10 000 участков равной световой активности с последующим подсчетом этих участков, видимых из расчетной точки помещения (М) через световой проем (определяется какая часть светового потока от всей небесной полусферы непосредственно попадает в расчетную точку) (рис. 21).

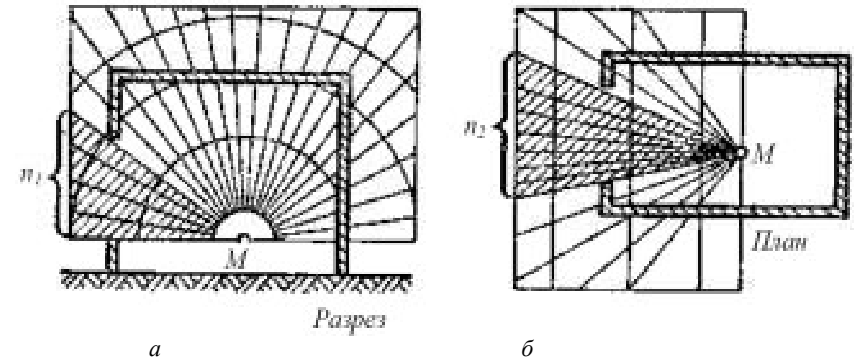


Рис. 21. Схема определения КЕО по методу А. М. Данилюка:
а – график I (вертикальная проекция наклонных плоскостей);
б – график II (горизонтальная проекция вертикальных плоскостей)

Этот метод является удобным, простым и весьма универсальным при определении геометрического КЕО ($\epsilon = 0,01(n_1 \cdot n_2)$) плоских проемов прямоугольной формы.

Для расчета величины КЕО при боковом освещении с использованием графических зависимостей (в т. ч. и при перепланировке помещений общественных и производственных зданий) имеет место следующая последовательность действий:

а) по строительным чертежам находят суммарную площадь световых проемов A_o и освещаемую площадь пола помещения A_n и определяют отношение A_o/A_n ;

б) определяют глубину помещения d_n и высоту верхней грани световых проемов над уровнем условной рабочей поверхности h_o и по ним значение d_n/h_o ;

в) по значениям A_o/A_n и d_n/h_o находят точку с соответствующими значениями КЕО (рис. 22).

Приведенные графики построены для окон с двумя слоями листового оконного стекла в спаренных металлических открывающихся переплетах. Примеры светотехнических расчетов естественного освещения рабочих кабинетов, офисов, учебных помещений и жилых комнат с учетом технико-экономических оценок показаны в СП 23-102-2003 «Естественное освещение жилых и общественных зданий».

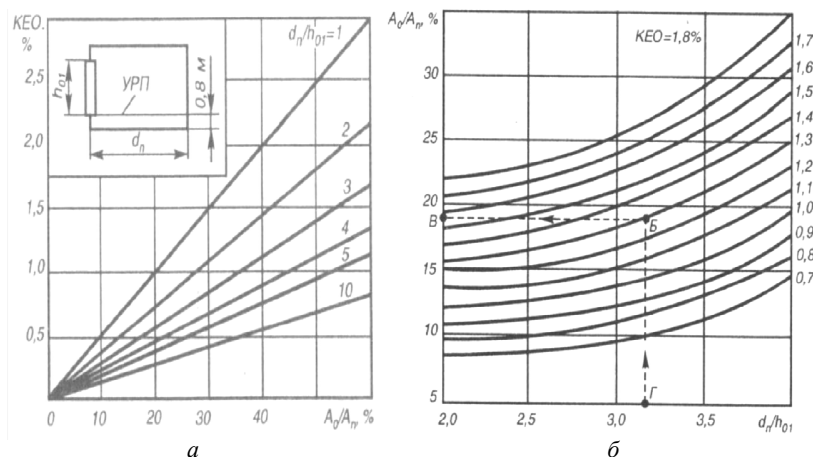


Рис. 22. Определение КЕО:

а – по значению площади светового проема и освещаемой площади пола;

б – по глубине помещения и высоте световых проемов

II. Светотехнический расчет искусственного освещения. Его целью является определение требуемой мощности осветительной установки для создания необходимой освещенности. Проектирование системы искусственного освещения заключается в выборе в зависимости от площади помещения, подлежащей освещению, условий труда (пожаро- и взрывоопасность, задымленность, высокая влажность, запыленность, загазованность) и напряженности зрительных работ – вида освещения, типа светильника и их количества, мощности ламп, высоты подвеса светильников (рис. 18), характера размещения светильников в помещении (рис. 17), экономичности и, наконец, соответствия спроектированного искусственного освещения нормам СНиП 23-05-95.

Для светотехнического расчета искусственного освещения могут быть использованы: метод коэффициента использования светового потока, метод удельной мощности, точечный метод и метод светящихся линий (полос). Справочные величины в указанных методах уточняются по соответствующей литературе [1–19].

Метод коэффициента использования светового потока. Данный метод учитывает световой поток, отраженный от стен и потолка и является наиболее распространенным и адекватным для расчета общего равномерного освещения горизонтальной рабочей поверхности.

Порядок расчета искусственного освещения по этому методу следующий:

а) определяется величина светового потока:

– для ламп накаливания и ламп марок ДРЛ, ДРИ и ДНаТ:

$$F_{\text{расч}} = \frac{100 E_n \cdot S \cdot z \cdot K_z}{n \cdot \eta}, \quad (39)$$

– для люминесцентных ламп:

$$F_{\text{расч}} = \frac{100 E_n \cdot S \cdot z \cdot K_z}{n \cdot \eta \cdot m}, \quad (40)$$

где $F_{\text{расч}}$ – расчетный световой поток, лм; E_n – нормированная освещенность, лк; S – площадь помещения, м²; z – коэффициент, учитывающий неравномерность освещения ($z = 1,1$ – для люминесцентных ламп; $z = 1,15$ – для точечных источников (с лампами ДРЛ и ДРИ)); K_z – коэффициент запаса, учитывающий снижение освещенности при эксплуатации (табл. П4 Приложения); n – число светильников в помещении; η – коэффициент использования светового потока, зависящий от типа светильников и учитывающий индекс помещения (табл. П13–П15 Приложения); m – количество ламп в светильнике.

В знаменателях формул (39) и (40) может присутствовать коэффициент β , который вводится в расчет только при наличии крупногабаритного оборудования, затеняющего пространство.

б) индекс (показатель) помещения (i) рассчитывается по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{(A + B) \cdot h} = \frac{S}{(A + B) \cdot h}, \quad (41)$$

где A и B – длина и ширина помещения в плане, м; h – высота подвеса светильников над рабочей поверхностью, м.

в) рассчитывается количество ламп накаливания (n):

$$n = \frac{S}{L^2}, \quad (42)$$

где S – освещаемая площадь пола, м²; L – расстояние между светильниками, м.

г) по справочным данным табл. П16–П18 Приложения (ГОСТ 2239-79 «Лампы накаливания общего назначения. Технические условия» и ГОСТ 6825-91 «Лампы люминесцентные трубчатые для общего освещения») выбирается лампа с ближайшим к расчетному световым потоком и определяется ее мощность, а затем и мощность всей осветительной установки (ΣP , Вт):

$$\Sigma P = n \cdot P_{\text{л}}, \quad (43)$$

где n – число светильников; $P_{\text{л}}$ – мощность одной лампы, Вт.

д) при освещении светильниками с люминесцентными лампами до расчета намечается число рядов этих светильников (непрерывных или прерывистых), а затем задается тип и электрическая мощность выбранной лампы, что определит ее световой поток ($F_{\text{выбр}}$), и тип светильника. Необходимое число светильников (n) вычисляется по формуле (40).

В общем случае при проектировании производственного освещения необходимо учитывать, что светильники имеют различную длину, зависящую от их типа и мощности применяемых люминесцентных ламп (например, длина светильника с люминесцентными лампами 40 Вт составляет порядка 1225–1300 мм, 80 Вт – до 1525–1570 мм). Суммарная потребляемая мощность осветительной установки (ΣP , Вт) находится из выражения:

$$\Sigma P = P_{\text{л}} \cdot m \cdot n, \quad (44)$$

где $P_{\text{л}}$ – мощность, потребляемая одной лампой, Вт.

Отклонение стандартного светового потока выбранной лампы от расчетного проверяется по формуле:

$$\Delta F = \frac{(F_{\text{выбр}} - F_{\text{расч}})}{F_{\text{расч}}} \cdot 100 \% . \quad (45)$$

В практике допускается отклонение светового потока выбранной лампы от расчетного в пределах от минус 10 до плюс 20 %. В противном случае задается другая схема расположения светильников (иногда их тип) и расчет повторяется.

Пример. Рассчитать искусственное общее равномерное освещение в дисплейном зале. Помещение имеет размеры $A = 9$ м, $B = 6$ м и $H = 3,5$ м. В соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300–500 лк ($E_{\text{мин}} = 300$ лк), а защитный угол светильников не менее 40°. Принимаем люминесцентные лампы типа ЛБ мощностью 40 Вт (световая отдача 78,0 лм/Вт, средний срок службы 10 000 ч) и закрытые светильники ЛПО-02 (в каждом светильнике располагается по две лампы ($m = 2$)) с ЭПРА (коэффициент пульсации не должен превышать 5 %), располагая их непрерывными рядами вдоль длинной стороны. Тогда необходимое число светильников по формуле (40) составит:

$$n = \frac{100 \cdot 300 \cdot 54 \cdot 1,1 \cdot 1,4}{3120 \cdot 40,95 \cdot 2} \approx 10 \text{ шт.}$$

При расчете принято: $K_z = 1,4$; $z = 1,1$; $\rho_{\text{н}} = 70$ %, $\rho_{\text{с}} = 50$ % и $\rho_{\text{р}} = 30$ %; рабочая высота подвеса с учетом габаритов самого светильника $h - 1 = 3,5 - 1 = 2,5$ м (светильники располагаются непосредственно на потолке, т. е. на максимальной высоте); $S = 9 \cdot 6 = 54$ м²; $i = 1,44$; для двухлампового светильника ЛПО-02 имеем $\eta \cdot 0,91 = 45 \cdot 0,91 = 40,95$ %; $F = 3120$ лм; общее количество ламп ЛБ-40 20 шт. Тогда мощность осветительной установки составит $\Sigma P = 40 \cdot 2 \cdot 10 = 800$ Вт.

В другом случае можно принять четырехламповый закрытый светильник ЛПО-02 с лампами ЛБ-65 (световая отдача 70,8 лм/Вт, средний срок службы 10 000 ч). Тогда имеем: $\eta \cdot 0,88 = 45 \cdot 0,88 = 39,60$ %; $F = 4600$ лм. Необходимое число светильников составит:

$$n = \frac{100 \cdot 300 \cdot 54 \cdot 1,1 \cdot 1,4}{4600 \cdot 39,60 \cdot 4} \approx 4 \text{ шт.}$$

Общее количество ламп ЛБ-65 16 шт. Тогда мощность осветительной установки составит $\Sigma P = 65 \cdot 4 \cdot 4 = 1040$ Вт.

Точечный метод. Данный метод реализуется в двух вариантах и применяется для расчета общего локализованного и комбинированного освещения. По точечному методу при круглосимметричных точечных излучателях (лампы накаливания и ДРЛ) принимается во внимание, что световой поток лампы (или суммарный световой поток ламп) в каждом светильнике равен 1000 лм. Создаваемая таким светильником освещенность носит название *условной*.

При *первом варианте* точечного метода алгоритм расчета следующий:

а) определяется расстояние (r , м) от перпендикуляра, опущенного из центра источника света на горизонтальную поверхность до данной точки A ;

б) задается высота подвеса светильника (H_p , м) и определяется угол α по уравнению:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{r}{H_p} . \quad (46)$$

в) определяется сила света (I_a), соответствующая углу на кривой светораспределения светильника с условной лампой, имеющей световой поток 1000 лм;

г) рассчитывается условная освещенность от одиночного светильника по уравнению:

$$E_A = \frac{I_a \cdot \cos \alpha}{r^2} , \quad (47)$$

где E_A – условная освещенность горизонтальной поверхности в расчетной точке A , лк; I_a – сила света в направлении от источника на данную точку A рабочей поверхности, кд; r – расстояние от светильника до расчетной точки A , м; α – угол между нормалью рабочей поверхности и направлением светового потока от источника.

Для практических расчетов в указанную выше формулу вводят коэффициент запаса (K_3) и, принимая во внимание расстояние от светильника до расчетной точки (r), как отношение высоты светильника над рабочей поверхностью к $\cos \alpha$, получаем уравнение:

$$E_A = \frac{I_a \cdot \cos^3 \alpha}{K \cdot H_p^2} . \quad (48)$$

Далее рассчитывается освещенность от каждого из нескольких светильников с последующим суммированием полученных значений. Критерием правильности расчета является $E_A \geq E_H$. Задавшись нормированным значением E_H , рассчитывается соответствующая величина силы света в направлении от источника на данную точку A рабочей поверхности (I_a) и по этой характеристике подбирается подходящий светильник.

Если расчет ведется для нескольких светильников, то создаваемые ими освещенности суммируются:

$$E_A = \frac{\mu}{K} \sum E_A = \frac{\mu}{K} \left[\frac{I_{a1} \cos^3 \alpha}{H_{p1}^2} + \frac{I_{a2} \cos^3 \alpha}{H_{p2}^2} + \dots + \frac{I_{an} \cos^3 \alpha}{H_{pn}^2} \right] , \quad (49)$$

где μ – коэффициент, учитывающий действие удаленных светильников (для эмалированных светильников прямого света $\mu = 1,1-1,2$; зеркальных – 1; для светильников преимущественно прямого света 1,3–1,6); K – коэффициент запаса, учитывающий снижение освещенности при эксплуатации (1,1–1,3).

Освещенность ($E_{\text{рас}}$, лк) для условной лампы со световым потоком 1000 лм рассчитывается пропорционально величине потока (F_l , лм) установленной в соответствующем светильнике лампы:

$$E_{\text{расч}} = E_A \frac{F_l}{1000} . \quad (50)$$

Во *втором варианте* точечного метода расчета искусственного освещения при заданном расположении светильников находят, что для создания требуемой освещенности в каждом светильнике должна быть установлена лампа со световым потоком:

$$F = \frac{1000 \cdot E_{\min} \cdot K}{\mu \cdot \sum E_A} , \quad (51)$$

где $E_{\min}$ – заданная минимальная освещенность, лк; ΣE_A – суммарная условная освещенность в контрольной точке А, лк (определяется по справочным кривым пространственных изолюксов).

По полученному потоку подбирается ближайшая стандартная лампа, световой поток которой не должен быть меньше расчетного. Зная световой поток, находят необходимую мощность ламп.

Метод удельной мощности (метод Ватт). Данный метод применяется для ориентировочных расчетов ввиду его меньшей точности. Удельная мощность представляет собой отношение общей мощности установленных источников света (осветительной установки) к площади производственного помещения.

Значение удельной мощности светильника является справочной величиной и зависит от требуемой освещенности производственного помещения, площади помещения и отражающих свойств потолка, пола и стен, высоты подвеса и типа светильника, а также коэффициента запаса (табл. П19 Приложения). Для люминесцентных светильников необходимо учитывать тип и мощность лампы.

Суммарная мощность осветительной установки (Вт) рассчитывается по формуле:

$$\Sigma P = P_{\text{уд}} \cdot S, \quad (52)$$

где $P_{\text{уд}}$ – удельная мощность, Вт/м²; S – площадь помещения, м².

Необходимое число светильников в осветительной установке определяется по формуле:

$$n = \frac{\Sigma P}{P_{\text{л}} \cdot m}, \quad (53)$$

где $P_{\text{л}}$ – мощность одной лампы, Вт; m – число ламп в светильнике.

Метод светящихся линий (полос). При расчете люминесцентного освещения по данному методу вследствие значительной длины ламп их условно можно принять за светящиеся линии определенной длины. В основу метода положено уравнение:

$$E_c = \frac{F \cdot I_{\gamma} \cos^2(\gamma \cdot a)}{K \cdot p \cdot 1000h}, \quad (54)$$

где E_c – освещенность для полосы с непрерывным рядом светильников, лк; I_{γ} – сила света отрезка единичной линии в направлении к расчетной точке в плоскости, перпендикулярной светящейся полосе, кд; γ – угол между направлением силы света и нормалью к рабочей поверхности, восстановленной в точке расчета; h – высота расположения светящейся полосы над плоскостью расчета, м; a – угол, координирующий расположение левой и правой светящихся полос относительно глаз наблюдателя; p – кратчайшее расстояние от точки А до проекции светильников на расчетную площадь; K – коэффициент запаса.

Для расчета угла, координирующего расположение левой и правой светящихся полос относительно глаз наблюдателя, используется выражение:

$$a = \left(\alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right)_{\text{лев}} + \left(\alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right)_{\text{прав}}, \quad (55)$$

где α – угол, под которым видна светящаяся полоса из точки расчета.

Метод светящихся линий позволяет относительно точно рассчитывать производственное освещение, осуществляемое люминесцентными лампами, однако характеризуется сложностью и громоздкостью графических и математических операций.

III. Расчет фотариев. Фотарии с установками искусственного ультрафиолетового облучения устраиваются для работающих в помещениях без естественного света, а также на участках с недостаточным по биологическому действию естественным освещением ($\text{КЕО} < 0,1 \%$) («световое голодание»). Санитарные нормы ультрафиолетового излучения в производственных помещениях приводятся в СН 4557-88 «Санитарные нормы ультрафиолетового излучения в производственных помещениях» и МУ 5046-89 «Профилактическое ультрафиолетовое облучение людей (с применением искусственных источников ультрафиолетового излучения)». Гигиеническая оценка профилактического ультрафиолетового облучения работающих в соответствии с Р 2.2.2006-05 была показана ранее в табл. 18.

Фотарии (кабинного или проходного типа) оснащаются эритемными лампами (ЛЭ15, ЛЭ30, ПРК-7, ЭУВ-30) и располагаются

при гардеробных для домашней одежды, отдельно для мужчин и женщин из расчета $0,1 \text{ м}^2$ на одного человека (облучение работающих осуществляется в течение 3–5 мин до или после смены). Нормативные значения вертикальной облученности и дозы приведены в табл. 23.

Таблица 23

Значения вертикальной облученности и дозы эритемного облучения

Облученность, мэр·ч/м ²			Доза облучения за 1 сутки, мэр·ч/м ²			Длительность облучения, мин
Минимальная	Максимальная	Рекомендуемая	Минимальная	Максимальная	Рекомендуемая	
120	600	400	6	30	20	2,5–3,0

Количество рабочих и служащих, подлежащих облучению в фотариях, определяют из выражения:

$$N = M \cdot K_1, \quad (56)$$

$$N = M \cdot K_2, \quad (57)$$

где M – списочное количество работающих в наиболее многочисленной смене (мужчины и женщины отдельно); K_1 и K_2 – коэффициенты, учитывающие противопоказания к УФ-облучению в фотариях (у мужчин $K_1 = 0,8$, у женщин $K_2 = 0,7$).

Количество мужских и женских кабин при проектировании *кабинных фотариев* определяется из выражения:

$$n = \frac{N}{m \cdot \eta}, \quad (58)$$

где N – количество рабочих и служащих; m – пропускная способность кабины (20–22 чел/ч); η – коэффициент, учитывающий продолжительность работы фотария после смены (30 мин).

Фотарии проходного типа предназначены для облучения потока людей движущегося в специально огражденном проходе (прямолинейном или с поворотами) общей длиной 30 м. Ширина прохода в фотарии равна 1,2–1,5 м. Облучение в проходе осуществля-

ется с двух сторон. Пропускная способность фотария проходного типа определяется из выражения:

$$m = \frac{60 \cdot L}{d \cdot \tau}, \quad (59)$$

где L – длина пути в фотарии, м; d – расстояние между облучаемыми, м; τ – продолжительность облучения, мин.

Несколько реже применяются маячные фотарии с ртутно-кварцевыми лампами. Такой фотарий располагают в отдельных помещениях, огражденных на всю высоту и размещенных смежно с гардеробными домашней одежды.

Для проведения комплексных светотехнических расчетов могут быть использованы пакеты различных программ, например «DIALux» компании «DIAL GmbH» (DIALux 4, DIALux Evo). Данная программа позволяет учитывать при расчете освещения цвет и текстуру поверхности, а также интерьер и геометрические параметры помещения. В качестве результата обработки данных пользователь получит полноценный общий 3D вид освещенного помещения и графическое изображение распределения света по заданной поверхности. Важно отметить, что указанный программный продукт содержит расширенную базу данных светильников от мировых производителей.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Каково назначение и основные требования, предъявляемые к производственному освещению? В чем суть организации рационального производственного освещения?
2. Что представляют собой процессы адаптации, аккомодации и конвергенции? Каково психофизиологическое влияние освещения на организм человека?
3. Каково отличие качественных характеристик от количественных? Приведите примеры светотехнических величин, их размерности и формулы для расчета.
4. Какими приборами осуществляется измерение светотехнических величин? Каков их принцип действия?
5. Приведите развернутую классификацию производственного освещения.
6. Какие требования предъявляются к источникам искусственного освещения? Назовите преимущества и недостатки различных типов ламп. Каков принцип их выбора? Что такое световая отдача лампы?
7. С чем связаны колебания светового потока ламп, вызывающие пульсацию освещенности? Какие меры следует предпринять для снижения величины коэффициента пульсации освещенности?
8. Чем отличаются термины «светильник» и «источник искусственного освещения»? Каков принцип выбора светильников?
9. Раскройте сущность нормирования производственного освещения. В каких нормативно-технических документах приводятся эти нормы?
10. Какие требования предъявляются к освещению рабочих мест пользователей компьютерной техники? Какие гигиенические критерии режима труда и отдыха установлены для операторов?
11. Каков алгоритм расчета естественного освещения? В чем суть графического метода Данилюка?
12. Перечислите основные методы светотехнического расчета искусственного освещения? Каково назначение и в чем суть расчета фотариев?
13. Определить площадь световых проемов помещения (г. Волгоград) при боковом одностороннем освещении. Исходные данные:

заводская лаборатория высотой 3 м; наименьший размер объекта различия 0,3–0,5 мм; длина помещения 12 м; ширина (глубина) помещения 6 м; высота от уровня условной рабочей поверхности до верха окна 2 м; расстояние расчетной точки от наружной стены 5 м.

14. Определить площадь световых проемов помещения (г. Волгоград) при боковом двухстороннем освещении. Исходные данные: производственное помещение высотой 5 м, содержащее менее 1 мг/м³ пыли; наименьший размер объекта различия 1,0–5,0 мм; длина помещения 20 м; ширина (глубина) помещения 12 м; высота от уровня условной рабочей поверхности до верха окна 4 м; расстояние расчетной точки от наружной стены 6 м.

15. Определить площадь световых проемов (фонаря) помещения (г. Волгоград) при верхнем освещении с вертикальным односторонним остеклением. Исходные данные: производственное помещение высотой 5 м, содержащее менее 1 мг/м³ пыли; наименьший размер объекта различия 1,0–5,0 мм; длина помещения 20 м; ширина помещения 6 м; высота от уровня условной рабочей поверхности до нижней грани остекления 6 м.

16. Определить площадь световых проемов (фонаря) помещения (г. Волгоград) при верхнем освещении с вертикальным двухсторонним остеклением. Исходные данные: производственное помещение высотой 6 м, содержащее от 1 до 5 мг/м³ пыли, дыма и копоти; наименьший размер объекта различия 1,0–5,0 мм; длина помещения 20 м; ширина помещения 12 м; высота от уровня условной рабочей поверхности до нижней грани остекления 7 м.

17. Методом коэффициента использования светового потока рассчитать искусственное общее равномерное освещение и определить суммарную мощность осветительной установки. Исходные данные: длина помещения 18 м; ширина помещения 12 м; высота подвеса светильников 3,5 м; разряд зрительной работы II; подразряд зрительной работы г; тип светильника ОД; расстояние между светильниками 2 м; коэффициент отражения стен 10 %; коэффициент отражения потолка 30 %.

18. Методом коэффициента использования светового потока рассчитать искусственное общее равномерное освещение и определить суммарную мощность осветительной установки. Исходные данные: длина производственного помещения 30 м; ширина помещения 30 м;

высота подвеса светильников 4 м; разряд зрительной работы IV; подразряд зрительной работы в; тип светильника ПВЛ-1; расстояние между светильниками 3 м; коэффициент отражения стен 30 %; коэффициент отражения потолка 50 %.

19. Методом коэффициента использования светового потока рассчитать искусственное общее равномерное освещение и определить суммарную мощность осветительной установки. Исходные данные: производственное помещение длиной 100 м, содержащее свыше 5 мг/м³ пыли, дыма и копоти; ширина помещения 50 м; высота помещения 6 м; разряд зрительной работы III; подразряд зрительной работы г. Расчет провести для двух случаев: а) используются газоразрядные лампы высокого давления; б) используются газоразрядные лампы низкого давления. Повторить расчет, приняв высоту помещения 9 м (используются лампы ДРЛ) и 12 м (используются лампы: 1) ДРЛ; 2) ДРИ). Показать размещение светильников на плане цеха (помещения) с учетом его габаритов. Тип светильника, значения коэффициентов отражения потолка и стен принять самостоятельно.

20. Методом удельной мощности рассчитать искусственное общее равномерное освещение и определить суммарную мощность осветительной установки. Исходные данные: высота подвеса светильников 3 м; площадь освещаемого помещения 55 м²; минимальная освещенность 300 лк; светильник ЛОУ; мощность лампы ЛБ 40 Вт.

21. Определить количество кабин (мужских и женских) при проектировании фотариев кабинного типа и длину пути в фотарии бесфонарного здания предприятия. Исходные данные: пропускная способность кабины фотария 20–22 чел/ч; принять в качестве фотария проходного типа фотарий-лабиринт, состоящий из четырех проходов; среднесписочное число работающих мужчин 350; среднесписочное число работающих женщин 650; расстояние между облучаемыми 0,8 м; коэффициент продолжительности облучения 0,5; продолжительность облучения 2,5 мин.

РЕКОМЕНДУЕМЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Нормативно-техническая литература

1. СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение».
2. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий».
3. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 (с изм. и доп. от 2007 и 2010 гг.) «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организация работы».
4. СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95».
5. СП 23-102-2003 «Естественное освещение жилых и общественных зданий».
6. СН 4557-88 «Санитарные нормы ультрафиолетового излучения в производственных помещениях».
7. ГОСТ 24940-96 «Здания и сооружения. Методы измерения освещенности».
8. ГОСТ 26824-2010 «Здания и сооружения. Методы измерения яркости».
9. ГОСТ Р 54945-2012 «Здания и сооружения. Методы измерения коэффициента пульсации освещенности».
10. ГОСТ 6825-91 «Лампы люминесцентные трубчатые для общего освещения».
11. ГОСТ 2239-79 «Лампы накаливания общего назначения. Технические условия».
12. ГОСТ 17677-82 «Светильники. Общие технические условия».
13. ГОСТ 12.4.080-79 ССБТ «Светофильтры стеклянные для защиты глаз от вредных излучений на производстве. Технические условия».
14. ГОСТ Р 54350-2011 «Приборы осветительные. Светотехнические требования и методы испытаний».
15. ГОСТ Р МЭК 60598-1-2003 «Светильники. Ч. 1. Общие требования и методы испытаний»;
16. ГОСТ Р МЭК 60598-2-22-99 «Светильники. Ч. 2-22. Частные требования. Светильники для аварийного освещения»
17. Р 2.2.2006-05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда».
18. ТОИ Р-45-084-01 «Типовая инструкция по охране труда при работе на персональном компьютере».
19. МУ 2.2.4.706-98 «Оценка освещенности рабочих мест».

Основная литература

20. Белов, С. В. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (техносферная безопасность) / С. В. Белов. – М.: Изд-во Юрайт, 2014. – 701 с.
21. Безопасность жизнедеятельности. Ч. 1 и 2 / Ю. Н. Кондауров, Т. И. Кондаурова, В. Ф. Желтобрюхов, С. В. Кудашев, А. А. Горбаченко, С. А. Матненко, М. Ю. Кондауров; ВолгГТУ. – Волгоград, 2013.
22. Айзенберг, Ю. Б. Справочная книга по светотехнике / Ю. Б. Айзенберг. М.: Знак, 2006. – 952 с.

Дополнительная литература

23. Вяльцев, А. В. Практикум по безопасности жизнедеятельности / А. В. Вяльцев [и др.] // под ред. А. В. Фролова. – Ростов н/Д: Феникс, 2009. – 490 с.
24. Занько, Н. Г. Медико-биологические основы безопасности жизнедеятельности / Н. Г. Занько, В. М. Ретнев.-М.: ИЦ «Академия», 2004. – 288 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

СПРАВОЧНЫЕ ТАБЛИЦЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Таблица П1

Группы административных районов по ресурсам светового климата

Номер группы	Административный район
1	Московская, Смоленская, Владимирская, Калужская, Тульская, Рязанская, Нижегородская, Свердловская, Пермская, Челябинская, Курганская, Новосибирская, Кемеровская, Сахалинская области, Мордовия, Чувашия, Удмуртия, Башкортостан, Татарстан, Красноярский край (севернее 63° с. ш.), Республика Саха (Якутия) (севернее 63° с. ш.), Чукотский нац. Округ, Хабаровский край (севернее 55° с. ш.), Краснодарский край
2	Брянская, Курская, Орловская, Белгородская, Воронежская, Липецкая, Тамбовская, Пензенская, Самарская, Ульяновская, Оренбургская, Саратовская, Волгоградская области, Республика Коми, Кабардино-Балкарская Республика, Северо-Осетинская Республика, Чеченская Республика, Ингушская Республика, Ханты-Мансийский нац. Округ, Алтайский край, Красноярский край (южнее 63° с.ш.), Республика Саха (Якутия) (южнее 63° с. ш.), Республика Тува, Бурятская Республика, Читинская область, Хабаровский край (южнее 55° с. ш.), Магаданская область
3	Калининградская, Псковская, Новгородская, Тверская, Ярославская, Ивановская, Ленинградская, Вологодская, Костромская, Кировская области, Карельская Республика, Ямало-Ненецкий нац. Округ, Ненецкий нац. Округ
4	Архангельская, Мурманская области
5	Калмыцкая Республика, Ростовская, Астраханская области, Ставропольский край, Дагестанская Республика, Амурская область, Приморский край

Таблица П2

Значения коэффициента светового климата

Световые проемы	Ориентация световых проемов по сторонам горизонта*	Коэффициент светового климата, m				
		Номер группы административных районов				
		1	2	3	4	5
В наружных стенах зданий	С	1	0,9	1,1	1,2	0,8
	СВ, СЗ	1	0,9	1,1	1,2	0,8
	З, В	1	0,9	1,1	1,1	0,8
	ЮВ, ЮЗ	1	0,85	1	1,1	0,8
	Ю	1	0,85	1	1,1	0,75
В прямоугольных и трапециевидных фонарях	С-Ю	1	0,9	1,1	1,2	0,75
	СВ-ЮЗ ЮВ-СЗ	1	0,9	1,2	1,2	0,7
	В-З	1	0,9	1,1	1,2	0,7
В фонарях типа «Шед»	С	1	0,9	1,2	1,2	0,7
В зенитных фонарях	–	1	0,9	1,2	1,2	0,75

* С – северное; СВ – северо-восточное; СЗ – северо-западное; В – восточное; З – западное; С-Ю – север-юг; В-З – восток-запад; Ю – южное; ЮВ – юго-восточное; ЮЗ – юго-западное.

Таблица П3

Наименьшие нормативные значения КЕО для производственных помещений при совмещенном освещении

Разряд зрительных работ	Наименьшее нормированное значение КЕО, e_n , % при совмещенном освещении	
	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении
I	3	1,2
II	2,5	1
III	2	0,7
IV	1,5	0,5
V и VII	1	0,3
VI	0,7	0,2

Таблица П4

Значения коэффициента запаса K_z , необходимые при проектировании естественного, искусственного и совмещенного освещения*

Помещения и территории	Примеры помещений	Искусственное освещение			Естественное освещение				
		Коэффициент запаса K_z	Количество чисток светильников в год		Коэффициент запаса K_z	Количество чисток остекления светопроемов в год			
			Эксплуатационная группа светильников			Угол наклона светопропускающего материала к горизонту, градусы			
			1–4	5–6		7	0–15	16–45	46–75
1 Производственные помещения с воздушной средой, содержащей в рабочей зоне:									
а) св. 5 мг/м ³ пыли, дыма, копоти	Агломерационные фабрики, цементные заводы и обрубные отделения литейных цехов	<u>2,0</u> 18	<u>1,7</u> 6	<u>1,6</u> 4	<u>2,0</u> 4	<u>1,8</u> 4	<u>1,7</u> 4	<u>1,5</u> 4	
б) от 1 до 5 мг/м ³ пыли, дыма, копоти	Цехи кузнечные, литейные, мартеновские, сборного железобетона	<u>1,8</u> 6	<u>1,6</u> 4	<u>1,6</u> 2	<u>1,8</u> 3	<u>1,6</u> 3	<u>1,5</u> 3	<u>1,4</u> 3	
в) менее 1 мг/м ³ пыли, дыма, копоти	Цехи инструментальные, сборочные, механические, механосборочные, пошивочные	<u>1,5</u> 4	<u>1,4</u> 2	<u>1,4</u> 1	<u>1,6</u> 2	<u>1,5</u> 2	<u>1,4</u> 2	<u>1,3</u> 2	
г) значительные концентрации паров, кислот, щелочей, газов, способных при соприкосновении с влагой образовывать слабые растворы кислот, щелочей, а также обладающих большой коррозирующей способностью	Цехи химических заводов по выработке кислот, щелочей, едких химических реактивов, ядохимикатов, удобрений, цехи гальванических покрытий и различных отраслей промышленности с применением электролиза	<u>1,8</u> 6	<u>1,6</u> 4	<u>1,6</u> 2	<u>2,0</u> 3	<u>1,8</u> 3	<u>1,7</u> 3	<u>1,5</u> 3	

104

Помещения и территории	Примеры помещений	Искусственное освещение			Естественное освещение			
		Коэффициент запаса K_z	Количество чисток светильников в год		Коэффициент запаса K_e	Количество чисток остекления светопроемов в год		
			Эксплуатационная группа светильников			Угол наклона светопропускающего материала к горизонту, градусы		
1–4	5–6	7	0–15	16–45	46–75	76–90		
2 Производственные помещения с особым режимом по чистоте воздуха при обслуживании светильников:								
а) с технического этажа		$\frac{1,3}{4}$	–	–	–	–	–	–
б) снизу из помещения		$\frac{1,4}{2}$	–	–	–	–	–	–
3 Помещения общественных и жилых зданий:								
а) пыльные, жаркие и сырые	Горячие цехи предприятий общественного питания, охлаждаемые камеры, помещения для приготовления растворов в прачечных, душевые и т. д.	$\frac{1,7}{2}$	$\frac{1,6}{2}$	$\frac{1,6}{2}$	$\frac{2,0}{3}$	$\frac{1,8}{3}$	$\frac{1,7}{3}$	$\frac{1,6}{3}$
б) с нормальными условиями среды	Кабинеты и рабочие помещения, жилые комнаты, учебные помещения, лаборатории, читальные чалы, залы совещаний, торговые залы и т. д.	$\frac{1,4}{2}$	$\frac{1,4}{1}$	$\frac{1,4}{1}$	$\frac{1,5}{2}$	$\frac{1,4}{2}$	$\frac{1,3}{1}$	$\frac{1,2}{1}$

105

4 Территории с воздушной средой, содержащей:								
а) большое количество пыли (более 1 мг/м³)	Территории металлургических, химических, горнодобывающих предприятий, шахт, рудников, железнодорожных станций и прилегающих к ним улиц и дорог	$\frac{1,5}{4}$	$\frac{1,5}{4}$	$\frac{1,5}{4}$	–	–	–	–
б) малое количество пыли (менее 1 мг/м³)	Территории промышленных предприятий, кроме указанных в подп. «а» и общественных зданий	$\frac{1,5}{2}$	$\frac{1,5}{2}$	$\frac{1,5}{2}$	–	–	–	–
5 Населенные пункты	Улицы, площади, дороги, территории жилых районов, парки, бульвары, пешеходные тоннели, фасады зданий, памятники,	$\frac{1,6}{2}$	$\frac{1,5}{2}$	$\frac{1,5}{1}$	–	–	–	–
		$\frac{1,7}{2}$	–	–	–	–	–	–
	транспортные тоннели	–	$\frac{1,7}{2}$	$\frac{1,7}{2}$	–	–	–	–

* Значения коэффициента запаса, указанные в гр. 6–9, следует умножать на 1,1 – при применении узорчатого стекла, стеклопластика, армопленки и матированного стекла, а также при использовании световых проемов для аэрации; на 0,9 – при применении органического стекла. Значения коэффициентов запаса, указанные в гр. 3–5, приведены для разрядных источников света. При использовании ламп накаливания их следует умножать на 0,85. Значения коэффициентов запаса, указанные в гр. 3, следует снижать при односменной работе по поз. 1б, 1г – на 0,2; по поз. 1в – на 0,1; при двухсменной работе – по поз 1б, 1г – на 0,15.

Таблица П15

Значения световой характеристики окон η_0 при боковом освещении

Отношение длины помещения к его глубине	Значение световой характеристики при отношении глубины помещения к его высоте от уровня условной рабочей поверхности до верха окна							
	1	1,5	2	3	4	5	7,5	10
4 и более	6,5	7	7,5	8	9	10	11	12,5
3	7,5	8	8,5	9,6	10	11	12,5	14
2	8,5	9	9,5	10,5	11,5	13	15	17
1,5	9,5	10,5	13	15	17	19	21	23
1	11	15	16	18	21	23	26,5	29
0,5	18	23	31	37	45	54	66	–

Таблица П16

Значения световой характеристики η_f фонарей

Тип фонарей	Отношение длины помещения к ширине								
	от 1 до 2			от 2 до 4			более 4		
	Отношение высоты помещения к ширине								
	от 0,2 до 0,4	от 0,4 до 0,7	от 0,7 до 1	от 0,2 до 0,4	от 0,4 до 0,7	от 0,7 до 1	от 0,2 до 0,4	от 0,4 до 0,7	от 0,7 до 1
С вертикальным односторонним остеклением	6,4	10,5	15,2	5,1	7,6	10,0	4,9	6,1	8,5
С вертикальным двусторонним остеклением	5,8	9,4	16,0	4,6	6,8	10,5	4,4	6,4	9,1

Таблица П17

Значение коэффициента $K_{зд}$, учитывающего затенение окон противостоящими зданиями

Отношение расстояния между рассматриваемым и противостоящим зданием к высоте расположения карниза противостоящего здания над подоконником рассматриваемого окна	$K_{зд}$
0,5	1,7
1,0	1,4
1,5	1,2
2,0	1,1
3,0 и более	1,0

Таблица П18

Значения коэффициента K_f

Тип фонаря	K_f
Световые проемы в плоскости покрытия, ленточные	1,0
Фонари с наклонным двусторонним остеклением (трапециевидные)	1,1
Световые проемы в плоскости покрытия, штучные	1,15
Фонари с вертикальным двусторонним остеклением (прямоугольные)	1,2
Фонари с односторонним наклонным остеклением (шеды)	1,3
Фонари с односторонним вертикальным остеклением (шеды)	1,4

Таблица П9

Значения коэффициента r_1

Отношение глубины помещения к высоте от уровня условной рабочей поверхности до верха окна	Отношение расстояния расчетной точки от наружной стены к глубине помещения	Значения r_1 при боковом освещении									Значения r_1 при боковом двустороннем освещении								
		Средневзвешенный коэффициент отражения $\rho_{\text{ср}}$ потолка, стен и пола																	
		0,5		0,4			0,3			0,5			0,4			0,3			
		Отношение длины помещения к его глубине																	
		0,5	1	2 и более		0,5	1	2 и более		0,5	1	2 и более		0,5	1	2 и более		0,5	1
От 1 до 1,5	0,1	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1	1,05	1	1	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1	1,05	1	1
	0,5	1,4	1,3	1,2	1,2	1,15	1,1	1,2	1,1	1,1	1,35	1,25	1,15	1,15	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
	1	2,1	1,9	1,5	1,8	1,6	1,3	1,4	1,3	1,2	1,6	1,4	1,25	1,45	1,3	1,15	1,25	1,15	1,1
Более 1,5 до 2, 5	0	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1	1	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1	1
	0,3	1,3	1,2	1,1	1,2	1,15	1,1	1,15	1,1	1,05	1,3	1,2	1,1	1,2	1,15	1,1	1,15	1,1	1,05
	0,5	1,85	1,6	1,3	1,5	1,35	1,2	1,3	1,2	1,1	1,8	1,45	1,25	1,4	1,25	1,15	1,25	1,15	1,1
	0,7	2,25	2	1,7	1,7	1,6	1,3	1,55	1,35	1,2	2,1	1,75	1,5	1,75	1,45	1,2	1,3	1,25	1,2
	1	3,8	3,3	2,4	2,8	2,4	1,8	2	1,8	1,5	2,35	2	1,6	1,9	1,6	1,5	1,5	1,35	1,2
Более 2,5 до 3,5	0,1	1,1	1,05	1,05	1,05	1	1	1	1	1	1,1	1,05	1,05	1,05	1	1	1	1	1
	0,2	1,15	1,1	1,05	1,1	1,1	1,05	1,05	1,05	1,05	1,15	1,1	1,05	1,1	1,1	1,05	1,05	1,05	1,05
	0,3	1,2	1,15	1,1	1,15	1,1	1,1	1,1	1,1	1,05	1,2	1,15	1,1	1,15	1,1	1,1	1,1	1,1	1,05
	0,4	1,35	1,25	1,2	1,2	1,15	1,1	1,15	1,1	1,1	1,35	1,2	1,2	1,2	1,15	1,1	1,1	1,1	1,1
	0,5	1,6	1,45	1,3	1,35	1,25	1,2	1,25	1,15	1,1	1,5	1,4	1,25	1,3	1,2	1,15	1,2	1,1	1,1

801

	0,6 0,7 0,8 0,9 1	2 2,6 3,6 5,3 7,2	1,75 2,2 3,1 4,2 5,4	1,45 1,7 2,4 3 4,3	1,6 1,9 2,4 2,9 3,6	1,45 1,7 2,2 2,45 3,1	1,3 1,4 1,5 1,9 2,4	1,4 1,6 1,9 2,2 2,6	1,3 1,5 1,7 1,85 2,2	1,3 1,2 1,4 1,5 1,7	1,8 2,25 2,8 3,65 4,45	1,6 1,9 2,4 2,9 3,35	1,35 1,45 1,9 2,6 2,65	1,5 1,7 1,9 2,2 2,4	1,35 1,5 1,6 1,9 1,1	1,2 1,25 1,3 1,5 1,6	1,35 1,5 1,65 1,8 2	1,25 1,4 1,5 1,6 1,7	1,15 1,2 1,25 1,3 1,4
Более 3,5	0,1 0,2 0,3 0,4 0,5 0,6 0,7 0,8 0,9 1	1,2 1,4 1,75 2,4 3,4 4,6 6 7,4 9 10	1,15 1,3 1,5 2,1 2,9 3,8 4,7 5,8 7,1 7,3	1,1 1,2 1,3 1,6 2 2,4 3,7 4,7 5,6 5,7	1,1 1,15 1,3 1,4 1,8 2,1 2,9 3,4 4,3 5	1,05 1,1 1,2 1,3 1,5 1,8 2,1 2,4 3,6 4,1	1,05 1,1 1,2 1,3 1,5 1,8 2,1 2,6 3 3,5	1,05 1,1 1,2 1,3 1,5 1,8 2,1 2,6 3 3,5	1 1,05 1,1 1,2 1,3 1,5 1,8 2,1 2,6 3	1,2 1,3 1,4 1,5 1,7 2 2,1 2,3 2,6 3	1,15 1,3 1,5 1,75 2,8 3,5 5,1 5,8 6,2 6,3	1,1 1,2 1,3 1,4 1,9 2,4 3,2 4,5 4,9 5	1,1 1,2 1,3 1,4 1,75 2,8 3,5 4 4,9 4	1,1 1,2 1,3 1,4 1,9 2,4 2,55 2,8 3,4 3,5	1,1 1,15 1,2 1,3 1,4 1,7 2,1 2,4 2,8 2,9	1,05 1,1 1,2 1,3 1,45 1,95 2,1 2,45 2,6	1,05 1,1 1,25 1,35 1,65 1,95 2,1 2,45 2,6	1,05 1,1 1,2 1,25 1,5 1,7 1,85 2,1 2,45 2,25	1 1,05 1,1 1,15 1,3 1,4 1,5 1,6 1,7 1,9

601

Таблица П10

Значения коэффициента r_2 при верхнем освещении

Отношение высоты помещения, принимаемой от уровня условной рабочей поверхности до нижней грани остекления, к ширине помещения	Средневзвешенный коэффициент отражения потолка, стен и пола								
	$\rho_{\text{ср}} = 0,5$			$\rho_{\text{ср}} = 0,4$			$\rho_{\text{ср}} = 0,3$		
	Количество пролетов								
	1	2	3 и более	1	2	3 и более	1	2	3 и более
2	1,7	1,5	1,15	1,6	1,4	1,1	1,4	1,1	1,05
1	1,5	1,4	1,15	1,4	1,3	1,1	1,3	1,1	1,05
0,75	1,45	1,35	1,15	1,35	1,25	1,1	1,25	1,1	1,05
0,5	1,4	1,3	1,15	1,3	1,2	1,1	1,2	1,1	1,05
0,25	1,35	1,25	1,15	1,25	1,15	1,1	1,15	1,1	1,05

Таблица П11

Значения коэффициентов τ_1 , τ_2 и τ_3

Вид светопропускающего материала	Значение τ_1	Вид переплета	Значение τ_2	Несущие конструкции покрытия	Значение τ_3
Стекло оконное листовое:		Переплеты для окон и фонарей промышленных зданий:		Стальные фермы	0,9
одинарное	0,9	а) деревянные:		Железобетонные	0,8
двойное	0,8	одинарные	0,75	и деревянные	
тройное	0,75	спаренные	0,7	фермы и арки	
Стекло листовое армированное	0,6	двойные раздельные;	0,6	Балки и рамы	
Стекло листовое узорчатое	0,65	б) стальные:		сплошные при	
Стекло листовое со специальными свойствами:		одинарные открывающиеся	0,75	высоте сечения:	
солнцезащитное	0,65	одинарные глухие	0,9	50 см и более,	0,8
контрастное	0,75	двойные открывающиеся	0,6	менее 50 см	0,9
Ограниченное стекло:		двойные глухие	0,8		
прозрачное	0,9	Переплеты для окон жилых, общественных и вспомогательных зданий.			
молочное	0,6	а) деревянные:			
Пустотелые стекольные блоки:		одинарные	0,8		
светорассеивающие	0,5	спаренные	0,75		
светопрозрачные	0,65	двойные раздельные	0,65		
Стеклопакеты	0,8	с тройным остеклением	0,5		
		б) металлические:			
		одинарные,	0,9		
		спаренные,	0,85		
		двойные раздельные,	0,65		
		с тройным остеклением	0,7		
		Стекложелезобетонные панели с пустотелым стеклянными блоками при толщине шва:			
		20 мм и менее	0,9		
		более 20 мм	0,85		

Таблица П12

Значение коэффициента τ_4

Солнцезащитные устройства, изделия и материалы	Коэффициент, учитывающий потери света в солнцезащитных устройствах, τ_4	Солнцезащитные устройства, изделия и материалы	Коэффициент, учитывающий потери света в солнцезащитных устройствах, τ_4
1. Убирающиеся регулируемые жалюзи и шторы (межстекольные, внутренние, наружные)	1	3. Горизонтальные козырьки:	
2. Стационарные жалюзи и экраны с защитным углом не более 45° при расположении пластин жалюзи или экранов под углом 90° к плоскости окна:		– с защитным углом не более 30°	0,8
– горизонтальные	0,65	– с защитным углом от 15 до 45°	
– вертикальные	0,75	(многоступенчатые)	0,9–0,6

Выбор светильников в зависимости от условий среды для производственных и вспомогательных помещений промышленных предприятий («+» – рекомендуется, «×» – допускается, «-» – запрещается)

Тип светильника	Исполнение	Вид помещения																
		Сухие, нормальные	Влажные	Сырые	Особо сырые	Жаркие	Пыльные	С химически активной средой	Пожароопасные				Взрывоопасные					
									Производственные и складские		Производственные		В-I	В-Ia	В-Iб	В-Iг	В-II	В-IIa
Светильники с люминесцентными лампами																		
ЛПО 01	Незащищенное	+	+	×	—	—	—	—	—	—	—	×	—	—	—	—	—	—
ЛД		+	+	×	—	—	—	—	—	—	—	×	—	—	—	—	—	—
ЛСП 02		+	+	×	—	—	—	—	—	—	—	—	×	—	—	—	—	—
УСП		+	+	×	—	—	—	—	—	—	—	—	×	—	—	—	—	—
ПВЛМ	Частично пыленепроницаемое	—	×	+	×	—	×	×	×	×	×	×	—	—	—	—	—	—
ПВЛМ	Пылевлагозащищенное	×	×	+	×	—	+	—	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—
НОГЛ, НОДЛ	Повышенной надежности против взрыва	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	+	+	+	+

Светильники с лампами ДРЛ																		
РСП 05	Незащищенное	+	+	×	-	+	×	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
РСП 06	Незащищенное	+	+	×	-	+	×	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
РПС 07	Частично пыленепроницаемое	-	+	+	+	×	×	×	-	×	×	×	-	-	-	-	-	-
РТС	Полностью пыленепроницаемое	-	×	+	+	+	+	×	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-
РСП 11	Повышенной надежности против взрыва	-	×	+	+	+	-	+	+	-	+	+	-	-	+	×	-	+

* с общеобменной вентиляцией и местным нижним отсосом (ВСН 294-72 «Инструкция по монтажу электрооборудования пожароопасных установок напряжением до 1000 В»).

Таблица П14

Коэффициенты использования (η) светового потока для светильников в зависимости от коэффициентов отражения потолка (ρ_п), стен (ρ_с), пола (ρ_р) и индекса формы помещения (i)

Светильник	ОД ¹			ЛСП 01 ²			ОДР ³			ЛПО 02 ⁴			ПВЛ-1 ⁵			ВЗГ-200 ⁶			РСР-05 ⁷			ГСП-18 ⁸	
ρ _п , %	30	50	70	30	50	70	30	50	70	70	70	50	30	50	70	30	50	70	30	50	70	30	50
ρ _с , %	10	30	50	10	30	50	10	30	50	50	50	10	10	30	50	10	30	50	10	30	50	10	30
ρ _р , %	10	10	10	10	10	10	10	10	10	30	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
i	η, %																						
0,5	23	26	31	23	26	31	21	24	28	24	23	20	10	13	17	12	14	17	30	33	38	40	43
0,6	30	33	37	30	33	37	24	27	32	27	26	22	13	17	22	16	18	21	37	40	45	44	47
0,7	35	38	42	35	38	42	27	30	35	30	29	25	16	20	25	19	21	24	42	45	50	46	49
0,8	39	41	45	39	41	45	30	33	38	33	31	27	18	22	28	21	24	26	46	49	55	48	51
0,9	42	44	48	42	44	48	32	36	41	35	34	30	20	24	30	23	25	28	49	53	58	49	52
1,0	44	46	49	44	46	49	35	39	44	37	36	32	22	26	32	25	27	29	52	56	60	50	53
1,5	50	52	56	50	52	56	43	47	52	45	42	38	29	33	39	29	30	39	61	64	67	54	57
2,0	52	55	58	55	57	60	49	52	57	51	46	43	33	38	44	32	33	35	66	69	72	57	59
3,0	60	62	66	60	62	66	55	58	62	56	50	47	39	43	49	35	37	39	71	73	77	60	62
4,0	63	65	68	63	65	68	58	60	64	59	52	49	43	47	52	37	39	41	74	76	79	61	63
5,0	64	66	70	64	66	70	60	62	65	61	53	51	45	49	54	38	40	42	76	78	80	62	64

¹Двухламповый люминесцентный светильник. Применяется для освещения производственных помещений с нормальными условиями среды, а также для помещений с небольшой запыленностью и влажностью (ОД – общего освещения диффузный, ОДР – общего освещения диффузный с экранирующей решеткой (защитный угол составляет 15°), ОДО – общего освещения диффузный с отверстиями в верхней части отражателя, ОДОР – общего освещения диффузный с отверстиями в верхней части отражателя и с экранирующей решеткой (указанные светильники выпускаются на две и четыре лампы мощностью 30, 40, 80 Вт и более)); ²предназначен для обеспечения общего освещения помещений производственного и иного назначения с высоким содержанием влаги и пыли (защитный угол в поперечной и продольной плоскостях составляет 15°). Корпус люминесцентного светильника сделан из поликарбоната с ударопрочными свойствами. Рассеиватель сделан из прозрачного светостабилизированного полистирола. Освещение обеспечивают лампы люминесцентные трубчатые Т8 G13 мощность 18 либо 36 Вт. Возможно оснащение ЭПРА (ЛСП 01 2х36-012 IP65 «Норд» с ЭПРА 0031236313); ³открытый двухламповый светильник с отражателем и решеткой, применяется для производственных помещений с нормальными условиями среды; ⁴закрытый светильник (на одну, две (η=0,91) или четыре (η=0,88) люминесцентные лампы мощностью 18, 36, 40 и 65 Вт) с возможностью оснащения ЭПРА (эффективный (условный) защитный угол составляет 90°); ⁵закрытый пылевлагозащищенный люминесцентный светильник на две лампы мощностью 40 и 80 Вт (для производственных помещений с химически активной средой, сырых, пыльных и пожароопасных; эффективный (условный) защитный угол составляет 90°); ⁶взрывозащищенный светильник с лампой накаливания и отражателем. Предназначен для общего освещения в производственных помещениях и наружных установках (современным прототипом ВЗГ-200 может являться светодиодный светильник «Астарта» СД312Х-1700М-П-65); ⁷открытый светильник для нормальных и влажных производственных помещений с защитным углом 15° (на одну лампу ДРЛ мощностью 125, 250, 400, 700 и 1000 Вт); ⁸открытый светильник для нормальных, влажных, пыльных, жарких и пожароопасных производственных помещений (на одну лампу ДРИ мощностью 250, 400, 700 и 1000 Вт; защитный угол составляет 15°).

Таблица П15

Коэффициенты использования светового потока для светильников с лампами накаливания

Светильник	У			У			СЗЛ-300-1			ППД-200			Ш ^М			Ск-300		
ρ _п , %	30	50	70	30	50	70	30	50	70	30	50	70	30	50	70	30	50	70
ρ _с , %	10	50	50	10	30	50	10	30	50	10	30	50	30	50	50	30	50	50
ρ _р , %	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
i	η, %																	
0,5	17	20	22	12	15	19	25	27	29	17	20	24	8	13	15	9	11	15
1,0	39	43	49	31	35	38	41	43	48	36	39	44	22	26	30	19	22	30
2,0	51	55	60	40	44	48	51	53	56	47	51	55	30	35	40	29	31	42
3,0	58	62	66	46	49	53	56	58	61	54	56	61	36	40	45	33	37	49
4,0	62	66	70	49	52	56	58	60	63	57	60	64	40	43	49	38	41	53
5,0	64	69	73	51	53	57	59	61	63	58	62	65	43	46	52	40	42	55

Таблица П16

Характеристики ламп накаливания общего назначения

Мощность, Вт	Тип лампы	Световой поток, лм	Мощность, Вт	Тип лампы	Световой поток, лм
15	В	105	150	Г	2000
25	В	2250	150	Б	2100
40	Б	400	200	Г	2800
40	БК	460	200	Б	2920
60	Б	715	300	Г	4600
60	БК	790	500	Г	8300
100	Б	1350	750	Г	13100
100	БК	1450	1000	Г	18600

Характеристики люминесцентных ламп

Мощность, Вт	Тип лампы	Световой поток, лм	Световая отдача, лм/Вт
18	ЛБ-18	1060	59
20	ЛДЦ-20	820	41
20	ЛД-20	920	46
20	ЛБ-20	1180	59
30	ЛДЦ-30	1450	48
30	ЛД-30	1640	55
30	ЛБ-30	2100	70
40	ЛДЦ-40	2100	53
40	ЛД-40	2340	59
40	ЛБ-40	3120	78
40	ЛТБ-40	2580	65
40	ЛХБ-40	2600	65
65	ЛД-65	3750	58
65	ЛБ-65	4600	71
80	ЛДЦ-80	3740	47
80	ЛД-80	4070	51
80	ЛБ-80	5220	65
80	ЛХБ-80	5300	66
80	ЛТБ-80	4440	56

116

Характеристики дуговых ртутных люминесцентных ламп (ДРЛ) и металлогалогеновых ламп (ДРИ)

Мощность, Вт	Тип лампы	Световой поток, лм	Световая отдача, лм/Вт
50	ДРЛ-50	1800	36
80	ДРЛ-80	3200	40
125	ДРЛ-125	5900	47
250	ДРЛ-250	13000	52
400	ДРЛ-400	22000	55
700	ДРЛ-700	40600	58
1000	ДРЛ-1000	58500	58
250	ДРИ-250	18700	75
400	ДРИ-400	32000	80
700	ДРИ-700	59500	85
1000	ДРИ-1000	90000	90
2000	ДРИ-2000	190000	95
3500	ДРИ-3500	350000	100

117

**Значения удельной мощности осветительной установки
для светильника типа ЛОУ ($\rho_n = 50\%$, $\rho_c = 30\%$) с лампой ЛБ (30 и 40 Вт)**

Высота светильников над рабочей поверхностью, м	Площадь помещения, м ²	Освещенность, лк						
		75	100	150	200	300	400	500
2–3	10–15	6,5	8,7	13	17,4	26,0	35,0	43,0
	15–25	5,5	7,3	11	14,6	22,0	29,0	37,0
	25–50	4,5	6,0	9,0	12,0	18,0	24,0	30,0
	50–150	3,7	5,0	7,5	10,0	15,0	20,0	25,0
	150–300	3,3	4,4	6,6	8,8	13,2	17,6	22,0
	300	3,1	4,1	6,2	8,2	12,4	16,4	21,0
3–4	10–12	8,4	11,2	16,8	22,5	33,0	45,0	56,0
	15–20	7,2	9,6	14,4	19,2	29,0	38,0	48,0
	20–30	6,4	8,5	12,8	17,0	25,5	34,0	42,0
	30–50	5,5	7,3	11,0	14,6	22,0	29,0	36,0
	50–120	4,3	5,8	8,7	11,6	17,4	23,0	28,0
	120–300	3,7	4,9	7,4	9,8	14,8	19,6	25,0
	300	3,4	4,5	6,8	9,0	13,6	18,0	23,0

Учебное издание

Сергей Владимирович Кудашев
Елена Эдуардовна Нефедьева
Галина Александровна Севрюкова
Татьяна Ивановна Даниленко
Владимир Федорович Желтобрюхов

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Учебное пособие

Редактор Л. И. Громова

Темплан 2015 г. (учебники и учебные пособия). Поз. № 73.
Подписано в печать 12.03.2015 г. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная.
Гарнитура Times. Печать офсетная. Усл.-печ.л. 6,98. Уч.-изд.л. 6,41.
Тираж 150 экз. Заказ

Волгоградский государственный технический университет
400005, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, корп. 1.

Отпечатано в типографии ИУНЛ ВолгГТУ
400005, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, корп. 7.