

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова

С. Ш. Залаева, О. А. Рыбка

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ САНИТАРИЯ И ГИГИЕНА ТРУДА

ЧАСТЬ 1

ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ. ВИБРАЦИЯ

Учебное пособие

Белгород
2008

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова

С. Ш. Залаева, О. А. Рыбка

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ САНИТАРИЯ И ГИГИЕНА ТРУДА

ЧАСТЬ 1

ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ. ВИБРАЦИЯ

Утверждено ученым советом университета в качестве учебного пособия
для студентов специальности 280102– Безопасность технологических
процессов и производств очной формы обучения

Белгород
2008

УДК 658 (07)
ББК 65.247я7
З-22

Рецензенты:

канд. социол. наук, доцент *Н. А. Дорожкин*

канд. тех. наук, доцент *В. Ю. Радоуцкий*

Залаева, С. Ш.

Производственная санитария и гигиена труда: учеб. пособие:
З-22 в 3 ч. – Ч. 1. Производственное освещение. Вибрация / С. Ш.
Залаева, О. А. Рыбка. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2008. – 165 с.

Учебное пособие по дисциплине «Производственная санитария и гигиена труда» подготовлено в соответствии с требованиями Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования программы подготовки дипломированных специалистов и научной концепцией в системе «человек – машина – среда обитания». Учебное пособие состоит из трех частей: первая часть – «Производственное освещение. Вибрация»; вторая часть – «Вредные вещества. Производственный шум»; третья часть – «Ионизирующие излучения, лазерные излучения и электромагнитные поля».

В издании рассмотрен широкий круг актуальных вопросов производственной санитарии и гигиены труда. Изложение текста сопровождается нормативными материалами, формулами, таблицами и рисунками. Большое внимание уделено видам и системам производственного освещения, его нормированию и расчету, источникам искусственного освещения; нормированию и воздействию вибрации на человека, основным проблемам борьбы с нею.

Учебное пособие предназначено для студентов очной формы обучения специальности 280102– Безопасность технологических процессов и производств.

УДК 658 (07)
ББК 65.247я7
З-22

© Белгородский государственный
технологический университет
(БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2008

ВВЕДЕНИЕ

При производстве строительных материалов и строительных работ характерно потенциальное действие различных вредных факторов производственной среды: токсичность и агрессивность используемых веществ и продуктов, неблагоприятные метеорологические условия, повышенный шум и вибрация, недостаточное освещение, воздействие радиоактивных веществ и источников ионизирующих излучений и др. Поэтому у работников, занятых на работах с неблагоприятными условиями труда, возможны различные виды профессиональных заболеваний: при производстве цемента – пневмокониозы, пылевой бронхит, дерматозы, бронхиальная астма; железобетонных изделий, изделий из кирпича и керамики, стекла, материалов на основе асбестоцемента – вибрационная болезнь, невриты, дерматоз, пневмокониоз и бронхиальная астма, у машинистов, управляющих строительной техникой – виброболь, у отделочников – отравления и заболевания кожного покрова, у сварщиков – заболевания глаз.

Изучение перечисленных вредных факторов производственной среды, определение степени их влияния на организм человека, разработка организационных и технических мероприятий, устраняющих производственные вредности, являются содержанием специальных дисциплин – производственной санитарии и гигиены труда.

Производственная санитария – это система организационных, санитарно-гигиенических мероприятий, технических средств и методов, предотвращающих или уменьшающих воздействие на работающих вредных производственных факторов до значений, не превышающих допустимые (ГОСТ 12.0.002–80 «ССБТ. Термины и определения»).

Вредным производственным фактором называется фактор среды и трудового процесса, воздействие которого на работающего при определенных условиях (интенсивность, длительность) может вызвать профессиональное заболевание, временное или стойкое снижение работоспособности, повысить частоту соматических и инфекционных заболеваний, привести к нарушению здоровья потомства.

К вредным производственным факторам относятся:

физические факторы:

– температура, влажность, скорость движения воздуха, тепловое излучение;

– ионизирующие излучения;

– неионизирующие электромагнитные поля и излучения: электростатические поля, постоянные магнитные поля, электрические и магнитные поля промышленной частоты (50Гц), электромагнитные поля радиочастотного диапазона (в том числе лазерное и ультрафиолетовое);

– производственный шум, ультразвук, инфразвук;

– вибрация (локальная, местная);

– аэрозоли (пыли), преимущественно фиброгенного действия;

– освещение – естественное (отсутствие или недостаточность), искусственное (недостаточная освещенность, прямая и отраженная слепящая блескость, пульсация освещенности);

– электрически заряженные частицы воздуха – аэроионы;

химические факторы – вредные вещества;

биологические факторы – микроорганизмы – продуценты, живые клетки и споры, содержащиеся в препаратах, патогенные микроорганизмы;

факторы трудового процесса – тяжесть и напряженность труда.

Научной основой производственной санитарии является гигиена труда (греч. *hygienios* – здоровье).

Гигиена труда – это область профилактической медицины, изучающая влияние факторов производственной среды на функциональное состояние организма человека и условия сохранения здоровья на производстве.

Гигиена труда устанавливает гигиенические нормативы, которые служат нормативной базой производственной санитарии. Рекомендации гигиенической науки используются в санитарном законодательстве, в практической работе по осуществлению санитарного надзора в промышленности, при проектировании, конструировании и эксплуатации производственных зданий, сооружений, оборудования, технологических процессов.

Научно-технический прогресс в строительстве и повышение эффективности производства превратили труд работников промышленности строительных материалов в высокомеханизированный. Вместе с тем в этой отрасли есть свои специфические особенности, которые требуют определенного подхода к решению санитарно-гигиенических проблем, связанных с подвижным характером труда работников, необходимостью в процессе работы постоянно перемещать орудия труда, особым характером продукции труда, со значительным разнообразием ее видов и форм, требующих участия в процессе производства целых производственных коллективов, что вносит определенные трудности в организацию

самого процесса труда и в организацию санитарно-гигиенического обслуживания работников.

Настоящее учебное пособие посвящено рассмотрению основных вредных производственных факторов в промышленности строительных материалов, их гигиеническому нормированию, воздействию на работающих и основных средств коллективной и индивидуальной защиты от них; оно должно помочь студентам в повышении качественного уровня обучения при изучении дисциплины «Производственная санитария и гигиена труда».

1. САНИТАРНОЕ ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Санитарное законодательство представляет собой совокупность законов, регулирующих отношения в области охраны здоровья людей от неблагоприятного или опасного влияния факторов среды обитания.

Применительно к производственным условиям санитарное законодательство является частью законодательства об охране труда и направлено на сохранение здоровья и защиту работающих от вредных производственных факторов.

Правовую основу производственной санитарии составляют законодательные акты, подзаконные акты и нормативно-правовые акты. Некоторые из них приведены на рис. 1.1.

1.1. Законодательные акты по производственной санитарии

Наибольшей юридической силой обладают Конституция Российской Федерации, Трудовой кодекс Российской Федерации, федеральные законы «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения», «О социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний» и др.

Принятая референдумом 12 декабря 1993 г. Конституция Российской Федерации является Основным законом нашей страны и обладает высшей юридической силой. Юридически более значимыми являются только признанные нормы международного права. Конституция Российской Федерации содержит ряд статей, имеющих непосредственное отношение к производственной санитарии и гигиене труда:

«...В Российской Федерации охраняются труд и здоровье людей...» (статья 7).

«Каждый имеет право на труд в условиях, отвечающих требованиям безопасности и гигиены...» (статья 37, п. 3).

«Каждый имеет право на отдых. Работающему по трудовому договору гарантируются установленные федеральным законом продолжительность рабочего времени, выходные и праздничные дни, оплачиваемый ежегодный отпуск» (статья 37, п. 5).

«Каждый имеет право на охрану здоровья и медицинскую помощь...» (статья 41, п. 1).

«Скрытие должностными лицами факторов и обстоятельств, создающих угрозу для жизни и здоровья людей, влечет за собой

ответственность в соответствии с федеральным законом» (статья 41, п. 3).

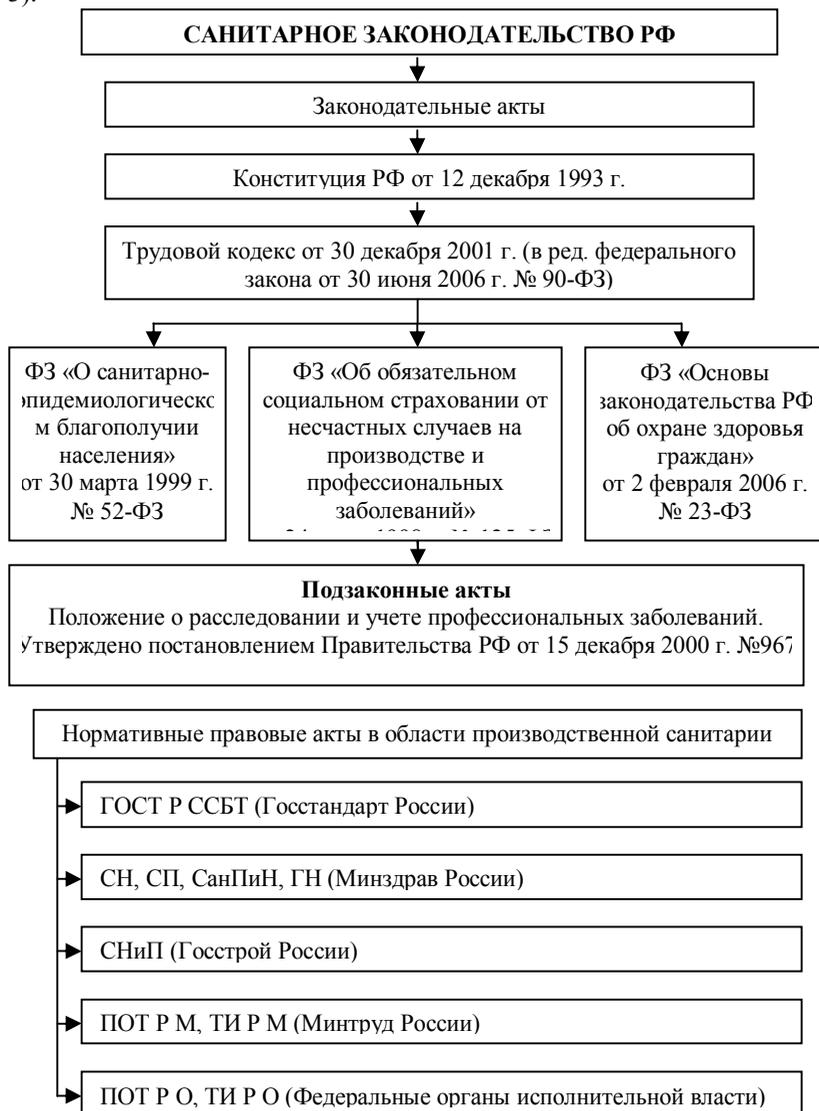


Рис. 1.1. Правовые основы производственной санитарии

«Каждый имеет право на благоприятную окружающую среду...» (статья 42).

Основопологающим законодательным актом, регулирующим трудовые отношения всех работающих в нашей стране, является Трудовой кодекс Российской Федерации в редакции федерального закона от 30 июня 2006 г. № 90-ФЗ. Безусловно, многие разделы, главы и статьи Трудового кодекса непосредственно посвящены вопросам производственной санитарии и гигиены труда.

Раздел IV. Рабочее время. Главы 15 и 16. Нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю (статья 91). Нормальная продолжительность рабочего времени сокращается на 4 часа в неделю и более для работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, в порядке, установленном Правительством Российской Федерации (статья 92). Ночное время с 22 часов до 6 часов. Продолжительность работы (смены) в ночное время сокращается на один час (статья 96). Сверхурочные работы (работы, производимые работником по инициативе работодателя за пределами установленной продолжительности рабочего времени) не должны превышать для каждого работника четырех часов в течение двух дней подряд и 120 часов в год (статья 99).

Раздел V. Время отдыха. Главы 17–19. В течение рабочего дня (смены) работнику должен быть предоставлен перерыв для отдыха и питания продолжительностью не более двух часов и не менее 30 минут, который в рабочее время не включается (статья 108). На отдельных видах работ предусматривается предоставление работникам в течение рабочего дня специальных перерывов, обусловленных технологией и организацией производства и труда. Виды этих работ, продолжительность и порядок предоставления таких перерывов устанавливаются правилами внутреннего трудового распорядка организации (статья 109).

Продолжительность еженедельного непрерывного отдыха не может быть менее 42 часов (статья 110).

Ежегодный основной оплачиваемый отпуск предоставляется работникам продолжительностью 28 календарных дней. Ежегодный основной оплачиваемый отпуск продолжительностью более 28 календарных дней (удлиненный основной отпуск) предоставляется работникам в соответствии с настоящим Кодексом и иными Федеральными законами (статья 115). Ежегодный дополнительный

оплачиваемый отпуск предоставляется работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда... связанных с неустранимым неблагоприятным воздействием на здоровье человека вредных физических, химических, биологических и иных факторов (статья 117).

Раздел VI. Оплата и нормирование труда. Глава 21. Заработная плата. Оплата труда работников, занятых на тяжелых работах, работах с вредными и (или) опасными и иными особыми условиями труда, устанавливается в повышенном размере, по сравнению с тарифными ставками (окладами), установленными для различных видов работ с нормальными условиями труда... Повышение заработной платы по указанным основаниям производится по результатам аттестации рабочих мест (статья 147). Сверхурочная работа оплачивается за первые два часа работы не менее чем в полуторном размере, за последующие часы – не менее чем в двойном размере (статья 152). Работа в выходной и нерабочий праздничный день оплачивается не менее чем в двойном размере... (статья 153). Каждый час работы в ночное время оплачивается в повышенном размере по сравнению с работой в нормальных условиях...(статья 154).

Раздел X. Охрана труда (статья 210. Выдержки). Основными направлениями государственной политики в области охраны труда являются:

- обеспечение приоритета сохранения жизни и здоровья работников;
- расследование и учет несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний;
- защита законных интересов работников, пострадавших от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний, а также членов их семей на основе обязательного социального страхования работников от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний;
- установление компенсаций за тяжелую работу и работу с вредными и (или) опасными условиями труда, неустраняемыми при современном техническом уровне производства и организации труда;
- установление порядка обеспечения работников средствами индивидуальной и коллективной защиты, а также санитарно-бытовыми помещениями и устройствами, лечебно-профилактическими средствами за счет работодателей.

Раздел XII. Особенности регулирования труда отдельных категорий работников. Особенности регулирования труда женщин и работников в возрасте до восемнадцати лет будут рассмотрены отдельно.

В настоящее время основополагающим в области санитарного законодательства является Федеральный закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» от 30 марта 1999 г. № 52-ФЗ. Закон направлен на обеспечение санитарно-эпидемиологического благополучия населения как одного из основных условий реализации конституционных прав граждан на охрану здоровья и благоприятную окружающую среду, в том числе и производственную среду.

Санитарно-эпидемиологическое благополучие населения – состояние здоровья населения, среды обитания человека, при котором отсутствует вредное воздействие факторов среды обитания на человека, и обеспечиваются благоприятные условия его жизнедеятельности (статья 1).

Статья 25 закона содержит санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда.

- Условия труда, рабочее место и трудовой процесс не должны оказывать вредное воздействие на человека. Требования к обеспечению безопасных для человека условий труда устанавливаются санитарными правилами и иными нормативными правовыми актами Российской Федерации.

- Индивидуальные предприниматели и юридические лица обязаны осуществлять санитарно-противоэпидемические (профилактические) мероприятия по обеспечению безопасных для человека условий труда и выполнению требований санитарных правил и иных нормативных актов Российской Федерации к производственным процессам и технологическому оборудованию, организации рабочих мест, коллективным и индивидуальным средствам защиты работников, режиму труда, отдыха и бытовому обслуживанию работников в целях предупреждения травм, профессиональных заболеваний, инфекционных заболеваний и заболеваний (отравлений), связанных с условиями труда.

Под санитарными правилами или государственными санитарно-эпидемиологическими правилами и нормативами, согласно закону, понимают нормативные правовые акты, устанавливающие санитарно-эпидемиологические требования (в том числе критерии безопасности и (или) безвредности факторов среды обитания для человека, гигиенические и иные нормативы), несоблюдение которых создает угрозу жизни или здоровью человека, а также угрозу возникновения и распространения заболеваний.

Статьей 55 устанавливается дисциплинарная, административная и уголовная ответственность за нарушения санитарного законодательства.

Федеральный закон «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний» от 24 июля 1998 г. № 125-ФЗ устанавливает в Российской Федерации правовые, экономические и организационные основы обязательного социального страхования от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний. Профессиональные заболевания, к сожалению, характерны для ряда отраслей экономики.

Основными задачами обязательного социального страхования являются:

- Обеспечение социальной защиты застрахованных и экономической заинтересованности субъектов страхования в снижении профессионального риска.
- Страхование возмещение вреда пострадавшим.
- Обеспечение предупредительных мер по сокращению производственного травматизма и профессиональных заболеваний.

Закон регулирует взаимоотношения пострадавших на производстве (застрахованных), работодателей (страхователей) и посредника между ними – страховщика (Фонда социального страхования РФ) по вопросам возмещения вреда, причиненного жизни и здоровью работника при исполнении им трудовых обязанностей. Средства на осуществление обязательного социального страхования формируются за счет обязательных страховых взносов страхователей исходя из страхового тарифа.

Страховые тарифы, дифференцированные по отраслям экономики, ежегодно устанавливаются федеральным законом в зависимости от класса профессионального риска. Класс профессионального риска – уровень производственного травматизма, профессиональной заболеваемости и расходов на обеспечение по страхованию, сложившийся в отраслях экономики. В соответствии с Федеральным законом «О страховых тарифах на обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний на 2007 год» от 19 декабря 2006 г. № 235-ФЗ установлено 32 класса профессионального риска. Величина страховых тарифов изменяется от 0,2 % (1-й класс) до 8,5 % (32-й класс) от фонда оплаты труда в отрасли.

Федеральный закон «О радиационной безопасности населения» от 9 января 1996 г. № 3-ФЗ определяет правовые основы обеспечения радиационной безопасности населения и работающих с источниками ионизирующих излучений в целях охраны здоровья.

Важным звеном санитарного законодательства являются «Основы законодательства Российской Федерации об охране здоровья граждан» от 22 июля 1993 г. № 5487-1.

Охрана здоровья граждан – это совокупность мер политического, экономического, правового, социального, культурного, научного, медицинского, санитарно-гигиенического и противоэпидемического характера, направленных на сохранение и укрепление физического и психического здоровья каждого человека, поддержание его долголетней активной жизни, предоставление ему медицинской помощи в случае утраты здоровья (статья 1).

В целях охраны здоровья граждан, предупреждения инфекционных и профессиональных заболеваний работники отдельных профессий, перечень которых утверждается Правительством Российской Федерации, проходят обязательные при поступлении на работу и периодические медицинские осмотры.

Работодатели несут ответственность за выделение средств на проведение обязательных и периодических медицинских осмотров работников (статья 21).

Рассматривая санитарное законодательство, нельзя оставить без внимания Федеральный закон «О предупреждении распространения в Российской Федерации заболевания, вызываемого вирусом иммунодефицита человека (ВИЧ- инфекции)» от 30 марта 1995 г. № 38-ФЗ.

Заболевание, вызываемое вирусом иммунодефицита человека (ВИЧ-инфекция), приобретает массовое распространение во всем мире, остается пока неизлечимым, вызывает тяжелые социально-экономические и демографические последствия для Российской Федерации. ВИЧ-инфекция создает угрозу личной, общественной, государственной безопасности, а также угрозу существованию человечества. Закон защищает права и законные интересы населения, ВИЧ-инфицированных и работников, подвергающихся риску заражения при исполнении своих служебных обязанностей. Закон предусматривает необходимость применения своевременных эффективных мер комплексной профилактики ВИЧ-инфекции.

1.2. Подзаконные акты

К подзаконным актам относятся указы Президента РФ, постановления Правительства РФ, решения судов и арбитражных судов, постановления министерств и ведомств, палат Федерального Собрания РФ, нормативные акты, издающиеся исполнительными органами власти в пределах своей компетенции.

Важнейшими подзаконными актами в области производственной санитарии и гигиены труда являются:

- Постановление Правительства РФ от 30 июля 2004 г. № 322 «Об утверждении Положения о Федеральной службе по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека»;
- Постановление Правительства РФ от 15 сентября 2005 г. № 569 «О Положении об осуществлении государственного санитарно-эпидемиологического надзора в Российской Федерации»;
- Постановление Правительства РФ от 15 декабря 2000 г. № 967 «Об утверждении Положения о расследовании и учете профессиональных заболеваний»;
- Постановление Министерства труда РФ от 14 марта 1997 г. № 12 «О проведении аттестации рабочих мест по условиям труда»;
- Постановление Министерства труда и социального развития РФ от 8 февраля 2000 г. № 14 «Об утверждении Рекомендаций по организации работы службы охраны труда в организации»;
- Постановление Правительства РФ от 29 ноября 2002 г. № 849 «О порядке утверждения норм и условий бесплатной выдачи работникам, занятым на работах с вредными условиями труда, молока или других равноценных пищевых продуктов, а также лечебно-профилактического питания».

1.3. Нормативные правовые акты в области производственной санитарии и гигиены труда

Ниже приведен перечень видов нормативных правовых актов, содержащих государственные нормативные требования к производственной санитарии и гигиене труда.

- Государственные стандарты системы стандартов безопасности труда (ГОСТ Р ССБТ);
- Государственные санитарно-эпидемиологические правила и нормативы: санитарные правила (СП), гигиенические нормативы (ГН), санитарные правила и нормы (СанПиН), санитарные нормы (СН);
- Строительные нормы и правила (СНиП), своды правил по проектированию и строительству (СП);
- Межотраслевые правила по охране труда (ПОТ Р М), межотраслевые инструкции по охране труда (ТИ Р М);
- Отраслевые правила по охране труда (ПОТ Р О), типовые инструкции по охране труда (ТИ Р О).

Система стандартов безопасности труда (ССБТ) – одна из систем государственной системы стандартизации. Шифр (номер) этой

системы – 12. Система разделена на 10 подсистем от 0 до 9. Наибольшее значение для производственной санитарии имеют стандарты подсистемы 1 и подсистемы 4.

Стандарты подсистемы 1 устанавливают требования по видам опасных и вредных производственных факторов и предельно допустимые значения их параметров; методы и средства защиты работающих от их воздействия, методы контроля уровня этих факторов.

Стандарты подсистемы 4 устанавливают требования к средствам защиты работающих, необходимые конструктивные, эксплуатационные, защитные и гигиенические свойства средств защиты в зависимости от действующих опасных и вредных производственных факторов, а также методы контроля и оценки средств защиты.

Государственные нормативные требования в области производственной санитарии и гигиены труда утверждаются сроком на пять лет и могут быть продлены не более чем на два срока.

1.4. Надзор и контроль за соблюдением санитарного законодательства

За соблюдением санитарного законодательства осуществляются следующие виды надзора и контроля:

- государственный;
- ведомственный;
- общественный.

Государственный надзор и контроль осуществляют специально уполномоченные на то службы и агентства, а именно:

• *Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор)*. Положение о Федеральной службе по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 30.06.2004 № 322. Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека является уполномоченным федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по контролю и надзору в сфере обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения и находится в ведении Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации. Положение об осуществлении государственного санитарно-эпидемиологического надзора в Российской Федерации

утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 15 сентября 2005 г. № 569.

Основными задачами государственного санитарно-эпидемиологического надзора в Российской Федерации являются профилактика инфекционных и массовых неинфекционных заболеваний населения, предупреждение вредного воздействия на человека факторов среды обитания, а также гигиеническое воспитание и обучение граждан.

Организацию государственного санитарно-эпидемиологического надзора в РФ осуществляют: руководитель Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека – главный государственный санитарный врач Российской Федерации, а также главные государственные санитарные врачи по субъектам Российской Федерации, по городам, районам и на транспорте.

Издаваемые главным государственным санитарным врачом Российской Федерации правовые акты по вопросам, относящимся к его компетенции, являются обязательными для исполнения всеми структурными подразделениями и федеральными государственными учреждениями, входящими в единую федеральную централизованную систему государственного санитарно-эпидемиологического надзора. Должностные лица, осуществляющие государственный санитарно-эпидемиологический надзор, обладают полномочиями, установленными статьями 50, 51 и 52 Федерального закона «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» и несут ответственность за надлежащее исполнение своих служебных обязанностей, а также за сокрытие фактов и обстоятельств, создающих угрозу санитарно-эпидемиологическому благополучию населения.

- *Федеральная служба по труду и занятости (Роструд)*. Положение о Федеральной службе по труду и занятости утверждено постановлением Правительства Российской Федерации 30.06.2004 № 324.

Федеральная служба по труду и занятости является уполномоченным федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по надзору и контролю за соблюдением законодательства о труде и охране труда и находится в ведении Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации.

- *Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Ростехрегулирование)* утверждено постановлением Правительства РФ от 17.06.2004 № 294. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии находится в ведении

Министерства промышленности и энергетики Российской Федерации и осуществляет в порядке, установленном Федеральным законом о техническом регулировании, деятельность в области технического регулирования, в том числе контроль и надзор за соблюдением требований государственных стандартов в переходный период.

- *Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор)* утверждена постановлением Правительства РФ от 30.07.2004 № 401. Руководство Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору осуществляет Правительство РФ.

Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору является: органом государственного регулирования безопасности при использовании атомной энергии; специально уполномоченным органом в области промышленной безопасности; органом государственного горного надзора; специально уполномоченным государственным органом в области экологической экспертизы в установленной сфере деятельности; органом государственного энергетического надзора; специально уполномоченным органом в области охраны атмосферного воздуха.

- Правовые и технические инспекции труда центральных комитетов и советов профсоюзов со своей стороны осуществляют контроль за соблюдением санитарного законодательства.

- Государственный надзор за точным и единообразным исполнением законов о труде осуществляют Генеральный прокурор РФ и подчиненные ему органы прокуратуры.

Министерства и ведомства осуществляют ведомственный контроль на подчиненных им предприятиях. К ведомственному контролю относится контроль, осуществляемый службой охраны труда предприятия.

Общественный контроль осуществляют профсоюзы или уполномоченные общественные санитарные инспекторы на предприятиях, в учреждениях, организациях.

2. ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

Наибольшее количество информации (около 90%) об окружающем нас мире человек получает посредством зрения. Качество этой информации во многом зависит от освещения. В связи с этим обеспечение гигиенически рационального естественного и

искусственного освещения имеет важное значение для нормальной жизнедеятельности и работоспособности человека.

Действие света на организм человека многообразно. Он не только обеспечивает нормальную жизнедеятельность организма человека, но и определяет жизненный тонус и ритм, являясь мощным эмоциональным фактором. Уровень освещенности оказывает влияние на психические функции и физиологические процессы в организме человека.

Комплекс световых реакций человека, возникающий при воздействии лучистой энергии солнца в его оптическом спектре, т.е. в диапазоне ультрафиолетовых, видимых и инфракрасных излучений, представляет собой природную световую среду, или световой климат.

Из всего спектра электромагнитных колебаний только видимый спектр излучения воздействует на светочувствительные элементы глаза, создавая ощущение света. Наибольшая чувствительность глаза наблюдается к колебаниям с длиной волны $\lambda = 555$ нм, которые воспринимаются как желто-зеленый цвет. Чувствительность глаза к желто-зеленому цвету принимается равной 1.

При недостаточной освещенности и плохом качестве освещения состояние зрительных функций человека находится на низком исходном функциональном уровне, повышается утомление зрения в процессе выполнения работы, возрастает опасность травматизма.

Поэтому главной задачей производственного освещения является обеспечение комфортной световой среды для труда и отдыха человека, а также повышение эффективности и масштаба применения света в технологических процессах на основе рационального использования электрической энергии, расходуемой в осветительных установках, и снижение затрат на их создание и эксплуатацию.

2.1. Требования к производственному освещению

1. Освещенность на рабочих местах должна соответствовать характеру зрительной работы. Увеличение освещенности рабочих поверхностей от 100 до 1000 лк улучшает условия видения объектов, повышает производительность труда на 10–20 %, уменьшает брак на 20 %, снижает количество несчастных случаев на 30 %.

При 1000 лк утомление имеет минимальное значение. Однако существует предел, когда дальнейшее увеличение освещенности почти не дает эффекта ($E > 1000$ лк) и является экономически нецелесообразным.

2. *Достаточно равномерное распределение яркости на рабочей поверхности.* При неравномерной яркости в процессе работы глаз вынужден переадаптироваться, что ведет к утомлению зрения.

3. *Отсутствие резких теней на рабочих поверхностях.* В поле зрения человека резкие тени искажают размеры и формы объектов различения, что повышает утомление зрения, а движущиеся тени могут привести к травмам.

4. *Отсутствие блескости.* Блескость вызывает нарушение зрительных функций – ослепленность, возникающую при наличии в поле зрения чрезмерно большой яркости и приводящей к быстрому утомлению и снижению работоспособности.

5. *Постоянство освещенности во времени.* Колебания освещенности вызывают переадаптацию глаза, приводят к значительному утомлению.

6. *Правильная цветопередача.* Спектральный состав света должен отвечать характеру работы.

7. *Обеспечение электро-, взрыво- и пожаробезопасности.* Неправильная эксплуатация, ошибки, допущенные при проектировании и устройстве осветительных установок в пожаро- и взрывоопасных цехах (неправильный выбор светильников, проводов), могут привести к взрыву, пожару и несчастным случаям.

8. *Экономичность.* Определяется, во-первых, экономическими и эксплуатационными характеристиками источника света (светоотдача и срок службы лампы) и, во-вторых, является основой выбора варианта проектного решения осветительной установки. Основные санитарно-гигиенические требования к производственному освещению сформулированы в СНиП 23-05-95, отраслевых нормах и др.

2.2. Основные этапы развития светотехники

Великий английский физик Исаак Ньютон (1643–1727) первый создал научно обоснованную гипотезу, объяснившую природу световых явлений. Согласно этой гипотезе, световые излучения представляют собой поток мельчайших особых частиц-корпускул, исходящих от источника света и распространяющихся прямолинейно по различным направлениям пространства. Эта теория света более ста лет была господствующей.

Почти одновременно с И. Ньютоном голландский физик Х. Гюйгенс (1629–1695) создал гипотезу о волновом характере света. Световые явления он объяснил упругой деформацией гипотетической среды – эфира. Рассматривая распределение света как волновой процесс, он не

представлял себе этот процесс периодическим, который можно характеризовать длиной волны и частотой. Х. Гюйгенс сформулировал общий принцип, позволяющий определить путем геометрического построения направление распространения света.

Волновую теорию света разделяли и развивали крупные русские ученые Л. Эйлер (1707–1783) и М.В. Ломоносов (1711–1765), которые также рассматривали процесс распространения света как волновой процесс, происходящий в гипотетической среде – эфире.

Французский физик О. Френель (1788–1827) и английский физик Т. Юнг (1773–1829) продолжили разработку волновой теории света и дали объяснение прямолинейному распространению света с позиций волновой теории. Рассматривая интерференцию поляризованного света, они доказали поперечность световых волн. *Интерференция света* – явление поперечного ослабления и усиления света в различных местах пространства, на которые падают лучи света, вышедшие из одного и того же источника света, но прошедшие разные пути, что доказывает волновую природу света. *Поляризация света* – различие величин амплитуд световых колебаний в разных направлениях, перпендикулярных направлению распространения света. Поляризация света возможна ввиду поперечности световых колебаний. При линейной поляризации света световые колебания происходят только в одном направлении, остающемся постоянным; при круговой или эллиптической поляризации света направления колебаний регулярно изменяются; такой свет называется поляризованным.

Английский физик М. Фарадей (1791–1867) установил связь между оптическими и магнитными явлениями, обнаружив вращение плоскости поляризации излучения в магнитном поле.

Английский физик К. Максвелл (1831–1879) на основании теоретических исследований показал, что электромагнитные волны распространяются в пустоте со скоростью $c = 3 \cdot 10^{10} \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$, с такой же скоростью распространяется свет в безвоздушном пространстве. Таким образом, К. Максвелл доказал электромагнитную природу света, по которой свет представляет собой электромагнитные волны очень короткой длины.

В 1900 г. немецкий физик-теоретик М. Планк (1858–1947) высказал гипотезу о возникновении излучения порциями энергии. Минимальная порция лучистой энергии – квант энергии:

$$\varepsilon = h\nu,$$

где ε – квант энергии излучения, эрг; h – постоянная Планка, равная $6,624 \cdot 10^{-27} \text{ эрг} \cdot \text{с}$; ν – частота излучения, с^{-1} .

Энергия однородного (монохроматического) излучения всегда кратна величине кванта энергии излучения:

$$W = n\varepsilon,$$

где n – целое число выделенных квантов.

Квантовый характер поглощения и возникновения излучения установлен в настоящее время для всего диапазона электромагнитного спектра.

А. Эйнштейн (1879–1955) разработал фотонную теорию, согласно которой излучение представляет собой поток частиц – фотонов с энергией $h\nu$. Возникновение, распространение и поглощение излучения происходит отдельными фотонами.

Таким образом, природа излучения является двойственной. Явление дифракции и интерференции хорошо объясняет волновая теория, и в то же время явления выделения и поглощения излучения объясняет только квантовая теория излучения.

Опыты П.Н. Лебедева (1866–1912), доказавшие, что свет оказывает давление, убедительно показали материальность излучения, т.е. что излучение обладает массой. Установлена связь между энергией фотона и его массой:

$$m_{\phi} = \frac{\varepsilon}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2},$$

где m_{ϕ} – масса фотона; c – скорость света.

2.3. Основные понятия и определения, применяемые в светотехнике

2.3.1. Лучистая энергия

Наука об использовании энергии оптической области спектра называется *светотехникой*. Энергию оптической области спектра принято называть лучистой энергией.

Излучения оптической области электромагнитного спектра делятся на ультрафиолетовое, видимое и инфракрасное излучения.

Ультрафиолетовое излучение (УФ) – оптическое излучение, длины волн монохроматических составляющих которого лежат в пределах от 100 до 380 нм. Ультрафиолетовое излучение обладает самыми мощными фотонами в оптической области спектра. При облучении ультрафиолетом люминофоров получается источник видимых излучений (люминесцентные лампы), он обладает сильным фотохимическим действием и широко применяется в фотографической

технике для получения негативных и позитивных изображений, а также оказывает многообразное биологическое действие. Без ультрафиолетовых излучений невозможно нормальное функционирование организма человека и животного. Большие дозы этого излучения вызывают ожоги кожи, воспаление слизистых оболочек, гибель бактерий. Лучистая энергия может быть измерена в эргах, джоулях, калориях или других единицах энергии.

Видимое излучение (свет) – излучение, которое, попадая на сетчатую оболочку глаза, может вызвать зрительное ощущение (превращение энергии внешнего раздражителя в факт сознания) и позволяет видеть все многообразие окружающего нас мира. Свет имеет двойную природу: волновую и квантовую. Видимое излучение имеет длины волн монохроматических составляющих в пределах 380–780 нм. Каждый диапазон длин волн вызывает определенное цветовое ощущение. Например, красный цвет имеет длину волны 680 нм, зеленый – 480 нм, фиолетовый – 380 нм. Излучение этого участка спектра обладает значительными фотоэлектрическими и фотохимическими действиями.

Инфракрасное излучение (ИК) имеет длины волн монохроматических составляющих больше длин волн видимого излучения от 780 до 340 000 нм (но не более 1 мм), фотоны с меньшей энергией, чем видимых и ультрафиолетовых излучений. Инфракрасное излучение имеет важное значение в теплообмене человека с внешней средой, так как теплоотдача организма в большей мере происходит путем излучения. Характерным для излучений этого участка спектра является их тепловое действие и в значительно меньшей степени фотоэлектрическое и фотохимическое действие. В последнее время появились фотоматериалы, позволяющие получить фотоснимки при помощи инфракрасных излучений, и ограниченное число полупроводниковых приборов, преобразующих лучистую энергию этого участка спектра в энергию электрическую.

2.3.2. Лучистый поток

Мощность лучистой энергии оптического излучения называется *лучистым потоком* и обозначается буквой Φ_e . Лучистый поток, состоящий из однородных излучений только одной длины волны λ , называется *монохроматическим*, т.е. одноцветным, и обозначается $\Phi_{e\lambda}$. Если же в потоке содержатся излучения различных длин волн, такой поток называется *сложным*.

Спектр лучистого потока может быть *сплошным* или *линейчатым*. *Сплошным* – когда сложный поток состоит из монохроматических излучений всех длин волн некоторой области спектра; *линейчатым* – когда сложный поток образуется из монохроматических излучений только одной или нескольких длин волн. Пример сплошного спектра излучения – лампы накаливания, а пример линейчатого – спектр излучения разряда в парах металлов.

Лучистый поток, как и любая мощность, измеряется в ваттах. Длина волны и мощность являются качественной и количественной характеристикой монохроматического лучистого потока. Для сложного потока такие характеристики обычно задаются в графическом виде.

2.3.3. Световой поток

Видимое излучение, оцениваемое по световому ощущению, которое оно производит на средний человеческий глаз, называется *световым излучением*, а мощность такого излучения – *световым потоком*:

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

где Q – энергия излучения.

Излучения равной мощности, но разной длины волны обладают неодинаковой световой эффективностью, т.е. вызывают неодинаковые световые ощущения. Глаз наиболее чувствителен к излучениям средней части видимого спектра и имеет максимальную чувствительность при длине волны $\lambda = 555$ нм, окрашенную в желто-зеленый цвет. По экспериментальным данным, световая эффективность такого излучения составляет 680 лм/Вт. Чувствительность глаза к этим лучам приравнивается к единице, а к другим монохроматическим лучам определяется кривой относительной видимости (рис. 2.1).

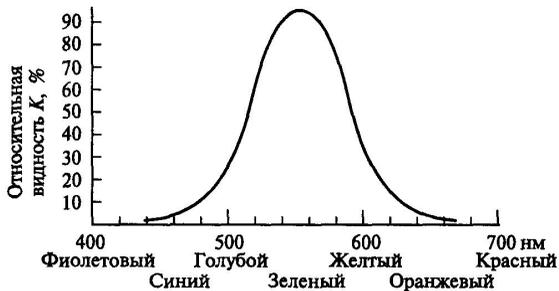


Рис. 2.1. Кривая относительной видимости

Единица светового потока – люмен (лм); 1 лм соответствует световому потоку, излучаемому в единичном телесном угле (1 стерадиан) точечным изотропным источником с силой света 1 кандела.

2.3.4. Сила света

Источники света излучают световой поток в разных направлениях неодинаково, поэтому для характеристики интенсивности излучения светового потока в том или ином направлении вводится понятие *пространственной плотности* светового потока, называемой силой света (I) источника в данном направлении. Математически сила света выражается отношением элементарного светового потока $d\Phi$ к элементарному телесному углу $d\omega$, в котором он распространяется, т.е.

$$I = \frac{d\Phi}{d\omega}.$$

Телесный угол – часть пространства, ограниченная прямыми, проведенными из одной точки (вершины) ко всем точкам какой-либо замкнутой кривой (рис. 2.2). За единицу телесного угла принят *стерадиан*. За единицу измерения силы света принята кандела (кд).

2.3.5. Яркость

Величина, характеризующая уровень светового ощущения, называется *яркостью*. Яркость L светящейся поверхности определяется отношением силы света I в данном направлении к площади проекции светящейся поверхности S на плоскость, перпендикулярную данному направлению и выражается в кд/м²:

$$L_{\alpha} = \frac{dI_{\alpha}}{dS \cos \alpha},$$

где α – угол между перпендикуляром к площади светящейся поверхности и направлением излучения.

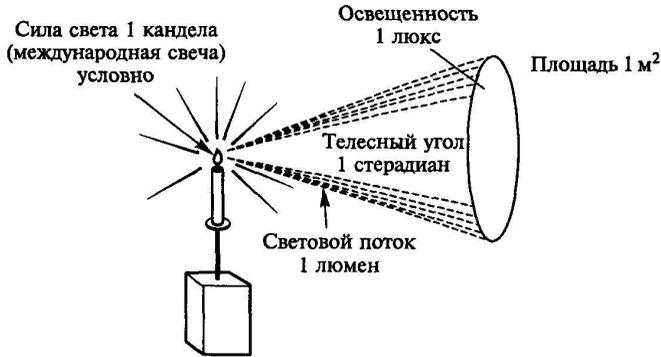


Рис. 2.2. Телесный угол

За единицу измерения яркости $\text{кд}/\text{м}^2$ принята яркость такой плоской поверхности, которая в перпендикулярном направлении излучает силу света 1 кд с площади 1 м^2 . Для этой же единицы применяется и второе наименование – нит (нт). 1 нт равен 0,0001 стильба (сб).

Пример: лист белой бумаги, освещенный настольной лампой мощностью 60 Вт, имеет яркость 30–40 $\text{кд}/\text{м}^2$.

Для измерения яркости применяется прибор, называемый *фотометром*.

2.3.6. Освещенность и светимость

Световой поток $\Phi_{\text{пад}}$, падающий на некоторую поверхность S , распределяется по ней в общем случае неравномерно. Поверхностная плотность светового потока в данной точке называется *освещенностью* E и определяется отношением светового потока $d\Phi_{\text{пад}}$ к площади этой поверхности dS :

$$E = \frac{d\Phi_{\text{пад}}}{dS}.$$

Средняя величина освещенности для точек данной поверхности определяется отношением

$$E_{\text{ср}} = \frac{\Phi_{\text{пад}}}{S}.$$

Примерно оценить понятие освещенности можно, зная, что освещенность поверхности Земли в лунную ночь составляет порядка 0,2 лк, а в солнечный день доходит до 100 000 лк.

Для поверхностей, излучающих свет, аналогично понятию освещенности вводится понятие *светимости* M , под которой понимают поверхностную плотность излучаемого потока $\Phi_{\text{изл}}$:

$$M = \frac{d\Phi_{\text{изл}}}{dS},$$

$$M_{\text{ср}} = \frac{\Phi_{\text{изл}}}{S}.$$

За единицу освещенности принят люкс (лк).

Люкс соответствует поверхностной плотности светового потока 1 лм, равномерно распределенного по площади 1 м². Единица светимости специального названия не имеет и определяется как лм/м².

Для измерения освещенности применяются приборы, называемые люксметрами. Люксметр наиболее распространенной конструкции (Ю-116, 117 и др.) состоит из фотоэлемента и соединенного с ним электрическим шнуром гальванометра.

2.3.7. Световые свойства тел

Если на какое-либо тело падает световой поток Φ , то в общем случае часть потока Φ_{ρ} отражается, часть Φ_{α} поглощается и часть Φ_{τ} пропускается через него. При этом имеет место равенство

$$\Phi = \Phi_{\rho} + \Phi_{\alpha} + \Phi_{\tau},$$

или в относительных единицах

$$\frac{\Phi_{\rho}}{\Phi} + \frac{\Phi_{\alpha}}{\Phi} + \frac{\Phi_{\tau}}{\Phi} = \rho + \alpha + \tau.$$

Относительные величины отраженного, поглощенного и пропущенного световых потоков носят название *коэффициентов отражения* ρ , *поглощения* α и *пропускания* τ и выражаются в долях единицы или в процентах.

Отражением называется возвращение излучения объектом без изменения длин волн составляющих его монохроматических излучений. Коэффициент отражения (ρ) представляет собой отношение отраженного телом светового потока (Φ_{ρ}) к падающему:

$$\rho = \frac{\Phi_p}{\Phi}.$$

Поглощением называется поглощение излучения объектом без изменения длин волн составляющих его монохроматических излучений. Коэффициент поглощения (α) – отношение поглощенного телом светового потока (Φ_α) к падающему:

$$\alpha = \frac{\Phi_\alpha}{\Phi}.$$

Пропусканием называется прохождение излучения (света) сквозь среду без изменения длин волн составляющих его монохроматических излучений. Коэффициент пропускания (τ) – отношение светового потока, прошедшего через среду (Φ_τ), к падающему:

$$\tau = \frac{\Phi_\tau}{\Phi}.$$

2.3.8. Цветовые свойства тел

Большинство реальных тел пропускает и отражает свет селективно, т.е. коэффициенты отражения и пропускания этих тел зависят от длины волны.

Цвет любого тела определяется спектральным составом падающего на него света и зависимостью спектрального коэффициента отражения этого тела от длины волны. Аналогично и для пропускания света телом. Красный цвет имеет одну длину, зеленый – другую (меньше), волны синих лучей еще короче. Белый свет – это смесь всех цветовых лучей сразу. Когда он падает на предмет, одни волны поглощаются, а другие отражаются. Какие волны отразились – такой цвет мы и увидим. Белая бумага отражает все волны одинаково хорошо, и поэтому она воспринимается как белая, черный бархат поглощает все волны, и поэтому кажется черным.

2.4. Устройство глаза

Основная задача светотехники – создание наилучших условий для процесса видения. При решении этой задачи необходимо исходить из свойств и закономерности работы человеческого глаза.

Глаз человека по своему устройству аналогичен фотоаппарату (рис. 2.3). Хрусталик подобен объективу, зрачок – диафрагме, светочувствительная сетчатая оболочка – фотопленке. Сетчатая оболочка (сетчатка) содержит в себе клетки (нейроны), являющиеся приемниками световых раздражений. В сетчатке имеются три ряда

взаимно связанных нейронов, образующих в совокупности «сетку» толщиной около 0,2 мм. Свет проходит через эту сетку и, достигая окончательных нейронов, вызывает в них фотохимическую реакцию, обуславливающую зрительное ощущение.

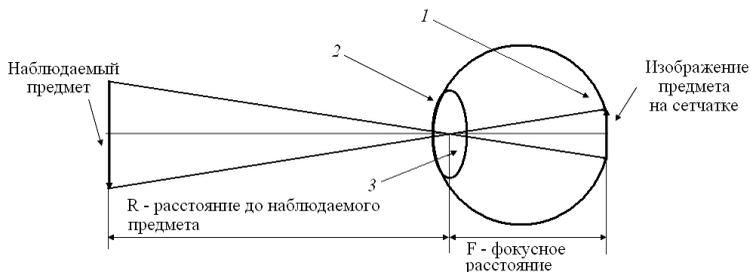


Рис. 2.3. Глаз как оптическая система:
1 – сетчатка; 2 – зрачок; 3 – хрусталик

Оконечные нейроны, являющиеся приемниками световых излучений, разделяются на две группы: более чувствительные нейроны, имеющие резко вытянутую форму, называются *палочками*, а менее чувствительные, округлой формы – *колбочками*. Колбочки располагаются в центральной части сетчатки и являются аппаратом дневного зрения, а палочки размещены на периферии сетчатки и служат аппаратом ночного зрения, когда глазу необходима повышенная чувствительность. Колбочки реагируют на яркость и на цвет. Палочки же не воспринимают цвета, а реагируют только на яркость. В условиях сумерек в работе глаза участвуют палочки и колбочки. Цветощущение в этих условиях хотя и сохраняется, но чувствительность глаза к цвету носит уже иной характер.

2.4.1. Функции и параметры зрения

Глаз может приспосабливаться (адаптироваться) к разнообразным условиям освещения в очень широких пределах.

Адаптация – приспособление глаза к изменившимся уровням освещения. Благодаря механизму адаптации зрительная система обладает способностью работать в широком диапазоне освещенностей зрачка. Различают два вида адаптации – темновую и световую.

Темновая адаптация – приспособление глаза к работе в условиях низких яркостей поля зрения. Темновая адаптация происходит при понижении яркостей в поле зрения, т.е. при переходе от условий дневного зрения к условиям ночного зрения.

Световая адаптация – приспособление глаза к работе в условиях высокой яркости поля зрения. Световая адаптация происходит при повышении яркостей в поле зрения.

Продолжительность темновой адаптации 1–2 ч, световой – 5–10 мин.

Кроме адаптации приспособление глаза к различению объекта осуществляется за счет аккомодации и конвергенции.

Аккомодация – изменение кривизны хрусталика глаза таким образом, чтобы изображение предмета оказалось в плоскости сетчатки глаза (при изменении кривизны хрусталика происходит изменение величины фокусного расстояния – осуществляется «наводка на фокус»).

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

Однако при наличии в поле зрения блестящих источников, вызывающих слепящее действие, нарушается физиологическое равновесие, снижается уровень практически всех функций зрения, а, следовательно, и общая зрительная работоспособность. *Зрительная работоспособность* – способность выполнять зрительную работу и поддерживать высокую степень мобилизации зрительных функций. Зрительная работоспособность определяет возможность органа зрения совершать какую-либо работу за определенный промежуток времени и влияет на производительность труда и качество работы, может оцениваться состоянием различных функций: критической частотой слияния мельканий, остротой зрения, быстротой различения. Из экспериментальных данных известно, что чем точнее работа, тем больше снижается производительность труда.

Показатель ослепленности – критерий оценки слепящего действия осветительной установки. Определяется выражением

$$P = (S - 1)1000 ,$$

где S – коэффициент ослепленности, равный отношению пороговых разностей яркости при наличии и отсутствии слепящих источников в поле зрения (V_1/V_2 , здесь V_1 – видимость объекта наблюдения при экранировании блестящих источников света; V_2 – видимость объекта наблюдения при наличии блестящих источников света в поле зрения):

$$S = \frac{(\Delta L_{\text{пор}})_S}{\Delta L_{\text{пор}}} = 1 + \frac{\beta}{L_{\text{ад}}} ,$$

где $(\Delta L_{\text{пор}})_S$ – пороговая разность яркости объекта и фона по обнаружению объекта на фоне равномерной яркости при наличии в поле зрения блестящего источника; $\Delta L_{\text{пор}}$ – пороговая разность яркости

объекта и фона по обнаружению объекта на фоне равномерной яркости; β – яркость вуалирующей пелены; $L_{ад}$ – яркость адаптации.

Вуалирующая пелена – явление снижения зрительных функций при повышенной яркости периферии поля зрения по сравнению с яркостью его центральной части.

Явление, при котором глаз «как бы ослепляется» и начинает хуже видеть, называется *ослепленностью*, а свойство светящихся тел вызывать ослепленность – *блескостью*.

Различают блескость *прямую*, когда она связана с источниками света, и *отраженную*, когда она возникает на отражающих свет поверхностях, находящихся в поле зрения (например, на книге, парте). Так как наличие в поле зрения блеского предмета приводит к ухудшению условий видения, то при устройстве осветительных установок одной из основных задач является устранение как прямой, так и отраженной блескости.

Поле зрения в зависимости от четкости различения условно разделено на три зоны:

- центральное зрение $\sim 2^\circ$ (четко);
- ясное видение ($30\text{--}35^\circ$) – можно опознать предмет без различения мелких деталей;
- периферическое зрение ($75\text{--}90^\circ$) – предмет только обнаруживается.

2.4.2. Основные функции зрения

Видимость того или иного объекта определяется тремя основными зрительными функциями: 1) контрастной чувствительностью, 2) остротой различения и 3) скоростью различения.

1. Под *контрастной* чувствительностью понимают способность глаза обнаруживать рассматриваемый предмет по контрасту его с фоном. *Фон* – это поверхность, прилегающая непосредственно к объекту различения, на которой он рассматривается. Фон считается светлым при коэффициенте отражения поверхности $\rho > 0,4$, средним – при $\rho = 0,2\text{--}0,4$ и темным – при $\rho < 0,2$. Пока яркость L_o (и цвет) объекта равна яркости L_ϕ (и цвету) фона, объект неразличим. Если постепенно изменять яркость фона или объекта, наступает момент, когда при разности яркости ΔL объект становится отличным от фона. Величину $\Delta L/L_\phi$ называют *пороговым* (т.е. наименьшим различимым) *контрастом яркости*, или просто *яркостным порогом*. В общем случае *контраст яркости*

$$K = \frac{|L_o - L_\phi|}{L_\phi} = m \frac{\Delta L}{L_\phi}$$

может быть определен числом m яркостных порогов. Это значит, что между яркостью фона и объекта можно отличить еще m ступеней яркости. Различают: малый контраст объекта с фоном при $K < 0,2$ – фон и объект мало различаются; средний контраст при $0,2 < K < 0,5$ – фон и объект заметно различаются; большой контраст при $K > 0,5$ – фон и объект резко различаются. Оптимальное значение контрастности 0,6–0,9.

Величина яркостного порога непостоянна и зависит от яркости фона. Условиям наилучшего видения соответствует зона яркости от 7 до 700 кд/м² (или зона светимостей от 30 до 3000 лм/м²). При таких яркостях фона яркостный порог не превосходит 2 %, а при понижении или увеличении яркости за пределы указанной зоны порог растет и видимость резко ухудшается.

2. Величина яркостного порога зависит также и от углового размера объекта. Чем больше его угловой размер, тем меньше величина порога. Следовательно, уровень видимости характеризуется контрастом объекта с фоном, уровнем яркости фона и угловым размером объекта. Наименьший угловой размер предмета, обеспечивающий различение его контура при $K = 10$ и $m \approx 10$, называется *разрешаемым углом*, а обратная величина – *остротой различения*. Условно считают, что острота различения равна 1, если разрешаемый угол равен 1 мин.

Острота зрения (V) – способность органа зрения воспринимать раздельно две точки, линии, квадраты или иные фигуры, расположенные очень близко друг к другу (в угловой мере). Количественно острота зрения оценивается значением, обратным значению предельно малого угла (обычно в угловых минутах) между двумя объектами (точками, линиями), которые еще воспринимаются раздельно ($V = \frac{1}{\alpha}$, α – разрешающий угол, т.е. предельно малый угол, при котором точки (линии) воспринимаются раздельно. При $\alpha = 1' V = 1$).

Острота зрения – обратная величина минимального размера предмета, при котором он различим глазом. Размеры предмета выражаются в угловых величинах, которые связаны с линейным соотношением:

$$\text{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{h}{2l},$$

где h – линейный размер предмета различения; l – расстояние от глаза до предмета.

У людей с нормальным зрением порог остроты зрения при нормальной яркости соответствует приблизительно $1'$. Оптимальные условия различения при $\alpha \geq 30' - 40'$.

Острота различения повышается с увеличением яркости поля зрения, а значит, с увеличением его освещенности, но только до некоторого предела (порядка 50–100 лк), после чего величина остроты различения может считаться практически неизменной.

Острота зрения зависит от диаметра зрачка, который влияет на четкость границ изображения предмета на сетчатке глаза. С уменьшением диаметра зрачка резкость изображения ухудшается. Максимальная острота зрения наблюдается при диаметре зрачка 3–4 мм.

Если сетчатка освещается световыми импульсами, то мелькания перестают восприниматься при некоторой их частоте. Критическая частота слияния мельканий ν_k – это такая частота, при которой мелькания перестают быть заметными как по светлоте, так и по цвету. Другими словами, критическая частота слияния мельканий – минимальная частота сигналов, при которой возникает их слитное восприятие в течение латентного периода. Латентный период – промежуток времени от момента подачи сигнала до возникновения ощущения $\tau_{\text{лат}} = 160 - 240$ мс. Критическая частота слияния мельканий характеризует скорость реакции органа зрения (быстрота различения) на световое раздражение. Критическая частота слияния мельканий описывается уравнением $\nu_k = 12 \lg L + 35$, которое применимо для яркостей $L \leq 500 - 1000$ кд/м² и углового размера источника $\omega = 0,01$ ср при нормальной яркости $\nu_{\text{кр}} = 20 - 25$ Гц.

Быстрота различения (скорость обнаружения) – величина, обратная минимальному времени $t_{\text{мин}}$, в течение которого объект должен находиться в поле зрения для того, чтобы наблюдатель заметил объект. Время различения принято измерять в секундах.

Быстрота различения описывается выражением $\frac{1}{t_{\text{мин}}} = a + b \lg L_{\phi}$.

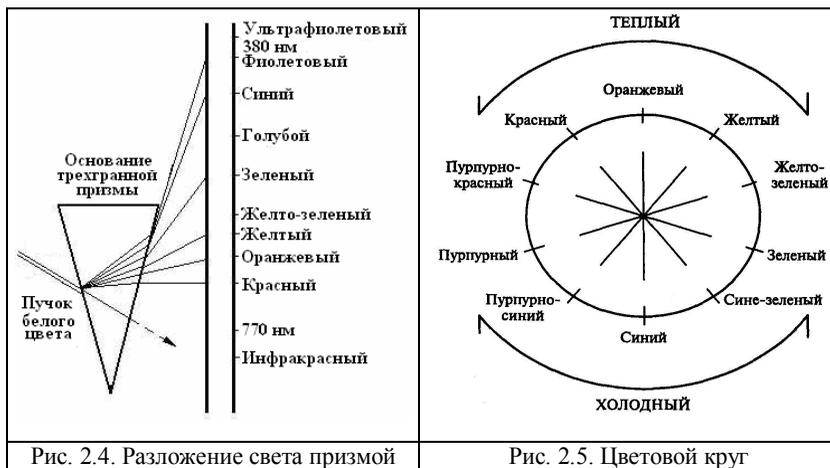
3. Третья основная зрительная функция – скорость различения – устанавливает зависимость между качеством освещения и производительностью труда. Многочисленные опыты показывают, что с увеличением освещенности скорость различения и связанная с ней скорость выполнения той или иной операции вначале растут очень

быстро, но после достижения некоторого уровня освещенности прирост скорости различения становится незначительным. Так, например, при повышении освещенности с 20 до 100 лк скорость чтения возрастает на 20 %, а при дальнейшем увеличении освещенности до 300 лк – всего на 9 %. Тем не менее даже при освещенности 1000 лк скорость чтения продолжает возрастать, а утомляемость глаза – понижается.

2.4.3. Восприятие цвета

Все цвета разделяются на две группы: *хроматические*, имеющие какой-либо цветовой оттенок, и *ахроматические*, или серые. Белый и черный – это крайние цвета ахроматического ряда. Хроматические цвета характеризуются яркостью и цветностью, определяющими соответственно количественную и качественную оценку цвета. Ахроматические цвета однозначно характеризуются яркостью.

Известно, что пучок света, пропущенный через стеклянную призму, разлагается на монохроматические излучения, видимые на экране в виде сплошного спектра (рис. 2.4). Этот спектр обычно условно изображают в виде ряда отдельных цветов. В действительности все цвета спектра постепенно переходят один в другой и объективно определить их границы невозможно. Крайние цвета спектра – красный и фиолетовый – при смешении их в различных пропорциях дают группу пурпурных цветов, позволяющих замкнуть цветовой ряд в непрерывный, удобно изображаемый в виде круга (рис. 2.5).



Человеческий глаз способен различать несколько тысяч хроматических цветов.

Цветность может характеризоваться двумя независимыми параметрами: *цветовым тоном* и *чистотой цвета*.

Цветовой тон – это и есть то качество цвета, которое позволяет отличать один цвет от другого. Цветовой тон характеризуется длиной волны λ чистого спектрального цвета, к которому нужно прибавить белый, чтобы получить данный цвет.

Степень разбавления спектрального цвета белым называется *чистотой цвета*, обозначается буквой *p* и определяется в процентах. Спектральные цвета имеют чистоту 100 %, а чистота 0 % соответствует ахроматическому цвету.

Современная теория восприятия цвета глазом базируется на трехцветной основе. Гипотеза о трехцветной природе человеческого зрения была высказана впервые Ломоносовым, разработана позднее исследователями и является сейчас общепринятой. Механизм аппарата трехцветного зрения до сих пор не установлен. Предполагается, что колбочки глаза неоднородны и разделяются на три группы. Отсутствие в нормальном глазе одной из групп колбочек проявляется в виде дальтонизма или другого недостатка в восприятии цвета.

В качестве основных цветов принимают цвета, соответствующие вершинам равностороннего треугольника, вписанного в цветовой круг. По практическим соображениям при оптическом смешении чаще всего принимают за основные цвета красный, зеленый, синий, а при смешении красок – красный, желтый, синий. На этом построена и трехцветная печать в полиграфии.

2.5. Нормирование производственного освещения

Нормирование искусственного или естественного освещения – это установление норм и правил выполнения осветительных установок, обеспечивающих требуемые в процессе эксплуатации уровни их количественных и качественных показателей. Целью и задачей нормирования является создание в освещаемом помещении *световой среды*¹, обеспечивающей зрительную эффективность осветительных

¹ Световая среда помещения определяется спектральными характеристиками и распределением во времени и пространстве прямых и отраженных световых потоков, излучаемых видимой частью спектра искусственных или естественных источников света, а ее психофизиологическое действие оценивается по критериям, характеризующим общее состояние человека.

установок с учетом требований физиологии зрения, гигиены труда, техники безопасности и тому подобное при минимальных затратах электроэнергии и других материальных ресурсов, а также трудовых затрат на их монтаж и эксплуатацию.

Нормирование освещения осуществляется на основании санитарных правил и норм СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий», строительных норм и правил СНиП 23-05–95 «Естественное и искусственное освещение», согласно которым принято раздельное нормирование естественного, искусственного и совмещенного освещения.

2.5.1. Нормирование естественного освещения

Естественное освещение, как правило, предусматривается во всех помещениях с постоянным пребыванием людей. Без естественного освещения допускается проектировать такие помещения, как книгохранилища и архивы, отделы электро- и микрофотографирования, конференц-залы, проходные, коридоры, проходы, переходы, насосные, помещения кондиционеров и т.п.

Вследствие крайней изменчивости природного освещения не только в течение суток, но даже в течение коротких промежутков времени для нормирования и расчета естественного освещения помещений принята относительная величина, называемая коэффициентом естественной освещенности (КЕО), который равен отношению естественной освещенности, создаваемой в некоторой точке помещения светом неба (непосредственно или после отражений) $E_{вн}$, к одновременному значению наружной горизонтальной освещенности $E_{н}$, создаваемой светом полностью открытого небосвода, выраженному в процентах:

$$КЕО = \frac{E_{вн}}{E_{н}} 100.$$

Значение коэффициента естественной освещенности в соответствии со СНиП 23-05–95 находится в пределах 0,1–10 % (табл. 2.1).

Величина освещенности внутри помещения $E_{вн}$ зависит от геометрических размеров окон, их количества, от расположения соседних зданий и сооружений. Наружную освещенность $E_{н}$ приближенно можно определить по формуле

$$E_n = a \cdot \sin h_0,$$

где a – коэффициент, учитывающий характер облачности; h_0 – высота стояния солнца, градусах.

Распределение естественного освещения во времени и пространстве производственного помещения зависит от применяемой системы естественного освещения – фонарями верхнего света или боковыми светопроемами. При освещении помещений боковыми светопроемами принято регламентировать минимальное значение КЕО. При одностороннем боковом естественном освещении нормируется минимальное значение КЕО в точке, расположенной на расстоянии 1 м от стены, наиболее удаленной от световых проемов, на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения с условной рабочей поверхностью (или поверхностью пола).

Таблица 2.1

**Нормы освещенности производственных помещений
при естественном и совмещенном освещении**

Разряд зрительной работы	Естественное освещение КЕО, %			Совмещенное освещение КЕО, %		
	При верхнем или боковом освещении	При боковом освещении		При верхнем или боковом освещении	При боковом освещении	
		В зоне с устойчивым снежным покровом	На остальной территории России		В зоне с устойчивым снежным покровом	На остальной территории России
I	10	2,8	3,5	6	1,7	2
II	7	2	2,5	4,2	1,2	1,5
III	5	1,6	2	3	1	1,2
IV	4	1,2	1,5	2,4	0,7	0,9
V	3	0,8	1	1,8	0,5	0,6
VI	2	0,4	0,5	1,2	0,3	0,3
VII	3	0,8	1	1,8	0,5	0,6
VIII						
A	1	0,2	0,3	0,7	0,2	0,2
Б	0,7	0,2	0,2	0,5	0,2	0,2
В	0,5	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1

При двухстороннем боковом освещении нормируемое минимальное значение КЕО устанавливается в точке посередине помещения на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и условной рабочей поверхности (или пола).

При верхнем и комбинированном естественном освещении нормируется среднее значение КЕО в точках, расположенных на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения

и условной рабочей поверхности (или пола). Первая и последняя точки принимаются на расстоянии 1 м от поверхности наружных стен или перегородок. Среднее значение КЕО находится по формуле

$$e_{\text{ср}} = \frac{1}{N-1} \left(\frac{e_1}{2} + e_2 + e_3 + \dots + \frac{e_N}{2} \right),$$

где N – число точек определения; e_1, e_2, \dots, e_N – значения КЕО при верхнем и комбинированном освещении в точках характерного разреза помещения.

При комбинированном естественном освещении КЕО определяется по формуле

$$e_{\text{к}} = e_{\text{б}} + e_{\text{в}},$$

где $e_{\text{б}}$ и $e_{\text{в}}$ – коэффициенты естественной освещенности (КЕО) при боковом и верхнем освещении соответственно.

Нормируемое значение КЕО устанавливается в зависимости от разряда зрительных работ и системы естественного освещения (табл. 2.2).

Для зрительных работ I–III разрядов СНиП 23-05-95 допускает устраивать только совмещенное освещение.

Нормативное значение КЕО, e_N для зданий, расположенных в различных районах РФ, определяется по формуле

$$e_N = e_{\text{н}} \cdot m_N,$$

где $e_{\text{н}}$ – значение КЕО по табл. 2.2; N – номер группы обеспеченности естественным светом (табл. 2.3); m_N – коэффициент светового климата, определяемый в зависимости от района расположения здания на территории страны и ориентации здания относительно сторон света (табл. 2.4).

2.5.2. Нормирование искусственного освещения

Искусственное освещение нормируется количественными показателями: освещенностью и яркостью, а также качественными показателями: равномерным распределением яркостей в освещаемом пространстве, показателем ослепленности, коэффициентом пульсации освещенности, спектральным составом излучения источников света.

Неравномерность распределения яркости в поле зрения человека приводит к снижению функции зрения. При одинаковом соотношении яркостей центральной части поля зрения и его периферии относительное снижение функции зрения больше, если периферия поля зрения светлее центра, чем наоборот. Исследования показали, что

действие неравномерности усиливается в процессе зрительного утомления, вызванного работой (рис. 2.6). Распределение яркости в поле зрения человека определяется распределением освещенности по освещаемым поверхностям (потолок, стены, оборудование, рабочие поверхности и т.д.) и коэффициентами отражения этих поверхностей.

Таблица 2.2

Требования к освещению помещений промышленных предприятий (СНиП 23-05-95)

1	2	3	4	5	6	Искусственное освещение					12	13	14	15							
						Освещенность, лк			Сочетание нормируемых величин показателя ослепленности и коэффициента пульсации						КЕО, ϵ_n , %						
						7	при системе комбинированного освещения								9	10	11	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении
							Всего	В том числе от общего													
Наивысшей точности	Менее 0,15	I	a	Малый	Темный	5000 4500	500 500	– –	20 10	10 10	–	–	6,0	2,0							
			б	«	Средний	4000 3500	400 400	1250 1000	20 10	10 10											
			в	Малый	Средний	2500 2000	300 200	750 600	20 10	10 10											
			г	Средний	Светлый	1500 1250	200 200	400 300	20 10	10 10											
			«	Средний	Средний	1250 2000	200 200	300 500	10 20	10 10											
Очень высоко	От 0,15 до 0,3	II	a	Малый	Темный	4000 3500	400 400	– –	20 10	10 10	–	–	4,2	1,5							
			б	«	Средний	3000 2500	300 300	750 600	20 10	10 10											
			в	Малый	Светлый	2000 2000	200 200	500	20 20	10											

			Средний Большой	Средний Темный	1500	200	400	10	10				
		г	Средний Большой «	Светлый « Средний	1000	200	300	20	10				
					750	200	200	10	10				

Продолжение табл. 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Высокой точности	От 0,30 до 0,50	III	а	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 Большой	Светлый Средний Темный	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	а	Малый	Темный	750	200	300	40	20	4,0	1,5	2,4	0,9
			б	Малый Средний	Средний Темный	500	200	200	40	20				
			в	« Средний Большой	Светлый Средний Темный	400	200	200	40	20				
			г	Средний Большой «	Светлый « Средний	-	-	200	40	20				
Малой точности	Св. 1 до 5	V	а	Малый	Темный	400	200	300	40	20	3,0	1,0	1,8	0,6
			б	« Средний	Средний Темный	-	-	200	40	20				
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	-	-	200	40	20				
			г	Средний Большой «	Светлый « Средний	-	-	200	40	20				

Грубая (очень малой точности)	Более 5	VI	Независимо от характеристик фона и контраста объекта с фоном	-	-	200	40	20	3,0	1,0	1,8	0,6
-------------------------------	---------	----	--	---	---	-----	----	----	-----	-----	-----	-----

Окончание табл. 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Работа со светящимися материалами и изделиями в горячих	Более 0,5	VII		Независимо от характеристик фона и контраста объекта с фоном		–	–	200	40	20	3,0	1,0	1,8	0,6
Общее наблюдение за ходом производственного процесса: постоянное периодическое при постоянном пребывании людей в помещении и периодическое при периодическом пребывании людей в помещении и общее наблюдение за инженерными коммуникациями		VIII	а	То же	–	–	200	40	20	3,0	1,0	1,8	0,6	
			б	«	–	–	75	–	–	1,0	0,3	0,7	0,2	
			в	«	–	–	50	–	–	0,7	0,2	0,5	0,2	
			г	«	–	–	20	–	–	0,3	0,1	0,2	0,1	

Примечания:

1. Для подразряда норм от Ia до IIIв может приниматься один из наборов нормируемых показателей, приведенных для данного подразряда в графах 7–11.
2. Освещенность следует принимать с учетом пп. 7.5 и 7.6 настоящих норм.
3. Наименьшие размеры объекта различения и соответствующие им разряды зрительной работы установлены при расположении объектов различения на расстоянии

не более 0,5 м от глаз работающего. При увеличении этого расстояния разряд зрительной работы следует устанавливать в соответствии с приложением Б. Для протяженных объектов различения эквивалентный размер выбирается по приложению В.

4. Освещенность при использовании ламп накаливания следует снижать по шкале освещенности: а) на одну ступень при системе комбинированного освещения, если нормируемая освещенность составляет 750 лк и более; б) то же общего освещения для разрядов I–IV, VII; в) на две ступени при системе общего освещения для разрядов VI и VIII.

5. Освещенность при работах со светящимися объектами размером 0,5 мм и менее следует выбирать в соответствии с размером объекта различения и относить их к подразряду «в».

6. Показатель ослепленности регламентируется в графе 10 только для общего освещения (при любой системе освещения).

7. Коэффициент пульсации K_p указан в графе 10 для системы общего освещения или для светильников местного освещения при системе комбинированного освещения. K_p от общего освещения в системе комбинированного не должен превышать 20 %.

8. Предусматривать систему общего освещения для разрядов I–III, IVa, IVб, IVв, Va допускается только при технической невозможности или экономической нецелесообразности применения системы комбинированного освещения, что конкретизируется в отраслевых нормах освещения, согласованных с Государственным комитетом санитарно-эпидемиологического надзора Российской Федерации.

9. В помещениях, специально предназначенных для работы или производственного обучения подростков, нормированное значение КЕО повышается на один разряд по графе 3 и должно быть не менее 1,0%.

Таблица 2.3

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 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.)
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 Тыва, Бурятская Республика, Читинская область, Хабаровский край (южнее 55° с.ш.), Магаданская обл.
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

Коэффициент светового климата

Световые проемы	Ориентация световых проемов по сторонам горизонта	Коэффициент светового климата, t				
		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	1,2	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	1	0,9	1,2	1,2	0,7
	ЮВ-СЗ	1	0,9	1,1	1,2	0,7
	В-З					
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

Примечание. 1. 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.

2. Группы административных районов России по ресурсам светового климата приведены в табл. 2.3.

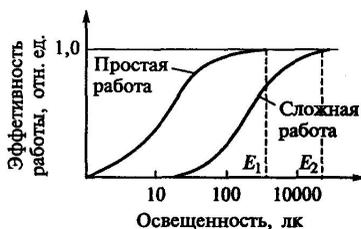


Рис. 2.6. Работоспособность

Распределение освещенности по помещению имеет и чисто экономический аспект. Как правило, увеличение неравномерности распределения освещенности по помещению при регламентации ее минимального значения приводит к перерасходу электрической энергии. Поэтому для ограничения неравномерности распределения яркости в поле зрения работающего нормами регламентируется соотношение освещенности от общего и местного освещения и неравномерность распределения освещенности в рабочей зоне помещения.

При регламентации неравномерности освещенности по освещаемому помещению в зоне рабочих мест было установлено, что при оптимальных по энергетическим показателям значениям отношения расстояния между светильниками l к высоте их подвеса h можно допустить $E_{\max}/E_{\min} = 2$ для светильников с косинусным светораспределением и $E_{\max}/E_{\min} = 1,5$ для светильников с глубоким светораспределением.

Показатель ослепленности. Известно, что зрительное утомление как бы усиливает действие блескости, т.е. пороговый контраст объекта различения (наблюдения) с фоном, измеренный до работы, при наличии в поле зрения наблюдателя блестящего источника возрастает после зрительной работы в течение длительного времени. На рис. 2.7 показаны результаты экспериментальных исследований зависимости снижения производительности труда при наличии слепящего действия для работ различной точности. Из рис. 2.7 видно, что, чем точнее работа и чем выше *показатель ослепленности* P , тем больше снижается производительность труда.

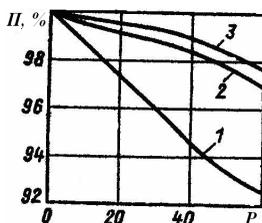


Рис. 2.7. Относительное изменение производительности труда Π при различных значениях показателя ослепленности P :
1 – разряд зрительной работы Ia; 2 – разряд Ib; 3 – II

В связи с отрицательным действием блескости на зрительную работу и вызываемым ею повышением утомления в нормативных документах регламентируются меры по ограничению слепящего действия источника света: ограничение яркости в рабочих зонах протяженных светильников с относительно малой яркостью источника света, а для точечных – защитные углы и высоты подвеса; регламентируется показатель дискомфорта и ослепленности.

Коэффициент пульсации освещенности. Излучение современных газоразрядных ламп, широко применяемых в практике промышленного освещения, пульсирует с удвоенной частотой переменного тока, питающего осветительную установку. Глаз реагирует на изменение во времени яркости или освещенности рабочего места. Для количественной оценки глубины пульсации

газоразрядных ламп пользуются понятием коэффициента пульсации освещенности $K_{п}$, который определяется выражением

$$K_{п} = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{2E_{\text{cp}}} 100 ,$$

где E_{\max} и E_{\min} – соответственно максимальное и минимальное значения освещенности за период ее колебания, лк; E_{cp} – среднее значение освещенности за этот период, лк ($T = 0,02$ с).

Допустимые значения $K_{п}$ в производственных помещениях установлены на основе научных исследований, в соответствии с которыми при коэффициенте пульсации освещенности более 20 % возможно возникновение *стробоскопического эффекта*. Это определило верхний допустимый предел регламентируемого $K_{п}$ для производственных помещений, в которых, как правило, имеются условия для возникновения стробоскопического эффекта. Поскольку любой коэффициент пульсации сказывается неблагоприятно на зрительной работе и повышает утомление, нижний допустимый предел $K_{п}$ был определен из технической возможности его реализации и составил 10 %. При нормировании учитывалось, что, чем точнее зрительная работа, тем сильнее утомление, и поэтому для более точных работ регламентируемые значения $K_{п}$ ниже. Оценка фактической величины коэффициента пульсации выполняется в большинстве случаев по табл. 2.5, составленной для различных типов газоразрядных ламп и способов их включения.

Таблица 2.5

Значения $K_{п}$ для различных источников света и способов их включения

Тип источника света	Значения $K_{п}$, %, для		
	одной лампы	двух ламп, питаемых от разных фаз сети или включенных по схеме с опережающим или отстающим током	трех ламп, питаемых от разных фаз сети
Люминесцентные лампы:			
типов ЛБ и ЛХБ.....	34	14	3
« ЛТБ.....	21	9	2
« ЛДЦ.....	72	30	7
« ЛД.....	55	23	5
Лампы типа ДРЛ.....	58	28	2
« « ДКСТ.....	130	65	5
« « ДРИ (Na, Sc)..	48	23	10
« « ДНаГ.....	77	38	6

Для уменьшения коэффициента пульсации освещенности используют следующие методы:

- включение смежных ламп в различные фазы электрической сети;
- питание установок током повышенной частоты;
- применение двухламповых светильников с емкостным и индуктивным балластами;
- включение ламп по схемам, обеспечивающим питание части ламп в светильнике отстающим, части ламп – опережающим током, что достигается использованием различных типов пускорегулирующих аппаратов (ПРА) (светотехнических изделий, с помощью которых осуществляется питание лампы от электрической сети).

Стробоскопический эффект – кажущееся изменение или прекращение движения предмета, освещаемого светом, периодически изменяющимся с определенной частотой. Стробоскопический эффект наблюдается при освещении вращающегося или периодически перемещающегося предмета источником света, поток которого изменяется с определенной частотой от нулевого до максимального значений.

Для общественных и административных зданий, кроме указанных выше показателей освещения, в некоторых случаях нормируется цилиндрическая освещенность. Вместо коэффициента ослепленности регламентируется показатель дискомфорта.

Цилиндрическая освещенность $E_{ц}$ – характеристика насыщенности помещения светом. Определяется как средняя плотность светового потока на поверхности вертикально расположенного в помещении цилиндра, радиус и высота которого стремятся к нулю. Значение $E_{ц}$ определяется на расстоянии 1 м от торцевой стены на центральной продольной оси помещения на высоте 1,5 м от пола.

Цилиндрическая освещенность от отдельных светильников легко определяется делением вертикальной освещенности в плоскости, перпендикулярной проекции луча, на число π .

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

$$M = \frac{L_c \omega^{0,5}}{\varphi_{(0)} L_{ал}^{0,5}},$$

где L_c – яркость блеского источника, кд/м²; ω – угловой размер блеского источника, ср; φ_0 – индекс позиции блеского источника относительно линии зрения; $L_{ад}$ – яркость адаптации, кд/м².

В соответствии с требованиями СНиП 23-05-95 значения показателя дискомфорта M нормируются следующим образом: равные 15 и 25 (разряд I); 40 и 60 (разряд II); 60 и 90 (разряд III), в зависимости от уровня освещенности.

Нормы искусственного освещения регламентируются СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение» в зависимости:

- от размера объекта различения;
- от контраста объекта с фоном;
- от характеристики фона.

Объектом различения называется часть предмета или дефект, которые требуют различения в процессе работы, например буква при чтении, нить на ткани, точка, линия, деталь, трещина и т.п. Как видно из табл. 2.2, объекты различения характеризуются линейными размерами (в долях миллиметра), хотя известно, что глаз реагирует на угловые размеры рассматриваемых предметов, например, при размере объекта различения менее 0,15 разряд зрительной работы – наивысшей точности (I разряд), при 0,3–0,5 мм – разряд высокой точности (III разряд) и т.д. В большинстве случаев в производственных условиях расстояние до объекта различения не превышает 0,35–0,5 м. Можно считать с достаточной для практики точностью, что для этих условий в пределах до 50' каждая 0,1 мм размера объекта различения соответствует 1' его углового размера. При увеличении расстояния различения выше указанных значений разряд работ определяется по отношению размера объекта к расстоянию его рассмотрения, т.е. по его реальному угловому размеру.

Зрительные работы по точности (размер объекта различения) делятся на восемь разрядов, из которых первые шесть (I–VI) характеризуются размерами объектов различения, разряд VII регламентирует работы со светящимися материалами, а разряд VIII относится к работам, связанным с общим наблюдением за ходом производственного процесса.

Зрительные работы, которые определяются в основном контрастом объекта с фоном, подразделяют по сложности. Известно, что глаз реагирует на яркость, а не на освещенность, которая устанавливается нормами. Поэтому каждый разряд норм (от I до V) разделен на подразряды «а, б, в, г», которые характеризуются сочетанием контраста объекта с фоном и коэффициента отражения последнего.

Для каждого подразряда установлены определенные значения освещенности, понижающиеся по мере облегчения зрительной работы (увеличение размера детали, увеличение контраста с фоном, увеличение коэффициента отражения и др.). Так, подразряд «а» характеризуется темным фоном и малым контрастом с ним объекта различения, а подразряд «б» – либо малым контрастом при среднем фоне, либо средним контрастом при темном фоне и т.д.

При нормировании освещенности в СНиП 23-05-95 учитывается применяемая система освещения (одного общего или комбинированного), а также используемый источник света – газоразрядные лампы или лампы накаливания.

Для разрядов зрительной работы с I (наивысшей точности) по V (малой точности) допускается использование системы комбинированного и общего освещения; VI–VIII – только системы общего освещения. Нормативное значение освещенности для газоразрядных ламп при прочих равных условиях из-за их большей светоотдачи выше, чем для ламп накаливания. При комбинированном освещении доля общего освещения должна быть не менее 10 % нормируемой освещенности, значение которой должно быть не менее 200 лк при газоразрядных лампах и не менее 75 лк при лампах накаливания.

При определении нормы освещенности следует учитывать ряд условий, вызывающих необходимость повышения уровня освещенности, выбранного по характеристике зрительной работы. Увеличение освещенности следует предусматривать, например, при повышенной опасности травматизма или при выполнении напряженной зрительной работы I–IV разрядов в течение всего рабочего дня. В некоторых случаях следует снижать норму освещенности, например при кратковременном пребывании людей в помещении.

К качественным показателям осветительных установок относится также спектральный состав источников света. В СНиП 23-05-95 приводятся типы источников света, обеспечивающие правильную цветопередачу при выполнении зрительных работ с различными требованиями к цветоразличению.

Цветопередача – влияние спектрального состава излучения искусственного источника света на воспринимаемый цвет освещаемых объектов по сравнению с цветом этих объектов при их освещении стандартным источником света.

2.6. Виды и системы освещения

В производственных помещениях используются три вида освещения: естественное, искусственное и совмещенное.

2.6.1. Естественное освещение

Источником естественного освещения является солнце. Различают три вида естественного освещения:

- прямой солнечный свет, создаваемый непосредственно лучами солнца;
- рассеянный (диффузный) свет неба, создаваемый рассеянной частью лучистой энергии вследствие ее многократного отражения от молекул газа и взвешенных в атмосфере частиц пыли, воды и т.п.;
- отраженный свет, создаваемый отраженным от земной поверхности излучением.

Средние уровни наружного естественного освещения, которые создаются этими видами освещения, характеризуют световой климат данной местности. Условия наружного освещения определяются в основном диффузным светом небосвода, так как прямое солнечное излучение вследствие резкого непостоянства при расчетах естественного освещения обычно не учитывается.

Для обеспечения полноценной световой среды в помещениях с постоянным пребыванием людей должно устраиваться естественное освещение. Наличие световых проемов позволяет работающему визуально общаться с внешней средой, что устраняет монотонность световой обстановки в помещении, вызываемую одним искусственным освещением и приводящую к преждевременному утомлению нервной системы. Солнечный свет или пасмурное небо, сумерки или пробивающиеся сквозь облака лучи солнца являются факторами, определяющими не только уровень освещенности и условия видимости в помещении; они оказывают также положительное психологическое воздействие на человека, определяют его настроение, самочувствие и работоспособность.

Естественное освещение в производственных помещениях осуществляется через световые проемы (окна). Конструктивно проемы могут быть различными по исполнению и по местонахождению. Поэтому и характер естественного освещения имеет свои особенности, оно может быть:

- боковым, если световые проемы расположены в наружных стенах;
- верхним, если световые проемы устроены в стенах в местах перепада высот зданий и через фонари;

– комбинированным – путем сочетания бокового и верхнего естественного освещения.

Выбор системы естественного освещения (бокового, верхнего или комбинированного) определяется:

– назначением и принятым объемно-планировочным решением здания;

– характеристиками технологии и зрительной работы, выполняемой в производственных помещениях;

– особенностями климата места строительства.

Объемно-планировочное решение здания является главным фактором, определяющим выбор естественного освещения производственных помещений. В этом отношении все разнообразие архитектурных решений зданий можно свести к следующим основным типам.

1. Одноэтажные производственные здания сплошной застройки, которые представляют собой многопролетные корпуса большой ширины (рис. 2.8, *a–г*). В этих зданиях в основном применяется освещение через фонари или световые проемы в покрытии. Здания сплошной застройки в зависимости от решения верхнего естественного освещения, покрытия и межферменного пространства можно разделить на такие виды:

а) здания с *прямоугольными светоаэрационными фонарями* (см. рис. 2.8, *a*). Из-за невысокой светоактивности прямоугольных фонарей естественная освещенность может соответствовать требованиям только IV–VIII разрядов работ, благодаря вертикальному расположению остекления обеспечивается удовлетворительное соотношение между освещенностями на вертикальной и горизонтальной поверхностях. Для уменьшения инсоляции помещений остекление фонарей ориентируют на север–юг.

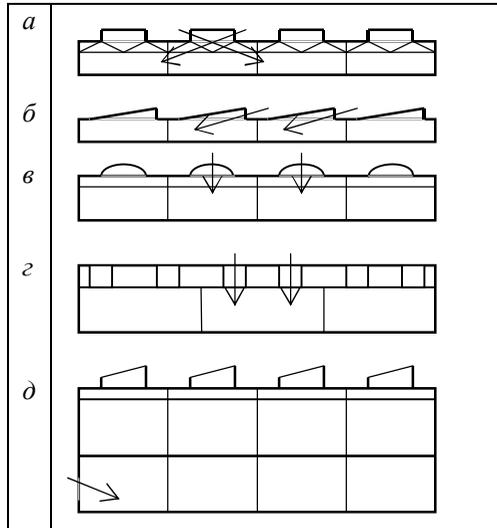


Рис. 2.8. Производственные здания сплошной застройки

Инсоляция – облучение поверхностей прямыми солнечными лучами. Инсоляция кроме светового эффекта оказывает еще тепловое и биофизическое воздействие на человека и рассматривается как одна из важнейших составляющих световой среды.

Воздействие инсоляции на человека и окружающую среду двойственно: с одной стороны, инсоляция благоприятна, поэтому необходимо обеспечить доступ солнечной радиации в интерьеры зданий, с другой стороны, чрезмерная солнечная радиация вызывает:

- световой дискомфорт;
- перегрев;
- ультрафиолетовую переоблученность.

Этот тип здания применяется преимущественно для производств с повышенной влажностью воздуха или со значительными выделениями теплоты;

б) здания с *шедовым покрытием* (см. рис. 2.8, б). В Российской Федерации фонари «шед» монтируются, как правило, из железобетонных плит и деталей заводского изготовления. Естественное освещение в таких зданиях обеспечивается обычно для III–VIII разрядов зрительных работ. Освещенность на вертикальных поверхностях, обращенных к остеклению фонаря, обычно в 2–3 раза выше, чем в вертикальных поверхностях, ориентированных в противоположную сторону; соотношение между горизонтальной и вертикальной освещенностью на стороне, обращенной к проемам

фонарей, обычно близко к единице. Здания с фонарями «шед» находят применение преимущественно в районах с избыточной солнечной радиацией. Защита от инсоляции обеспечивается ориентацией остекления на северную четверть небосвода, этим же обеспечивается относительное постоянство естественного освещения;

в) *здания с зенитными фонарями* (см. рис. 2.8, в). В зданиях этого типа можно обеспечить уровни естественной освещенности для всех разрядов работ; естественная освещенность на горизонтальной плоскости, как правило, существенно (в 1,5–2 раза) выше, чем на вертикальных поверхностях; при равномерном расположении фонарей в покрытии достигается большая равномерность освещения. При расположении зданий этого типа в районах с избыточной солнечной радиацией заполнение фонарей делается из светорассеивающих материалов;

г) *здания с техническим этажом в межферменном пространстве или подшивным потолком* (см. рис. 2.8, з). Естественное освещение помещений в этих зданиях осуществляется через фонари шахтного типа, у которых входное отверстие шахты стыкуется с опорным стаканом фонаря, а выходное отверстие совмещается с плоскостью потолка. Для увеличения коэффициента использования естественного освещения внутренние поверхности шахт покрываются материалами, имеющими направленное отражение. В зданиях этого типа обеспечивается естественная освещенность для зрительных работ не выше III разряда; горизонтальная освещенность, как правило, выше вертикальной в 2–3 раза.

Существенными достоинствами такой системы освещения являются эффективная защита от инсоляции при расположении здания практически в любых географических широтах и при любой ориентации зданий по сторонам горизонта, возможность обеспечения в здании кондиционированного режима.

2. Двухэтажные многопролетные производственные здания (см. рис. 2.8, д), в которых первый этаж может освещаться только через световые проемы в наружных стенах, а второй имеет верхнее освещение. При большой глубине помещений на первом этаже достаточная естественная освещенность обычно обеспечивается только в пределах первого пролета, на остальной площади применяется искусственное освещение практически в течение всего рабочего времени. Этот тип зданий имеет ряд крупных строительных и технических достоинств по сравнению с одноэтажными и поэтому находит в настоящее время широкое применение в ряде отраслей промышленности.

3. Здания павильонной застройки имеют небольшое число пролетов (рис. 2.9, *a*), что в большинстве случаев позволяет обеспечить естественное освещение через световые проемы в наружных стенах. При большой высоте здания световые проемы могут располагаться в два или три яруса. В некоторых случаях вместо наружных стен применяют сплошное остекление (витражи). В этих зданиях удается получить на всей площади очень высокие уровни естественной освещенности на вертикальных и горизонтальных поверхностях. Серьезной проблемой является защита от инсоляции. С этой целью используют солнцезащитные стекла или эффективные солнцезащитные устройства. Этот тип зданий применяется для некоторых отраслей промышленности, а также для выставок.

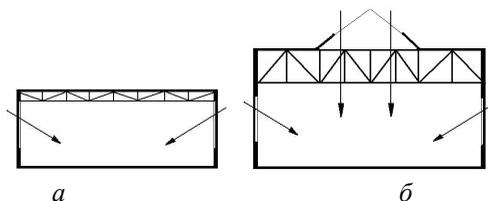


Рис. 2.9. Схемы конструктивных решений зданий:
a – павильонная застройка; *б* – зальный тип

4. Здания зального типа с пролетом от 36 до 100 м и высотой более 30 м (см. рис. 2.9, *б*). Здания этого типа строятся в случаях, когда необходима большая производственная площадь без внутренних опор (сборочные цехи авиационных заводов, ангары и т.п.). Объемно-планировочное решение и назначение здания диктует устройство комбинированного естественного освещения, так как требуется обеспечить достаточно высокие уровни освещенности на вертикальных и горизонтальных рабочих поверхностях.

5. Многоэтажные здания. В этих зданиях естественное освещение возможно только через световые проемы в наружных стенах. Ширина жилых и общественных зданий, как правило, лимитируется естественным освещением, при этом естественное освещение обеспечивается на глубине, соответствующей не более четырех высот светового проема. В производственных зданиях большой ширины (рис. 2.10) в середине имеется зона с недостаточным естественным освещением, в которой искусственное освещение используется в течение всего рабочего времени. В этой зоне в большинстве случаев располагаются лифты, проходы, вспомогательные участки пространства.

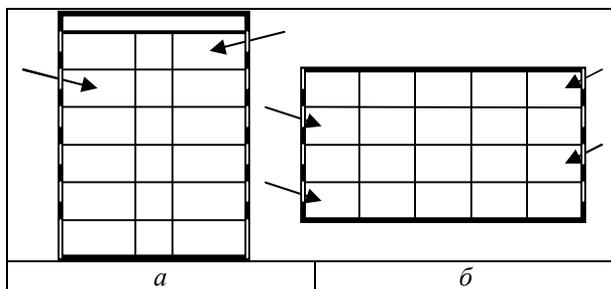


Рис. 2.10. Многоэтажные здания:
a – шириной не более 18 м; *б* – шириной 24 м и более

6. Одноэтажные здания сложной формы (рис. 2.11). Схемы естественного освещения подобных зданий могут быть различными; наиболее часто используется верхнее (через фонарь в центре покрытия), верхнее-боковое через световые проемы в верхних частях наружных стен или комбинированное освещение. Данное объемно-планировочное решение применяется в зданиях крытых рынков, выставочных павильонов, бассейнов, теннисных кортов и т.п.

Искусственное освещение в производственных помещениях применяется тогда, когда естественный свет недостаточен или отсутствует.

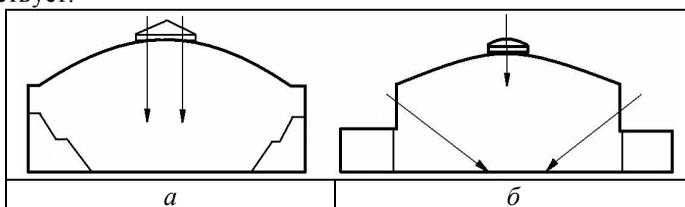


Рис. 2.11. Одноэтажные здания сложной формы.
a – с верхним освещением; *б* – с верхне-боковым освещением

2.6.2. Искусственное освещение

Виды искусственного освещения. Искусственное освещение по функциональному назначению подразделяют на следующие виды (рис. 2.12): рабочее, аварийное, охранное и дежурное.

Аварийное освещение разделяется на: освещение безопасности и эвакуационное.

Рабочее освещение обеспечивает необходимые условия при нормальном режиме работы осветительной установки; оно

обязательно во всех помещениях и на открытых пространствах. Максимальное значение освещенности для I разряда – 5000 лк, минимальное для VIII разряда – 20 лк (см. табл. 2.2).

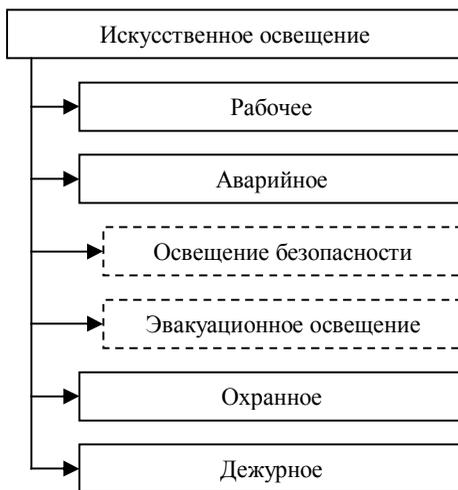


Рис. 2.12. Виды искусственного освещения

Аварийное освещение обеспечивает минимально необходимые осветительные условия для продолжения работы при временном погасании рабочего освещения в помещениях и на открытых пространствах в случаях, когда отсутствие искусственного освещения может вызвать тяжелые последствия для людей, производственных процессов, нарушить нормальное функционирование жизненных центров предприятия и узлов обслуживания массовых потребителей.

Освещение безопасности – освещение для продолжения работы при аварийном отключении рабочего освещения. Освещение безопасности предусматривается в случаях, если отключение рабочего освещения и связанное с этим нарушение обслуживания оборудования и механизмов может вызвать:

- взрыв, пожар, отравление людей;
- длительное нарушение технологического процесса;
- нарушение работы объектов жизненного обеспечения, в которых недопустимо прекращение работ (электрические станции, насосные установки водоснабжения, теплофикации и т.п.).

Наименьшая освещенность, создаваемая освещением безопасности, должна составлять не менее 5% освещенности, нормируемой для

рабочего освещения, но не менее 2 лк внутри зданий и не менее 1 лк для территорий предприятий.

Эвакуационное освещение – освещение для эвакуации людей из помещения при аварийном отключении рабочего освещения.

Эвакуационное освещение предусматривается:

- в местах, опасных для прохода людей;
- в проходах и на лестницах, служащих для эвакуации людей, при числе эвакуирующихся более 50 чел.;
- по основным проходам производственных помещений, в которых работает более 50 чел.;
- в производственных помещениях с постоянно работающими в них людьми, где выход людей из помещения при аварийном отключении рабочего освещения связан с опасностью травматизма из-за продолжения работы производственного оборудования;
- в помещениях общественных и вспомогательных зданий промышленных предприятий, если в помещении могут одновременно находиться более 100 чел.;
- в производственных помещениях без естественного света.

Эвакуационное освещение должно обеспечивать наименьшую освещенность на полу основных проходов и на ступенях лестниц: в помещениях – 0,5 лк, на открытых территориях – 0,2 лк.

Неравномерность эвакуационного освещения по оси эвакуационных проходов должна быть не более 40 : 1.

Дежурное освещение – освещение в нерабочее время.

Охранное освещение предусматривается вдоль границ территорий, охраняемых в ночное время. Охранное освещение должно обеспечивать освещенность не менее 0,5 лк на уровне земли.

Системы освещения. Для помещений всех назначений применяются системы общего или комбинированного освещения. Выбор системы освещения в большинстве случаев определяется характером и особенностями зрительных работ, выполняемых в помещениях.

Общее освещение предназначено для освещения всего помещения, оно может быть равномерным или локализованным. Общее равномерное освещение создает условия для выполнения работы в любом месте освещаемого пространства, так как рабочие и соседние с ними поверхности освещаются практически одинаково. При общем локализованном освещении светильники размещаются в соответствии с расположением оборудования, что дает возможность создания более высоких освещенностей на рабочих местах. Освещение осуществляется с помощью светильников, расположенных в верхней

зоне помещения. В производственных помещениях они размещаются, как правило, на потолке или фермах. Эти светильники называются светильниками общего освещения.

Общее равномерное освещение следует устраивать в тех случаях, когда однотипные работы выполняются по всей площади помещения, при большой плотности рабочих мест, при отсутствии жестких требований к направлению света. Общее локализованное освещение следует устраивать в условиях выполнения различных по характеру работ в разных частях помещения, при наличии громоздкого затеняющего оборудования, при необходимости определенного направления света.

Комбинированное освещение состоит из общего и местного. Комбинированное освещение целесообразно устраивать при выполнении работ высокой точности, при необходимости определенного или изменяемого в процессе работы направления света. Комбинированная система освещения реализуется наличием одновременно двух групп светильников: общего освещения в системе комбинированного и местного освещения, располагаемых рядом с рабочим местом либо непосредственно на нем и посылающих световой поток на рабочую поверхность. Эти светильники обеспечивают освещение только рабочих мест и практически не освещают прилегающие поверхности.

Местное освещение в производственных помещениях может быть реализовано двумя способами: индивидуальным и групповым.

В первом случае каждое рабочее место снабжается своим светильником местного освещения.

Второй способ может быть использован тогда, когда в помещении рядом находится несколько однотипных мест, требующих одинакового освещения (например, сборочный конвейер, слесарные верстаки и т.п.). Местное освещение предназначено для освещения только рабочих поверхностей, оно может быть стационарным и переносным, последнее используется для временного увеличения освещенности отдельных мест при осмотре и ремонте оборудования; осуществляется ручными переносными или переставными светильниками, включаемыми через контактные разъёмные соединения. Применение одного местного освещения запрещается.

С помощью общего освещения в системе комбинированного создается не менее 10 % нормируемой освещенности и около 90 % – с помощью местного освещения.

2.6.3. Совмещенное освещение помещений

В помещениях с недостаточным по условиям зрительной работы естественным освещением используется совмещенное освещение. Последнее представляет собой освещение, при котором в светлое время суток одновременно используется естественный и искусственный свет, т.е. когда недостаточное естественное освещение постоянно дополняется искусственным.

В зависимости от планировочного решения, геометрических пропорций и назначения помещений различают пять схем совмещения естественного освещения с искусственным (табл. 2.6).

Схема 1 совмещенного освещения (рис. 2.13, а) может применяться во многих зданиях, главным образом в небольших помещениях, освещаемых через окно в одной из наружных стен, причем в глубине имеется небольшая зона с недостаточным естественным освещением. Примером такой схемы освещения могут служить рабочие кабинеты зданий управления, в которых при глубине помещения 6 и высоте 3 м невозможно обеспечить нормированный КЕО на столах, стоящих в глубине помещений, и необходимо постоянное дополнительное искусственное освещение.

Схема 2 (рис. 2.13, б) применяется в глубоких помещениях большой площади с боковым естественным освещением. В светлое время суток достаточная естественная освещенность обеспечивается только в приоконной зоне на расстоянии не более двух-трех высот световых проемов. Вследствие низких значений КЕО на всей остальной площади помещений возникает необходимость эксплуатации искусственного освещения в течение всего рабочего времени.

Таблица 2.6

**Схемы совмещения естественного освещения
с искусственным**

Схема	Характеристика
1	Помещение небольшой глубины с боковым естественным освещением; искусственное освещение дополняет естественное только на небольшом участке в глубине помещения
2	Глубокое помещение с боковым естественным освещением; за исключением приоконной зоны вся площадь постоянно освещена искусственным светом
3	Помещение с верхним естественным освещением через световые проемы в покрытии, площадь которых меньше, чем это требуется по нормам естественного освещения; искусственный свет восполняет дефицит естественного равномерно по всей площади
4	Два смежных помещения, одно из которых имеет естественное освещение, другое только искусственное; при этом происходит постоянное движение

	людей из одного помещения в другое
5	Проходное помещение, через которое люди попадают из наружного пространства в здание, полностью лишенное естественного света

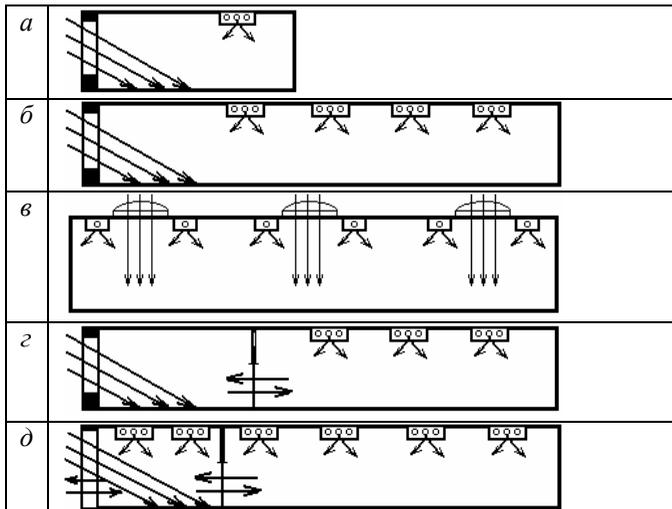


Рис. 2.13. Схемы совмещения естественного освещения с искусственным

Эта схема совместного освещения целесообразна для больших производственных помещений с боковым освещением и некоторых помещений общественных зданий (торговых залов магазинов, выставок, музеев и т.п.). Преимущество этой схемы освещения состоит в том, что уровни рабочего (искусственного) освещения на большой площади помещения относительно независимы от колебаний естественного освещения.

Схема 3 (рис. 2.13, в) применяется в зданиях с верхним естественным освещением. Размещение светильников в этом случае должно учитываться с расположением световых проемов. Эта схема освещения особенно эффективна для зданий, располагаемых в южных и северных районах страны, где площадь фонарей приходится снижать до минимума.

Схема 4 (рис. 2.13, г) применяется в зданиях, в которых интерьер делится на две зоны: одна из зон имеет достаточное естественное освещение, другая освещается только искусственным светом. Освещение этих различных зон интерьера, особенно если происходит постоянное движение людей из одной зоны в другую, должно быть увязано между собой по интенсивности, цветности и направлению

световых потоков. Важно сделать освещение обеих частей интерьера таким, чтобы переход из одной части в другую был по возможности менее заметным.

Схема 5 (рис. 2.13, д) применяется в помещениях, которые служат «световым шлюзом» между наружным пространством и интерьером, полностью лишенным естественного освещения (например, вестибюли бесфонарных производственных зданий, крупных торговых центров и подземных сооружений). В этом случае важным фактором является градация интенсивности света между уровнями наружного естественного освещения и значительно более низкими уровнями в помещениях с одним искусственным освещением.

Длина помещения, которая служит транзитной зоной между интерьером и наружным пространством, должна определяться на основе средней скорости движения людей и необходимого времени переадаптации.

Светопропускающие материалы и изделия для световых проемов. Для повышения качества светопропускающих заполнений световых проемов в мировой строительной практике осваиваются в широких масштабах новые эффективные материалы (органическое стекло, стеклопластики, солнцезащитные стекла) и изделия из силикатного стекла и полимерных материалов (стеклопакеты, профильное стекло, панели из стеклопластика и др.).

Весьма перспективными светопропускающими материалами являются полиметилметакрилаты, полистиролы, стеклопластики на основе ненасыщенных полиэфирных смол и поливинилхлориды. *Органическое стекло* (полиметилметакрилат) по сравнению с силикатным обладает важными достоинствами – легкостью, прочностью, относительной атмосферостойкостью, высоким светопропусканием, простотой обработки; дает менее опасные осколки при механическом разрушении.

Для изготовления светопрозрачных конструкций обычно применяется листовое органическое стекло толщиной 3–5 мм. В видимой части спектра органическое стекло имеет коэффициент пропускания 92%, в ультрафиолетовой 73 % (у силикатного стекла в УФ-области коэффициент не превышает 8 %). Светопрозрачные конструкции из этого материала могут применяться во всех климатических районах нашей страны.

К недостаткам органического стекла, сдерживающим производство цельноформованных крупногабаритных светопрозрачных конструкций, следует отнести его высокую стоимость и небольшие размеры выпускаемых листов. *Стеклопластики* изготавливаются из

ненасыщенных полиэфирных смол и различных стекловолоконных наполнителей. По сравнению с силикатным стеклом они обладают большей механической прочностью, небольшим весом, легко обрабатываются. Толщина листового стеклопластика обычно бывает 1,5–2,5 мм, длина может быть любой, а ширина 1–1,5 м. Коэффициент светопропускания лучших листовых стеклопластиков достигает 0,75–0,8. Недостатком стеклопластиков является невысокая прозрачность. В связи с этим приходится встраивать в конструкцию из стеклопластика специальные прозрачные вставки.

Стеклопакеты представляют собой конструкции из нескольких (двух и более) слоев листового стекла, герметически соединенных между собой по периметру. По сравнению с обычным листовым оконным стеклом применение стеклопакетов уменьшает расход материалов на изготовление переплетов, герметически замкнутая воздушная прослойка предохраняет внутренние поверхности стекол от загрязнения и образования конденсата, что снижает эксплуатационные затраты. По сравнению с обычным остеклением в двойных переплетах двухслойный стеклопакет увеличивает звукоизоляционные, теплоизоляционные и прочностные показатели светопрозрачного заполнения.

Профильное стекло представляет собой крупногабаритный элемент из стекла швеллерного и коробчатого сечения. Основная область его применения в строительстве – заполнение световых проемов в производственных и общественных зданиях. Применение профильного стекла открывает новые возможности архитектурного решения фасадов зданий, позволяет создавать беспереплетные светопропускающие конструкции, что значительно экономит металл. Существенный недостаток профильного стекла – его невысокая прозрачность, что нарушает зрительную связь с наружным пространством через световые проемы, заполненные профильным стеклом.

Солнцезащитные силикатные стекла предназначены для уменьшения теплового и слепящего действия прямой солнечной радиации, применяются главным образом при строительстве в районах южнее 50° с.ш. Существенным достоинством солнцезащитных стекол по сравнению с солнцезащитными устройствами является более низкая стоимость, простота монтажа и эксплуатации. Вместе с тем стекла позволяют сохранить в помещениях высокие уровни естественного освещения в отличие от различных видов солнцезащитных устройств, которые сильно снижают освещенность в помещении. К

солнцезащитным стеклам относят теплопоглощающие и теплоотражающие стекла.

Теплопоглощающее стекло готовится путем введения в состав обычного силикатного стекла окислов некоторых металлов (железа, меди, кобальта и никеля). Наибольший эффект достигается при добавлении окислов железа, так как получается стекло, которое хорошо поглощает инфракрасную радиацию без значительного поглощения видимого участка спектра. Теплопоглощающее стекло имеет коэффициент пропускания в видимой части спектра от 38 до 64,5% и в инфракрасной – от 4 до 9%.

Теплоотражающее стекло представляет собой обычное листовое стекло, на которое нанесена тонкая прозрачная пленка чистых металлов или их окислов. Из отечественных стекол наиболее перспективными являются стекла с окисными пленками оловянно-сурьмяного состава, которые задерживают до 70 % тепловой радиации.

Светопрозрачные конструкции. В настоящее время во всех странах признано, что наиболее прогрессивным верхним естественным освещением одноэтажных многопролетных производственных и широких общественных зданий является освещение через зенитные фонари. Световые проемы зенитных фонарей обычно заполняются цельноформованными криволинейными светопропускающими элементами (куполами), имеющими сферическую или двойной кривизны поверхность. При использовании листового утолщенного силикатного стекла заполнение имеет, как правило, плоскую поверхность. Конструктивное решение фонаря и материал его заполнения определяются:

- типом здания;
- климатом места строительства;
- точностью выполняемой работы;
- температурно-влажностным режимом в помещении.

В большинстве случаев купола устраиваются глухими, иногда для обеспечения аэрации помещений они могут выполняться открывающимися. Основные преимущества зенитных фонарей по сравнению с типовыми светоаэрационными прямоугольными следующие:

- более высокая светоактивность (в 2,5–3 раза);
- меньшая стоимость (на 1 м² освещаемой площади);
- большая надежность;
- простота эксплуатации, ремонта и замены светопропускающего заполнения фонаря;
- более надежная гидроизоляция.

В практике строительства нашей страны используют зенитные фонари со светопропускающим заполнением из стеклопакетов.

В связи с возрастанием сложности и точности производственных процессов более широкое применение находят производственные здания с подшивными потолками и техническим этажом, размещенным в межферменном пространстве. Верхнее естественное освещение в таких случаях осуществляется с помощью зенитных шахтных фонарей (рис. 2.14).

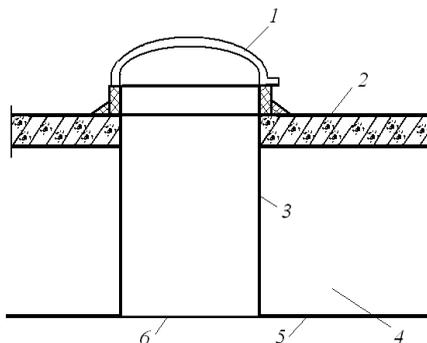


Рис. 2.14. Схема шахтного фонаря:

1 – светопропускающий купол; 2 – покрытие здания; 3 – стенки световой шахты; 4 – пространство между покрытием и подшивным потолком; 5 – выходное отверстие световой шахты; 6 – шахта

Главным способом повышения световой активности шахтных фонарей является применение для стенок шахты фонаря отделки, обладающей направленным отражением, которая позволяет увеличить коэффициент светопропускания шахтного фонаря в 1,5–2 раза. В качестве отделочного материала для стенок шахты может быть применена алюминиевая фольга, алюминиевые пленки, альзак-алюминий.

Световое кондиционирование. Разновидностью совмещенного освещения является световое кондиционирование, которое предусматривает постоянную освещенность рабочих поверхностей.

При световом кондиционировании дополнение естественного освещения некоторым количеством искусственного света возможно только от специальных источников, подобранных по следующим параметрам:

- уровню освещенности;
- спектральному составу;

- направлению и степени рассеивания светового потока;
- яркости;
- форме и размерам светящихся поверхностей.

Это осуществляется в едином световом устройстве, состоящем из: зенитного светового фонаря; источника искусственного освещения; регулирующего приспособления. Для этих целей используют световые шахты под каждым фонарем. В шахтах размещают регулирующие устройства и источники искусственного света.

Световой кондиционер кроме светопроводной шахты включает световой зенитный фонарь, размещенный в карманах на боковых стенках шахты, источники дополнительного искусственного света, подвижные экраны для регулирования проходящего через шахту светового потока, дифференциальный датчик из двух фотоэлементов для автоматического поддержания постоянной освещенности в помещении и рассчитанной на систему из нескольких светопроводных шахт.

Дифференциальный датчик выполняет следующие функции:

- регистрирует уровень освещенности на рабочей плоскости;
- управляет включением и выключением светильников;
- поворачивает экран в необходимое положение, при этом возможны четыре режима работы:

1. При увеличении наружной освещенности экран частично перекрывает светопроводную шахту, пропуская внутрь помещения световой поток, достаточный для поддержания оптимального уровня освещенности.

2. При снижении наружной освещенности экран переводится в вертикальное положение, пропуская максимальный световой поток через шахту.

3. При дальнейшем снижении наружной освещенности (наступление вечера) начинается постепенное включение встроенных в шахту источников дополнительного искусственного света с таким расчетом, чтобы на рабочей плоскости поддерживался постоянный уровень освещенности.

4. При наступлении темноты включается общее искусственное освещение, а экран поворачивается таким образом, чтобы лучи от дополнительных источников света полностью попадали в помещение.

Наиболее целесообразной установкой светопроводных шахт является подвеска к плитам покрытия.

2.7. Расчет производственного освещения

2.7.1. Расчет естественного освещения

Для расчета естественного освещения применяют два способа.

По первому из них рассчитывается площадь световых проемов при учете нормированного значения КЕО. Площадь световых проемов при боковом освещении составляет

$$S_{\circ} = \frac{S_{\text{п}} e_{\text{н}} K_3 \eta_{\circ} K_{\text{зд}}}{100 \tau_{\circ} r_1},$$

при верхнем освещении

$$S_{\phi} = \frac{S_{\text{п}} e_{\text{н}} K_{\text{зд}} \eta_{\phi}}{100 \tau_{\circ} r_2 K_{\phi}},$$

где $S_{\text{п}}$ – площадь пола помещения; $e_{\text{н}}$ – нормированный КЕО; K_3 – коэффициент запаса, принимается равным 1,2–2; η_{\circ} – световая характеристика окон, зависящая от размеров помещения и расположения рабочих поверхностей; $K_{\text{зд}}$ – коэффициент, учитывающий затенение окон противостоящими зданиями, зависящий от расстояния между зданиями и высоты противостоящего здания; τ_{\circ} – общий коэффициент светопропускания, зависящий от коэффициентов: светопропускания материала проемов (τ_1), учитывающего потери света в переплетах световых проемов (τ_2), в несущих конструкциях (τ_3), в солнцезащитных устройствах (τ_4) и в защитной сетке под фонарями (τ_5):

$$\tau_{\circ} = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4 \cdot \tau_5;$$

r_1, r_2 – коэффициент, учитывающий повышение КЕО из-за отражения от поверхностей помещения; η_{ϕ} – световая характеристика фонарей или световых проемов, связанная с их конструкцией и размерами; K_{ϕ} – коэффициент, учитывающий тип фонаря.

По второму способу определяется расчетное значение КЕО ($e_{\text{р}}$) – значение, полученное расчетным путем при проектировании естественного или совмещенного освещения помещений; выражается в процентах и определяется:

при боковом освещении по формуле

$$e_{\text{р}}^{\circ} = \frac{\left(\varepsilon_{\text{н}}^{\circ} \beta_a + \varepsilon_{\text{зд}} \cdot b_{\phi} \cdot \gamma_a \cdot K_{\text{зд}} \right) r_{\circ} \tau_{\circ}}{K_3};$$

при верхнем освещении

$$e_{\text{р}}^{\text{в}} = \frac{\left(\varepsilon_{\text{н}}^{\text{в}} + \varepsilon_{\text{отп}}^{\text{в}} \right) \tau_{\circ}}{K_3};$$

при комбинированном освещении:

$$e_{\text{р}}^{\text{к}} = e_{\text{р}}^{\circ} + e_{\text{р}}^{\text{в}},$$

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; $\varepsilon_{зд}$ – 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; $K_{зд}$ – коэффициент, учитывающий изменение внутренней отраженной составляющей КЕО в помещении при наличии противостоящих зданий; r_o – коэффициент, учитывающий повышение КЕО благодаря свету, отраженному от поверхностей помещения и подстилающего слоя при открытом горизонте (отсутствии противостоящих зданий); ε_n^a – значения КЕО в расчетных точках при верхнем освещении, создаваемом прямым светом неба; $\varepsilon_{отр}^b$ – значения КЕО в расчетных точках при верхнем освещении, создаваемое светом, отраженным от внутренних поверхностей помещения; τ_o – общий коэффициент светопропускания светового проема; K_3 – коэффициент запаса, учитывающий снижение КЕО в процессе эксплуатации вследствие загрязнения и старения светопрозрачных заполнений в световых проемах.

Все величины, входящие в формулы, определяют в соответствии со СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение».

2.7.2. Расчет искусственного освещения

Для расчета общего равномерного освещения производственных помещений применяют **метод коэффициента использования осветительной установки**. Рассматриваемый метод заключается в определении значения коэффициента использования (η), равного отношению светового потока, падающего на расчетную поверхность, к полному потоку осветительного прибора. В наиболее распространенной форме этот коэффициент определяется для горизонтальных поверхностей, равновеликих полу.

При расчете этим методом учитывается прямой свет от светильника (осветительного прибора) и свет, отраженный от стен, потолка и пола, характеризуемый соответственно коэффициентами отражения. Фактическое значение этих коэффициентов определить трудно, поэтому рекомендуется применять ориентировочные значения (табл. 2.7).

Таблица 2.7

**Приблизительное значение коэффициентов отражения
стен и потолка**

Характер отражающей поверхности	Коэффициент отражения
Побеленный потолок, побеленные стены с окнами, закрытыми белыми шторами	70
Побеленные стены при незавершенных окнах, побеленный потолок в сырых помещениях, чистый бетонный и светлый деревянный потолок	50
Бетонный потолок в грязных помещениях, деревянный потолок, бетонные стены с окнами, стены, оклеенные светлыми обоями	30
Стены и потолок в помещениях с большим количеством темной пыли, сплошное остекление без штор, стены из красного кирпича или с темными обоями. Темная расчетная поверхность или темный пол	10

Для определения табличного значения η (табл. 2.8) находится индекс данного помещения, выбирается тип светильника и предположительно оцениваются коэффициенты отражения ρ_n – потолка, ρ_c – стен и ρ_p – пола. Индекс помещения

$$i = \frac{a \cdot b}{h(a + b)},$$

где a – длина помещения, м; b – ширина помещения, м; h – высота подвески светильника над рабочей поверхностью, м.

Высоту подвески светильника над освещаемой поверхностью определяют из выражения

$$h = H - h_c - h_p,$$

где H – высота помещения, м; h_c – высота от потолка до нижней части светильника, м; h_p – высота от пола до освещаемой поверхности, м.

Для помещений с $a/b \geq 10$ можно считать $i = b/h$.

При расчетах по методу коэффициента использования необходимый поток одной лампы Φ_n , лм, накаливания или светильника с группой люминесцентных ламп определяется по формуле

$$\Phi_n = \frac{E_n \cdot K_3 \cdot S \cdot Z}{N \cdot \eta},$$

где E_n – нормируемая минимальная освещенность, лк; K_3 – коэффициент запаса, учитывающий снижение освещенности в процессе эксплуатации вследствие загрязнения и старения светильников, а также снижение отражающих свойств поверхностей помещения (табл. 2.9); S – освещаемая площадь, м²; Z – отношение E_{cp}/E_{min} ; N – число светильников (намеченное до расчета). По

найденному Φ_n выбирается ближайшая стандартная лампа (табл. 2.10) в пределах допусков – 10–20 %. Если такое приближение не реализуется, то корректируется число светильников. При заданном потоке лампы формула решается относительно N . При расчетах люминесцентного освещения, если намечено число рядов n , которое подставляется в формулу вместо N , под Φ следует понимать поток ламп одного ряда.

Таблица 2.8

Значение коэффициента использования светильников

Индекс помещения	Тип светильника														
	«Астра – 1.11,12», У, УМП - 15					ММР, НСР-01, НСП-0					УАД, ДРЛ				
	Коэффициенты отражения $\rho_n, \rho_{с}, \rho_{п}, \%$														
	70	70	50	30	0	70	70	50	30	0	70	70	50	30	0
	50	50	30	10	0	50	50	30	10	0	50	50	30	10	0
	30	10	10	10	0	30	10	10	10	0	30	10	10	10	0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
0,5	24	22	20	17	16	19	18	12	9	6	30	30	23	20	18
0,6	34	32	26	23	21	24	23	15	11	8	37	36	30	27	26
0,7	42	39	34	30	29	29	27	19	15	12	42	40	33	31	29
0,8	46	44	38	34	33	33	31	23	18	14	45	43	37	34	33
0,9	49	47	41	37	36	35	33	25	19	15	47	45	40	37	35
1,0	51	49	43	39	37	37	35	26	20	16	49	47	41	40	38
1,1	53	40	45	41	39	40	37	28	22	18	54	50	43	42	40
1,25	56	52	47	43	41	43	40	30	24	19	55	53	47	44	42
1,5	60	55	50	46	44	46	42	32	25	20	59	56	50	48	45
1,75	63	58	53	48	46	49	45	35	27	22	62	58	53	50	48
2,0	66	60	55	54	49	52	47	37	29	23	67	60	59	53	50
2,25	68	62	57	53	54	54	49	39	31	24	69	62	57	54	52
2,5	70	64	59	55	53	56	50	40	32	25	71	63	59	57	53
3,0	73	66	63	58	56	60	53	43	35	27	73	66	60	58	56
3,5	76	68	64	61	59	62	55	45	36	28	75	67	61	59	57
4,0	78	70	66	62	60	64	57	47	38	30	77	69	63	61	58
5,0	81	73	69	64	62	67	59	49	40	32	79	70	66	63	60

Коэффициент Z является функцией многих параметров, но для осветительных установок, в которых можно не учитывать фактор затенения, в наибольшей мере он зависит от отклонения величины L/h (L – расстояние между светильниками) от наивыгоднейшего. Рекомендованные значения $Z = 1,15$ для ламп накаливания и $Z = 1,1$ для люминесцентных ламп при расположении светильников в линии, если выдержано наивыгоднейшее L/h . При отраженном освещении $Z = 1,0$.

В зависимости от типа светильника отношение L/h принимают равным: 1,4 – для светильников, открытых снизу и снабженных плоским рассеивателем; 1,25 – для светильников с решетчатыми затемнителями; 2,4 – для светильников с вертикально расположенными лампами.

Таблица 2.9

Значение коэффициента запаса, учитывающего старение лампы, запыление и загрязнение светильника

Помещение	Коэффициент запаса K_z				
	При естественном освещении			При искусственном освещении	
	Вертикально	Наклонно	Горизонтально	Газоразрядные лампы	Лампы накаливания
Производственные помещения с содержанием в воздушной среде: свыше 5 мг/м^3 пыли, дыма,	1,5	1,7	2	2	1,7
копоти.....	1,4	1,5	1,8	1,8	1,5
от 1 до 5 мг/м^3	1,3	1,4	1,5	1,5	1,3
менее 1 мг/м^3					
Помещения общественных и жилых зданий	1,2	1,4	1,5	1,5	1,3

Таблица 2.10

Технические данные ламп

Тип лампы	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Тип лампы	Мощность, Вт	Световой поток, лм
1	2	3	4	5	6
Лампы накаливания общего назначения (ГОСТ 2239–79)					
B127-15	15	130	B220-15	15	105
B127-25	25	235	B220-25	25	205
B127-40	40	440	B220-40	40	370
B127-60	60	740	B220-60	60	620
B127-75	75	980	B220-75	75	840
B127-100	100	1400	B220-100	100	1240
Г127-150	150	2300	Г220-150	150	1900
Г127-200	200	3200	Г220-200	200	2700
Г127-300	300	5150	Г220-300	300	4350
Г127-500	500	9100	Г220-500	500	8100
Г127-750	750	14250	Г220-750	750	13100
Г127-1000	1000	19500	Г220-1000	1000	18200
Г127-1500	1500	29500	Г220-1500	1500	28000
B215-225-25	25	220	БК127-40	40	490
B215-225-40	40	415	БК127-60	60	820

Б215-225-60	60	715	БК127-75	75	1080
Б215-225-75	75	950	БК127-100	100	1560
Б215-225-100	100	1350	БК220-40	40	430
Б215-225-150	150	2100	БК220-60	60	700
Б215-225-200	200	2920	БК220-75	75	950
Г215-225-300	300	4610	БК220-100	100	1380
Г215-225-500	500	8300			

Окончание табл. 2.10

1	2	3	4	5	6
Лампы накаливания местного назначения (ГОСТ 2239–79)					
МО12-15	15	180	МО36-40	40	450
МО12-25	25	300	МО36-60	60	800
МО12-40	40	520	МО36-100	100	1550
МО12-60	60	850	МО36-150	150	2450
МО36-25	25	235			
Люминесцентные лампы (ГОСТ 6825–91)					
ЛБВ20	20	800	ЛТБ80	80	4720
ЛБВ40	40	2360	ЛХБ20	20	950
ЛБ20	20	1180	ЛХБ40	40	2780
ЛБ40	40	3000	ЛХБ65	65	4100
ЛБ65	65	4550	ЛХБ80	80	4600
ЛБ80	80	5220	ЛД20	20	920
ЛБW30	30	1400	ЛД40	40	2340
ЛБК20	20	820	ЛД65	65	3570
ЛБК22	22	850	ЛД80	80	4070
ЛБК32	32	1500	ЛДЦ20	20	820
ЛБК40	40	2200	ЛДЦ40	40	2100
ЛТБ20	20	975	ЛДЦ65	65	3050
ЛТБ40	40	2780	ЛДЦ80	80	3560
ЛТБ65	65	4200			
Ртутные, металлогалогенные и ксеноновые лампы высокого давления (ГОСТ 23563–79, 23198–94, 20401–76)					
ДРЛ80	80	3400	ДК _c Т2000	2000	35700
ДРЛ125	125	6000	ДК _c Т5000	5000	97600
ДРЛ250	250	13000	ДК _c Т20000	20000	694400
ДРЛ400	400	18000	ДК _c Т50000	50000	2230000
ДРЛ700	700	38000	ДРИ250	250	18700
ДРЛ1000	1000	57000	ДРИ400	400	58000
ДРИ250-5	250	19000	ДРИ700	700	59500
ДРИ400-5	400	35000	ДРИ2000-2	2000	190000
ДРИ1000-5	1000	90000			

Расчеты методом коэффициента использования выполняются при проектировании осветительных установок служебных и рабочих помещений с относительно небольшой высотой (до 6–8 м) и единичной площадью (до 500 м²).

Точечный метод расчета

Расчет освещения в точке горизонтальной, вертикальной или наклонной плоскости точечным методом связан с определением светового потока, падающего от излучателей любой формы на элементарную площадку dS , содержащую расчетную точку A .

Применяются два способа расчета: первый – для точечного излучателя (рис. 2.15), второй – для светящейся линии.

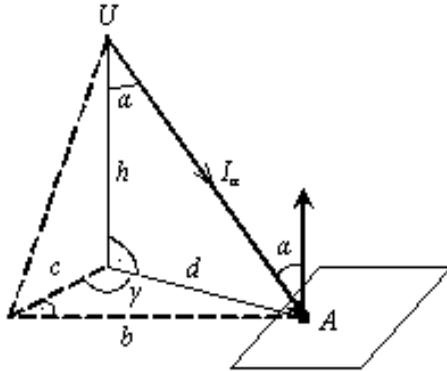


Рис. 2.15. Схема расчета освещенности, создаваемой точечным круглосимметричным источником света для общего освещения в горизонтальной плоскости

1. В случае точечного круглосимметричного излучателя (см. рис. 2.15) освещенность в расчетной точке выражается законом квадратов расстояний:

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

где I_a – сила света в направлении от источника к расчетной точке A , определяется по кривой распределения светового потока выбираемого светильника и источника света (рис. 2.16), кд; α – угол между нормалью к поверхности, которой принадлежит точка, и направлением вектора силы света в точку A , определяется по номограмме (рис. 2.17), град.; r – расстояние от светильника до точки A , м. По рис. 2.17 определяем, что $r = \frac{h}{\cos \alpha}$ и, введя коэффициент запаса, получим

$$E_A = \frac{I_a \cos^3 \alpha}{K_3 h^2}$$

Критерием правильности расчета является неравенство $E_A \geq E_n$.

2. Расчеты с излучателями, образующими светящие линии, основаны на представлении распределения сил света каждым элементарным участком линии. В общем случае длина этих участков l и расстояние от них до расчетной точки r должно быть связано соотношением $r \geq 5l$.

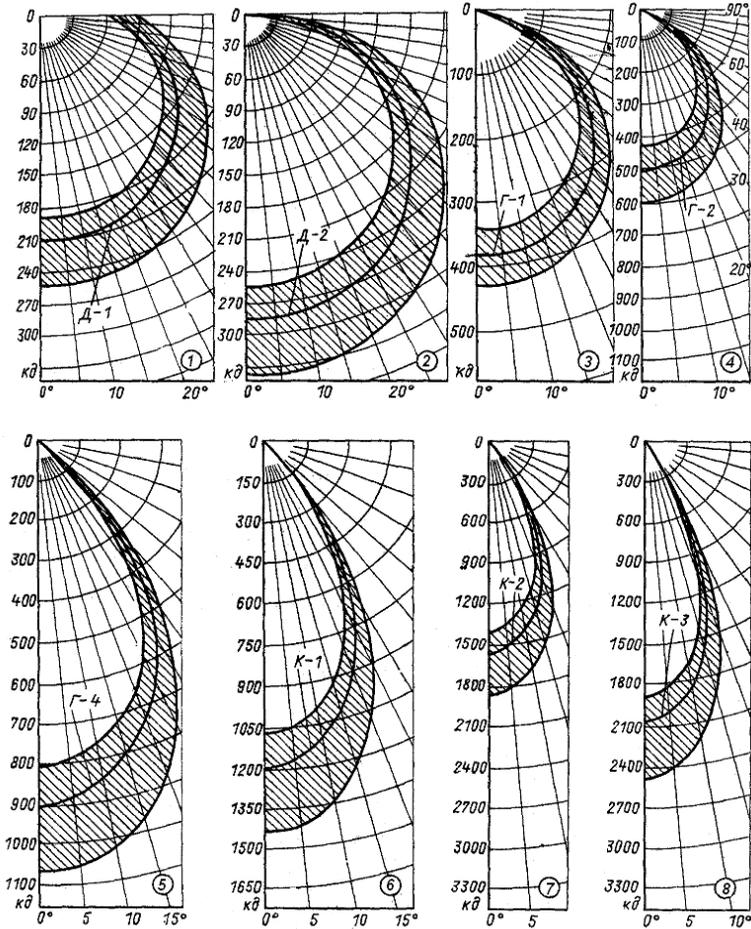


Рис. 2.16. Детализированная классификация типовых КСС (кривые света светильников) и поля допусков на значения силы света +20 ... -10 %

В практике светотехнических расчетов, как правило, рассматриваются светящиеся линии, образованные люминесцентными светильниками. Инженерные расчеты в этом случае можно выполнять по вспомогательным графикам линейных изолюкс, методика построения которых разработана Г.М. Кноррингом [13].

Этот метод позволяет определить освещенность в любой точке поверхности при известном светораспределении, световом потоке лампы светильника и расположении.

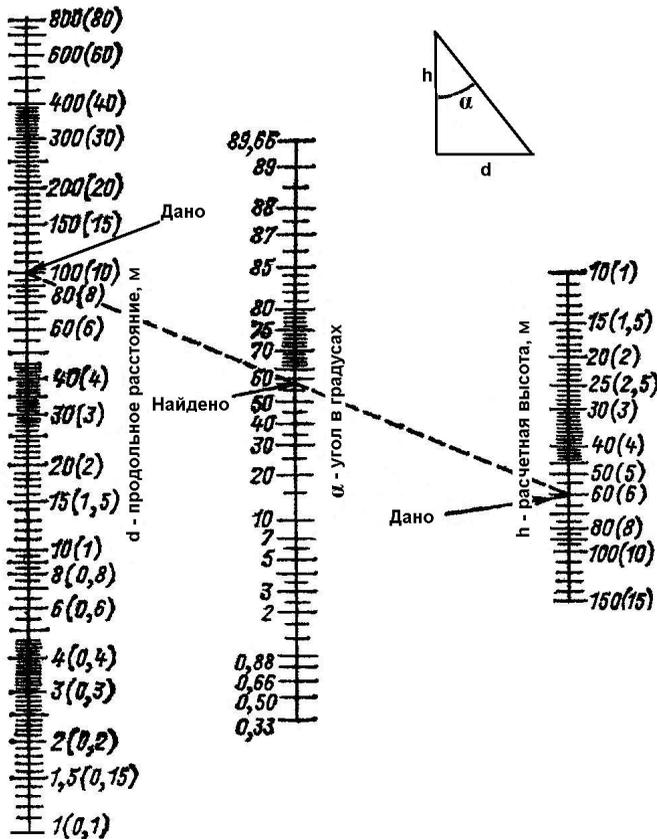


Рис. 2.17. Номограмма для определения угла α в зависимости от h и d

Условная освещенность (e_i) от i -го светильника, создаваемая лампой со световым потоком 1000 лм, определяется по известному

светораспределению светильника и размерам h и d по заранее рассчитанным пространственным изолюксам условной горизонтальной освещенности (рис. 2.18).

Фактическая освещенность E_{Φ} (лк) равна

$$E_{\Phi} = \frac{\Phi_{\text{л}} \mu \sum e_i}{1000 K_3},$$

где $\Phi_{\text{л}}$ – световой поток лампы, лм; $\mu = 1 \dots 1,2$; $\sum e_i$ – сумма значений e (освещенности) от всех светильников, создающих освещенность в расчетной точке, лк; K_3 – коэффициент запаса.

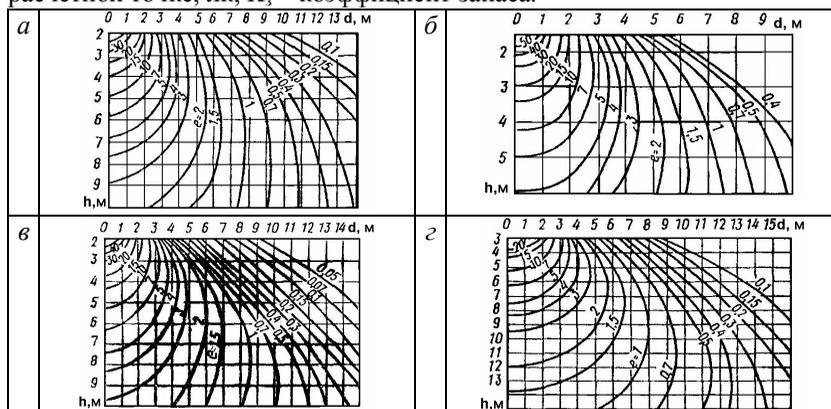


Рис. 2.18. Пространственные изолюксы условной горизонтальной освещенности:
 а – светильники У, УПМ-15, УП-24, «Астра-1, 11, 12»; б – светильники ППД-100, ППД-200; в – светильник УПД; г – светильники УПД, ДРЛ

Расчет освещения по удельной мощности

Данный расчет представляет собой упрощенную форму метода коэффициента использования, приведенную в виде таблицы (табл. 2.11) удельной мощности. Таблицы составлены для определенных значений E , они не учитывают форму помещения. При их составлении принимается, что $i = 0,48 \sqrt{S/h}$, что справедливо для условий $a/b \geq 2,5$ (где S – освещаемая площадь; h – высота подвески светильника; a и b – длина и ширина помещения соответственно). Обычно они рассчитываются для сочетаний $\rho_{\text{п}} = 50 \%$, $\rho_{\text{с}} = 30 \%$, $\rho_{\text{р}} = 10 \%$. Удельная мощность лампы W ($\text{Вт}/\text{м}^2$) определяется по формуле

$$W = P \frac{N}{S},$$

где P – мощность лампы, Вт; N – число ламп, шт.; S – освещаемая площадь, м².

Для ламп накаливания и ДРЛ мощность ламп может варьироваться, а при люминесцентных – таблицы рассчитываются для каждого типа ламп. Таблицы составлены на основе рассчитанных для типовых значений коэффициентов использования светового потока. При пользовании этими таблицами расчетные значения для освещенности 100 лк от реально применяемых светильников определяются делением табличных значений ω_{100} % на выраженные в долях единицы значения КПД светильников.

Таблица 2.11

Удельная мощность равномерного освещения

Площадь помещения $S, \text{ м}^2$	Условная удельная мощность при коэффициенте отражения, %, равном															
	$\rho_n = 70, \rho_c = 50, \rho_p = 30$						$\rho_n = 70, \rho_c = 50, \rho_p = 10$						$\rho_n = \rho_c = \rho_p = 0$			
	и расчетной высоте h , м, равной															
	2,5	3	4	5	6	2,5	3	4	5	6	2,5	3	4	5	6	
Двухламповые светильники типов УСПЗ, УСП5, УСП11, УСП18, УСП31, УСП35 с люминесцентными лампами типа ЛБ40																
10	9,1	10,4	–	–	–	9,5	11,5	–	–	–	15,5	19,8	–	–	–	
15	7,6	8,9	–	–	–	8,2	9,3	–	–	–	11,7	14,9	–	–	–	
20	6,9	7,8	9,9	–	–	7,5	8,4	10,7	–	–	10,1	12	18	–	–	
30	6,1	6,8	8,3	10,1	–	6,7	7,4	8,9	11	–	8,8	9,8	13,4	18,8	–	
40	5,7	6,3	7,5	9,1	10,4	6,2	6,8	8,1	9,5	11,5	8	9,1	11,5	15,5	19,8	
50	5,5	5,9	7	8,1	9,6	6	6,4	7,6	8,7	10,2	7,5	8,3	10,2	12,8	17,9	
60	5,3	5,7	6,5	7,6	8,9	5,8	6,1	7,2	8,2	9,3	7,1	7,9	9,4	11,6	14,9	
80	4,9	5,4	6	7	7,8	5,4	5,9	6,6	7,6	8,4	6,7	7,3	8,7	10,2	12,1	
100	4,8	5,1	5,7	6,4	7,3	5,3	5,6	6,2	7,1	7,9	6,4	6,9	8,1	9,3	11	
120	4,7	4,9	5,5	6,1	6,9	5,1	5,4	6	6,7	7,5	6,2	6,7	7,7	8,8	9,9	
150	4,5	4,8	5,3	5,8	6,4	5	5,3	5,8	6,3	7	6	6,3	7,2	8,2	9,2	
200	4,3	4,6	5	5,5	5,9	4,8	5	5,5	6	6,4	5,7	6,1	6,8	7,5	8,3	
300	4,2	4,3	4,7	5	5,4	4,7	4,8	5,2	5,5	5,9	5,4	5,6	6,2	6,8	7,4	
400	4,1	4,2	4,5	4,8	5,1	4,6	4,7	4,9	5,3	5,6	5,3	5,5	5,9	6,4	6,9	
500	4	4,1	4,3	4,7	4,9	4,5	4,7	4,8	5,2	5,3	5,2	5,3	5,7	6,2	6,6	
1000	3,9	3,9	4,1	4,2	4,4	4,4	4,4	4,6	5	4,9	5	5	5,2	5,5	5,8	
2000	–	–	3,9	4,1	4,2	–	–	4,1	–	4,7	–	–	5	5,2	5,4	
3000	–	–	–	3,9	4,1	–	–	–	–	4,6	–	–	–	5	5,2	
4000	–	–	–	–	3,9	–	–	–	–	4,4	–	–	–	–	5	
Светильники арт. 38, 355, П.Л-11 с лампами накаливания типа Б215-225-100																
10	48,3	55,5	–	–	–	50,5	58,4	–	–	–	123	139	–	–	–	
15	42,7	48,3	–	–	–	44,4	50,5	–	–	–	101	123	–	–	–	
20	37	42,7	55,5	–	–	38,3	44,4	58,4	–	–	79,3	101	139	–	–	
30	31,7	37	42,7	55,5	–	34,7	38,3	44,4	58,4	–	69,4	79,3	101	139	–	
40	30	33,6	38,3	48,3	55,5	32,6	35,8	41,1	50,5	58,4	65,3	74	92,5	123	139	
50	29,6	31,7	37	42,7	48,3	32,2	34,7	38,3	44,4	50,5	63,4	69,4	79,3	101	123	
60	27,1	30	33,6	38,3	47,2	30	32,6	35,8	41,1	49,3	55,5	65,3	74	82,5	117	

80	25,8	27,1	31,7	37	42,7	27,8	30	34,7	38,3	44,4	52,9	55,5	69,4	79,3	101
100	24,7	26,7	30	33,6	38,3	27,1	29,6	32,6	35,8	41,1	48,3	54,1	65,3	74	92,5
120	24,4	25,8	29,6	33,1	37	26,7	27,8	32,2	35,2	38,3	47,2	52,9	63,4	71,6	79,3
150	23,6	24,7	27,1	31,7	33,6	25,8	37,1	30	34,7	35,8	46,3	48,3	55,5	69,4	74
200	22,7	23,6	25,8	30	31,7	25,2	25,8	27,8	32,6	34,7	44,4	46,3	52,9	65,3	69,4
300	20,6	22,6	24,7	25,8	30	23,1	25,2	27,1	27,8	32,6	39,6	44,4	48,3	52,9	65,3
400	19,8	21,3	22,7	24,7	27,1	22,7	24,1	25,2	27,1	30	37	41,1	44,4	48,3	55,5
500	19,6	20,6	22,4	24,4	25,8	22,4	23,1	24,9	26,7	27,8	36,4	39,6	43,5	47,2	52,9
1000	19,1	19,1	19,8	21,3	22,7	21,8	21,8	22,7	24,1	25,2	35,8	35,8	37	41,1	44,4
2000	–	–	19,1	19,8	20,6	–	–	21,8	22,7	23,1	–	–	35,8	37	39,6
3000	–	–	–	19,1	19,8	–	–	–	21,8	22,7	–	–	–	35,8	37
4000	–	–	–	–	19,1	–	–	–	–	21,8	–	–	–	–	35,8

2.8. Световые приборы

Световым прибором называется устройство, содержащее *источник света* (лампу) и *светотехническую арматуру* и предназначенное для освещения или световой сигнализации. Светотехническая арматура осветительных приборов называется обычно *осветительной арматурой*.

Функции осветительной арматуры:

- перераспределение светового потока;
- защита глаз от блескости;
- защита от воздействия окружающей среды;
- защита от механических повреждений;
- обеспечение крепления источника света и подключения к источнику питания.

Классификация световых приборов осуществляется по главным и дополнительным признакам. К *главным признакам* относятся:

- основная светотехническая функция;
- характер светораспределения;
- условия эксплуатации;
- основное назначение.

По основной светотехнической функции световые приборы разделены на приборы для освещения – *осветительные приборы* и приборы для световой сигнализации – *светосигнальные приборы* (световые приборы могут совмещать обе эти функции); по характеру светораспределения все световые приборы принципиально подразделяются на светильники, прожекторы и проекторы; по условиям эксплуатации – на световые приборы для помещений, открытых пространств и для экстремальных сред. По основному назначению световые приборы классифицируются в соответствии с рис. 2.19.

Светильник – это световой прибор, перераспределяющий свет лампы (ламп) внутри больших телесных углов (до 4π) и обеспечивающий угловую концентрацию светового потока с коэффициентом усиления не более 30 для круглосимметричных и не более 15 – для симметричных приборов. Светильники предназначены, как правило, для освещения относительно близко расположенных объектов (находящихся на расстояниях, обычно меньше, чем 20-кратные максимальные размеры светильников) или для сигнализации на больших расстояниях.

В светильниках могут устанавливаться две и более ламп. Светотехническая арматура для газоразрядных ламп включает обычно аппаратуру для зажигания и стабилизации работы ламп.

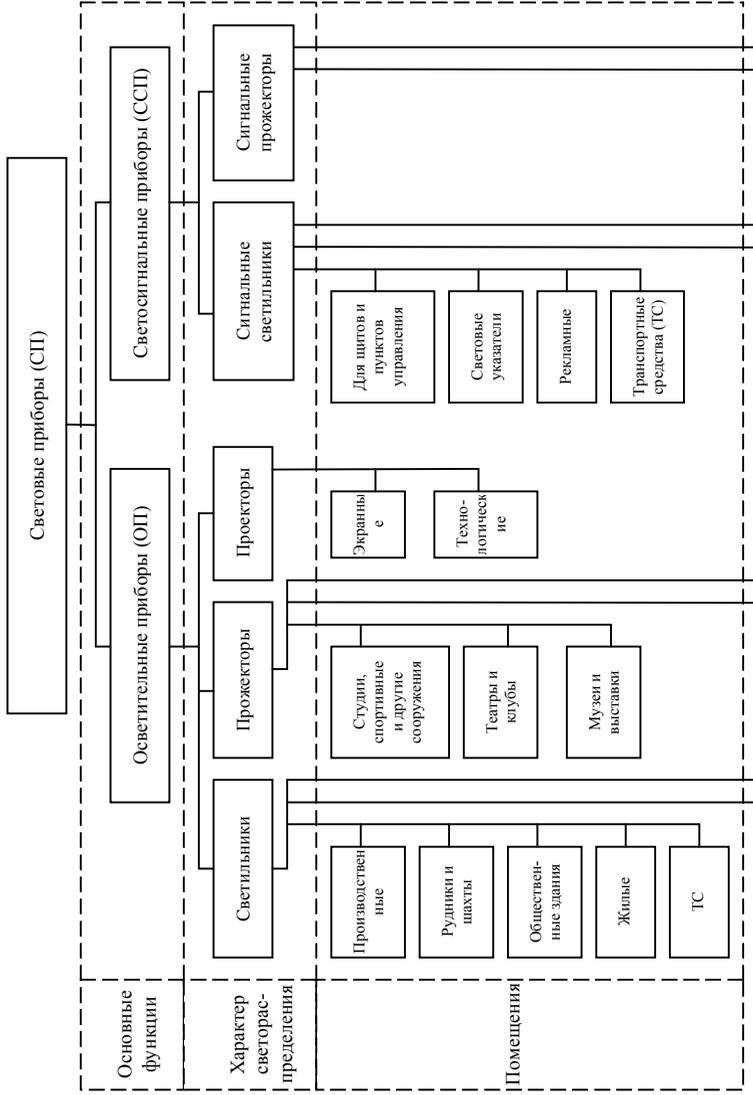


Рис. 2.19. Классификация световых приборов по основному назначению (начало)

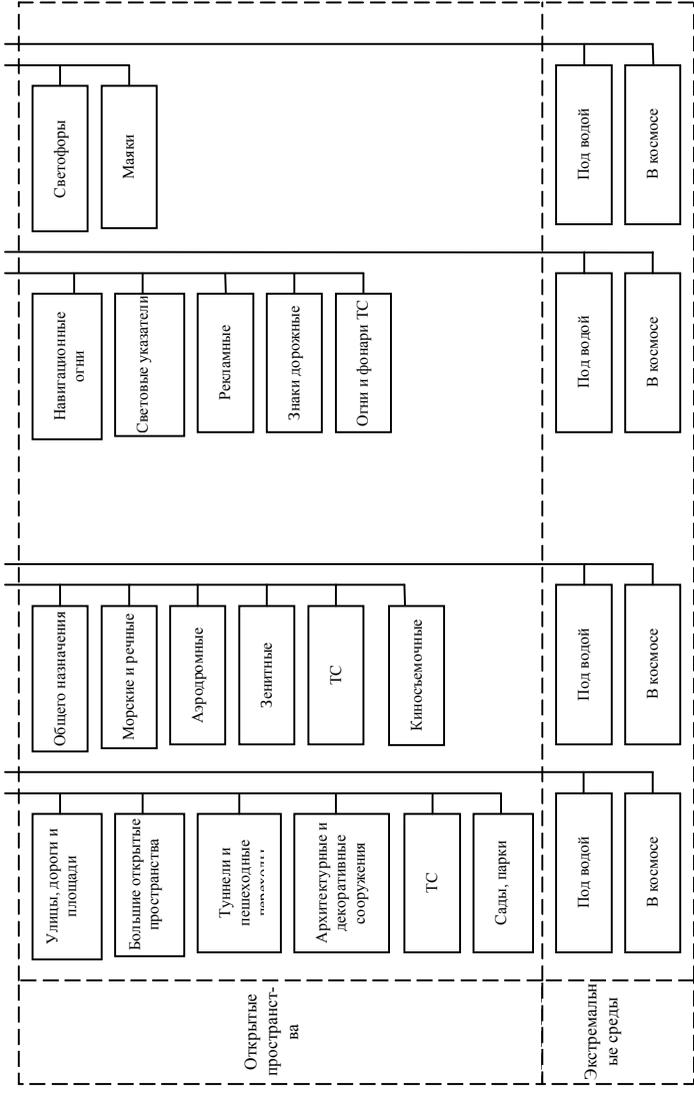


Рис. 2. 19. Классификация световых приборов по основному назначению (окончание)

Прожектор – световой прибор, перераспределяющий свет лампы внутри малых телесных углов и обеспечивающий угловую концентрацию светового потока с коэффициентом усиления более 30 для круглосимметричных и более 15 для симметричных приборов. Прожекторы служат для освещения удаленных объектов, находящихся на расстояниях, в десятки, сотни и даже тысячи раз превышающих размер прожектора, или для передачи световых сигналов на большие дистанции.

Проектор – световой прибор, перераспределяющий свет лампы с концентрацией светового потока на поверхности малого размера или в малом объеме. Прожекторы являются в основном осветительной частью светопроекционных приборов, концентрирующей световой поток на кадровом окне, в котором расположен рисунок или диaposитив, отражаемый объективом на экране.

Дополнительными признаками классификации световых приборов являются:

- вид лампы (ЛН, ГЛ, лампы смешанного света, радиоизотопные и электролюминесцентные источники света, электрические дуговые угольные лампы);
- конкретная светотехническая функция (табл. 2.12) для осветительных приборов;
- форма фотометрического тела (симметричные, круглосимметричные и несимметричные световые приборы);
- класс светораспределения (в соответствии с ГОСТ 17677–82);
- тип кривых силы света (в соответствии с ГОСТ 17677–82);
- возможность перемещения при эксплуатации (стационарные, переносные и передвижные);
- способ установки световых приборов (в соответствии с ГОСТ 16703–79) (рис. 2.20);
- класс защиты от поражения электрическим током (в соответствии с ГОСТ 12.2.007.13–88);
- исполнение для работы в определенных условиях эксплуатации;
- степень защиты от пыли и воды (для светильников в соответствии с ГОСТ 17677–82 и для прожекторов и проекторов по ГОСТ 14254–96);
- способ питания лампы (сетевой, от индивидуального источника питания, комбинированное питание);
- возможность изменения положения оптической системы (подвижное, неподвижное);
- возможность изменения светотехнических характеристик (регулируемые, нерегулируемые);

– способ охлаждения (с естественным охлаждением, с принудительным охлаждением).

Таблица 2.12

Классификация осветительных приборов (светильников, прожекторов) в зависимости от конкретной осветительной функции

Светильники	Прожекторы
Общего освещения	Заливающего освещения
Местного освещения	Акцентирующего освещения
Комбинированного освещения	Для поиска и обнаружения объектов
Декоративного освещения	Для освещения направления движения транспортных средств
Освещения для ориентирования	
Экспозиционного освещения	

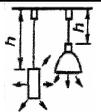
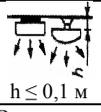
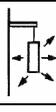
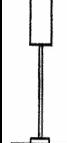
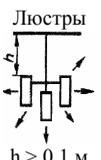
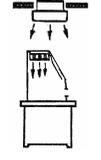
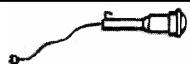
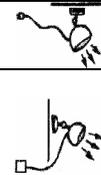
Стационарные СП	Подвесные СП	Потолочные СП	Настенные СП	Опорные СП			
		 $h \leq 0,1 \text{ м}$		Настольные	Напольные	Венчающие	Консольные
	Люстры	Встраиваемые СП	Пристраиваемые СП				
	 $h > 0,1 \text{ м}$						
Переносные СП	Сетевые	Ручные СП	Головные СП	На стойке		На магнитном основании	
	Автономные						

Рис. 2.20. Классификация световых приборов по способу установки

По исполнению для работы в определенных условиях эксплуатации световые приборы подразделяются с учетом следующих признаков:

а) по климатическому исполнению и категории размещения (в соответствии с ГОСТ 15150–69);

- б) по доминирующему действующему фактору:
- по температуре и относительной влажности воздуха (в соответствии с ГОСТ 16962–71);
 - по механическим воздействиям (в соответствии с ГОСТ 16962–71);
 - по особым факторам среды (в соответствии с ГОСТ 15150–69);
 - по наличию заметных концентраций химически активных веществ;
 - по взрывоопасности среды (в соответствии с ГОСТ 12.27020–76 и ПИВРЭ «Правила изготовления взрывозащитного и рудничного электрооборудования»).

2.8.1. Характеристики безопасности

Электрическая безопасность определяется классом защиты от поражения электрическим током (или видом приборов по электрической изоляции), степенью защиты от соприкосновения с токоведущими частями, напряжением, сопротивлением и электрической прочностью электрической изоляции, путями утечки и воздушными зазорами.

Существует 5 классов защиты световых приборов от поражения электрическим током: 0, 0I, I, II и III (табл. 2.13).

Таблица 2.13

Классы защиты световых приборов от поражения электрическим током

Класс защиты	Вид электрической изоляции и СП*	Наличие в СП зажима для присоединения заземляющего провода	Характеристика постоянно присоединенных внешних проводов	Особенности СП
1	2	3	4	5
0	Рабочая изоляция на всех частях	Отсутствует	Отсутствует	Металлические корпуса, изолированные рабочей изоляцией от находящихся под напряжением частей; корпус из изоляционных материалов, обеспечивающих рабочую изоляцию (частично или полностью)
0I	То же	Имеется	Имеется, но не содержит заземляющего проводника и вилки с заземляющим контактом	–
I	« «	«	В случае присоединения к	Могут иметь части с

			системе питания с помощью гибкого провода или шнура они имеют на конце специальный заземляющий контакт (возможна вилка с заземляющим контактом)	двойной или усиленной изоляцией или части, работающие при малом напряжении
--	--	--	---	--

Окончание табл. 2.13

1	2	3	4	5
II	Двойная или усиленная изоляция	Отсутствует	Отсутствует	Механически прочные корпуса из изоляционного материала, покрывающего все металлические части (за исключением мелких деталей, отделенных от частей СП, находящихся под напряжением, изоляцией не хуже усиленной) Металлические корпуса, в которых везде применена двойная или усиленная изоляция Комбинированные СП (сочетание указанных выше)
III	Рабочая изоляция для работы СП только в системе питания малым напряжением		Имеется только для присоединения к системе питания малым напряжением	Только для работы в системах питания малым напряжением

* Рабочая изоляция обеспечивает нормальную работу СП и основную защиту от поражения электрическим током; дополнительная (или защитная) изоляция – независимая изоляция, предусмотренная дополнительно к рабочей изоляции для защиты от поражения электрическим током в случае нарушения рабочей изоляции; двойная изоляция – изоляция, включающая как рабочую, так и дополнительную; усиленная изоляция – улучшенная рабочая изоляция с такими электрическими и механическими свойствами, при которых она обеспечивает ту же степень защиты от напряжения электрическим током, что и двойная.

Под малым напряжением понимается номинальное напряжение светового прибора, не превышающее 42 В между проводниками и землей. Безопасным считается также напряжение до 110 В постоянного тока.

Электрическая прочность изоляции определяется значениями испытательного напряжения частотой 50 Гц, которое должно выдерживаться без пробоя или перекрытия токоведущих частей.

Взрывозащищенность. В зависимости от области применения взрывозащищенные световые приборы условно разделяются на следующие группы: I – рудничные взрывозащищенные световые приборы для подземных выработок шахт и рудников, опасных по газу и пыли; II – взрывозащищенные световые приборы для внутренней и наружной установки на предприятиях химической, нефтяной, газовой и других отраслей промышленности, где возможно образование взрывоопасных смесей.

Классификация взрывозащищенных световых приборов в зависимости от области применения, уровня и вида взрывозащиты, а также от температурного класса светового прибора приведена на рис. 2.21.

Пожарная безопасность. Пожарная безопасность светового прибора означает практическую невозможность загорания как самого прибора, так и окружающей его среды, что обеспечивается конструкцией светового прибора, выбором комплектующих изделий и материалов с температурными характеристиками, соответствующими тепловому режиму работы светового прибора. При этом характеристикой пожаробезопасности является соответствие температуры на основных элементах светового прибора допустимым значениям как в рабочем, так и в аварийном режиме работы.

Механическая безопасность. Механическая безопасность различных световых приборов характеризуется *вибрационными* или *ударными нагрузками* (многократными или одиночными), определяемыми соответственно диапазоном частот вибрации и максимальным ускорением или максимальным ускорением и длительностью удара; *усилиями*, прикладываемыми к узлам подвеса с целью определения их механической прочности; *крутящими моментами*, выдерживаемыми резьбовыми и другими жесткими механическими соединениями частей светового прибора, а также креплением патронов для ламп; *устойчивостью* опорных световых приборов, определяемой углом опрокидывания светового прибора, находящегося в наиболее неблагоприятном положении.

2.8.2. Защита от воздействия среды

Защита от пыли, воды и агрессивных сред обеспечивается, как правило, выбором соответствующих конструкционных и светотехнических материалов, а также различной степенью герметизации внутреннего объема светового прибора или отдельных

его полостей (прежде всего полости расположения электрических контактов).

В соответствии с классификацией установлены следующие степени защиты световых приборов:

- от попадания внутрь него твердых посторонних тел (в частности пыли):

- пыленезащищенные,
- пылезащищенные,
- пыленепроницаемые;

- от соприкосновения с находящимися под напряжением частями:

- защита от возможности прикосновения пальцами,

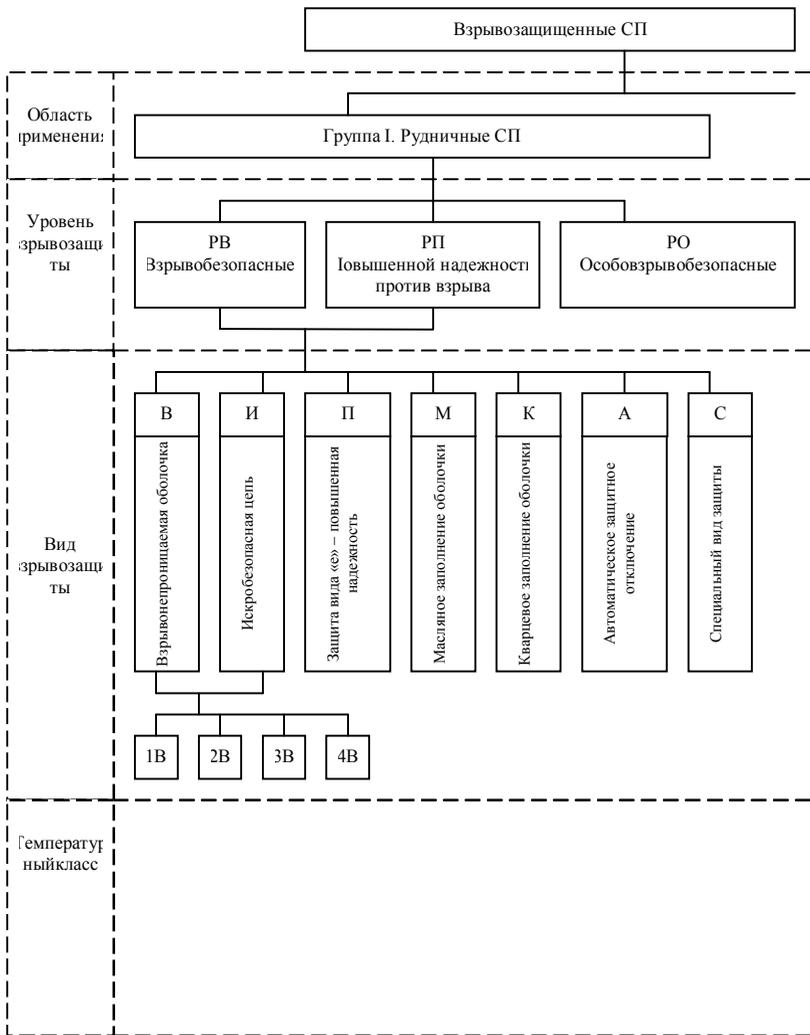


Рис. 2.21. Классификация взрывозащищенных световых приборов (начало)

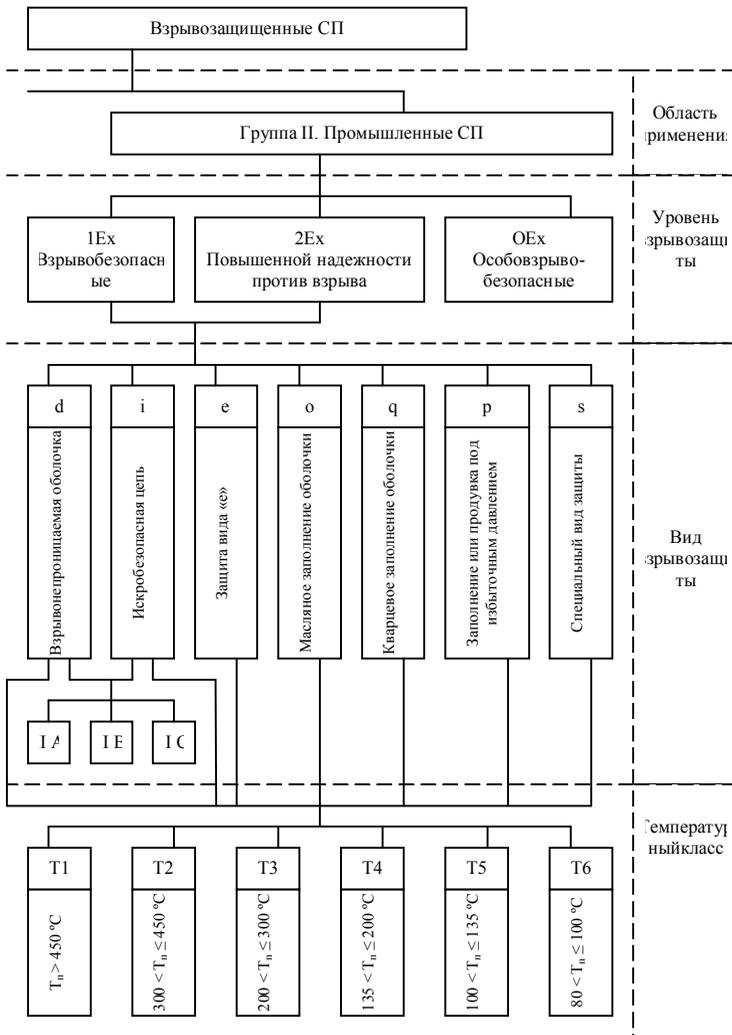


Рис. 2.21. Классификация взрывозащищенных световых приборов (окончание)

– полная защита от возможности прикосновения с помощью любого вспомогательного устройства (например, проволоки);

• от воды:

– водонезащищенные (защита отсутствует);

– каплезащищенные (защита от попадания капель, падающих сверху под углом к вертикали, равным или меньше 15°);

– дождезащищенные (защита от попадания капель или струй, падающих сверху под углом к вертикали, равным или меньше 60°);

– брызгозащищенные (защита от капель или брызг, падающих под любым углом);

– струезащищенные (защита от струй воды, падающих под любым углом);

– водонепроницаемые (защита от попадания воды при погружении на определенную глубину);

– герметичные (защита от попадания воды при неограниченно долгом погружении на заданную глубину).

Световые приборы выпускаются в различных климатических исполнениях и предназначаются для эксплуатации в соответствующем климатическом районе. Световые приборы, имеющие указанные климатические исполнения, изготавливают по различным категориям в зависимости от места размещения при эксплуатации.

2.8.3. Характеристики надежности работы

Под *надежностью* понимается свойство изделий выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение требуемого промежутка времени. Световые приборы являются восстанавливаемой (ремонтируемой) системой с невосстанавливаемыми элементами.

Основным показателем надежности световых приборов является долговечность, которая характеризуется либо сроком службы, либо ресурсом. Для большинства световых приборов стандартами и техническими условиями нормируются значения срока службы, которые для промышленных световых приборов составляют 8–10 лет, для бытовых – 5, для уличных – 8 лет.

Под *долговечностью* понимается свойство изделий сохранять работоспособность до предельного состояния с необходимыми перерывами для технического обслуживания и ремонта. Предельное состояние наступает тогда, когда происходит отказ. Под *отказом*

светового прибора понимается наступление такого состояния, которое характеризуется следующими признаками или их совокупностью:

а) световой поток светового прибора, проработавшего определенное время после чистки и замены источника света данного типа на новый, становится ниже заданного значения, минимально необходимого для создания нормируемой освещенности в конкретной осветительной установке;

б) в результате длительной эксплуатации кривая силы света прибора деформирована таким образом, что световой прибор не обеспечивает требуемых условий освещения;

в) сопротивление изоляции светового прибора снижается до значений, недопустимых по правилам электробезопасности;

г) механическая прочность узлов крепления защитных стекол, рассеивателей, отражателей, а также узлов подвеса уменьшается до предела, представляющего опасность для работающих или обслуживающего персонала.

Ко всем светильникам общего назначения предъявляется требование, чтобы после 120 часов работы при температуре 35 ± 5 °С, напряжении, равном 110 % от номинального, для светильников с газоразрядными лампами или мощности, равной 115 % от номинальной, для светильников с лампами накаливания КПД (или освещенность) снижались не более чем на 10 % от первоначального значения, цвет и форма поверхностей не подвергались изменениям.

В таблице в СНиП 23-05-95 дана классификация основных конструктивно-светотехнических схем световых приборов по их эксплуатационным характеристикам. В зависимости от схем, степени защиты от пыли, твердости светотехнических материалов и покрытий все световые приборы разделены на семь эксплуатационных групп, при этом, чем больше номер группы, тем менее подвержены световые приборы воздействию среды и тем в более тяжелых условиях целесообразно их использование.

2.9. Источники света. Их гигиеническая оценка и область применения

Искусственным источником света называется устройство, предназначенное для превращения какого-либо вида энергии в энергию электромагнитных излучений, лежащих в оптическом диапазоне спектра.

По физической природе различают два вида оптического излучения: тепловое и люминесценцию.

Тепловое оптическое излучение возникает при нагревании тел. У твердых тел оно имеет непрерывный спектр, зависящий от температуры тела и его оптических свойств. Тепловыми излучателями являются все источники, свечение которых обусловлено нагреванием: электрические лампы накаливания, простые угольные дуги, все пламенные источники света.

Люминесценцией называют спонтанное излучение, избыточное над тепловым излучением, если его длительность значительно превышает период колебаний электромагнитной волны соответствующего излучения. Люминесценция наблюдается в газообразных, жидких и твердых телах. Твердые или жидкие вещества, способные излучать свет под действием различного рода возбуждений, называют *люминофорами*.

В источниках света используются следующие виды люминесценции.

Электролюминесценция – оптическое излучение атомов, ионов, молекул, жидких и твердых тел под действием ударов электронов (ионов), движущихся со скоростями, достаточными для возбуждения. Излучение разрядных источников света (газоразрядных ламп) представляет собой электролюминесценцию газов и паров.

Фотолюминесценция – оптическое излучение, возникающее в результате поглощения телами оптического излучения другого источника. В парах и газах наблюдается множество видов фотолюминесценции, определяемых энергией поглощаемых фотонов и строением поглощающих атомов, ионов или молекул. Фотолюминесценция люминофоров часто используется в люминесцентных и некоторых других газоразрядных лампах.

В настоящее время наиболее широкое применение получили источники света, основанные на превращении электрической энергии в оптическое излучение, т.е. по роду первичной энергии относящиеся к категории электрических. Среди них самыми массовыми являются лампы накаливания и разрядные лампы различного типа.

2.9.1. Классификация ламп накаливания

Опыты по получению света путем накаливания проводников током начались вскоре после открытия в 1800 г. теплового действия электрического тока. Многочисленные работы в этой области многие годы не давали удовлетворительных результатов. Лишь в 1873 г. успех сопутствовал русскому изобретателю А.Н. Лодыгину (1847–1923), который предложил источник света, в принципе схожий с

современной лампой накаливания. Он поместил угольный стержень в стеклянный баллон, из которого кислород удалялся за счет сгорания части угля при прохождении через него тока, благодаря чему оставшаяся часть угля работала относительно долго, излучая свет.

В 1879 г. американский изобретатель Т.А. Эдисон (1847–1931) на основе принципиальных идей, заложенных в лампе Лодыгина, создал лампу серийного производства, применив для тела накала угольную нить, полученную обугливанием длинных и тонких бамбуковых волокон. Кроме того, он ввел откачку воздуха из баллона.

В 1890 г. Лодыгин демонстрировал лампу с телом накала в виде нити из тугоплавкого металла молибдена, который в дальнейшем был заменен вольфрамом. В 1903 г. появились первые образцы вольфрамовых ЛН, а в 1906–1909 гг., после освоения серийного производства вольфрамовой проволоки, начался промышленный выпуск вакуумных ЛН с прямой вольфрамовой тянутой нитью.

В 1913 г. американский физик И. Ленгмюр предложил наполнять ЛН нейтральным газом и применять спирализованное тело накала вместо нитевидного. Эти меры позволили уменьшить высокотемпературное распыление вольфрамовой проволоки и за счет этого увеличить срок службы лампы. Крупным событием, открывшим новую страницу в развитии тепловых источников света, явилось создание в 1959 г. галогенных ЛН в кварцевой колбе (ГЛН). В настоящее время ГЛН получили широкое распространение.

Значение ЛН остается важным, несмотря на быстрое развитие ГЛН. Во многих областях применения ЛН не имеют равноценной замены. «Долголетие» и массовость применения ЛН обусловлены относительно низкой стоимостью, удобством в обращении, простотой в обслуживании, малыми первоначальными затратами при оборудовании осветительных установок, разнообразием конструкций, напряжений и мощностей, высоким уровнем механизации производства.

Главными недостатками ЛН являются сравнительно низкая световая отдача (6,7–19,1 лм/Вт), обычно невысокая продолжительность горения (не более 2000 ч), не всегда приемлемая цветопередача и недостаточная механическая прочность ряда типов специальных ламп.

Устройство ЛН показано на рис. 2.22. Главной частью является тело накала *1*. Оно может представлять собой нить, спираль, биспираль, триспираль, иметь разнообразные размеры и форму (рис. 2.23).

Тело накала изготавливается из вольфрамовой проволоки. Вольфрам имеет высокую температуру плавления (3650 ± 50 К) и малую скорость испарения [$9,9 \cdot 10^{-3}$ г/(м² · с) при 3000 К]; формоустойчив при высокой рабочей температуре; устойчив к механическим нагрузкам; обладает высокой пластичностью в горячем состоянии, что позволяет получать из него нити весьма малых диаметров путем протяжки проволоки через калиброванные отверстия; тонкие проволоки хорошо спирализуются.

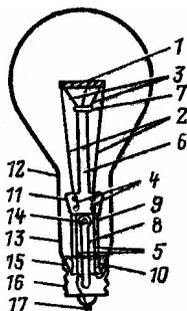


Рис. 2.22. Схематическое (принципиальное) изображение электрической лампы накаливания

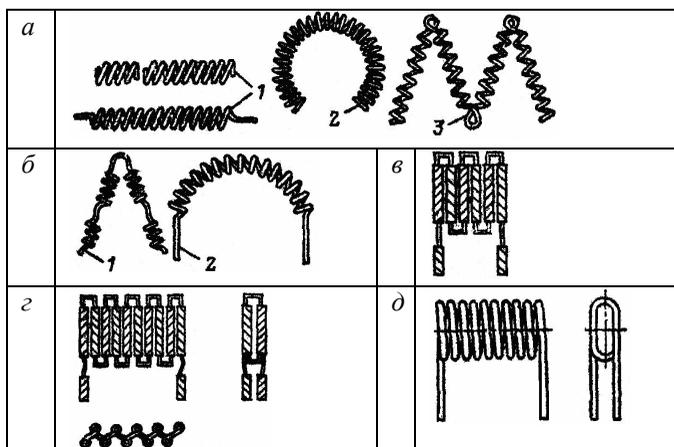


Рис. 2.23. Наиболее распространенные формы тел накала:
a – спирали (1 – прямая; 2 – дуговая; 3 – в виде зигзага); *б* – секционные (двухсекционные) (1 – под углом; 2 – дужкой); *в* – многосекционные, формованные в одной плоскости, – «моноплан»; *г* – многосекционные, формованные в двух плоскостях, – «биплан»; *д* – плоские, изготавливаемые на керне в виде пластины

Тело накала *1* фиксируют в пространстве с помощью внутренних звеньев токовых вводов (электродов) *2* и держателей *3* (см. рис. 2.22). В зависимости от типа ламп вводы могут быть одно-, двух- и трехзвенными. Трехзвенные вводы состоят из внутреннего звена, изготовленного из никеля, ферроникеля, меди или платинита – в зависимости от вида ламп, среднего звена, впаиваемого в стекло (большой частью из платинита) *4* и внешнего звена (вывода) *5*, обычно медного или платинового.

Вводы и держатели являются частью так называемой ножки. Это стеклянный конструктивный узел лампы, который кроме вводов и держателей включает в себя стеклянный цельный или пустотелый штабик *6* с линзой *7*, стеклянный пустотелый штенгель *8* и стеклянную трубку-тарелку *9*, развернутую в нижней части (развертка *10*), соединенные в единую конструкцию расплавлением и заштамповкой стеклянных элементов в зоне лопатки *11*. Ножка служит опорой для тела накала лампы и вместе с колбой *12* обеспечивает герметизацию лампы.

Для обеспечения нормальной работы раскаленного вольфрамового тела накала необходимо изолировать его от кислорода воздуха. Для этого тело накала размещают либо в безвоздушной среде (такие лампы называются вакуумными), либо в среде так называемых инертных газов или их смесей, не реагирующих с материалом тела накала (газополные лампы).

Конструктивно эта задача решается следующим образом: ножку с телом накала помещают в стеклянную колбу *12*; горло колбы *13* герметично спаивают с разверткой тарелки; через штенгель и откачное отверстие *14* из пространства внутри колбы откачивают воздух (в случае газополной лампы затем вводят инертный газ); наконец запаивают штенгель, обеспечивая полную герметичную изоляцию внутреннего пространства лампы от окружающей среды. На рис. 2.24 показаны основные виды колб ЛН.

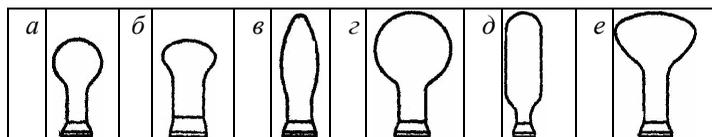


Рис. 2.24. Основные виды колб ламп накаливания:
а – каплеобразная (шар – конус); *б* – грибообразная; *в* – свечеобразная; *з* – шаровая;
д – цилиндрическая; *е* – параболическая

Для удобства эксплуатации на горле лампы 15 с помощью цоколевочной мастики укрепляют цоколь, к корпусу 16 и контактной пластине 17 которого припаивают или приваривают выводы электродов. В зависимости от назначения ламп применяют разные типы цоколей. Примеры конструктивного исполнения цоколей даны на рис. 2.25.

Приведенные на рис. 2.22 узлы и детали имеют все ЛН, но в некоторых типах ЛН отдельные узлы и детали упрощены или отсутствуют.

Конструирование ЛН разных типов состоит из решения одних и тех же задач: рассчитать и сконструировать тело накала; закрепить его в пространстве; выбрать оптимальный состав среды, окружающей тело накала; изолировать герметично тело накала и окружающую его среду от внешнего пространства; обеспечить удобное и безопасное присоединение лампы (тела накала) к электрической сети.

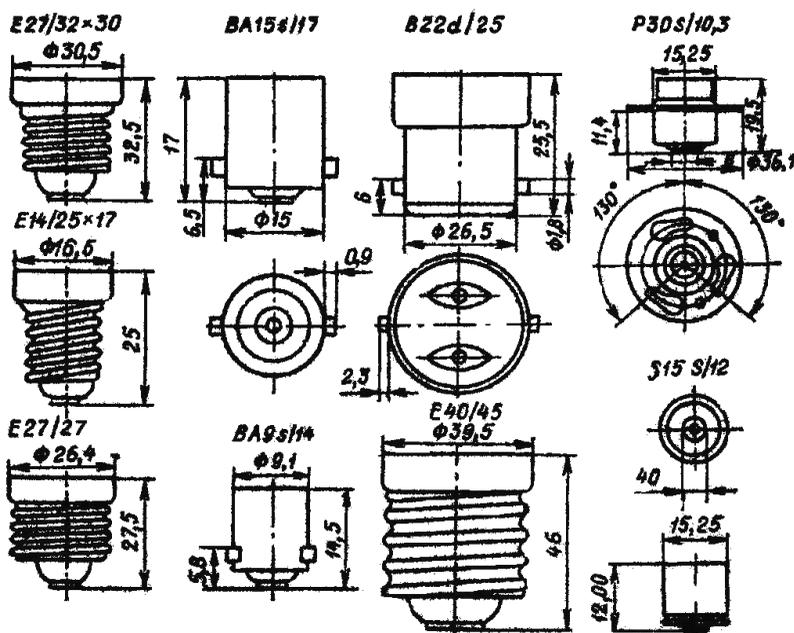


Рис. 2.25. Основные типы цоколей для ламп накаливания:

Е – резьбовой; ВА – штифтовой для автомобилей; В – штифтовой; Р – фокусирующий; S – цилиндрический

Классификация ЛН чаще всего производится по двум признакам: по назначению и по конструкции (технологии изготовления). Классификация ламп по назначению приведена в табл. 2.14.

Все ЛН разделяют обычно на лампы общего назначения (группы 1.1.1 и 1.1.2) и лампы специального назначения (группы 1.1.3–1.1.8). В основе классификации по конструкции лежит принцип группировки ламп, которые можно изготавливать на однотипном технологическом оборудовании. Это прежде всего определяется размером и формой колб, от которых зависят размер и конструкция ножек, тела накала, вводов, тип цоколя, а значит, и характер соответствующего технологического оборудования (табл. 2.15).

Таблица 2.14

Классификация искусственных тепловых излучателей

Класс	Подкласс	Группа	Характерные представители
1. Электрические излучатели	1.1. Электрические ЛН с вольфрамовыми телами накала, работающими в вакууме или инертном газе	1.1.1. Лампы общего назначения	Вакуумные, газополные и галогенные лампы общего освещения
		1.1.2. Лампы местного освещения	Лампы для освещения рабочих мест
		1.1.3. Транспортные лампы	Автомобильные, железнодорожные, судовые, самолетные лампы
		1.1.4. Лампы для сигнализации и индикации	Миниатюрные, сверхминиатюрные, коммутаторные, светофорные, маячные, специальные сигнальные, лампы в цилиндрических колбах на 127 и 220 В
		1.1.5. Лампы для оптических систем и приборов	Кинопроекторные, для оптических приборов, прожекторные, лампы-фары
		1.1.6. Метрологические лампы	Светоизмерительные лампы силы света и светового потока, пирометрические лампы, лампы с окнами-фильтрами, лампы-«черное тело»
		1.1.7. Лампы для технологических целей	ИК зеркальные лампы, галогенные лампы ИК излучения, лампы для фотографии
		1.1.8. Лампы для специальных светотехнических систем и установок	Рудничные, для подводного освещения, для эксплуатации при высоких температурах, давлениях и разрежениях
	1.2. Источники с открытыми металлическими и неметаллическими	1.2.1. Эталонные и образцовые излучатели	Технические модели черного тела, штифт Нернста, силитовый излучатель (глобар)
		1.2.2. Излучатели для технологических целей	Стеклянные и кварцевые излучатели с нихромовой спиралью, керамические излучатели, трубчатые электронагреватели (ТЭН); излучатели с открытыми металлическими телами накала

2. Тепловые излучатели, основанные на сжигании	2.1. Калильные источники	1.2.3. Дуговые лампы с угольными электродами	Простые угольные дуги
		2.1.1. Источники на жидком горючем	Керосино- и спиртокалильные лампы
		2.1.2. Источники на газообразном горючем	Газокалильные горелки
	2.2. Пламенные источники	2.2.1. Пламя твердых веществ	Горящие твердые вещества
		2.2.2. Пламя горючих жидкостей	Масляные и керосиновые лампы
		2.2.3. Пламя горючих газов	Горелки Бунзена, Меккера, Тесла с открытым пламенем, горелки с закрытым или частично экранированным пламенем
		2.3.1. Излучатели с внутренним сжиганием	Излучатели с диафрагмами: перфорированными, фракционными, пористыми
2.3.2. Излучатели с наружным сжиганием	Излучатели чашеобразные, макроканальные		

Таблица 2.15

Классификация ламп накаливания по конструктивно-технологическим признакам

Наименование класса ламп	Диаметр колбы d_k , мм	Диаметр лампы l , мм	Форма колбы и особенности конструкции
Крупногабаритные	> 80	> 175	Преимущественно шар-конус
Среднегабаритные	40–80	73–175	Шар-конус и грибообразная
Малогобаритные	25–40	30–75	Шар-конус или шарообразная
Миниатюрные	5–20	10–30	Шарообразная или цилиндрическая; ножка, как правило, бусиновая
Сверхминиатюрные	< 5	< 10	Безножечная конструкция
Цилиндрические	15–30	< 80	Цилиндрическая; преимущественно одноцокольные; тело накала развернуто вдоль оси лампы
Лампы-фары	100–200	–	Специальные формы, сваренные из штампованных стеклянных деталей, выполняющих роль отражателя и рассеивателя
Лампы-светильники	100–250	–	Специальные формы, выдувные, часть колбы выполняет функцию отражателя, купола-рассеивателя
Галогенные	5–15	15–500	Кварцевые трубчатые колбы

Маркировка ЛН содержит следующие элементы:

- первый элемент марки – от одной до четырех букв – характеризует лампу по важнейшим физическим и конструктивным особенностям (В – вакуумная моноспиральная, Г – газополная моноспиральная, Б – газополная биспиральная, К – криптоновая, МТ – с матированной колбой, МЛ – в колбе молочного цвета, ОП – с опалиновой колбой и т. п.); ряд ламп, особенно специальных, первого элемента в обозначении не имеет;

- второй элемент – буквенное выражение из одной-двух букв определяет назначение ламп (А – автомобильная, Ж – железнодорожная, КМ – коммутаторная, ПЖ – прожекторная, СМ – самолетная и т. д.);

- третий элемент – цифровое выражение – определяет номинальное напряжение в вольтах и через дефис (в зависимости от принятой маркировки данного вида ламп) – номинальную мощность в ваттах либо силу света в канделах, ток в амперах или световой поток в люменах; для двуспиральных ламп после номинального напряжения указываются параметры (например, мощности) первой и второй спиралей, соединенные знаком +;

- четвертый элемент – отделенная дефисом от третьего элемента цифра – указывает порядковый номер доработки; для ламп, разработанных впервые, четвертый элемент отсутствует.

Примеры маркировки ламп: БКМТ220-100-2 – лампа накаливания биспиральная (Б), криптоновая (К), в матированной колбе (МТ), напряжение 220 В, мощность 100 Вт, вторая доработка; А 12 = 21 + 6 – лампа накаливания автомобильная, напряжение 12 В, двуспиральная, сила света 21 и 6 кд.

Параметры ЛН имеют широкий диапазон номинальных значений. Например, ряд напряжений простирается от единиц до 380 В, ряд мощностей – от долей ватта до 10–20 кВт, световой поток – от долей люмена до сотен тысяч люменов, сила света – от долей канделы до десятков тысяч кандел, диаметр колбы – от 1–2 до 200 мм и более.

У ламп с зеркализированными колбами и встроенными экранами нормируются кривые силы света (рис 2.26), сила света в направлении оптической оси лампы, световой поток, излучаемый в нижнюю полусферу или какую-нибудь другую зону. У большинства зеркальных ламп КПД равен 0,75–0,80, а коэффициент усиления лежит в пределах от 3 (широкое светораспределение) до 20 (концентрированное светораспределение).

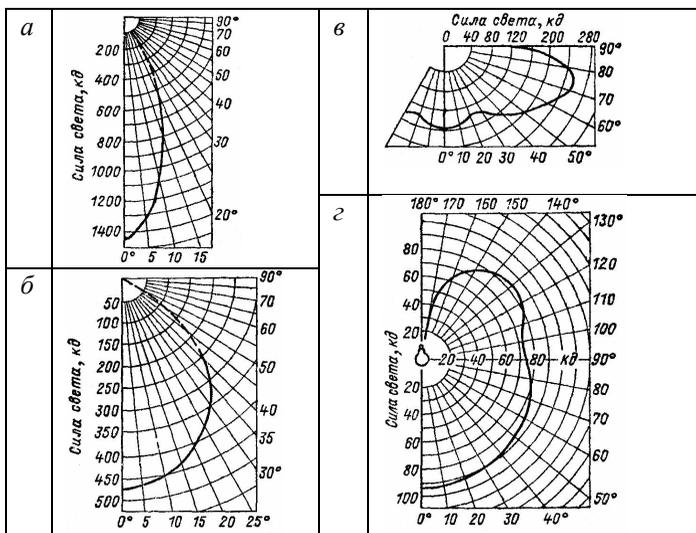


Рис. 2.26. Типовые продольные КСС зеркальных ЛН с условным потоком 1000 лм концентрированного (а), среднего (б) и широкого (в) светораспределения и ЛН в прозрачной колбе (з)

Яркость свечения ЛН существенно различна. Лампы для кинопроекторов, прожекторов, светосигнальных приборов имеют высокую яркость. Для них применяют прозрачную колбу и компактное тело накала, которому придают максимальную температуру. Для освещения жилых помещений часто применяются лампы в матированной или молочной колбе, снижающей яркость. У спиральной вакуумной лампы мощностью 40 Вт габаритная яркость при прозрачной колбе около $2000 \cdot 10^3$ кд/м², а при матированной – $20 \cdot 10^3$ кд/м².

Спектральные и цветовые параметры. Лампы накаливания имеют сплошной (непрерывный) спектр излучения.

Цветность излучения, температура $T_{\text{цв}}$ и цветопередача зависят от материала тела накала, его рабочей температуры, спектров поглощения и пропускания стенок колбы и наносимых на колбу декоративных и других покрытий, а также в некоторой мере от формы тела накала.

При освещении такими лампами усиливаются «теплые» цветовые тона (красные, оранжевые, коричневые) и ослабляются «холодные» (зеленые, голубые, фиолетовые), что не позволяет обеспечить высокое качество цветопередачи. Путем применения светофильтров и цветных колб, частично поглощающих оранжево-красное излучение, в

принципе можно повысить цветовую температуру ЛН до 3500–4000К, но световой поток при этом снизится на 30–35%.

Геометрические и конструктивные параметры (рис. 2.27) – это габаритные размеры (полная длина лампы l , диаметр колбы d_K); присоединительные размеры, определяемые выбранными цоколем и патроном; высота светового центра h ; форма и расположение тела накала; конструкция ножки; форма колбы; тип цоколя.

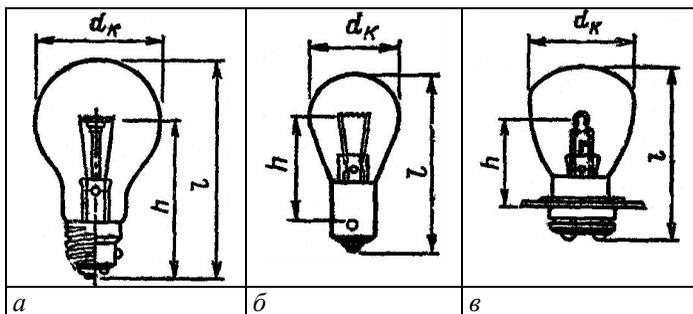


Рис. 2.27. Обозначение основных размеров ламп накаливания:
 а – общего назначения; б – автомобильных; в – автомобильных
 с фокусирующим цоколем

Механические и климатические параметры: вибростойкость и вибропрочность, ударопрочность; прочность крепления цоколя к колбе; стойкость к внешнему давлению и разрежению; стойкость к температуре окружающей среды; стойкость против воздействия влаги и химически агрессивных сред. Численные значения этих параметров указываются в стандартах и технических условиях на лампы.

Большинство ЛН эксплуатируется в нормальных климатических условиях: наружная температура $+ 25 \pm 10$ °С, атмосферное давление 950–1030 ГПа (720–788 мм рт. ст.), относительная влажность воздуха 65 ± 15 % при 25 °С.

Однако к ряду ламп (для тропического климата, для самолетов и судов, для глубоководного погружения, герметизированных арматур, животноводческих помещений и др.) предъявляются особые климатические требования, которые фиксируются в стандартах и технических условиях.

Параметры долговечности, надежности и стабильности ЛН:

– полный срок службы $\tau_{\text{полн}}$ – суммарное время горения лампы в часах от момента включения до момента прекращения функционирования;

– средний или номинальный срок службы τ – среднеарифметическое из полных сроков службы всех ламп, входящих в партию. Для текущего контроля за средний срок службы можно принимать отрезок времени, в течение которого вышло из строя 50 % ламп из партии, поставленной на испытания;

– гарантированный срок службы τ_r – суммарное время горения любой ЛН, выпущенной предприятием, например для ЛН общего назначения $\tau_r = 700$ ч при среднем сроке службы $\tau = 1000$ ч;

– полезный срок службы τ_n – экономически и технически целесообразное суммарное время горения ЛН или совокупности ламп;

– реальный срок службы τ_p – средняя продолжительность горения ламп в реальных условиях эксплуатации;

– наработка на отказ – суммарное время горения до отказа, т.е. до снижения светового потока ниже установленного уровня или до нуля вследствие перегорания тела накала или незажигания лампы;

– вероятность безотказной работы;

– коэффициент стабильности светового потока ν – число, на которое нужно умножить номинальное значение светового потока, чтобы получить его среднее значение за срок службы ($\nu = \Phi_{cp}/\Phi$). Этот показатель у ЛН довольно высок: для вакуумных ламп общего назначения он равен 0,87–0,90, а для газополных 0,91–0,95.

Экономичность ЛН характеризуется световой отдачей η_v , лм/Вт, т.е. отношением светового потока, излучаемого лампой, к ее электрической мощности:

$$\eta_v = \frac{\Phi}{P}.$$

Относительно невысокая световая отдача ЛН объясняется их физической природой; световой КПД вакуумных ламп равен 1,5 %, а газополных 2–4%.

Типы, области применения и характеристики основных групп ламп накаливания приведены в табл. 2.16.

Лампы общего назначения (рис. 2.28) – вакуумные (В), биспиральные аргоновые (Б), биспиральные криптоновые (БК), газополные моноспиральные (Г) (ГОСТ 2239–79) – предназначены для освещения помещений и открытых пространств, рассчитаны на напряжения 127 и 220 В (см. табл. 2.16). Срок службы ламп 1000 ч. Учитывая нестабильность напряжения в сетях, ГОСТ 2239–79 предусматривает выпуск ЛН на расчетные напряжения 130, 220, 225, 235 и 240 В (на лампе указывают диапазон напряжений: 125–135, 215–225, 220–230, 230–240 и 235–245 В). Расчетное напряжение 240 В

применяется только для ЛН мощностью 60, 100, 150 Вт. Лампы на 230–240 и 235–245 В предназначены для использования там, где в сетях наблюдается повышенное напряжение. При расчетном напряжении средняя продолжительность горения ЛН должна быть не менее 1000 ч, а продолжительность горения каждой лампы – не менее 700 ч. У ЛН в матированных колбах световой поток на 3%, в опаловых – на 10% и в молочных – на 20 % ниже, чем у ламп в прозрачной колбе.

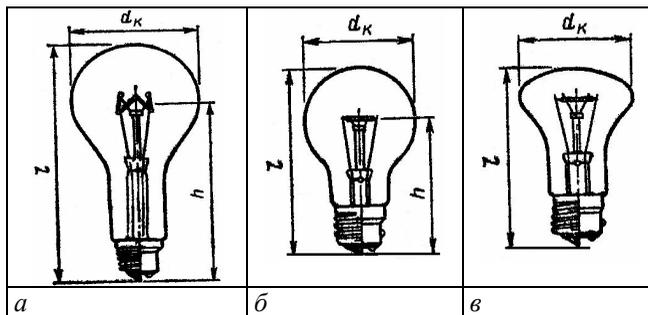


Рис. 2.28. Лампы накаливания общего назначения:
a – моноспиральная с аргоновым наполнением; *б* – вакуумная или биспиральная с аргоновым наполнением; *в* – биспиральная с криптоновым наполнением

Таблица 2.16

Типы, области применения и характеристики основных групп ламп накаливания

Наименование ламп	Обозначение типов ламп	Область применения	Напряжение, В	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Срок службы, ч	Размеры, мм	
							d_k	l
Общего назначения ГОСТ 2239–79	В, Б, БК, Г	Помещения и открытые пространства	125– 245	15–1000	85–19500	1000	61–151	90–345
Местного освещения ГОСТ 1182–77	МО, МОЗ, МОД	Рабочие места	12, 24, 36	15–100	200–1740	1000	61–81	108– 129
Транспортные:								
автомобильные ГОСТ 2023–75	А, АС, АМН	Автомобили	6, 12, 24	0,8–80	1–60	100– 1500	6,4–41	20–82
железнодорожные ГОСТ 1181–74	Ж, ЖТ, ЖСК, ЖМТ	Подвижной состав железных	24– 220	10–100	75–1050	400– 1000	28–66	70–108

		дорог						
самолетные	СМ	Самолеты	2,5–115	0,15–70	0,3–315	30–1000	4,3–48	11,5–72
Зеркальные лампы-светильники:								
концентрированные	ЗК	Местное освещение	127, 220	40–1000	530–23980	1000–1500	91–210	136–267
среднего светораспределения	ЗС		127, 220, 240	40–100	210–690	1100, 1650	73, 87	122, 128
широкого светораспределения	ЗШ		220	300–1000	1100–4950	1250	134, 162	250, 300
С диффузным отражающим слоем со стороны цоколя:								
аргоновые	ДБ, ДГ		127	40–200	390–2860	1000	71–96	105–165
криптоновые	ДБК		220	40–300	340–3700		71–106 51, 56	105–195 96–101
			220	60–100	650, 1190			
Специальные лампы:								
рудничные	Р	Головные, ручные и сигнальные шахтные светильники	2,4–130	До 60	16,5–675	50–1300	16–66	37–133
подводные	РН, СЦ, РЛ, РЛЗС	Подводное освещение	12, 110, 220	150–2000	1950–50000	100–500	56–132	115–300

Кроме перечисленных выпускается значительное количество других типов ЛН, которые можно отнести к тем или другим группам: декоративные (Д) в свечеобразных и фигурных колбах разных цветов; для швейных машин (ПШ) и бытовых холодильников; медицинские синие (МДС) для физиотерапевтических целей; более 50 типов ламп разного назначения (РН); для елочных электрогирлянд и др.

Лампы всех групп и типов должны удовлетворять требованиям ГОСТ 19190–73 «Лампы накаливания электрические. Общие технические условия».

Галогенные лампы накаливания. Принцип действия ГЛН заключается в образовании на стенке колбы летучих соединений – галогенидов вольфрама, которые испаряются со стенки, разлагаются на теле накала и возвращают ему, таким образом, испарившиеся атомы вольфрама.

Галогенные ЛН по сравнению с обычными лампами имеют более стабильный по времени световой поток и, следовательно, повышенный полезный срок службы, а также значительно меньшие размеры, более высокие термостойкость и механическую прочность благодаря

применению кварцевой колбы. Малые размеры и прочная оболочка позволяют наполнять лампы до высоких давлений дорогостоящим ксеноном и получать на этой основе более высокую яркость и повышенную световую отдачу (либо увеличенный физический срок службы).

Галогенная добавка в ЛН с вольфрамовым телом накала вызывает замкнутый химический цикл. Пример такого цикла показан схематично на рис. 2.29 на примере йода. При 300–1200 °С пары йода соединяются на стенке колбы с частицами вольфрама, образуя йодистый вольфрам WI_2 , который испаряется при температуре выше 250–300 °С. Вблизи тела накала при 1400–1600 °С молекулы WI_2 распадаются и атомы вольфрама оседают на теле накала и других деталях, имеющих температуру выше 1600 °С. Освободившиеся атомы йода диффундируют в объеме лампы и соединяются на стенках колбы с вольфрамом, вновь образуя WI_2 . Для йодно-вольфрамового цикла требуются следующие условия:

- 1) температура внутренней стенки колбы повсюду должна быть не ниже 250 и не выше 1200 °С; наиболее предпочтительна температура 500–600 °С, поэтому колбу изготавливают из кварца и придают ей необходимую форму для обеспечения лучшей равномерности температуры;

- 2) минимальная температура тела накала должна быть выше 1600 °С;

- 3) йод не должен образовывать на стенке лампы какие-либо другие химические соединения, кроме WI_2 , поэтому в галогенной лампе недопустимо применение никеля и молибдена, алюминиевого, циркониевого и фосфорного газопоглотителей, с которыми йод активно взаимодействует;

- 4) количество йода дозировано; избыток йода для компенсации потерь не допускается, так как пары йода заметно поглощают видимое излучение, особенно в области 500–520 нм.

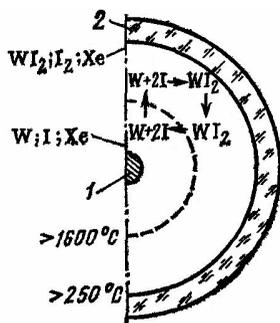


Рис. 2.29. Упрощенная схема действия йодно-вольфрамового возвратного цикла:
 1 – тело накала; 2 – стенка колбы

Йодно-вольфрамовый цикл препятствует осаждению вольфрама на колбе, но не обеспечивает возвращения его частиц в дефектные участки тела накала. Поэтому механизм перегорания тела накала в йодных лампах остается таким же, как и в обычных ЛН.

Применение йода в ГЛН выявило его некоторые недостатки: агрессивность по отношению к металлическим деталям, трудность дозировки, некоторое поглощение излучения в желто-зеленой области. Другие галогены (бром, хлор, фтор), будучи более агрессивными, в чистом виде не могли его заменить. В настоящее время чаще всего в ГЛН применяют химические соединения галогенов CH_3Br (бромистый метил) и CH_2Br_2 (бромистый метилен). Чистый бром выделяется в зонах с температурой выше 1500°C . Для ГЛН с большим сроком службы применяют CH_3Br , полагая, что таким путем вводится некоторый избыток водорода, компенсирующий его утечку через горячую кварцевую колбу. Продолжается работа над подбором новых летучих химических соединений галогенов.

Исследования показывают, что механизм возвратного цикла значительно сложнее, чем представлялось на ранней стадии работы над ГЛН. Установлено, что йодно-вольфрамовый цикл не происходит в лампе, абсолютно свободной от кислорода. Однако введение в ГЛН кислорода, как и в обычных лампах, способствует появлению известного, весьма вредного для ламп «водяного цикла». Длинные линейные ГЛН имеют недостатки: их невозможно долго эксплуатировать в наклонном или вертикальном положении, так как при этом галогенные добавки и инертный газ в основном из-за разности их молекулярных масс разделяются друг от друга и регенеративный цикл прекращается. Из-за высокой стоимости кварца и недостаточной технологичности ГЛН они пока еще дороги.

Устройство ГЛН показано на рис. 2.30. Колба лампы – длинная узкая кварцевая трубка 1; тело накала – прямолинейная вольфрамовая спираль 2, закрепленная на вольфрамовых держателях 3 по оси колбы. Расположенные по обоим концам трубки вольфрамовые вводы 4 соединены с выводами 5 впаянной в кварц молибденовой фольгой 6. Место отпая штенгеля 7 расположено на боковой стенке колбы. Диаметр трубки-колбы и расположение тела накала в ней выбираются так, чтобы при горении ГЛН температура стенки была равна 500–600 °С, не менее 250 и не более 1000 °С.

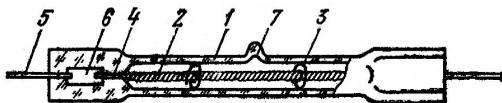


Рис. 2.30. Трубочатая лампа накаливания с йодно-вольфрамовым циклом

Тело накала ГЛН изготавливается из специальных марок вольфрамовой проволоки, преимущественно в виде спирали, которой в лампе с помощью электродов и держателей придается необходимая форма.

Основные типы ГЛН. Галогенные лампы применяются для светильников общего освещения и прожекторов; инфракрасного облучения; кинофотосъемочного и телевизионного освещения; автомобильных фар; аэродромных огней; оптических приборов; специальных применений. По конструктивным признакам ГЛН делятся на две группы: с длинным спиральным телом накала при соотношении длины ГЛН к диаметру более 10 мм – линейные или трубчатые лампы; с компактным телом накала при отношении длины ГЛН к диаметру менее 8 мм – эти ГЛН подразделяются в свою очередь на мощные и малогабаритные, в которых электроды размещены обычно с одной стороны.

В Российской Федерации приняты следующие обозначения ГЛН: первая буква – материал колбы (К – кварцевая); вторая буква – вид галогенной добавки (И – йод, Г – галоген); третья буква – область применения (О – облучательная) или конструктивная особенность (М – малогабаритная); первая группа цифр – напряжение, В; вторая группа цифр – мощность, Вт; сила света, кд; ток, А, или световой поток, лм, в зависимости от принятой маркировки для ламп соответствующего типа; последняя цифра – порядковый номер разработки после первой.

В табл. 2.17 приведены в качестве примера параметры, а на рис. 2.31 – конструкции разных групп ГЛН.

Таблица 2.17

Основные параметры отдельных групп ГЛН

Тип лампы	Номинальные значения				Размеры тела накала, мм	Цоколь
	Ф, клм	τ, ч	d_n , мм	l , мм		
Для общего освещения						
КГ220-1000-5	22	2000	10,7	189	сп.- 1,3×116	R7s или плоский металлический
КГ220-1500	33	2000	10,7	254	сп.- 1,3×186	
КГ220-2000-4	44	2000	10,7	335	сп.- 1,3×260	
КГ220-5000-1	110	3000	20,0	520	сп.- 3,0×275	R27s/96
КГ220-10000-1	220	3000	26,0	675	сп.- 4,3×375	
КГ220-20000-1	440	2000	36,0	890	сп.- 6,6×570	
Для студийного освещения						
КГ220-500	13,5	150	11,0	132	сп.- 0,83×77	Плоский металлический
КГ220-1000-4	26	420	11,0	180	сп.- 1,16×110	R7s
КГ220-2000-3	54	450	11,0	236	сп.- 1,6×160	R27s/96
КГ220-5000	125	2000	20,0	520	сп.- 2,83×237	
КГ220-10000	260	2000	27,0	675	сп.- 4,16×320	
Для термокопировальных и электрографических аппаратов						
КГТ220-400	6,4	500	8,0	280	сп.- 0,63×224	R7s
КГТ220-1300-1	–	3000	11,0	308	сп.- 1,3×240	Плоский металлический
КГД220-1800	–	2000	10,7	400	сп.- 1,28×350	R27s/12
КГД220-1200	27,6	200	8,5	354	сп.- 1,2×309	R7s

Лампы для светильников общего освещения и прожекторов выпускаются преимущественно на 220 В мощностью от 1 до 20 кВт; световая отдача 22–26 лм/Вт; срок службы 2000 ч; лампы трубчатые; положение горения горизонтальное.

Малогабаритные лампы разного назначения выпускаются на напряжения до 30 В (преимущественно 6, 12, 24 В) мощностью 15–650 Вт; лампы имеют компактную форму тела накала. Поскольку от большинства этих ламп требуется высокая яркость, они выпускаются с температурой тела накала 3000–3200 К и имеют срок службы несколько десятков или сотен часов; положение горения любое.

Лампы для инфракрасного облучения выпускаются на напряжения 127, 220 и 380 В мощностью от 0,5 до 5 кВт; срок службы повышенный (2500–5000 ч), так как тела накала этих ламп работают

при низких температурах 2400–2700 К; лампы трубчатые; положение горения горизонтальное.

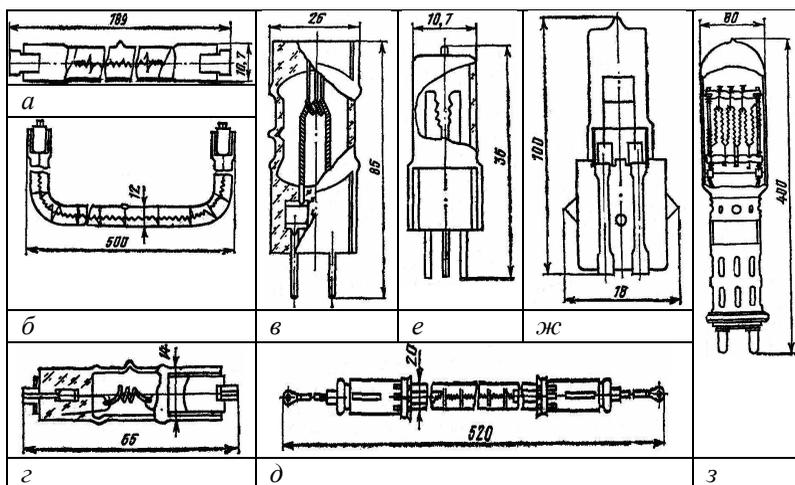


Рис. 2.31. Разные группы ГЛН (масштабы разные):
а – КГ220-1000-5; *б* – КГТО220-2500; *в* – КГМ27-400; *г* – КГМ30-300; *д* – КГ220-5000;
е – КГМ6-25+26; *ж* – КГСМ27-200; *з* – КГК220-10000

2.9.2. Классификация люминесцентных ламп

В основу классификации в зависимости от ее назначения может быть положен практически любой из параметров люминесцентных ламп (ЛЛ). Для осветительных люминесцентных ламп общего назначения наиболее распространена классификация по мощности и цвету (спектральному составу) излучения. Этим, по существу, определяются остальные параметры, поскольку почти все они стандартизованы (ГОСТ 6825–91).

Лампы рассчитаны на работу в стандартных сетях переменного тока частотой 50 Гц, напряжением 127 и 220 В без трансформации напряжения.

К люминесцентным лампам общего назначения относят лампы мощностью от 15 до 80 Вт с цветовыми и спектральными характеристиками, имитирующими естественный свет различных оттенков. Они работают при температуре окружающей среды от 18 до 25 °С. Все остальные типы люминесцентных ламп обычно относятся к категории специальных, хотя многие из них широко используются в

целях освещения. В основу классификации специальных люминесцентных ламп кладутся самые разные параметры. Так, по мощности их подразделяют на маломощные (меньше 15 Вт) и мощные (больше 80 Вт) (100–150 Вт), по типу разряда – на дуговые, тлеющего разряда и тлеющего свечения, по излучению – на лампы, имитирующие естественный свет, лампы с улучшенным качеством цветопередачи, на цветные лампы, лампы со специальными спектрами излучения и лампы УФ-излучения, по форме колбы – на трубчатые – прямые, фигурные (U или W-образные, кольцевые, изогнутые), миниатюрные и т.д. В отдельные группы следует выделить люминесцентные лампы с направленным светораспределением (т.е. лампы-светильники, к которым относятся рефлекторные, щелевые, панельные и тому подобные лампы), безртутные нетоксичные люминесцентные лампы, амальгамные люминесцентные лампы и др.

Маркировка ЛЛ основана на буквенном обозначении конструктивных признаков: *первая* буква Л – люминесцентная; *следующие* обозначают либо цвет излучения, либо особенности спектра излучения: ТБ – тепло-белый; Б – белый; ХБ – холодно-белый; Д – дневной; Е – естественно-белый; УФ – ультрафиолетовый; К, С, З, Г – красный, синий, зеленый, голубой; Ф – фотосинтетическая; Ц – повышенное качество цветопередачи; *далее* обозначают особенности конструкции лампы: Р – рефлекторная; У – U-образная; К – кольцевая; Б – быстрого пуска; А – амальгамная. Цифры, стоящие после букв, обозначают мощность лампы в ваттах. Сигнальные ЛЛ тлеющего разряда имеют маркировку, начинающуюся с букв ТЛ; трубки, применяемые в световой рекламе, – ГР-20.

1. Лампы дневного света (ЛД) имеют голубоватый цвет свечения, по спектральной характеристике излучения они близки к рассеянному дневному свету, отличаясь от последнего преобладанием энергии в сине-фиолетовой и желто-зеленой частях спектра и меньшей интенсивностью в красной части. Цветовая температура их равна 6500 К.

Цветовая температура – температура абсолютно черного тела, при которой спектр излучаемого им светового потока имеет близкое значение к спектру светового потока источника света.

2. Лампы дневного света с улучшенной цветопередачей (ЛДЦ) по спектральному составу излучения более близки к естественному свету.

3. Люминесцентные лампы типа ЛЕ наиболее близки к спектру естественного солнечного света.

4. Лампы белого света (ЛБ) дают излучение с меньшим содержанием сине-фиолетовых лучей, чем лампы дневного света; цвет

свечения этих ламп имеет слегка желтоватый оттенок, их цветовая температура равна 3500 К.

5. Лампы холодно-белого света (ЛХБ) по спектру излучения занимают промежуточное положение между лампами ЛБ и ЛД, их цветовая температура равна 4800 К.

6. Лампы тепло-белого света (ЛТБ) по спектру излучения характеризуются цветовой температурой около 2850 К, дают свет своеобразного розовато-белого оттенка.

Выпускаются **цветные люминесцентные лампы** мощностью 40 Вт, световой поток которых имеет преимущественно красный (ЛК), зеленый (ЛЗ), желтый (ЛЖ), голубой (ЛГ), розовый (ЛР) цвет; они имеют те же размеры, что и обычные лампы. Цветные люминесцентные лампы применяют для декоративного рекламного и тому подобного освещения. Путем подбора соответствующих люминофоров и их смесей можно получать лампы самых различных цветов и цветовых оттенков.

Начат выпуск **амальгамных ламп**, в которых чистая ртуть заменена амальгамой. *Амальгама* – сплав, металлическая система, в состав которой в качестве одного из компонентов входит ртуть. Наличие в люминесцентных лампах ртути представляет существенный недостаток этих ламп, и при утилизации отходов после выхода ламп из строя. Амальгамные лампы имеют преимущество в работе при повышенной температуре окружающей среды (например, в горячих цехах, в закрытых светильниках, в странах с жарким климатом, в лампах с повышенной нагрузкой).

Параметры амальгамных люминесцентных ламп почти не отличаются от параметров аналогичных ртутных ламп, но оптимум их светоотдачи сдвинут в сторону более высоких температур. К достоинству этих ламп можно отнести и то, что при разбивании лампы амальгама не разбрызгивается на мелкие капли подобно ртути. Недостатком амальгамных ламп является заметно большее время разгорания. В целях сокращения времени разгорания часть амальгамы иногда помещают вблизи катода, например на лопаточке, с тем, чтобы ускорить ее нагрев.

Ультрафиолетовые люминесцентные лампы. По области спектра эти лампы делятся на два типа: эритемные и УФО (УФ-облучения). *Эритемные* дают излучение в области эритемного ультрафиолета (300–310 нм), они используются преимущественно в медицине в качестве источников ультрафиолетового излучения; при облучении вызывают на коже человеческого тела загар (эритему), подобный солнечному; применяются в фотариях и как

дополнительный источник ультрафиолета в установках общего освещения в районах Крайнего Севера. Наша промышленность выпускает лампы мощностью 15, 30 Вт в обычном исполнении и 30 и 40 Вт в рефлекторном. Срок службы ламп в обычном исполнении составляет 5000 ч, в рефлекторном – 3000 ч.

Лампы УФО дают излучение в области 350–370 нм и используются преимущественно для возбуждения различных светосоставов.

Колба лампы имеет форму, изображенную на рис. 2.32, с наибольшим диаметром 38 мм; на ее внутреннюю поверхность нанесен слой люминофора. Катод лампы представляет собой вольфрамовую триспираль или биспираль, покрытую слоем оксида. Анод имеет форму кольца. Один конец катода и анода соединены биметаллической пластинкой. Лампа наполнена аргоном при давлении в несколько сот паскалей и небольшим количеством ртути.

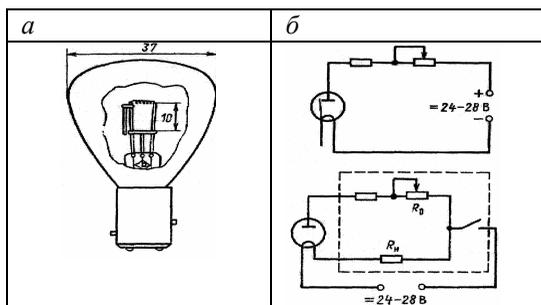


Рис. 2.32. Низковольтная люминесцентная лампа типа ЛУФ-4-1:
а – общий вид (с разрезом); б – схемы включения

Лампы имеют следующие световые и электрические параметры: сила тока 0,35 А, напряжение на лампе 10–15 В, световой поток 7–10 лм, продолжительность горения 100 ч.

Лампы с направленным светораспределением. К ним относят рефлекторные, щелевые и панельные лампы. В этих лампах часть внутренней поверхности колбы покрывается белым порошкообразным слоем с высоким коэффициентом отражения, который выполняет роль внутреннего диффузного отражателя. Поверх него наносится слой люминофора. В рефлекторных лампах слой люминофора покрывает всю поверхность трубки. В щелевых лампах оставляется продольная полоса стекла, не покрытая ни отражающим слоем, ни люминофором.

Плоские, или панельные, лампы представляют собой плоский стеклянный корпус, внутри которого формируется зигзагообразный канал для разряда. Стенки канала частично покрыты диффузно

отражающим слоем с высоким коэффициентом отражения; поверх нанесен слой люминофора. В качестве отражающего слоя применяют обычно TiO_2 .

На рис. 2.33 схематически показаны в разрезе такие лампы-светильники и их кривые силы света.

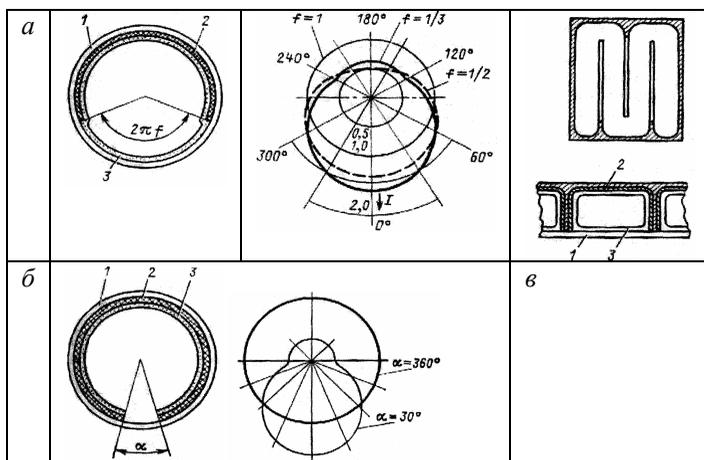


Рис. 2.33. Схематический вид люминесцентной лампы с внутренним отражающим слоем (разрез) и кривые их светораспределения:
а – рефлекторная люминесцентная лампа; *б* – щелевая люминесцентная лампа;
в – люминесцентная лампа; 1 – стекло; 2 – диффузно отражающий слой;
 3 – слой люминофора

Применение рефлекторных ламп особенно эффективно в пыльных помещениях. Осветительные установки со стандартными люминесцентными лампами в таких помещениях из-за оседания слоя пыли на верхней части ламп со временем могут терять от $\frac{1}{4}$ до $\frac{1}{2}$ светового потока.

Доля светового потока щелевой люминесцентной лампы, выходящего через щель, растет с ростом угла раскрытия и коэффициентом отражения отражающего слоя. В щелевых люминесцентных лампах удастся получить значительное увеличение яркости и силы света в направлении открытой щели-полосы по сравнению со стандартными лампами, но при этом имеют место значительные потери в световом потоке. Для уменьшения этих потерь делают более толстый слой люминофора, так как в этом случае несколько повышается яркость на отражении. В щелевых лампах

обычное ламповое стекло под действием УФ-излучения со временем соляризуется и темнеет, в результате чего относительный выход видимого излучения падает быстрее, чем в стандартных люминесцентных лампах. В этих лампах приходится применять специальное более стойкое к облучению стекло или наносить на него защитные слои.

Фигурные люминесцентные лампы. На рис. 2.34 показаны наиболее употребительные формы фигурных ламп с самокалящимися катодами: секционно-кольцевые, представляющие собой часть окружности, кольцевые, U- и W-образные. Появившиеся в 80-х гг. XX в. компактные люминесцентные лампы (КЛЛ) по форме сложно изогнутых разрядных трубок тоже могут быть отнесены к фигурным лампам, так же, как и панельные лампы.

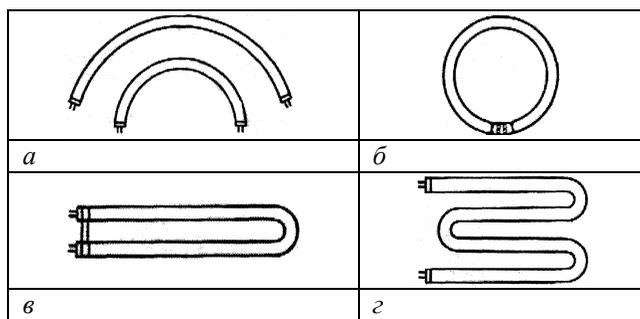


Рис. 2.34. Общий вид фигурных люминесцентных ламп:
 а – секционно-кольцевые; б – кольцевая; в – U-образная; г – W-образная

Колбы изогнутых ламп делаются из стеклянных трубок с большой толщиной стенки, так как во время изгибания происходит утоньшение. У кольцеобразных ламп диаметр трубок уменьшен до 30 мм, и трубки изготавливаются из свинцового стекла, имеющего более широкий интервал температур, в котором можно вести изгибание.

Световые отдачи фигурных люминесцентных ламп при одинаковой мощности несколько ниже, чем у стандартных ламп, и сроки службы меньше.

В Российской Федерации выпускают кольцевые лампы (ЛБК) трех мощностей: 22, 32 и 40 Вт с внешними диаметрами соответственно 216, 311 и 412 мм, так что все три лампы могут быть размещены одна в другой в одном светильнике. Световые потоки соответственно равны 850, 1500 и 2200 лм; срок службы составляет 7500 ч.

Безртутные нетоксичные люминесцентные лампы. Основными преимуществами этих ламп является отсутствие в них токсичной ртути и независимость параметров от температуры окружающей среды. Наиболее разработанной и удачной по своим параметрам является люминесцентная лампа, наполненная неоном при $P_{Ne} \approx 133$ Па, с люминофорным слоем из оксида иттрия, активированного европием. Подобные лампы дают красное излучение со светоотдачей 23–25 лм/Вт. Лампы работают от сети 220 В с частотой тока 50 Гц.

Достоинством люминесцентных ламп является их высокая экономичность. Световая отдача выпускаемых в России образцов в зависимости от мощности и спектрального состава излучения составляет от 30 до 80 лм/Вт, что превышает световую отдачу ламп накаливания

в 3–4 раза. Срок службы люминесцентных ламп доходит до 15 000 ч (у ламп накаливания – 1000 ч). На продолжительность горения ламп оказывают влияние условия эксплуатации (частые включения, работа при ненормальном напряжении сети, работа при низких и высоких температурах окружающей среды).

Люминесцентные лампы обладают многими гигиеническими преимуществами перед лампами накаливания. Большая поверхность ламп дает возможность создания равномерного распределения освещенности в поле зрения работающих, а отсутствие значительных тепловых излучений позволяет устанавливать их близко к работающим. Важное гигиеническое значение имеет спектр излучения, близкий к спектру естественного дневного света (у ламп ЛЕ и ЛДЦ), благодаря чему цветопередача при люминесцентном освещении практически не отличается от цветопередачи при естественном дневном. Применяя люминесцентные лампы, можно создать благоприятные условия освещения для органа зрения, а также для организма человека в целом. Люминесцентное освещение способствует снижению утомления зрения, улучшению функционального состояния центральной нервной системы, повышению производительности труда и улучшению качества выпускаемой продукции. Преимущества люминесцентных ламп перед лампами накаливания сказываются при уровнях освещенности выше 75–100 лк.

Люминесцентные лампы следует применять при выполнении работ, связанных с необходимостью различения цвета (предприятия полиграфические, цветной печати, швейной, текстильной, меховой промышленности и т.п.), при исполнении точных работ, требующих значительного напряжения зрения и внимания (конструкторские бюро,

сборочные цехи, корректорские, гравировочные и т.п.), в помещениях с недостаточным естественным светом или лишенных естественного освещения (бесфонарные здания, цехи, расположенные в полуподвальных помещениях и др.), в производственных помещениях, где работают дети и подростки, в учебных классах, в лечебных учреждениях и т.п. Особо важное значение эти лампы приобретают в условиях Севера.

Наиболее характерной областью применения люминесцентных ламп дневного света (ЛЕ и ЛДЦ) являются работы, требующие правильной цветопередачи. Во всех остальных случаях наиболее целесообразным является применение люминесцентных ламп белого света (ЛБ) как наиболее экономичных и дающих более теплый свет. Лампы ЛТБ, излучающие розовый свет, можно применять в помещениях для отдыха.

2.9.2.1. Люминесцентные лампы низкого давления

Устройство и принцип действия. Люминесцентные лампы (ртутные НД) представляют собой цилиндрическую стеклянную трубку, внутренняя поверхность которой покрыта тонким равномерным слоем люминофора. По обоим концам трубки впаяны ножки с электродами. При включении лампы электрический ток, протекающий между электродами, вызывает в парах ртути электрический разряд, сопровождающийся излучением (электролюминесценцией). Это излучение, воздействуя на люминофор, преобразуется в видимое излучение (фотолюминесценцию). В лампах дугового разряда применяются самоклеящиеся катоды, которые представляют собой вольфрамовые биспирали или триспирали, покрытые слоем оксида. У некоторых типов электродов наряду с активированной биспиралью имеются экраны той или иной конструкции. В лампах тлеющего разряда используются холодные катоды. На рис. 2.35 схематически изображены основные типы современных люминесцентных ламп.

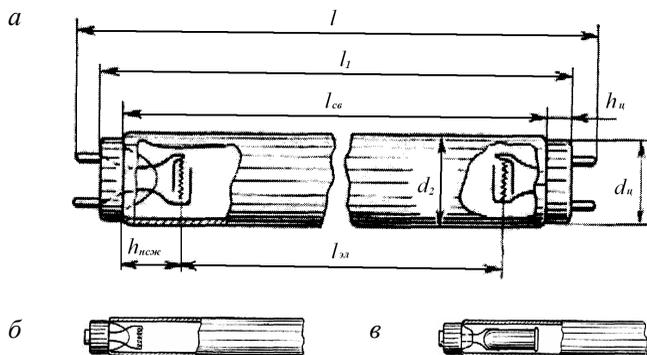


Рис. 2.35. Общий вид основных типов ртутных люминесцентных ламп низкого давления:

а – лампа дугового разряда стартерного зажигания; *б* – лампа дугового разряда мгновенного зажигания; *в* – лампа тлеющего разряда

После тщательной откачки и обезгаживания лампа наполняется небольшим количеством ртути и инертным газом до давления в несколько сот паскалей. В обычных люминесцентных лампах в качестве инертного газа используется аргон при давлении около 300 Па. В последнее время разработаны люминесцентные лампы, в которых для наполнения использованы смеси инертных газов. Основное назначение инертного газа состоит в уменьшении распыления электродов при работе лампы и облегчении зажигания разряда. Помимо того, инертный газ оказывает существенное влияние также на механизм излучения разряда и явления у катода.

Лампы включают в сеть при помощи специальных схем, обеспечивающих надежное зажигание разряда и нормальный режим работы.

2.9.2.2. Ртутные лампы высокого и сверхвысокого давления

Лампы типа ДРЛ (дуговые, ртутные, люминофорные), благодаря высокой отдаче (45–60 лм/Вт), большому сроку службы (15–20 тыс. ч), удовлетворительной цветопередаче ($R_a \approx 42\%$), приспособленности для работы в стандартных электрических сетях напряжением 220 В и возможности производства ламп мощностью от 50 Вт до 2 кВт, получили широкое применение для промышленного и наружного освещения.

Лампы представляют собой ртутно-кварцевую горелку трубчатой формы, смонтированную внутри колбы из тугоплавкого стекла эллипсоидной формы, внутренняя поверхность которой покрыта

тонким слоем люминофора, который, поглощая УФ-излучение ртутного разряда, превращает его в видимое излучение в красной части спектра. Основную часть светового потока в лампах ДРЛ по-прежнему составляет излучение ртутного разряда, к которому добавляется излучение люминофора. На рис. 2.36 приведен схематический вид лампы подобного типа.

В настоящее время в качестве люминофора в лампах ДРЛ наиболее широко применяют фосфатванодат иттрия, активированный европием в сочетании с фосфатными люминофорами.

Лампы выпускаются нестандартные мощностью 80, 125, 250, 400, 700 и 1000 Вт для работы в сетях переменного тока напряжением 220 В.

Лампами ДРЛ можно пользоваться при температуре окружающей среды от -30 до $+60^{\circ}\text{C}$.

По сравнению с лампами накаливания лампы ДРЛ обладают рядом существенных преимуществ, основным из которых является высокая световая отдача. Так, например, световая отдача ламп ДРЛ мощностью 700 Вт составляет 44,0 лм/Вт. От люминесцентных ламп ДРЛ отличаются значительно большей мощностью и меньшими размерами, что дает возможность создавать высокие освещенности при относительно небольшом числе ламп.

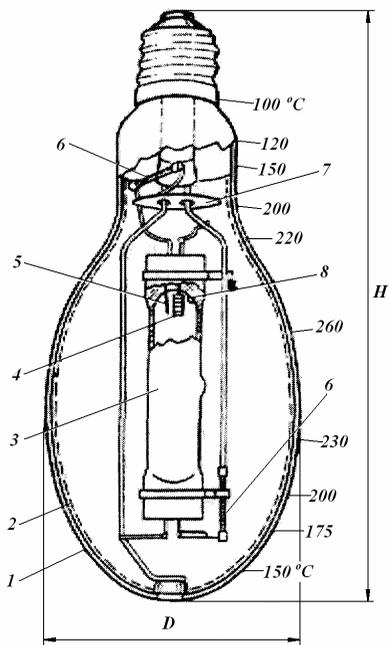


Рис. 2.36. Общий вид ламп типа ДРЛ:

1 – внешняя стеклянная колба; 2 – слой люминофора; 3 – разрядная трубка из кварцевого стекла; 4 – рабочий электрод; 5 – зажигающий электрод; 6 – ограничительные резисторы в цепи зажигающего электрода; 7 – экран; 8 – ртуть. Цифры справа на колбе – температуры колбы ламп ДРЛ 400

Существенное преимущество ламп ДРЛ перед другими источниками света отмечено при высоте помещения более 12–14 м, при высоте ниже 6 м их применение нецелесообразно.

По спектральному составу излучения лампы ДРЛ значительно отличаются от люминесцентных и ламп накаливания. При освещении лампами ДРЛ усиливается интенсивность зеленых и голубых тонов, а также резко искажается цветопередача ряда других тонов. В связи с этим лампы ДРЛ можно применять только в таких производственных помещениях, в которых выполняемая работа не требует правильной цветопередачи и не связана с различием цветов, например, в высоких цехах машиностроительной, металлургической промышленности, судостроения и тому подобное, а также для наружного освещения.

Существенным недостатком лампы является большая глубина пульсаций светового потока, достигающих до 75%. Процесс разгорания

лампы – несколько минут, повторное включение возможно лишь после остывания кварцевой горелки в течение 10–15 мин.

Лампы ДРЛ можно применять для освещения горячих цехов, для цехов, где выполняются работы, требующие общего наблюдения за ходом технологического процесса, при грубых работах, а также при работах средней точности, не требующих большого напряжения зрения.

Для улучшения спектра излучения в осветительных установках целесообразно применять лампы ДРЛ с лампами накаливания. Это дает возможность расширить область использования ламп ДРЛ для более точных зрительных работ.

Металлогалогенные лампы (МГЛ). В нашей стране металлогалогенные лампы имеют маркировку ДРИ – дуговая ртутная с излучающими добавками. Далее следуют буквы, обозначающие конструктивные особенности, например З – зернистая, Ш – шаровая и тому подобное, цифры обозначают мощность в ваттах, затем через дефис следует номер разработки. Лампы ДРИ представляют собой ртутные лампы высокого давления с добавкой йодидов металлов. Спектр излучения лампы зависит от добавки того или иного йодида металлов. Эти лампы разработаны на базе ламп ДРЛ и конструктивно мало от них отличаются. Отличия заключаются в том, что внутри разрядных колб ДРИ кроме ртути и аргона (или другого инертного газа) дополнительно вводят определенные элементы, обычно металлы, но не в чистом виде, а в форме химических соединений (галогениды галлия, натрия, индия, лития, редкоземельных и других элементов), которые вводятся в лампу в виде легко испаряющихся солей; при этом отсутствует люминофорное покрытие колбы. В результате этого удается в широких пределах изменять спектр излучения разряда. Имеются новые разработки ламп с добавкой галогенида олова со спектром излучения, приближенным к излучению солнца. При этом качество цветопередачи улучшается. Лампы с йодидами редкоземельных элементов создают свет, близкий к свету неба с $T_{ц} = 6500$ К. По форме колбы и дуги МГЛ можно разделить на два основных типа: трубчатые, или линейные, и компактные. С точки зрения применения целесообразно выделить следующие основные группы: МГЛ для общего освещения, МГЛ с улучшенным качеством цветопередачи для общего и специальных освещений и МГЛ специальных применений. В ряде случаев МГЛ классифицируют по составу излучающих добавок и спектру излучения. Общий вид лампы представлен на рис. 2.37.

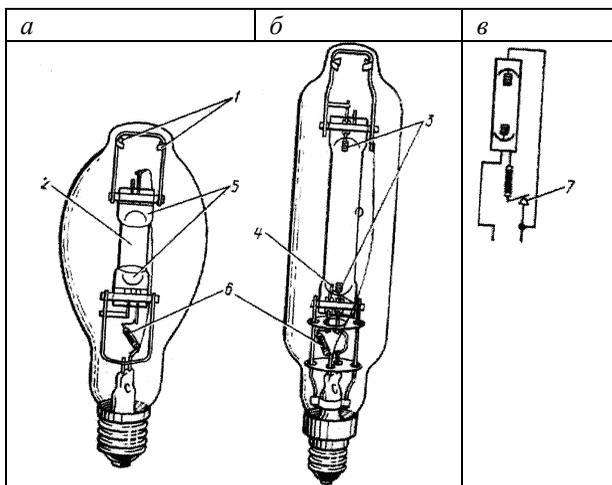


Рис. 2.37. Общий вид осветительных МГЛ:

a – лампа 400 Вт в эллипсоидальной прозрачной внешней колбе; *б* – лампа 2000 Вт в цилиндрической прозрачной колбе; *в* – электрическая схема включения; 1 – пружинящие распорки; 2 – разрядная трубка; 3 – основные электроды; 4 – зажигающий электрод; 5 – утепляющее покрытие; 6 – ограничительное термостойкое сопротивление ЗЭ; 7 – термобиметаллическое реле, отключающее ЗЭ после включения лампы

Термобиметаллическое реле на рис. 2.37, *a*, *б* не показано, чтобы не перегружать чертеж. Плоскость лампочки на рис. 2.37, *a*, *б* развернута по отношению к плоскости заштамповки фольги в горелках с тем, чтобы нагляднее показать монтаж. Фактически плоскость лопаточки перпендикулярна плоскости заштамповки.

Наша промышленность выпускает лампы ДРИ мощностью от 250 до 3500 Вт со светоотдачей 75–100 лм/Вт и сроком службы 1000–5000 ч.

Недостатками ДРИ являются: сложность ПРУ; недостаточная однородность и зависимость цветовых характеристик от положения лампы, теплового режима окружающей среды и числа отработанных лампой часов; трудность повторного включения; высокая стоимость.

Вместе с тем лампы ДРИ являются одним из наиболее экономичных источников света общего назначения. Высокая эффективность этих ламп открывает широкие возможности их использования для освещения производственных помещений большой высоты и площади, строительных площадок, карьеров, а также других мест работы под открытым небом.

Дуговые ксеноновые трубчатые лампы ДКсТ. Выпускаются высокого давления (ВД) и сверхвысокого (СВД). В ксеноновых лампах

используется разряд в ксеноне при высоком и сверхвысоком давлении и плотности тока, составляющей десятки и сотни А/см^2 .

Маркировка ламп: Д – дуговая, Кс – ксеноновая, Т – трубчатая. Далее следуют буквы, обозначающие конструктивные или иные особенности ламп: Б – с балластом, В – с водяным охлаждением и так далее; после букв следуют цифры, обозначающие номинальную мощность лампы в ваттах, а затем через дефис – номер разработки. Общий вид ксеноновых трубчатых ламп показан на рис. 2.38. Устройство лампы – трубка из кварцевого стекла, по концам которой впаяны вольфрамовые активированные электроды. В лампах типа ДКсТВ с водяным охлаждением горелка помещается соосно в стеклянный цилиндр со специальными фланцами и патрубками. В зазоре между горелкой и внешним цилиндром циркулирует дистиллированная вода. За счет водяного охлаждения лампы ДКсТВ при одинаковой мощности имеют меньшие габариты и большую светопередачу, чем лампы ДКсТ. Лампы имеют большую мощность (от 2000 до 50 000 Вт), включаются в сеть переменного тока с напряжением 220–380 В. Спектр излучения непрерывный, близок к солнечному с $T_{\text{н}} = 6000 \text{ К}$ и обеспечивает высококачественную цветопередачу $R_a = 95\text{--}98$; световая отдача до 45 лм/Вт у ламп ДКсТВ и до 29 лм/Вт у ДКсТ. Яркость ксеноновых ламп велика и достигает у ламп СВД 100 МнТ и более, у ламп ВД – от единиц до 20–50 МнТ.

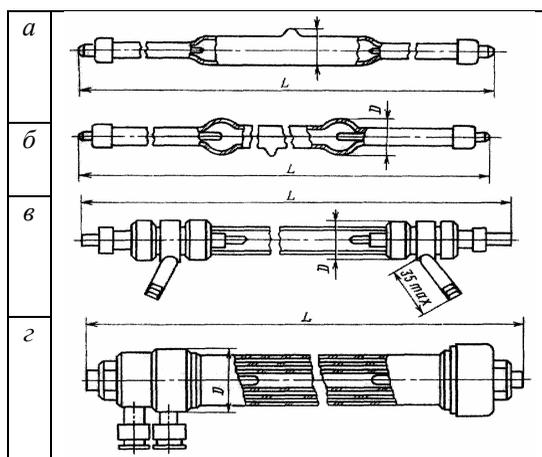


Рис. 2.38. Общий вид ксеноновых трубчатых ламп высокой интенсивности:

a – лампы типа ДКсТБ2000; ДКсТ200; ДКсТ5000; *б* – ДКсТ10000, ДКсТ20000, ДКсТ50000; *в* – ДКсТВ6000, ДКсТВ15000, *г* – ДКсТВ50000

Ксеноновые лампы применяются для наружного архитектурного освещения зданий и площадей, для освещения проездов, горнорудных карьеров, территорий промышленных предприятий, для киноосветительной аппаратуры и др. Их следует рассматривать как перспективный источник света не только для наружного, но и для внутреннего освещения. Однако при создании в производственных помещениях высоких уровней освещенности (более 100 лк) возникает опасность ультрафиолетового облучения. Для защиты от облучения необходимо перекрывать выходное отверстие светильника с ксеноновой лампой силикатным стеклом толщиной не менее 2 мм.

Разработаны и применяются ксеноновые лампы типа ДКсТЛ – дуговые ксеноновые трубчатые в колбе из легированного кварца мощностью 2 и 5 кВт. В излучении этих ламп отсутствуют длины волн короче 280 нм, поэтому возможно их использование в осветительно-облучательных установках для одновременного освещения помещения и УФ-облучения людей. Эти лампы должны найти широкое применение на Севере для освещения промышленных предприятий.

Основным недостатком этих ламп является значительная глубина колебаний светового потока, особенностью – высокий потенциал зажигания (до 25 000 В), поэтому пусковые устройства довольно сложны и основаны на принципе искрового генератора высокой частоты.

Натриевые лампы. Выпускаются двух типов: низкого давления (НЛНД) и высокого (НЛВД).

Натриевые лампы являются одной из самых эффективных групп источников видимого излучения: они обладают самой высокой световой отдачей среди всех известных газоразрядных ламп и незначительным снижением светового потока при длительном сроке службы. Поэтому натриевые лампы, в первую очередь высокого давления, все шире применяются для экономичного освещения, особенно наружного. Недостатками этих ламп являются: низкое качество цветопередачи и значительная глубина пульсации светового потока (почти 100 %).

Световые отдачи современных *натриевых ламп низкого давления* достигают 180–200 лм/Вт. Однако они излучают почти монохроматический желтый свет с длиной волны резонансных линий натрия

589,0–589,6 нм, вследствие чего не пригодны для общего освещения. Их применяют в специальных случаях, например, для освещения

загородных автострад, для архитектурного и декоративного освещения, в лабораторной практике и т.п.

Общий вид современной натриевой лампы низкого давления представлен на рис. 2.39.

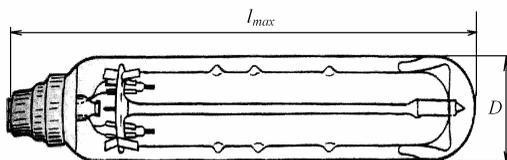


Рис. 2.39. Общий вид современной натриевой лампы низкого давления

Горелка лампы имеет трубчатую линейную или U-образную форму, заключенную во внешнюю стеклянную рубашку. Последняя необходима, чтобы уменьшить охлаждение горелки, так как оптимальный режим ее работы соответствует температуре ее стенок $\sim 300^\circ \text{C}$. Горелки ламп изготавливают из накладного стекла: внутренний слой устойчив к парам натрия, наружный – химически стойкое стекло. Горелку заполняют неоном с небольшой добавкой аргона при давлении около 10 мм рт. ст. и вводят дозированное количество натрия. Воздух во внешнем баллоне лампы откачивают до высокого вакуума. В холодной лампе при ее включении разряд возникает в наполняющем газе, а после разогрева давление паров натрия поднимается до нормы и в лампе устанавливается натриевый разряд.

Для зажигания НЛНД необходимо напряжение 450–500 В, поэтому их включают в сеть напряжением 220 В через повышающие автотрансформаторы с большим магнитным сопротивлением. Время разгорания лампы составляет 7–12 мин. Температура окружающего воздуха слабо влияет на параметры НЛНД. Они работают как в открытых, так и в закрытых светильниках. Световая отдача ламп ~ 200 лм/Вт, срок службы составляет 15 тыс. ч.

В нашей стране *натриевые лампы высокого давления* выпускаются в цилиндрической прозрачной колбе из тугоплавкого стекла марки ДНат. Горелку лампы изготавливают из керамики и заполняют ее дозированными порциями натрия, ртути, аргона (или ксенона). Общий вид лампы представлен на рис. 2.40. Цвет излучения постепенно переходит из чисто желтого, типичного для натриевых ламп НД, в оранжево-желтый и золотисто-желтый. Качество цветопередачи невысокое. Процесс разгорания продолжается 2–4 мин. Главными достоинствами натриевых ламп ВД являются высокая световая отдача

(100–130 лм/Вт), большой срок службы (10–20 тыс. ч) и малый спад светового потока в процессе работы (около 20%).

Газоразрядные лампы обладают несомненными преимуществами перед лампами накаливания: приближенность цветовых характеристик ламп к характеристикам различных фаз дневного света, высокая экономичность, большой срок службы, разнообразный по цветности излучения ассортимент, поэтому их следует применять для общего освещения производственных помещений без естественного света и с недостаточным естественным освещением, независимо от принятой системы освещения. Газоразрядные лампы рекомендуется также применять при выполнении точных работ для общего освещения в системе комбинированного, независимо от источника света, используемого для местного освещения.

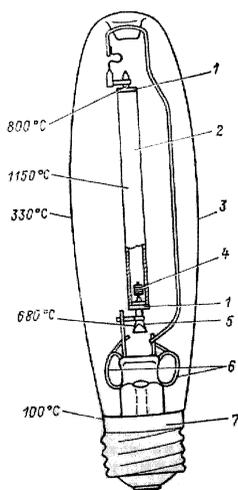


Рис. 2.40. Общий вид натриевой лампы высокого давления:

1 – керамическая заглушка; 2 – керамическая светопропускающая трубка; 3 – внешняя колба из тугоплавкого стекла; 4 – электрод; 5 – ниобиевый штенгель, содержащий амальгаму натрия; 6 – бариевый геттер; 7 – цоколь

Газоразрядным лампам присущи и некоторые недостатки: пульсация светового потока, слепящее действие, шум дросселей, несколько сложная схема включения, возможность повторного зажигания ДРЛ и ДРИ лишь после остывания (примерно через 10 мин), относительная длительность разгорания этих ламп (около 7 мин), наличие в них ртути, зависимость световых характеристик лампы от

температуры окружающей среды, значительное снижение светового потока к концу срока службы и др.

Излучаемый газоразрядными лампами световой поток изменяется одновременно с изменением силы тока в сети, а так как люминофор, покрывающий стенку колбы лампы, обладает недостаточным послесвечием, то колебания светового потока таких ламп остаются значительными. В зависимости от типа и мощности глубина колебания светового потока ламп ДРЛ составляет 75%, а у люминесцентных ламп – от 33 до 67%. Пульсации светового потока газоразрядных ламп являются причинами так называемого стробоскопического эффекта. Пульсации оказывают также отрицательное действие на состояние зрительных функций, функциональное состояние центральной нервной системы и общую работоспособность человека независимо от характера выполняемых работ.

Газоразрядные лампы могут оказывать слепящее действие, поэтому обязательна защита.

3. ВИБРАЦИЯ

Вибрация – это механические колебания, передаваемые по жидким или твердым средам. Вибрация аналогична шуму по физической природе. Вибрация представляет собой кинетическую энергию, передаваемую машине или человеку. Причинами возникновения вибрации могут являться неуравновешенные силовые воздействия, источниками которых служат:

- возвратно-поступательные движущиеся системы – кривошипно-шатунные механизмы, вибротрамбовки, перфораторы, виброформовочные машины и др.;
- неуравновешенные вращающиеся массы – режущий инструмент, дрели, ручные электрические шлифовальные машины, технологическое оборудование;
- ударное взаимодействие сопрягаемых деталей – зубчатые передачи, подшипниковые узлы;
- оборудование и инструмент, использующие в технологических целях ударное воздействие на обрабатываемый материал – рубильные и отбойные молотки, прессы, инструмент, используемый в клепке, чеканке и т.д.

Область распространения вибрации называется *вибрационной зоной*.

3.1. Основные понятия теории вибрации

3.1.1. Вибрационные параметры

Параметрами вибрации являются:

- виброперемещение;
- виброскорость;
- виброускорение.

Вибрации, встречающиеся в технике, имеют характер, близкий к гармоническому (синусоидальному). Для гармонических колебаний величина отклонения колеблющейся точки от положения равновесия (виброперемещение x) определяется по формуле

$$x = x_T \sin(\omega t + \varphi),$$

где x_T – амплитуда виброперемещения; φ – начальная фаза колебаний в момент времени $t = 0$; $\omega = 2\pi f$ – круговая частота; f – частота колебаний.

Виброскорость (v) и виброускорение (a) являются собственно первой и второй производной по времени от виброперемещения, в связи с чем определяются из следующих соотношений:

$$v = \omega x_T \cos(\omega t + \varphi) = v_T \cos(\omega t + \varphi);$$

$$a = -\omega^2 x_T \sin(\omega t + \varphi) = -a_T \sin(\omega t + \varphi),$$

где v_T и a_T – максимальное значение соответственно виброскорости и виброускорения колеблющейся точки.

Для синусоидальных колебаний скорость и ускорение определяются по формулам:

$$v = 2\pi f A; \quad W = (2\pi f)^2 A,$$

где $\pi = 3,14$; f – частота, Гц; A – амплитуда колебаний, м.

Величины виброскорости и виброускорения изменяются в очень широком диапазоне, поэтому в практике используется понятие уровня параметров. Уровни виброскорости (L_v) и виброускорения (L_a) определяются по формулам:

$$L_v = 20 \lg \frac{v}{v_0}; \quad L_a = 20 \lg \frac{a}{a_0},$$

где v и a – соответственно средние квадратичные значения виброскорости (м/с) и виброускорения (м/с²); $v_0 = 5 \cdot 10^{-8}$ – опорное значение виброскорости, м/с; $a_0 = 1 \cdot 10^{-6}$ – опорное значение виброускорения, м/с².

3.1.2. Механический импеданс

Механический импеданс (Z) определяется как отношение вынуждающей силы (F), приложенной к системе, к результирующей колебательной скорости v в точке приложения силы:

$$Z = \frac{F}{v}.$$

3.1.3. Собственная частота

Собственная частота – это частота свободных колебаний системы, т.е. колебаний без перемещенного внешнего воздействия и поступления энергии.

Собственная частота колебаний системы (f_0), представленной на рис. 3.1, определяется по формуле:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M}},$$

где K – жесткость пружины; M – масса груза.

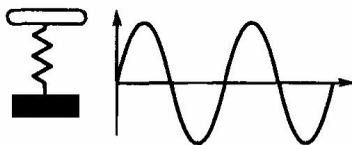


Рис. 3.1. Собственная частота

При равенстве собственной частоты колебаний системы частоте вынужденных колебаний возникает явление резонанса, приводящее к резкому увеличению амплитуды колебаний.

3.2. Классификация вибраций

В соответствии с СН 2.2.4/2.1.8.566–96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий», вибрация, воздействующая на человека, классифицируется по следующим признакам (рис. 3.2):

- способ передачи вибрации;
- направление действия вибрации;
- временная характеристика вибрации;
- характер спектра вибрации;
- источник возникновения вибрации.

По способу передачи вибрацию подразделяют на следующие виды:

- общую, передающуюся через опорные поверхности на тело сидящего или стоящего человека;
- локальную, передающуюся через руки человека на ноги сидящего человека и на предплечья, контактирующие с вибрирующими поверхностями технологического оборудования, рабочих столов, вибрирующим инструментом.



Рис. 3.2. Классификация производственных вибраций

По *направлению действия* в соответствии с направлением осей ортогональной системы координат (X , Y , Z) вибрация подразделяется на следующие виды:

- вертикальную;
- горизонтальную – от спины к груди;
- горизонтальную – от правого плеча к левому.

По *временным характеристикам* вибрации подразделяются на следующие виды:

- постоянные вибрации, для которых величина нормируемых параметров изменяется не более чем на 6 дБ за время наблюдения;

- непостоянные вибрации – величина нормируемых параметров изменяется не менее чем на 6 дБ за время наблюдения не менее 10 мин, в том числе:

- а) колеблющиеся во времени вибрации, для которых величина нормируемых параметров непрерывно изменяется во времени;

- б) прерывистые вибрации, когда контакт человека с источником вибрации прерывается, причем длительность интервалов, в течение которых имеет место контакт, составляет более 1 с;

- в) импульсные вибрации, состоящие из одного или нескольких вибрационных действий, например ударов, каждый длительностью менее 1 с.

По *спектру* вибрации подразделяются на следующие виды:

- узкополосные, у которых контролируемые параметры в одной третьоктавной полосе частот более чем на 15 дБ превышают значения в соседних третьоктавных полосах;

- широкополосные – с непрерывным спектром более одной октавы.

По *частотному спектру* вибрации подразделяют на следующие виды:

- низкочастотные с преобладанием максимальных уровней в октавных полосах частот 1–4 Гц для общих вибраций, 8–16 Гц – для локальных;

- среднечастотные (8–16 Гц – для общих вибраций, 31,5–63 Гц – для локальных);

- высокочастотные (31,5–63 Гц – для общих вибраций, 125–1000 Гц – для локальных).

По *источнику возникновения* вибрации подразделяются на следующие виды:

- транспортную;

- транспортно-технологическую;

- технологическую.

3.2.1. Общая вибрация

Общая вибрация (вибрация рабочих мест) возникает при формовке железобетонных изделий на заводах поточно-конвейерной и агрегатной технологии. Источниками вибрации являются виброплатформы, виброплощадки, формовочные машины и бетоноукладчики. Вибрация, возникающая при работе бетоноукладчиков, различна и зависит от их конструкции и расположения пульта управления.

Бетоноукладчики агрегатных заводов с вибратором-побудителем

создают значительную вибрацию (превышение санитарных норм до 10 раз) в полосе спектра 32–250 Гц, которая передается на пол, сиденье машиниста, рулевое управление.

На конвейерных заводах и бетоноукладчиках с вращающейся лентой вибрация, передаваемая на раму и пол бетоноукладчика, меньше, чем в бетоноукладчиках с вибратором-побудителем (отмечается превышение величин, допустимых санитарными нормами, в 2–4 раза).

Вибрация бетоноукладчика с дистанционным управлением не превышает допустимых величин.

При правильной установке на фундаменте формовочных машин и виброплатформ вибрация, передаваемая на рабочие места, не превышает санитарных норм. При неправильной установке, когда не учитываются полностью все меры по гашению вибрации окружающих поверхностей, вибрация пола или площадок, на которых стоит формовщик, а иногда и на пульте управления может в 10 и более раз превышать допустимые величины. Вибрация широкополосная, максимальные уровни виброскорости имеют место в полосе частот 45–90 Гц.

Максимальной вибрации формовщики подвергаются на заводах поточно-конвейерной технологии, если они производят ручное разравнивание бетонной массы, стоя на поверхности машины во время ее работы.

Вибрация пола ткацких фабрик представляет собой несинусоидальные периодические низкочастотные колебания (ниже 16 Гц), распространяющиеся в горизонтальном и вертикальном направлении. Максимальная вибрация возникает при расположении цехов на верхних этажах зданий и при наличии деревянных полов.

Водители тракторов, самоходных и других сельскохозяйственных машин, в том числе стационарных, подвергаются действию общей и местной вибрации. На рабочее место водителя передается низкочастотная толчкообразная вибрация беспорядочного характера, возникающая во время работы в процессе передвижения машины по неровной местности. Наибольшие толчки возникают при повышении скорости машины до 11 км/ч. Кроме того, на рабочее место водителя, в том числе и на органы управления, передается вибрация, возникающая при работе двигателей и подвижных рабочих органов машины: трансмиссий, транспортеров. Эта вибрация имеет средневысокочастотный характер, превышая нормативные величины в 2–3 раза.

Источниками общей вибрации являются различные виды

экскаваторов, применяющихся в строительстве, горной и других отраслях промышленности. Вибрация, передаваемая на рабочее место машиниста, прерывиста, аperiodична, имеет широкий спектр с распространением основной энергии в полосе частот 8–31 Гц. В этой полосе в ряде случаев отмечается превышение допустимых величин виброскорости в 15 раз. Величины вибрации зависят от типа машины и ее технического состояния. Роторные и шагающие экскаваторы создают вибрацию, менее интенсивную, чем экскаваторы типа прямой лопаты. На более изношенных, давно не ремонтируемых машинах уровни вибрации выше, чем на отремонтированных и новых.

Буровые станки канатно-ударного и шарошечного бурения создают общую вибрацию, передаваемую на рабочее место машиниста. Максимальные уровни виброскорости находятся в области частот 8–16 Гц, однако в ряде случаев имеет место превышение санитарных норм для области частот 125–250 Гц. Величина колебаний определяется еще и крепостью горных пород.

3.2.2. Локальная вибрация

Преимущественно локальную вибрацию создают ручные машины ударного, вращательного и ударно-вращательного действия. К виброопасному оборудованию относятся клепальные, рубильные, отбойные молотки, бурильные перфораторы, бетоноломы, трамбовки, гайковерты, поверхностные и глубинные ручные вибраторы, шлифовальные машины, дрели, горные сверла, бензомоторные и электропилы и др.

Рубильные молотки пневматические предназначены для рубки, чеканки и ряда других работ по металлу, а также по твердым горным породам (гранит, мрамор и др.). Серийно выпускаемые рубильные молотки имеют массу от 40 до 60 Н² и 1600–3500 ударов в 1 мин.

Отбойные молотки пневматические применяются в угольной промышленности при добыче угля на крутопадающих пластах и на вспомогательных работах (проходка штреков, квершлаггов, нарезка лавы, выемка ниш), при отбойке руд, глины, сланца, камня. В строительстве используются, кроме пневматических, электрические молотки (разрушение мерзлого грунта, асфальта, бетонного покрытия и т.д.). В РФ выпускаются отбойные молотки четырех весовых категорий весом от 80 до 120 Н и числом ударов от 1060 до 2000.

Клепальные молотки пневматические, в зависимости от диаметра

² Н (Ньютон) равен 0,1 кг.

заклепок (от 3 до 32 мм), могут быть малогабаритными (вес от 11 до 29 Н и 1200–1800 уд/мин) и более тяжелыми (от 80 до 120 Н и 800–1900 уд/мин).

Ручные трамбовки пневматические ударного действия применяются для уплотнения формовочной земли (в литейных), грунта и бетона (на строительстве), для уплотнения траншей, каналов и при выполнении дорожных и ремонтных работ. В Российской Федерации выпускается один вид пневматической трамбовки весом 115 Н и числом ударов в минуту 650. Электрические трамбовки применяются главным образом для различных строительных и земляных работ (вес от 145 до 750 Н).

Ручные перфораторы пневматические относятся к ручным машинам ударно-вращательного действия. Применяются при прохождении горных выработок, добыче полезных ископаемых и производстве различных работ буровзрывным способом. Вес перфораторов – от 200 до 310 Н, число ударов – от 1600 до 2600 в 1 мин. Электроперфораторы применяются для буровых работ в скальных породах, бетоне (вес 340 Н, число ударов в минуту – 1050).

Горные сверла пневматические и электрические применяются для бурения шпуров и скважин в угле и породе, для очистных работ и прохождения подготовительных выработок в угольных, сланцевых и других шахтах. Выпускается до девяти различных моделей, различающихся по весу, числу оборотов и мощности. Вес горных сверл от 120 до 240 Н, однако вместе с буровой штангой он у ряда конструкций превышает 30 Н. Скорость вращения шпинделя под нагрузкой – от 290 до 900 об/мин.

Шлифовальные машины пневматические и электрические широко используются для различного вида шлифовальных, полировальных и пригоночных работ. Различают прямые пневматические шлифовальные машины с турбинным пневмодвигателем, которые относятся к малогабаритным ручным машинам, прямые шлифовальные машины с ротационным пневмодвигателем и электрические шлифовальные машины. Торцовые шлифовальные машины применяются при выполнении различных видов обдирочных, шлифовальных, полировальных работ в инструментальном и строительном производстве. Работа производится торцом вращающегося шлифовального круга. Угловые шлифовальные машины используются для обработки труднодоступных мест.

Гайковерты пневматические и электрические статического и ударного действия широко применяются для трудоемкой сборки

резьбовых соединений, отвинчивания и завинчивания болтов и гаек. Особенностью гайковертов статического действия является реактивный момент, возникающий при резком торможении двигателя в конце затяжки и передающийся как рывок на руки оператора. В гайковертах ударного действия непрерывное вращение двигателя при помощи ударного импульсного механизма преобразуется в периодические последовательные ударно-вращательные импульсы, передаваемые рабочему наконечнику. Реактивный момент, передаваемый на руки оператора, резко уменьшается или почти исчезает, но возрастает вибрация ударно-импульсного характера. Вес гайковертов чрезвычайно разнообразен, но у наибольшего количества конструкций он находится в пределах 100–140 Н.

Ручные вибраторы электрические и пневматические (глубинные и поверхностные) применяются для уплотнения бетонных смесей при строительных работах и производстве строительных деталей. Их вес составляет от 100 до 430 Н, частота колебаний в минуту – от 200 до 14 000. Наиболее значительная вибрация возникает при работе поверхностных вибраторов. Она может превышать величины, допустимые санитарными нормами в 5 и более раз. При работе глубинных вибраторов вибрация на гибком вале в ряде случаев превышает допустимые нормами величины до 3 и более раз.

Электро- и бензомоторные пилы и сучкорезки применяются в лесной промышленности для валки и раскряжевки деревьев: вес электропил и сучкорезок – 70–95 Н, бензосучкорезок – 70 Н, бензопил

– 120–123 Н. Мощность машин от 1,4 до 2,2 кВт, число оборотов – 4 800–12 000 в минуту. Бензомоторные пилы создают в процессе работы более значительную вибрацию, чем электрические. Наиболее значительная вибрация создавалась бензомоторной пилой «Дружба-56», которая в настоящее время снята с производства. Вместо нее применяются усовершенствованные образцы («Дружба-60» и «Дружба-4»), вибрация которых уменьшена, но вес еще превышает санитарную норму в 2 и более раз.

Ручные виброопасные машины генерируют вибрацию, уровни колебательной скорости которой значительно – на 10–30 дБ – превышают допустимые нормами величины. Расположение пиковых значений виброопасных машин различно. Пнемотрамбовки, гайковерты, горные сверла создают вибрацию с высокими уровнями в области низких частот (8–32 Гц). Максимальные уровни колебательной скорости пневматических отбойных молотков, бурильных перфораторов с числом ударов в 1 мин до 2000, ручных

вибраторов для уплотнения бетона чаще лежат в широкой области низких, средних и отчасти высоких частот (16–125 Гц). Вибрация пневматических рубильных, клепальных молотков, бурильных перфораторов с числом ударов свыше 2000 ударов в 1 мин, шлифовальных машинок, бензомоторных пил характеризуется как средневысокочастотная (расположение максимальных уровней в области частот 32–2000 Гц).

Уровни колебательной скорости в различных полосах среднегеометрических частот спектра имеют большую вариабельность. Причинами повышения уровня колебательной скорости являются снижение величины осевого усилия подачи; изменение физико-химических свойств обрабатываемого изделия (повышение твердости и др.); увеличение давления воздуха в сети; увеличение длины вставного инструмента для рубильных молотков, диаметра заклепки для клепальных, длины буровой штанги и степени ее искривления для перфораторов и горных сверл; увеличение степени шероховатости поверхности, изношенности абразивных кругов, ухудшение центровки для шлифовальных машин. Величина вибрации возрастает при изношенности и неисправности машин. Вибрация электро- и бензомоторных пил увеличивается, кроме того, при увеличении скорости машин.

При работе машин ударного и ударно-вращательного действия возникает вибрация, которая представляет собой колебания сложной траектории, определяемые термином «отдача».

Отдача – периодический обратимый импульсный удар, характер которого обусловлен конструкцией ручной машины, физическими свойствами обрабатываемого объекта, степенью осевого усилия, прикладываемого оператором. Отдача возникает при воздействии внутренних и внешних сил в замкнутой системе оператор – ручная машина – вставной инструмент – обрабатываемый объект.

К усугубляющим факторам воздействия вибрации ручных машин на организм относятся шум высокой интенсивности, неблагоприятные метеорологические условия, пониженное и повышенное атмосферное давление и др.

При работе с пневматическими ручными машинами имеет место охлаждение рук отработанным воздухом и холодным металлом корпуса машины. Неблагоприятные метеорологические условия могут иметь место в больших литейных и обрубных цехах, на стапелях, в забоях. На открытых стапелях при производстве клепальных и обрубных работ на строящихся судах метеорологические условия снаружи судна полностью определяются климатом данного района и

ежедневными метеорологическими условиями. Особенно сказываются неблагоприятные климатические условия Крайнего Севера, Дальнего Востока и др. Это же относится к работам в карьерах, на открытых горных выработках, при распиловке леса.

При работе с рубильными молотками осевое усилие нажима на молоток во время рабочей операции доходит до 300 Н и более, отбойными – до 400 Н, бурильными – до 300 Н. При обрубке стали обрущик в начале рабочего дня осуществляет усилие до 300 Н, а в процессе утомления оно падает до 150–180 Н при выполнении тех же операций. При рубке в положении молотка горизонтально или вверх (потолочное положение) максимальное усилие, которое способен развить работающий, – 180–230 Н. При направлении молотка вниз значительные усилия осуществляются совместно мышцами верхних конечностей, туловища и ног.

При клепке тяжелыми клепальными молотками (диаметр заклепки до 32 мм) усилие достигает 380–400 Н (направление вниз) и 220–280 Н (горизонтальное направление). При клепке малогабаритными клепальными молотками (диаметр заклепки до 8 мм) усилия лежат в пределах 100–150 Н.

При работе с горными сверлами при твердом бурении пород необходимые совместные усилия (1000–1200 Н) достигаются двумя бурильщиками посредством упора или давления на сверло ногами, спиной и другими частями тела. Максимальные длительные усилия, которые бурильщик может развивать при бурении электросверлами, удерживаемыми руками над головой, – 80 Н. При бурении шпуров на уровне от груди до колен эти усилия равны 200–250 Н. При бурении нисходящих шпуров, когда машина находится у ног бурильщика, значительные усилия (до 600 Н) осуществляются при помощи массы тела.

При работе бурильными перфораторами характер и величина усилия, помимо ряда причин, связаны с расположением шпуров. При бурении высокорасположенных шпуров прижимное усилие осуществляется верхними конечностями и даже головой, а при бурении нижних шпуров – нижними конечностями. Величины усилий при работе с использованием пневматической поддержки варьируют от 0 до 300 Н. Наименьшее усилие (от 0 до 30 Н) требуется при бурении восходящих шпуров, наибольшее – при бурении нисходящих, среднее – при бурении горизонтальных (80–100 Н). Величины усилий в 2 раза больше при бурении по крепким породам, чем по мягким.

При работе электрогайковертами максимальная величина усилия 370–500 Н, минимальная – 100–120 Н; в момент затяжки болта или

гайки – 230 Н. При работе ручными сверлильными машинами оператор создает осевое усилие в пределах от 100 до 300 Н (в зависимости от диаметра сверла), требуемое же по технологии усилие соответствует 200–550 Н.

Работа ручными инструментами вращательного действия требует мышечных усилий разнообразного характера – от длительного статического напряжения верхних конечностей и плечевого пояса при шлифовке металла шлифовальными машинами различной массы до частых мелких движений мышц кисти и предплечья при полировке металлических изделий и шлифовке стекла при ручной работе на станках.

При работе пневматическими шлифовальными машинами с абразивными кругами максимальное усилие подачи приходится на левую руку, оно варьирует для наиболее распространенных машин в зависимости от их типа в пределах 20–90 Н. При применении в качестве рабочего инструмента борфрез создается повышенная статическая нагрузка на мышцы верхних конечностей и плечевого пояса, усилия подачи составляют 100–300 Н. Усилие обжима рукоятки не превышают для правой руки 10, левой – 20 Н. Величины усилий зависят от выполняемой операции, квалификации рабочего, твердости обрабатываемого изделия, режущих свойств абразивного материала.

При ручной подаче металлоизделий для их обработки на шлифовальных станках требуется статическая мышечная нагрузка – при полировке изделий от 70 до 116 Н, при шлифовальных и точильных операциях – 68–75 Н. При обработке изделий из хрусталя на специальных шлифовальных станках усилия подачи в зависимости от массы изделия и характера выполняемой операции лежат в пределах 15–350 Н.

3.3. Вибрационные воздействия и их влияние на человека

3.3.1. Типичные случаи вибрационных воздействий

Характерные случаи передачи вибрации телу человека приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Схемы передачи вибрации телу человека

Схема передачи вибрации	Источники вибрации
-------------------------	--------------------

Пассажир		Транспортные средства
Человек-оператор		Автомобили, строительные машины, сельскохозяйственные машины, трамваи, поезда, самолеты, суда, космические аппараты
»		Металлообрабатывающие и деревообрабатывающие машины, текстильные машины, виброплатформы, металлургические машины
»		Ручные машины

Наиболее существенное влияние на человека-оператора оказывает вибрация с частотами 1–30 Гц. В основном именно в этом диапазоне расположены спектры частот вибрации разнообразных транспортных средств, самоходных строительно-дорожных и сельскохозяйственных машин. Возбуждение интенсивной вибрации транспортных средств главным образом обусловлено движением по неровным (случайным) поверхностям (автомобильного и рельсового транспорта, наземных строительных и сельскохозяйственных машин и др.), движением по волнам (водного транспорта), движением в турбулентных слоях атмосферы (летательных аппаратов).

При описании взаимодействия человека с источником вибрации принято использовать подвижную систему координатных осей XYZ , начало которой жестко связано с характерной точкой тела человека; ориентацию осей выбирают в зависимости от позы человека (рис. 3.3), которую считают фиксированной.



Рис. 3.3. Характерные особенности вредного влияния вибрации на человека

Заданная вынуждающая вибрация, а также вибрация точек тела описывается относительно неподвижной координатной системы, связанной с землей, оси которой параллельны осям XYZ . При этом заданная вибрация описывается виброперемещениями U_x, U_y, U_z или a_x, a_y, a_z .

3.3.2. Влияние вибрации на человека

Влияние вибрации на человека зависит от ее спектрального состава, направления, места приближения, продолжительности воздействия, а также от индивидуальных особенностей человека. На рис. 3.3 приведена классификация вредного влияния вибрации и симптомы вызываемых ею функциональных и физиологических нарушений. В табл. 3.2 указаны частоты вибрации, соответствующие непосредственно наблюдаемым вредным влияниям.

Таблица 3.2

Симптомы и области частот вредного действия вибрации на человека

Симптомы действия вибрации	Частоты, Гц						
	10^{-1}	1	10	10^2	10^3	10^4	10^5
Укачивание		■					
Основные резонансы тела			■	■	■		
Затруднение дыхания			■	■			
Вредное влияние на зрение			■	■	■		
Вредное влияние на сердечно-сосудистую систему			■	■	■		
Ухудшение координации рук, неопостоянное давление ступни на опору			■				
Ухудшение качества работы человека-оператора			■	■			
Нагревание тканей, разрушение клеток						■	■

При определенных значениях частоты возбуждения происходит заметное увеличение амплитуды колебаний одних частей тела человека по сравнению с амплитудой колебаний других частей.

Тело человека рассматривается как сочетание масс с упругими элементами. В одном случае это все туловище с нижней частью позвоночника и тазом (стоящий человек), в другом случае – верхняя часть туловища в сочетании с верхней частью позвоночника, нагибающейся вперед (сидящий человек). Для стоящего на вибрирующей поверхности человека имеется два резонансных пика на частотах 5–12 Гц и 17–25 Гц, для сидящего – на частотах 4–6 Гц. Для головы резонансные частоты лежат в области 20–30 Гц. В этом диапазоне частот амплитуда колебаний головы может превышать амплитуду колебаний плеч в 3 раза. Для лежащего человека область резонансных частот находится в интервале 3,0–3,5 Гц. Одной из наиболее важных колебательных систем является совокупность грудной клетки и брюшной полости. Колебания в этой системе возникают в положении стоя. Колебания внутренних органов этих полостей обнаруживают резонанс на частотах 3,0–3,5 Гц. Максимальная амплитуда колебаний брюшной стенки наблюдается на частотах от 7 до 8 Гц, а передней

стенки грудной клетки – от 7 до 11 Гц.

При увеличении частоты колебания происходит ослабление ее передачи по телу человека. В положении стоя и сидя величина ослабления на костях таза равна 9 дБ на октаву изменения частоты, на груди и на голове – 12 дБ, на плече – 12–14 дБ. Эти данные не распространяются на резонансные частоты, при воздействии которых происходит не ослабление, а увеличение колебательной скорости. В условиях передачи через руку при силе нажима 10 кг ослабление вибрации на тыле кисти происходит с наклоном 2,5 дБ на октаву, а на голове – с наклоном 16 дБ на октаву. Рука человека может быть представлена эквивалентной системой, состоящей из сосредоточенных масс упругостей и сопротивлений. Коэффициенты, характеризующие упругость массы и колебательные потери руки, зависят главным образом от степени напряженности мышц руки и позы рабочего. Частотная зависимость импеданса (отношения силы к вызываемой ею колебательной скорости движения) на рукоятке ручной машины в условиях работы с ней имеет один максимум в области ниже 5 Гц и второй интенсивный максимум – в области частот 30–40 Гц, что соответствует резонансу системы «эффективная масса руки» (примерно 1 кг) и упругости мягких тканей внутренней стороны кисти. Механическая система прямой руки человека имеет резонанс в области частот 30–60 Гц. При передаче колебаний от ладони к тыльной стороне кисти амплитуда колебаний при неизменной частоте 40–50 Гц уменьшается на 35–65 %. На участках между кистью и локтем, локтем и плечом происходит дальнейшее ослабление колебаний. Наибольшее затухание наблюдается в плечевом суставе и на голове. С увеличением силы нажима на рукоятку наблюдается пропорциональное возрастание проводимости вибрации на плече, составляющее 1,2 дБ на удвоение силы нажима для частоты 8 Гц, около 3 дБ для частоты 16 Гц и 4–5 дБ – для частот 32–125 Гц. При увеличении силы нажима на инструмент человеком не только будет получено большее количество колебательной энергии в связи с увеличением входного механического импеданса, но воздействие вибрации распространится на большую рецептивную зону.

Проявления вредного воздействия вибрации весьма многообразны. Вибрация нарушает заданные проектом законы и траектории движения машин и механизмов, вызывает отказы систем управления и может привести к полной расстройке всей системы. Вибрация увеличивает динамические нагрузки в элементах конструкций, снижая их несущую способность и вызывая усталостные разрушения.

Непосредственное действие вибрации на человека приводит зачастую к тяжелым последствиям. Вибрация снижает работоспособность, нарушает координацию движений, ухудшает реакцию. Вибрация может привести к поражению отдельных систем организма: вестибулярного аппарата, нервной, сердечно-сосудистой, кровеносной и других систем, вызывать изменения мышечных и костных тканей. Поэтому очень важное место в современной технике занимают методы подавления вибрации и защиты от ее воздействия. Совокупность таких методов и средств принято называть виброзащитой.

3.3.3. Влияние механических воздействий на технические объекты и человека

Рассмотрим, как влияют механические воздействия на различные объекты (машины, приборы, аппараты) и человека.

1. *Статические нагрузки.* При наличии в объекте соединений с силовым замыканием действие линейной перегрузки может вызвать нарушение нормального функционирования системы (размыкание пружины электрических контактов, ложные срабатывания релейных устройств и т.п.).

2. *Вибрационные воздействия.* Знакопеременные напряжения, вызванные вибрационными воздействиями, приводят к накоплению повреждений в материале, что вызывает появление усталостных трещин и разрушение; к постепенному ослаблению («разбалтыванию») неподвижных соединений; к изменению структуры поверхностных слоев сопрягаемых деталей, их износу и в результате – к уменьшению силы трения в соединении; они могут вызвать соударения сопрягаемых поверхностей, приводящие к их разрушению, если в объекте имеются подвижные соединения с зазорами (кинематические пары в механизмах); возникновение резонансных явлений, приводящих к разрушению объекта.

3. *Ударные воздействия* могут явиться причиной разрушения объекта. Многократные удары могут привести к усталостным разрушениям, особенно в тех случаях, когда периодическое ударное воздействие оказывается способным вызывать резонансные колебания объекта.

4. *Вибрационные и ударные воздействия* могут приводить к нарушению нормального функционирования объектов, не вызывая их нарушений.

Нарушение функционирования объекта, не связанное с разрушениями или с другими необратимыми изменениями, называется *отказом*. Способность объекта не разрушаться при механических воздействиях называется *вибропрочностью*, а способность нормально функционировать – *виброустойчивостью*. Цель виброзащиты технических объектов – повышение их вибропрочности и виброустойчивости.

5. Вибрация, возникающая при работе машин различных типов и оборудования, влияет не только на технические объекты, но и на людей, находящихся вблизи источника вибрации или в непосредственном контакте с ним. Длительное воздействие вибрации нарушает нормальное состояние человека, непосредственно влияет на производительность труда и качество выполняемой работы. Различают вредные нарушения физиологического и функционального состояния человека- оператора, вызываемые вибрацией. Стойкие вредные физиологические изменения называют *вибрационной болезнью*. К симптомам вибрационной болезни относится головная боль, онемение пальцев рук, боли в кистях и предплечье, возникновение судорог, смещение порогов болевой чувствительности, повышение чувствительности к охлаждению, появление бессонницы. При вибрационной болезни возникают патологические изменения спинного мозга, сердечно-сосудистой системы, костных тканей и суставов, изменяется капиллярное кровообращение. Функциональные нарушения, связанные с действием вибрации на человека-оператора, могут выражаться в ухудшении зрения, изменении реакции вестибулярного аппарата (нарушения координации движений и относящиеся к ориентации тела, возникновение галлюцинаций и т.п.), а также в более быстрой утомляемости.

В первую очередь вибрация оказывает вредное влияние на рабочих, использующих ручные механизированные инструменты, на персонал, обслуживающий вибрационные машины (виброгрохоты, вибромолоты, виброштаповки, вибропогружатели свай, труб, шпунтов и т.п., виброконвейеры, виброуплотнители, вибрационные мельницы и т.п.), а также многие строительные дорожные и сельскохозяйственные машины (бульдозеры, грейдеры, тракторы, комбайны и т.д.).

В несколько меньшей степени действие вибрации обычно испытывает персонал, связанный с работой машин и механизмов, содержащих неуравновешенные движущиеся элементы, а также с работой всех видов транспортных средств.

3.4. Нормирование вибрации, действующей

на человека

С гигиенической точки зрения условия труда при воздействии вибрации характеризуются следующим образом:

– комфорт, когда вынуждающая вибрация не вызывает раздражающего действия;

– сохранение работоспособности, когда вызываемое вибрацией утомление (усталость) оператора не ведет к снижению производительности труда;

– вибрационная безопасность, когда вибрация не оказывает на организм работающего вредного биологического действия, приводящего к заболеванию;

– вибрационная опасность, когда действие вибрации на организм может вызвать вибрационную болезнь;

– вибрационное поражение, когда действие вибрации на организм работающих непереносимо или создает опасность травмирования.

Гигиеническое нормирование вибрации машин, приборов, технологического оборудования, средств транспорта и тому подобное, действующей на человека, служит для обеспечения вибробезопасных условий труда; оно заключается в ограничениях уровней вибрации элементов машин, с которыми соприкасается тело человека (сиденья, платформы, перекрытия зданий, рукоятки механизированного инструмента и т.п.).

Существующие нормативные требования допустимых вибрационных воздействий основаны на оценках субъективного восприятия вибраций человеком, а также физиологических, функциональных, биомеханических и биохимических реакций его организма. Действие вибрации на организм человека определяется четырьмя основными характеристиками вибрационного процесса: интенсивностью, спектральным составом, длительностью воздействия, направлением действия.

Показателями интенсивности служат среднеквадратические или амплитудные значения виброускорения, виброскорости или виброперемещения, измеренные на рабочем месте. При оценке интенсивности вибрации наряду с размерными величинами используют логарифмические уровни вибраций (дБ):

$$L_{\omega} = 20 \lg \frac{\omega}{\omega_0},$$

где ω – измеряемый кинематический параметр вибрации (виброперемещение, виброскорость, виброускорение); ω_0 – начальное

значение соответствующего параметра ($x_0 = 8 \cdot 10^{-12}$ м, $v_0 = 5 \cdot 10^{-8}$ м/с, $a_0 = 3 \cdot 10^{-4}$ м/с²).

Соотношения между уровнями виброскорости приведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Перевод уровней виброскорости, дБ, в значения виброскорости, м/с

Уровень, дБ	Виброскорость, 10^2 м/с	Уровень, дБ	Виброскорость, 10^2 м/с	Уровень, дБ	Виброскорость, 10^2 м/с
80	0,05	97	0,354	114	2,51
81	0,056	98	0,397	115	2,81
82	0,063	99	0,446	116	3,16
83	0,071	100	0,50	117	3,54
84	0,079	101	0,56	118	3,97
85	0,089	102	0,63	119	4,46
86	0,099	103	0,71	120	5,00
87	0,112	104	0,79	121	5,60
88	0,126	105	0,89	122	6,30
89	0,141	106	1,00	123	7,10
90	0,158	107	1,12	124	7,90
91	0,177	108	1,26	125	8,90
92	0,199	109	1,41	126	10,0
93	0,223	110	1,58	127	11,2
94	0,251	111	1,77	128	12,6
95	0,281	112	1,99	129	14,1
96	0,316	113	2,23		

Для гармонической вибрации с частотой f логарифмические виброперемещения L_x и виброускорения L_a определяются через логарифмический уровень виброскорости:

$$L_x = L_v - 20 \lg f + 60 ;$$

$$L_a = L_v + 20 \lg f - 60 .$$

В нормативных материалах допустимые уровни вибрации установлены при продолжительности воздействия в течение восьмичасового рабочего дня. Недопустимо применение виброопасных машин и выполнение работ, если вибрация, действующая на человека в течение восьми часов, превышает заданные нормы. При воздействии вибрации, превышающей установленные нормативы, продолжительность воздействия вибрации на человека в течение рабочей смены рекомендуется уменьшать в соответствии с данными, приведенными в табл. 3.4.

Параметры вибрации, действующей на тело человека, измеряют в направлении осей координатной системы $X Y Z$ (рис. 3.4, 3.5).

Таблица 3.4

**Допустимая длительность вибрационного воздействия
при превышении допустимых норм**

Превышение нормативов вибрации для рабочих мест, не более		Допустимая длительность вибрационного воздействия, мин, не более		Превышение нормативов вибраций для рабочих мест, не более		Допустимая длительность вибрационного воздействия, мин, не более	
дБ	Раз	при работе на стационарных и транспортных машинах	для вахт в машинно-котельных отделениях судов	дБ	Раз	при работе на стационарных и транспортных машинах	для вахт в машинно-котельных отделениях судов
0	1	480	1400	9	2,8	30	60
3	1,4	120	–	12	4	15	–
6	2	60	120				

Перечень и краткая характеристика основных нормативных документов, устанавливающих предельно допустимые уровни вибрации, действующей по осям X , Y , Z , приведены в табл. 3.5.

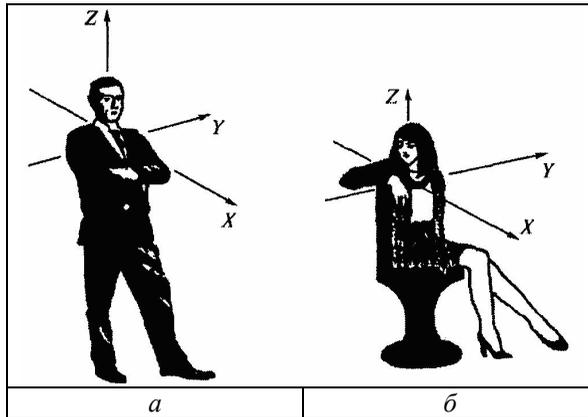


Рис. 3.4. Направление координатных осей при действии общей вибрации:
а – положение стоя; *б* – положение сидя

В табл. 3.6 приведены гигиенические нормы по ограничению вибрации на рабочих местах обслуживающего персонала всевозможного оборудования и водителей средств транспорта.

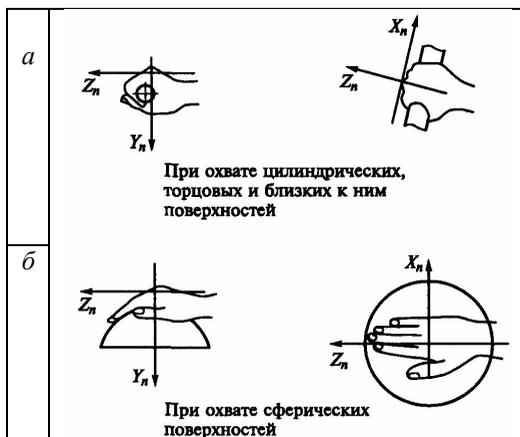


Рис. 3.5. Направление координатных осей при действии локальной вибрации

Международной организацией по стандартизации (ИСО) предложены нормы на допустимый уровень вибрации, действующей на человека. Стандарт ИСО устанавливает допустимые среднеквадратические значения виброускорения в диапазоне частот 1–80 Гц. Предельные значения вибрационного воздействия на человека указаны в соответствии с тремя основными оценками условий работы:

- 1) обеспечение безопасности или здоровья (предел воздействия);
- 2) обеспечение производительной работы (граница снижения производительности труда от усталости);
- 3) обеспечение комфорта (порог снижения комфорта).

В табл. 3.7 и 3.8 приведены предельные среднеквадратические значения виброускорений, соответствующие второму критерию.

Чтобы получить нормативные значения, удовлетворяющие первому критерию («предел воздействия»), значения виброускорений, приведенные в табл. 3.7 и 3.8, следует увеличить в 2 раза (на 6 дБ). Численные значения норм, удовлетворяющих третьему критерию («порог снижения комфорта») получается в результате уменьшения в 3,15 раза (на 10 дБ) значений виброускорений, приведенных в табл. 3.7 и 3.8.

В соответствии с ГОСТ 12.1.012–90 и стандартом СТ СЭВ 192–79 «Вибрация. Допустимые уровни общей вибрации на рабочих местах» допустимые уровни вибрации, действующей на тело человека, устанавливаются для трех основных категорий:

Таблица 3.5

Характеристика нормативных документов, регламентирующих допустимые уровни вибрации

Название документа	Область применения	Нормируемый параметр вибрации, действующий по оси X, Y, Z	Полоса частот при анализе	Диапазон частот, в котором нормируется вибрация, Гц	Продолжительность воздействия, мин	Направления действия, для которых нормы совпадают	Год введения документа в действие
Вибрация. Общие требования безопасности, ГОСТ 12.1.012–90 (96)	Производственное оборудование, средства транспорта, ручные, стационарные, самоходные и прицепные машины	Среднеквадратическое значение виброскорости	Октава	1–63 (1–1000 для ручных машин)	480 (фиксирована)	X, Y	1990
Оценка воздействия на человека общей вибрации. Общие требования. Международный стандарт ИСО 2631–85	Транспорт, здания, машины	Среднеквадратические значения виброускорений; длительность воздействия	1/3 октавы	1–80	5–1440	X, Y	1985
Вибрация. Допустимые уровни общей вибрации на рабочих местах. Стандарт СЭВ 1932–79	Технологическое оборудование, подвижные машины и транспортные средства	Среднеквадратические значения виброскорости или виброускорения; длительность воздействия	Октава или 1/3 октавы; непрерывный частотный анализ	0,8–90	0–480	X, Y	1982

Таблица 3.6

Допустимые значения уровня вибрации на рабочем месте человека-оператора по ГОСТ 12.1.012-90

Вид вибрации	Направления, по которым нормируются вибрации	Среднеквадратические значения виброскорости, м/с · 10 ⁻² Их уровни, дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц, не более							
		1	2	4	8	16	31,5	63	
Транспортная	По оси Z	20 132	<u>7.1</u> 123	<u>2.5</u> 114	<u>1.3</u> 108	<u>1.1</u> 107	<u>1.1</u> 107	<u>1.1</u> 107	
		<u>6.3</u> 122	<u>3.5</u> 177	<u>3.2</u> 116	<u>3.2</u> 116	<u>3.2</u> 116	<u>3.2</u> 116	<u>3.2</u> 116	
Транспортно-технологическая	По осям X и Y	-	<u>3.5</u> 177	<u>1.3</u> 108	<u>0.63</u> 102	<u>0.56</u> 101	<u>0.56</u> 101	<u>0.56</u> 101	
		-	<u>1.3</u> 108	<u>0.45</u> 99	<u>0.22</u> 93	<u>0.2</u> 92	<u>0.2</u> 92	<u>0.2</u> 92	
Технологическая на постоянных рабочих местах в производственных помещениях предприятий; в машинно-котельных отделениях, центральных постах управления; производственных помещениях В складах, столовых, бытовых, дежурных, производственных помещениях, где нет машин, генерирующих вибрации	По осям Z, X и Y	-	<u>0.5</u> 100	<u>0.18</u> 91	<u>0.089</u> 85	<u>0.079</u> 84	<u>0.079</u> 84	<u>0.079</u> 84	
		-	<u>0.18</u> 91	<u>0.063</u> 82	<u>0.032</u> 76	<u>0.028</u> 75	<u>0.028</u> 75	<u>0.028</u> 75	
В заводоуправлениях, лабораториях, учебных пунктах, конструкторских бюро, вычислительных центрах, здравпунктах, конторских помещениях и других помещениях для работников умственного труда	По осям Z, X и Y	-	<u>0.5</u> 100	<u>0.18</u> 91	<u>0.089</u> 85	<u>0.079</u> 84	<u>0.079</u> 84	<u>0.079</u> 84	
		-	<u>0.18</u> 91	<u>0.063</u> 82	<u>0.032</u> 76	<u>0.028</u> 75	<u>0.028</u> 75	<u>0.028</u> 75	

Таблица 3.7

Допустимые значения виброускорения $\ddot{a}_z, \text{м/с}^2$, по СТ ИСО 2631–85

Среднегеометрическая частота 1/3-октавной полосы, Гц	Продолжительность воздействия							Среднегеометрическая частота 1/3-октавной полосы, Гц	Продолжительность воздействия						
	480	240	150	60	25	16	1		480	240	150	60	25	16	1
1,0	0,63	1,06	1,40	2,36	3,55	4,25	5,60	12,5	0,50	0,85	1,12	1,90	2,80	3,35	4,50
1,25	0,56	0,95	1,26	2,12	3,15	3,75	5,00	16,0	0,63	1,06	1,40	2,36	3,55	4,25	5,60
1,60	0,50	0,85	1,12	1,00	2,80	3,35	4,50	20,0	0,80	1,32	1,80	3,00	4,50	5,30	7,10
2,00	0,45	0,75	1,00	1,70	2,50	3,00	4,00	25,0	1,00	1,70	2,24	3,75	5,60	6,70	9,00
2,50	0,40	0,67	0,90	1,50	2,24	2,65	3,55	31,5	1,25	2,12	2,80	4,75	7,10	8,50	11,2
3,50	0,355	0,60	0,80	1,32	2,00	2,35	3,15	40,0	1,60	2,65	3,55	6,00	9,00	10,6	14,0
4,00	0,315	0,53	0,71	1,18	1,80	2,12	2,80	50,0	2,00	3,35	4,50	7,50	11,2	13,2	18,0
8,00	0,315	0,53	0,71	1,18	1,80	2,12	2,80	63,0	2,50	4,25	5,60	9,50	14,0	17,0	22,4
10,00	0,40	0,67	0,90	1,50	2,24	2,65	3,55	80,0	3,15	5,30	7,10	11,8	18,0	21,2	28,0

Категория 1 – транспортная вибрация, воздействующая на оператора на рабочих местах самоходных и прицепных машин и транспортных средств при их движении по местности, агрофону и дорогам, в том числе при их строительстве; при этом оператор может активно, в известных пределах, регулировать воздействия вибрации.

Категория 2 – транспортно-технологическая вибрация, воздействующая на человека-оператора на рабочих местах машин с ограниченной подвижностью при их перемещении по специально подготовленным поверхностям производственных помещений, промышленных площадок и горных выработок; при этом оператор может лишь иногда регулировать воздействие вибрации.

Таблица 3.8

**Допустимое значение виброускорений \ddot{a}_x и \ddot{a}_y , м/с²,
по СТ ИСО 2631–85**

Среднегеометрическая частота 1/3-октавной полосы, Гц	Продолжительность воздействия, мин							Среднегеометрическая частота 1/3-октавной полосы, Гц	Продолжительность воздействия, мин						
	480	240	150	60	25	16	1		480	240	150	60	25	16	1
	Виброускорение, м/с ²								Виброускорение, м/с ²						
1,00	0,224	0,35	0,50	0,85	1,25	1,50	2,00	10,0	1,12	1,80	2,50	4,25	6,30	7,50	10,0
1,25	0,224	0,355	0,50	0,85	1,25	1,50	2,00	12,5	1,40	2,24	3,15	5,30	8,00	9,50	12,5
1,60	0,224	0,355	0,50	0,85	1,25	1,50	2,00	16,0	1,80	2,80	4,00	6,70	10,0	11,8	16,0
2,00	0,224	0,355	0,50	0,85	1,25	1,50	2,00	20,0	2,24	3,50	5,00	8,50	12,5	15,0	20,0
2,50	0,280	0,450	0,63	1,06	1,60	1,90	2,50	25,0	1,80	4,50	6,30	10,6	16,0	19,0	25,0
3,15	0,355	0,56	0,80	1,32	2,00	2,36	3,15	31,5	3,55	5,60	8,00	13,2	20,0	23,6	31,5
4,00	0,45	0,71	1,00	1,70	2,50	3,00	4,00	40,0	4,50	7,10	10,0	17,0	25,0	30,0	40,0
5,00	0,56	0,90	1,25	2,12	3,15	3,75	5,00	50,0	5,60	9,00	12,5	21,2	31,5	37,5	50,0
6,00	0,71	1,12	1,60	2,65	4,00	4,75	6,30	63,0	7,10	11,2	16,0	26,5	40,0	45,7	63,0
8,00	0,90	1,14	2,00	3,35	5,00	6,00	8,00	80,0	9,00	14,0	20,0	33,5	50,0	60,0	80,0

Категория 3а – технологическая вибрация, воздействующая на оператора на рабочих местах стационарных машин или передающаяся на рабочие места, не имеющие источников вибрации.

Категория 3б – вибрация на рабочих местах работников умственного труда и персонала, не занимающегося физическим трудом. К ней относятся рабочие места на промышленных кранах, у станков металло- и деревообрабатывающих, кузнечно-прессового оборудования, литейных машин и другого стационарного технологического оборудования.

Допустимые уровни вибрации категории 1 (СТ СЭВ 1932–79) для воздействия в течение 480 мин при частотном анализе в октавных или 1/3-октавных полосах указаны в табл. 3.9.

Допустимые уровни вибрации категории 2 должны определяться умножением допустимых уровней для категории 1 на коэффициент 0,5 (уменьшением на 6 дБ).

Допустимые уровни вибрации категории 3 должны определяться умножением допустимых уровней для категории 1 на коэффициент не более 0,18 (уменьшением не менее чем на 15 дБ).

Таблица 3.9

**Допустимые среднегеометрические значения вибростороности
и виброускорений при длительности воздействия 480 мин
(для категории 1)**

Среднегеометрические частоты полос, Гц	По виброускорению, м/с ²				По вибростороности, 10 ² м/с			
	Для 1/3 октавы		Для 1/1 октавы		Для 1/3 октавы		Для 1/1 октавы	
	Z	X, Y	Z	X, Y	Z	X, Y	Z	X, Y
0,8	0,71	0,224	1,10	0,39	14,12	4,45	20,0	6,30
1,0	0,63	0,224			10,03	3,57		
1,25	0,56	0,224			7,13	2,85		
1,6	0,50	0,224	0,79	0,42	4,97	2,29	7,10	3,50
2,0	0,45	0,224			3,58	1,78		
2,5	0,40	0,280			2,55	1,78		
3,15	0,355	0,355	0,57	0,8	1,79	1,78	2,50	3,20
4,0	0,315	0,450			1,25	1,78		
5,0	0,315	0,560			1,0	1,78		
6,3	0,315	0,710	0,6	1,62	0,80	1,78	1,30	3,20
8,0	0,315	0,900			0,64	1,78		
10,0	0,40	1,12			0,64	1,78		
12,5	0,50	1,40	1,14	3,20	0,64	1,78	1,10	3,20
16,0	0,63	1,80			0,64	1,78		
20,0	0,80	2,24			0,64	1,78		
25,0	1,0	2,80	2,26	6,38	0,64	1,78	1,10	3,20
31,5	1,25	3,55			0,64	1,78		
40,0	1,60	4,50			0,64	1,78		
50,0	2,0	5,60	4,49	12,76	0,64	1,78	1,10	3,20
63,0	2,50	7,10			0,64	1,78		
80,0	3,15	9,0			0,64	1,78		

Допустимое время воздействия в зависимости от уровня вибрации в случае, когда время экспозиции не превышает 480 мин,

$$U_T = U_{480} \sqrt{\frac{480}{T}},$$

где U_T – уровень для допустимого времени T ; U_{480} – уровень для 480 мин; T – время фактической ежедневной экспозиции, мин.

Максимальный уровень вибрации не должен превышать значений, определяемых для $T = 10$ мин.

3.5. Средства измерения и методы контроля вибрации

Параметры вибрации измеряются в направлении (или в направлениях), в которых колебательная скорость наибольшая.

Средства измерения должны обеспечивать измерение действующих значений колебательной скорости, м/с, или ее уровней, дБ, в октавных полосах частот на поверхностях ручной машины, предназначенных для контакта с рукой рабочего, или на поверхности рабочего места. К измерению допускаются виброизмерительные приборы, соответствующие требованиям ГОСТ 12.4.012–83 (86) «ССБТ. Вибрация. Средства измерения и контроля вибрации на рабочих местах. Технические требования».

Виброизмерительная система должна включать вибропреобразователь (пьезокристаллический), виброметр, полосовые фильтры, регистрирующий (или показывающий) прибор и вспомогательные приборы (магнитофоны, самописцы).

Основные технические характеристики некоторой применяемой виброизмерительной аппаратуры приведены в табл. 3.10.

Контроль за соответствием параметров вибрации требованиям действующих санитарных норм осуществляется на основании ГОСТ 12.1.012–90 (96). На производстве контроль вибрации осуществляется при аттестации рабочих мест и периодически: локальная вибрация должна контролироваться не реже двух раз в год, а также после периодического ремонта оборудования, общая – ежегодно. Оценка вибрации может быть проведена по требованию санитарных служб и технической инспекции профсоюзов.

Таблица 3.10

Технические характеристики виброизмерительной аппаратуры

Тип прибора	ВМ-1(ПН-19)	ВШВ-003М2	2511 (фирма «Брюль и Кьер», Дания)
Динамический диапазон, дБ:			
виброускорение.....	10–130	20–130	16–130
виброскорость.....	50–136	55–166	30–166
Частотный диапазон, Гц:			
виброускорение.....	1,4–8000	1–10000	0,3–15000
виброскорость.....	1,4–2800	1–10000	1,0–15000
Постоянная времени, с	1; 10	Быстро, медленно	1; 10
Тип фильтра	ФЭ-2	Встроенные	1618, 1621, 1623

3.6. Защита от вибрации

3.6.1. Основные методы виброзащиты

Способы виброзащиты весьма разнообразны. Выбор того или иного способа в значительной мере определяется характером источника вибрации. Когда невозможно оказать какое-либо ощутимое влияние на источник вибрации (природные явления – ветер, волны на воде, землетрясения и др.), применяют разнообразные технические средства, снижающие передачу вибрации и устраняющие ее вредное или разрушительное воздействие на защищаемый объект.

При постановке задач виброзащиты в исследуемой механической системе выделяют две подсистемы: И и О (рис. 3.6), соединенные между собой связями С. К подсистеме И относят ту часть механической системы, в которой непосредственно происходят физические процессы, вызывающие колебания; эта подсистема называется источником колебаний. Подсистема О – та часть механической системы, колебания которой требуется уменьшить; она называется объектом виброзащиты. Силы, возникающие в связях С, соединяющих объект с источником и вызывающие колебания объекта, называются динамическими воздействиями.

В случаях, когда свойства объекта и связей не влияют на колебания тех точек источника, в которых он соединяется с объектом, воздействия называются кинематическими. Динамические и кинематические воздействия объединены общим термином – механические воздействия.



Уменьшение интенсивности колебания объекта может быть достигнуто следующими способами:

1) уменьшением уровней механических воздействий, возбуждаемых источником; такой способ виброзащиты называется *снижением виброактивности источника*;

2) изменением конструкции объекта, при котором заданные механические воздействия будут вызывать менее интенсивные колебания объекта или его отдельных частей; этот метод называется *внутренней виброзащитой объекта*;

3) присоединением к объекту дополнительной механической системы (рис. 3.7), изменяющей характер его колебаний. Такая система называется динамическим гасителем колебаний, а метод виброзащиты – *динамическим гашением колебаний*;

4) установкой между объектом и источником дополнительной системы (рис. 3.8), защищающей объект от механических воздействий, возбуждаемых источником; этот метод виброзащиты называется *виброизоляцией*, а устройства, устанавливаемые между источником и объектом, – *виброизоляторами*.

Рассмотрим каждый из перечисленных методов.

Снижение виброактивности источника. Возбуждение колебаний источника может быть обусловлено различными причинами. Возмущающие факторы разделяют на две группы.



Рис. 3.8. Схема виброизоляции

К первой можно отнести различные физико-химические процессы, происходящие в источнике; процессы горения в реактивных двигателях внутреннего сгорания, процессы взаимодействия жидкости или газа с лопатками турбин, пульсацию жидкости или газа в трубопроводах, разнообразные технологические процессы (например, процесс резания металлов на металлорежущих станках и т.п.).

Вторая группа возмущающих факторов связана с движущимися телами. Движение тел внутри источника (вращение роторов, перемещение звеньев механизмов) сопровождается возникновением динамических реакций связей, соединяющих источник с другими телами, в частности с объектом.

Во всех случаях смещение центра масс относительно оси вращения приводит к возникновению неуравновешенной центробежной силы $F = me\omega^2$, где m – масса вращающейся системы; ω – угловая скорость вращения; e – эксцентриситет (радиус-вектор) центра рассматриваемой массы относительно оси ротора. Действие неуравновешенных динамических сил усугубляется плохим креплением деталей, их износом в процессе эксплуатации.

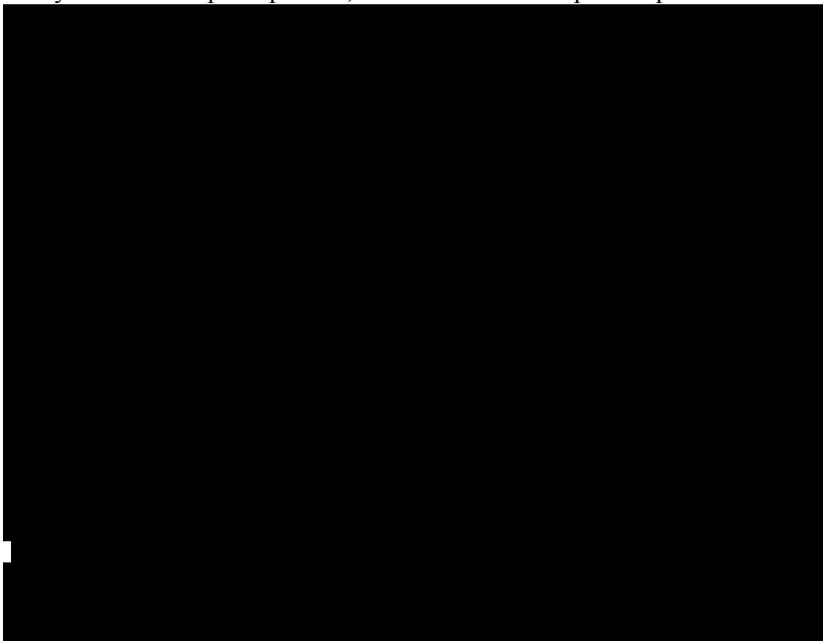
Для снижения уровня вибраций, возникающих из-за дисбаланса оборудования при монтаже и эксплуатации, должна применяться балансировка неуравновешенных роторов колес лопаточных машин, валов двигателей и т.п. Требования к балансировке и методы расчета дисбалансов изложены в ГОСТ 22.061–76 «Машины и технологическое оборудование. Системы классов точности балансировки».

Изменение конструкции объекта. Первый метод снижения колебаний состоит в устранении резонансных явлений. В этом случае даже при малых значениях дисбаланса и относительно небольших возбуждающих воздействиях уровень вибрационных параметров резко возрастает. Для снижения уровня производственных вибраций важно исключить резонансные режимы работы технологического оборудования. При проектировании это достигается выбором рабочих режимов с учетом собственных частот машин и механизмов. В процессе эксплуатации можно уменьшить жесткость агрегатов, а в некоторых случаях и их массы, что приведет к изменению значения собственных частот. Возможно изменение рабочих режимов оборудования. Все это следует учитывать, если машины и механизмы в процессе эксплуатации со временем становятся источником вибраций.

Учитывая, что собственная частота колебательной системы

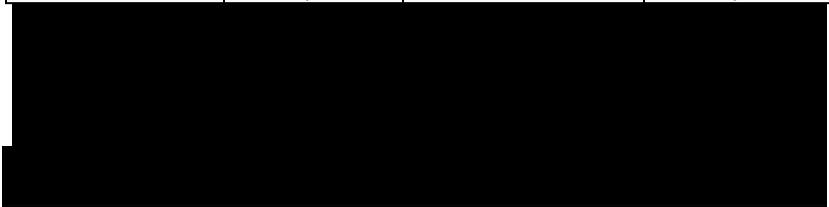
$$\omega_0 = \sqrt{b/m},$$

где b и m – соответственно жесткость и масса системы, изменяя любую из этих характеристик, можно исключить режим резонанса.



Покр	Коэф	Покр	Коэф
------	------	------	------

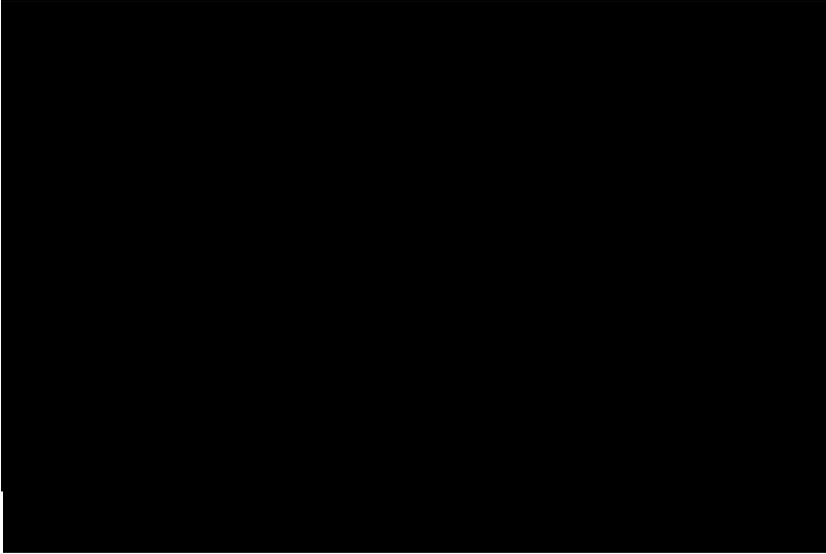
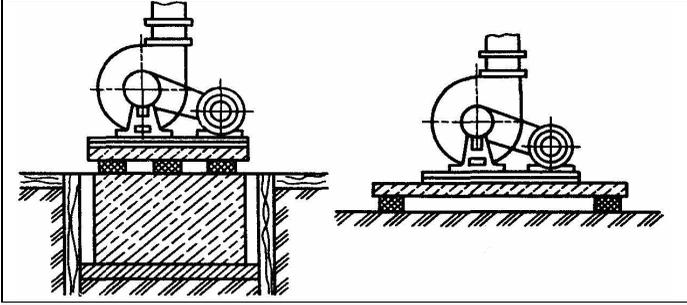
мастичные	потерь энергии		потерь энергии
Пластик №378	0,45	Адем-НШ	0,25
Мастика А2	0,40	Волосяной войлок	0,23
ВД-17-58	0,44	Поролон	0,22
ВД-17-59	0,30	Минераловатная плита	0,04
ВД-17-63	0,40	Губчатая резина	0,04
Пластикат «Агат»	0,46	Винипор технический	0,40
ВПМ 1	0,18	Радуга	0,30
ВПМ 2	0,22	Фольгоизол	0,27



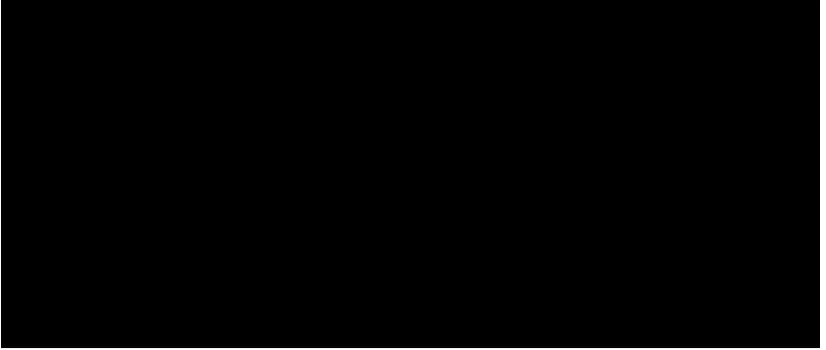
Динамическое гашение колебаний. Динамический гаситель, присоединяемый к объекту, формирует дополнительные динамические воздействия, прикладываемые к объекту в точках присоединения гасителя. Динамическое гашение осуществляется при таком выборе параметров гасителя, при котором эти дополнительные воздействия частично уравновешивают (компенсируют) динамические воздействия, возбуждаемые источником.

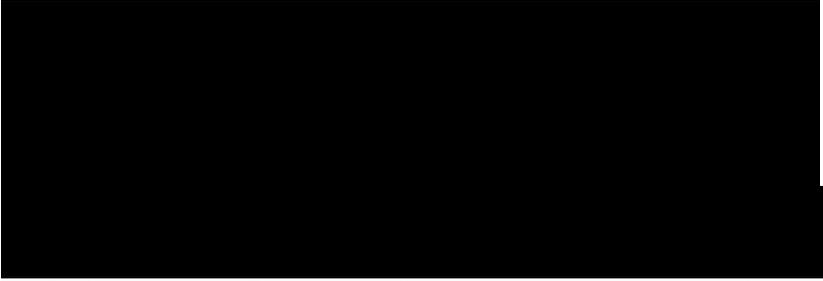
Использование метода виброгашения связано с увеличением реактивной части импеданса колебательной системы. Виброгашение реализуется при увеличении эффективной жесткости и массы корпуса машин или станин станков за счет их объединения в единую замкнутую систему с фундаментом с помощью анкерных болтов или цементной подливки. С этой же целью относительно малогабаритное инженерное оборудование жилых зданий (вентиляторы, насосы) устанавливают на опорные плиты и виброгасящие основания (рис. 3.9). Следует иметь в виду, что колебания сварных фундаментов приблизительно в 2 раза ниже, чем ленточных. Расчет фундаментных блоков производят по специальным методикам.

<i>a</i>	<i>б</i>
----------	----------

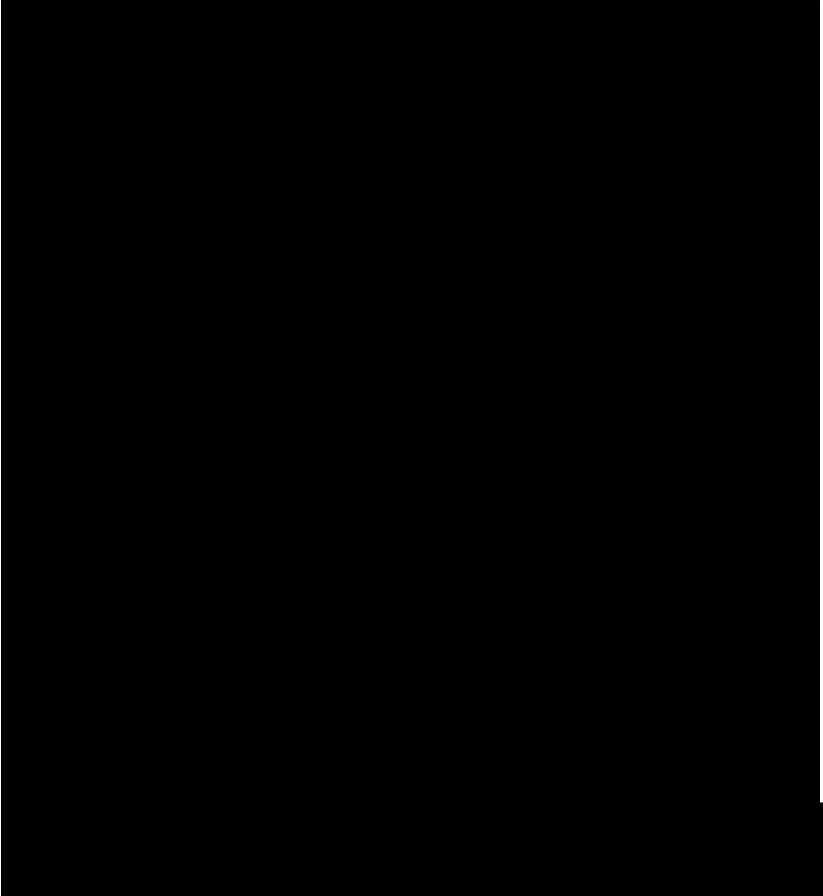


$$A_{\max} = P_{z0} / (b_z - m_{\Sigma} \omega^2).$$





Виброизоляция. Действие виброизоляции сводится к ослаблению связей между источником и объектом; при этом уменьшаются динамические воздействия, передаваемые объекту.



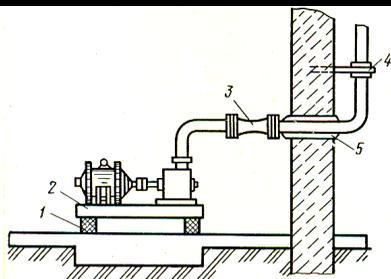


Рис. 3.10. Виды виброизоляции инженерного оборудования:

1 – упругая прокладка; 2 – железобетонная плита; 3 – вставка (резиновый шланг); 4 – хомут с упругой прокладкой; 5 – упругая прокладка

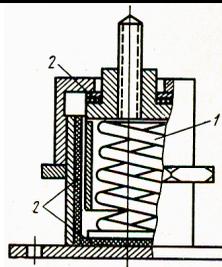
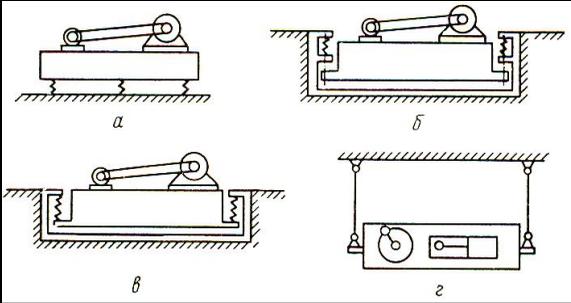
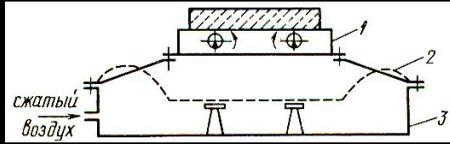
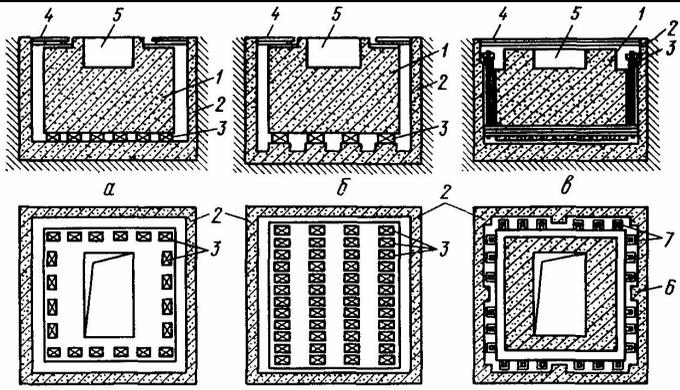
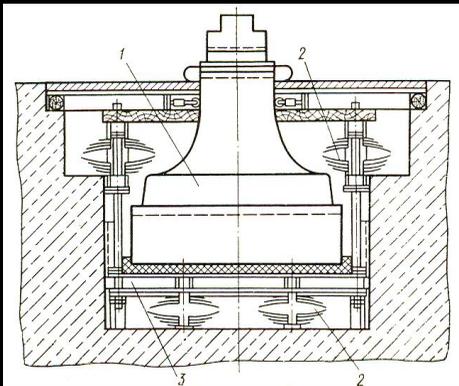


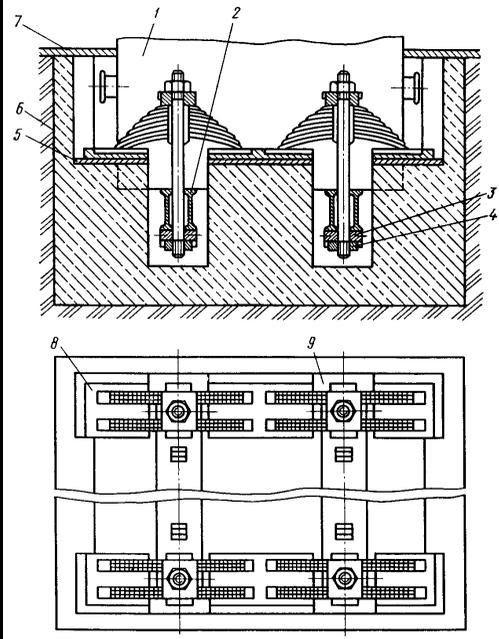
Рис. 3.11. Комбинированные виброизоляторы:

1 – цилиндрическая пружина; 2 – набор резиновых прокладок











Выбор виброизоляции можно вести в определенной последовательности. Выбирают конкретный тип виброизоляторов с известными допустимыми нагрузками и жесткостными характеристиками (например, по ГОСТ 17725–81 «Вибрация. Виброизоляторы резиновые. Коврики») и определяют значения собственных частот ω_0 виброизолированной установки. Для известных

значений частот ω возмущающих сил и моментов рассчитывают соответствующие значения КП и сопоставляют с требуемыми значениями.

Виброзащитные устройства и их эффективность. Демпферы, динамические гасители и виброизоляторы образуют в совокупности виброзащитные устройства. *Пассивными* называют устройства, состоящие из инерционных, упругих и диссипативных элементов. *Активные* устройства могут, кроме того, содержать элементы немеханической природы и, как правило, обладают независимым источником энергии.

Эффективность виброзащитных систем принято оценивать отношением величины какого-либо характерного параметра колебаний объекта, происходящих при применении данного виброзащитного устройства, к величине того же параметра при отсутствии виброзащиты. Это отношение называется *коэффициентом эффективности* вибрационной защиты.

3.6.2. Снижение вибрационной опасности безударных ручных машин

Жесткие ограничения массы и габаритных размеров ручных машин и высокие значения их удельной мощности требуют особого внимания к мероприятиям по снижению интенсивности возбуждения вибрации в её источниках. Эти источники можно подразделить на две группы. В первой группе вибрация корпуса машины и связанных с ним рукоятей является следствием заданного движения элементов ручной машины, включая инструмент и методы осуществления технологического процесса. Такие источники специально предусмотрены в машинах вибрационного и периодически ударного действия и при наличии звеньев механизма, совершающих возвратно-поступательные и возвратно-угловые движения. В этих случаях либо уменьшают равнодействующие переменных сил и моментов, либо добиваются того, чтобы ограниченный участок поверхности корпуса имел весьма низкий уровень вибрации, и к этому участку присоединяют рукоять.

Ко второй группе относят источники, которые в идеальных условиях не порождают вибрации. Такие источники имеются в ручных машинах с вращательным движением инструмента или взаимно уравновешенным синхронным движением двух или нескольких инструментов. В этих случаях принимают меры к снижению интенсивности источников вибрации.

В ручных машинах с вращательным движением инструмента (шлифовальные, фрезерные, развертывающие, резьбонарезные и др.) источниками вибрации являются биение поверхности инструмента, несбалансированность вращающихся частей, взаимодействие вращающегося инструмента с обрабатываемой средой.

Основным способом снижения вибрации является уменьшение несбалансированности вращающихся частей. Поскольку сами машины подвергаются балансировке, особое внимание следует уделять возможному дисбалансу инструмента, в особенности абразивных кругов ручных шлифовальных машин. Уменьшения центробежных сил, передаваемых на подшипники шпинделя новым абразивным кругом, можно добиться снижением неуравновешенности круга путем:

- а) изготовления его из абразивной смеси с более равномерным распределением зерен;
- б) снабжения круга металлической посадочной втулкой, обеспечивающей точное центрирование на шпинделе;
- в) снижения плотности круга применением высокопористых и прочных абразивных материалов.

По мере износа шлифовального круга нарушается его балансировка. Для непрерывного поддержания уравновешенности вращающихся частей шлифовальной машины в некоторых случаях используют шариковый автобалансир, представляющий собой концентрически закрепляемое на шпинделе кольцо с тороидальной полостью, частично заполненной шариками и смазочным маслом.

Вибрация ручной машины может возникать в результате колебаний силы взаимодействия вращающегося инструмента с обрабатываемой средой из-за биения или несбалансированности вращающегося инструмента, тремора рук оператора, неоднородности обрабатываемой среды, самовозбуждения. Колебания силы резания, вызванные биением или неуравновешенностью, исчезают с устранением последних. Колебания, вызванные тремором рук, при хорошей виброизоляции незначительны. Колебания, вызванные неоднородностью среды, становятся значительными лишь в исключительных случаях особо неоднородной или периодически неоднородной среды.

Автоколебания в рассматриваемой системе возникают на участке, где сила резания убывает с ростом окружной скорости.

К факторам, от которых зависят возможность возникновения и уровень автоколебаний, относятся свойства материала и состояние поверхности инструмента, свойства обрабатываемой среды, форма, размеры и окружная скорость инструмента, сила нажатия, наличие и

свойства смазочно-охлаждающей жидкости, упругие, инерционные и диссипативные свойства системы «оператор–машина–среда». Для предотвращения автоколебаний ручной машины требуется принятие достаточных мер на стадии ее расчета и конструирования.

В безударных ручных машинах некоторых типов, например в механизированных ножевых пилах, рубанках, шаберах, ножницах, инструмент и отдельные звенья механизмов совершают возвратно-поступательные или возвратно-угловые движения значительного размаха. Для снижения переменных сил, передаваемых ими на корпус машины, используют некоторые способы, описанные в подразд. 3.6.3. Снижения вибрации корпуса ручных вибрационных машин с синхронным приводом можно добиться применением динамических виброгасителей.

3.6.3. Снижение вибрационной опасности ручных машин ударного действия

Задачи снижения вибрационной опасности ручных машин ударного действия наиболее трудны вследствие больших сил, развиваемых при работе ударного механизма и вызывающих отдачу корпуса, высокой удельной мощности, реализуемых в этих машинах, широкополосного спектра вибрации, возбуждаемой ударами.

Ручные машины ударного действия подразделяют на машины с поступательными ударами (молотки, перфораторы, бетоноломы, трамбовки и др.) и машины с угловыми ударами (гайковерты, шпильковерты, шуруповерты, сверлильные машины ударного действия и др.). Потенциально наиболее виброопасными являются машины первой группы.

Снижению вибрации способствует повышение ударной скорости. Однако практически это ограничено пределами прочности и выносливости деталей ударного механизма, требованиями долговечности инструмента, а в некоторых случаях и особенностями технологического процесса, осуществляемого ручной машиной.

Значительное снижение размаха вибрации корпуса ручной машины ударного действия может быть достигнуто введением дополнительного уравнивающего инерционного элемента. Он движется в сторону, противоположную движению ударника, во время разгона последнего. Торможение уравнивающего элемента и его возвратное движение осуществляет упругий элемент малой жесткости. В качестве упругого элемента применяют винтовую пружину или (в машинах с пневматическим приводом) сжатый воздух, подаваемый в

камеру, имеющую выпускное отверстие. Здесь имеется возможность компенсации силы отдачи действием на корпус реактивных сил струй сжатого воздуха, управляемых движением ударного механизма. Такой элемент, обладая малой жесткостью, передает на корпус мало изменяющуюся силу, имеющую достаточно среднее значение. Его недостатком является некоторый дополнительный расход сжатого воздуха и действие вытекающих струй на операторов. У электромагнитных молотков в качестве уравнивающего инерционного элемента может быть использована силовая катушка со своим каркасом (для управления током).

Уравнивающий инерционный элемент с устройством его торможения и возврата существенно снижает низкочастотную вибрацию корпуса, но приводит к определенному усложнению конструкции, повышению массы машины и затраты энергии. Альтернативным решением является введение двух ударников, поочередно ударяющих по инструменту и обеспечивающих частичное взаимное уравнивание. Такое решение экономичнее по расходу энергии, но в конструктивном отношении еще сложнее.

В электрических трамбовках с кривошипным приводом ударного поддона с целью снижения размахов виброперемещения корпуса на последнем нередко устанавливают противовесы (дебалансы), вращающиеся с частотой ударов поддона, чем уравнивают силы, передаваемые на корпус кривошипным механизмом. Введение противовесов приводит к заметному увеличению массы машины, что в данном случае не очень существенно, так как оператор не воспринимает силы тяжести трамбовки, а только управляет ее передвижением с помощью рукоятки.

Для ударных гайковертов с электроприводом с целью повышения эффективности возможно значительное увеличение энергии одного углового удара, но недопустимо повышение ударной мощности, поскольку это приводит к утяжелению машины. Поэтому были разработаны редкоударные гайковерты, вибрационная опасность которых сильно уменьшена в связи с тем, что частота ударов установлена ниже диапазонов частот вибрации, регламентированной стандартом.

3.6.4. Система обеспечения защиты операторов ручных машин от вибрации

По мере роста интенсивности работы ручных машин, необходимого для повышения производительности труда, возросли

уровни передаваемой на руки операторов вибрации. В связи с этим была разработана и начала в широких масштабах осуществляться система скоординированных мероприятий по обеспечению защиты операторов ручных машин от вибрации. Эта система включает в себя следующие подсистемы:

1) обоснование, разработку и совершенствование нормирования допустимых уровней вибрации, передаваемой машинами на руки операторов, с учетом характера вибрации и сопутствующих факторов и регламентацией времени работы оператора с машиной в течение рабочей смены;

2) разработку и совершенствование методов и средств испытаний с целью установления вибрационных характеристик ручных машин;

3) разработку вибробезопасных и в то же время высокоэффективных ручных машин, включая выполнение научно-исследовательских, опытно-конструкторских и проектно-технологических работ и осуществление организационных мероприятий;

4) разработку и совершенствование правил и мероприятий, регламентирующих условия вибробезопасной эксплуатации ручных машин;

5) обоснование, разработку и совершенствование методик оценки технико-экономической, гигиенической и социальной эффективности мероприятий по снижению уровней вибрации, воспринимаемой руками оператора.

3.6.5. Особенности виброизоляции и динамического виброгашения в ручных машинах

С помощью виброизоляции наиболее трудно добиться значительного снижения низкочастотной вибрации, поскольку для этого первая собственная частота виброизолированной системы должна быть, по крайней мере, в несколько раз ниже частоты изолируемой вибрации. Это приводит к необходимости использовать в системе виброизоляции упругие элементы малой жесткости, причем их жесткость должна быть тем ниже, чем меньше масса изолируемых частей. Для ручных машин наиболее целесообразна виброизоляция всего корпуса машины от воздействий приводного механизма и инструмента. Нередко это оказывается недостаточным, и приходится применять двухкаскадную или даже трехкаскадную систему виброизоляции, располагая дополнительные упругие элементы между

корпусом и рукоятью и между рукоятью и рукой оператора. Жесткость этих упругих элементов может быть не слишком низкой.

В системах виброизоляции ручных машин находят широкое применение стальные пружины, упругие элементы из высокоэластичных материалов (резины, полиуретана и др.) и пневматические упругие элементы (поршневого типа в проточной металлической камере и герметизированные пневмобаллоны в резинокордной камере). Преимуществами стальных пружин являются возможность достижения малого демпфирования, слабая зависимость жесткости от температуры, стабильность во времени, но в некоторых условиях пружины могут быть дополнительным источником шума (особенно в машинах ударного действия). Существуют металлические пружины с повышенным демпфированием.

Упругим элементам из высокоэластичных материалов можно придавать разнообразную форму, отвечающую конструктивным и эксплуатационным требованиям. Они практически бесшумны. Кроме того, они обладают низкой теплопроводностью и поэтому хорошо подходят для облицовки поверхности рукояти, соприкасающейся с рукой оператора. К недостаткам высокоэластичных материалов относятся их сравнительно быстрое старение и значительная зависимость жесткости от температуры.

Пневматические упругие элементы хорошо подходят для систем виброизоляции ручных машин, поскольку они могут обеспечить значительную несущую силу при низкой жесткости. Однако размеры резинокордных пневмобаллонов нередко не удается довести до достаточно малых значений. Поршневые упругие элементы находят применение в некоторых машинах с пневматическим приводом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В Российской Федерации уделяется постоянное внимание улучшению условий труда на производстве, снижению воздействия отрицательных производственных факторов на здоровье работающих, совершенствованию законодательства в области безопасности жизнедеятельности.

Современное человеческое общество немислимо без повсеместного использования света. Осветительные установки создают необходимые условия освещения, которые обеспечивают зрительное восприятие, дающее около 90 % информации, получаемой человеком от окружающего его мира. Свет создает нормальные условия для работы и учебы, улучшает наш быт.

Эффективное использование света с помощью достижений современной светотехники (таких, как широкое применение современных ламп, правильный выбор света и рациональных светильников, рациональное оформление производственного интерьера и др.) является важнейшим резервом повышения производительности труда и качества продукции, снижения травматизма и сохранения здоровья людей.

Таким же резервом является уменьшение вредного воздействия вибрации на человека на производстве. Борьба с вибрацией в настоящее время приобретает все большую актуальность в связи с ее усилением, вызываемым увеличением мощностей и рабочих скоростей машин и технологического оборудования. Практика показывает, что в строительной индустрии не всегда до конца используются существующие технические, технологические и организационные возможности для обеспечения максимальной защиты людей от вибрации. Отчасти причиной этого является отсутствие знаний об основных правилах защиты от вибрации, а иногда и недостаточное понимание ее необходимости.

Обеспечение реальной безопасности жизнедеятельности возможно при участии широкого круга дипломированных специалистов по безопасности жизнедеятельности и работающих в других областях науки и техники.

Библиографический список

1. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств (Охрана труда): учеб. пособие / П.П. Кукин, В.Л. Лапин, Н.Л. Пономарев и др. – М.: Высш. шк., 2004. – 319 с.

2. *Русак, О.Н.* Безопасность жизнедеятельности в техносфере: учеб. пособие / под ред. О.Н. Русака, В.Я. Кондратенко. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2001. – 431 с.

3. Безопасность жизнедеятельности: учеб. / под ред. С.В. Белова. – 5-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк., 2005. – 606 с.

4. *Глебова, Е.В.* Производственная санитария и гигиена труда: учеб. пособие для вузов / Е.В. Глебова. – М.: Высш. шк., 2007. – 382 с.

5. Безопасность жизнедеятельности: учеб. для вузов / С.В. Белов, А.В. Ильницкая, А.Ф. Козьяков и др.; под общ. ред. С.В. Белова. – М.: Высш. шк., 2007. – 616 с.

6. Гигиенические критерии оценки и классификация условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса: Руководство Р 2.2.755–99. – М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 1999. – 192 с.

7. *Девисилов, В.А.* Охрана труда / В.А. Девисилов. – М.: ФОРУМ-ИНФРА-М, 2005. – 400 с.

8. Безопасность жизнедеятельности: учеб. пособие для вузов / О.Н. Русак, Д.А. Кривошей, Л.А. Муравей и др.; под. общ. ред. Л.А. Муравья. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2000. – 447 с.

9. Безопасность жизнедеятельности: учеб. для студентов средних спец. учеб. заведений / С.В. Белов, В.А. Девисилов, А.Ф. Козьяков и др.; под общей ред. С.В. Белова. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк., 2002. – 357 с.

10. *Измеров, Н.Ф.* Человек и шум / Н.Ф. Измеров, Г.А. Суворов, Л.В. Прокопенко. – М.: Геотар – Мед, 2001. – 380 с.

11. *Русак, О.Н.* Безопасность и охрана труда: учеб. пособие для вузов / О.Н. Русак. – СПб.: Изд-во МАНЭБ, 2001. – 279 с.

12. *Айзенберг, Ю.Б.* Справочная книга по светотехнике / Ю.Б. Айзенберг. – 2-е издание. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 526 с.

13. *Кнорринг, Г.М.* Светотехнические расчеты в установках искусственного освещения / Г.М. Кнорринг. – Л.: Энергия, 1973. – 200 с.

14. Безопасность труда в строительстве (Инженерные расчеты по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности»): учеб. пособие / Д.В. Коптев, Г.Г. Орлов, В.И. Булыгин и др. – М.: Изд-во АСВ, 2003. – 352 с.

15. Трудовой кодекс Российской Федерации. С изменениями и дополнениями на 15 сентября 2007 года. – М.: Изд-во ЭКСМО, 2007. – 320 с.
16. СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение». – М.: Информиздатцентр Госстроя России, 1995.
17. ГОСТ 12.1.012 – 90 «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования». – М.: Изд-во стандартов, 1990.

Оглавление

Введение.....	3
1. Санитарное законодательство Российской Федерации.....	6
1.1. Законодательные акты по производственной санитарии.....	6
1.2. Подзаконные акты.....	12
1.3. Нормативные правовые акты в области производственной санитарии и гигиены труда.....	13
1.4. Надзор и контроль за соблюдением санитарного законодательства.....	14
2. Производственное освещение.....	16
2.1. Требования к производственному освещению.....	17
2.2. Основные этапы развития светотехники.....	18
2.3. Основные понятия и определения, применяемые в светотехнике	20
2.3.1. Лучистая энергия.....	20
2.3.2. Лучистый поток.....	21
2.3.3. Световой поток.....	21
2.3.4. Сила света.....	22
2.3.5. Яркость.....	23
2.3.6. Освещенность и светимость.....	24
2.3.7. Световые свойства тел.....	24
2.3.8. Цветовые свойства тел.....	25
2.4. Устройство глаза.....	26
2.4.1. Функции и параметры зрения.....	27
2.4.2. Основные функции зрения.....	28
2.4.3. Восприятие цвета.....	31
2.5. Нормирование производственного освещения.....	32
2.5.1. Нормирование естественного освещения.....	33
2.5.2. Нормирование искусственного освещения.....	35
2.6. Виды и системы освещения.....	45
2.6.1. Естественное освещение.....	45
2.6.2. Искусственное освещение.....	51
2.6.3. Совмещенное освещение помещений.....	54
2.7. Расчет производственного освещения.....	61
2.7.1. Расчет естественного освещения.....	61
2.7.2. Расчет искусственного освещения.....	62
2.8. Световые приборы.....	72
2.8.1. Характеристики безопасности.....	77
2.8.2. Защита от воздействия среды.....	79

2.8.3. Характеристики надежности работы.....	82
2.9. Источники света. Их гигиеническая оценка и область применения.....	83
2.9.1. Классификация ламп накаливания.....	84
2.9.2. Классификация люминесцентных ламп.....	100
2.9.2.1. Люминесцентные лампы низкого давления.....	107
2.9.2.2. Ртутные лампы высокого и сверхвысокого давления.....	108
3. Вибрация.....	116
3.1. Основные понятия теории вибрации.....	116
3.1.1. Вибрационные параметры.....	116
3.1.2. Механический импеданс.....	117
3.1.3. Собственная частота.....	118
3.2. Классификация вибраций.....	118
3.2.1. Общая вибрация.....	120
3.2.2. Локальная вибрация.....	122
3.3. Вибрационные воздействия и их влияние на человека.....	127
3.3.1. Типичные случаи вибрационных воздействий.....	127
3.3.2. Влияние вибрации на человека.....	129
3.3.3. Влияние механических воздействий на технические объекты и человека.....	131
3.4. Нормирование вибрации, действующей на человека.....	133
3.5. Средства измерения и методы контроля вибрации.....	141
3.6. Защита от вибрации.....	142
3.6.1. Основные методы виброзащиты.....	142
3.6.2. Снижение вибрационной опасности безударных ручных машин.....	154
3.6.3. Снижение вибрационной опасности ручных машин ударного действия.....	156
3.6.4. Система обеспечения защиты операторов ручных машин от вибрации.....	158
3.6.5. Особенности виброизоляции и динамического виброгашения в ручных машинах.....	158
Заключение.....	160
Библиографический список.....	161

Учебное издание

Залаева Светлана Шагитовна
Рыбка Оксана Александровна

Производственная санитария и гигиена труда

Учебное пособие

Редактор Афолина Г.Н.

Подписано в печать 30.05.08. Формат 60×84/16. Усл.печ.л. 9,6. Уч-изд.л. 10,3.

Тираж 100 экз.

Заказ

Цена

Отпечатано в Белгородском государственном ситехнологическом
универтете им. В.Г. Шухова

308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46