


 Experience Light

ЭЛЕМЕНТАРНАЯ СВЕТОТЕХНИКА

 Световые
Технологии

Л. П. ВАРФОЛОМЕЕВ

Элементарная светотехника

Содержание

В книге в доступной форме изложены современные представления по основным разделам светотехнических знаний: природа света, световые величины и единицы их измерения, источники света и аппараты включения, требования российских и европейских нормативных документов, простейшие приемы расчета осветительных установок, критерии оценки качества освещения, эксплуатация осветительных установок.

Книга предназначена для лиц, работающих на светотехнических предприятиях и не имеющих светотехнического образования.

Запрещается полное или частичное использование и воспроизведение текста и иллюстраций в любых формах без письменного разрешения правообладателя

© ООО «ТК «Световые Технологии»

Введение	
1. Что такое свет?	8
2. Световые величины и единицы их измерений	14
3. Нормирование и расчет освещения	27
3.1. Нормирование освещения	27
3.2. Простейшие методы расчета освещенности и яркости	51
3.2.1. Точечный метод	52
3.2.2. Метод коэффициента использования светового потока	54
4. Источники света	59
4.1. Параметры источников света	61
4.2. Тепловые источники света	66
4.3. Газоразрядные источники света	81
4.3.1. Люминесцентные лампы	84
4.3.2. Ртутные лампы высокого давления	103
4.3.3. Металлогалогенные лампы	106
4.3.4. Натриевые лампы	114
4.3.5. Безэлектродные люминесцентные лампы	121
4.3.6. Другие типы газоразрядных ламп	125
4.3.7. Безэлектродные лампы высокого давления	128
4.4. Светодиоды	133
5. Аппаратура включения и управления	165
5.1. Электромагнитные пускорегулирующие аппараты	167
5.2. Электронные аппараты включения	177
5.3. Аппаратура включения галогенных ламп накаливания	185
5.4. Аппаратура включения светодиодов	188
5.5. Зажигающие устройства	199
5.6. Электроустановочные изделия и шинопроводы	196
5.7. Автоматизированные системы управления освещением	199
6. Светотехнические материалы	205

6.1. Светопропускающие материалы	205
6.2. Светоотражающие материалы	213
6.3. Конструкционные материалы	217
7. Осветительные приборы	219
7.1. Параметры осветительных приборов	220
7.1.1. Светотехнические параметры	221
7.1.2. Другие параметры	229
7.2. Классификация осветительных приборов	230
7.2.1. Классификация по основному назначению	230
7.2.2. Классификация по конструктивному исполнению	231
7.2.3. Классификация по степени защиты от пыли и влаги	233
7.2.4. Классификация по электробезопасности	236
7.2.5. Пожаробезопасность осветительных приборов	237
7.2.6. Взрывобезопасность осветительных приборов	239
7.2.7. Классификация по устойчивости к механическим и климатическим воздействиям	241
7.3. Сертификация светотехнических изделий	242
8. Некоторые рекомендации по выбору осветительных приборов	245
8.1. Критерии качества освещения	246
8.1.1. Уровни освещенности	247
8.1.2. Комфортность освещения	249
8.1.3. Безопасность освещения	252
8.1.4. Надежность освещения	254
8.1.5. Экономичность	255
8.1.6. Удобство эксплуатации	265
8.1.7. Эстетичность освещения	266
8.2. Наружное освещение	268
8.3. Аварийное освещение	274
9. Эксплуатация осветительных установок	278
Заключение	284

Введение

В нашей стране работают тысячи фирм, так или иначе соприкасающихся со светотехникой: производственные, проектные, монтажные, торговые, рекламные и другие. К сожалению, подавляющее большинство сотрудников этих фирм не имеют светотехнического образования и часто не представляют, чем отличается источник света от светильника, почему для уличного освещения натриевые лампы лучше ламп накаливания или зачем для включения люминесцентных ламп необходима специальная аппаратура.

Светотехника – это область науки и техники, занимающаяся вопросами генерирования, пространственного перераспределения, измерения параметров, преобразования и использования оптического излучения. Она включает также конструкторскую и технологическую разработку источников излучения, систем управления ими, осветительных, облучательных и светосигнальных приборов и установок, нормирование, проектирование, монтаж и эксплуатацию светотехнических установок.

В настоящее время имеется обширная научно-техническая и учебная литература по всем направлениям светотехники, однако она предназначена либо для лиц со специальным светотехническим образованием, либо для студентов, изучающих светотехнику и близкие к ней

дисциплины, а популярных изданий, охватывающих практически все аспекты светотехники, до последнего времени не было.

Эта книга была написана в 2004 году по заказу компании «Световые технологии». В 2007 году вышло второе, значительно расширенное издание. За прошедшее после этого время произошли существенные изменения в области светотехники, вызвавшие необходимость нового издания книги. Прежде всего, получил «законные права» новый источник света – светодиоды. Параметры светодиодов за эти годы улучшились настолько, что они теперь составляют полноценную конкуренцию традиционным источникам.

Появились новые нормативные документы: измененные и дополненные «Санитарные правила и нормы» СанПиН 2.21/2.1.1/1278-03, «Свод правил» СП 52.13330, заменивший СНиП 23-05-95*, ГОСТ Р 54350-2011 «Приборы осветительные. Светотехнические требования и методы испытаний». Приняты Постановления правительства по энергосбережению, фактически запрещающие применение ламп накаливания. В новом издании книги учтены эти документы и явления. Сокращен раздел «Тепловые источники света», значительно расширены разделы «Светодиоды» и «Нормирование и расчет освещения», введена новая глава «Безэлектродные лампы высокого давления».

Форма изложения определила и название книги – «Элементарная светотехника», то есть предельно простая, понятная практически всем. В доступной форме здесь изложены современные представления практически по всем разделам светотехнических знаний: природа света, световые величины и единицы их измерения, источники света и аппараты включения, светотехнические материалы, осветительные приборы, требования нормативных документов России и стран, входящих в Европейский союз, простейшие приемы расчета осветительных установок,

критерии оценки качества освещения, эксплуатация осветительных установок.

В книге содержатся не более двух десятков простейших формул, необходимых для разъяснения каких-либо понятий или для выполнения элементарных расчетов. В таблицах приведены параметры различных типов источников света и аппаратуры включения, усредненные по данным ведущих мировых производителей. С целью недопущения рекламной информации книга не содержит данных о конкретных изделиях каких-либо фирм.

Что такое свет?

Человек наделен пятью органами чувств: зрением, слухом, обонянием, осязанием и вкусом. С их помощью мы получаем информацию об окружающем мире. В объеме этой информации роль каждого органа чувств существенно различается: более 80% приходится на долю зрения, поэтому его с полным основанием можно назвать основным чувством, с помощью которого мы познаем мир, его красоту, богатство форм, красок, содержания.

Однако для работы нашего органа зрения – глаза – необходимо наличие еще одного важнейшего фактора – **света**. Зрение и свет связаны самым непосредственным образом: если человеку в светлом месте завязать глаза (как бы «выключить» их) или ввести его с открытыми глазами в абсолютно темное помещение, то эффект будет одинаков – человек теряет ориентировку и тогда на помощь ему приходят слух, обоняние, осязание. Так что же такое свет?

По современным научным представлениям свет – это электромагнитное излучение с определенными параметрами. Электромагнитных излучений как природного, так и искусственного происхождения существует множество: радиотелевизионные сигналы, рентгеновские и космические лучи, свет и многое другое. Общим для всех электромагнитных излучений является скорость их распространения в вакууме, равная 300 000 000 метров в секунду.

Электромагнитные излучения характеризуются частотой колебаний, показывающей число полных циклов колебаний в секунду, или длиной волны, то есть расстоянием, на которое распространяется излучение за время одного колебания (как говорят, за «один период колебаний»). Частота колебаний (обычно обозначается буквой ν), длина волны (обозначается λ) и скорость распространения излучений (обозначается c) связаны простым соотношением:

$$c = \nu \lambda$$

Если в радиотехнике обычно пользуются понятием «частота», то в светотехнике и в оптике принято характеризовать излучение длиной волны. Так вот, **свет – это воспринимаемое глазом электромагнитное излучение с длинами волн от 380 до 760* миллиардных долей метра или нанометров (приведено в электронно версии).**

Излучения с разной длиной волны воспринимаются глазом по-разному: от 380 до 450 нм – как фиолетовый цвет; от 450 до 480 – как синий; от 480 до 510 – как голубой; от 510 до 550 – как зеленый; от 550 до 575 – как желто-зеленый; от 575 до 590 – как желтый; от 590 до 610 – как оранжевый; более 610 – как красный цвет. Границы цветов приблизительны и у разных людей могут несколько различаться.

Белый цвет – это совокупность всех или нескольких цветов, взятых в определенной пропорции. Если луч белого света пропустить через стеклянную призму, то он разложится на цветные составляющие. Совокупность цветных составляющих сложного излучения называется **спектром излучения** (рис. 1).

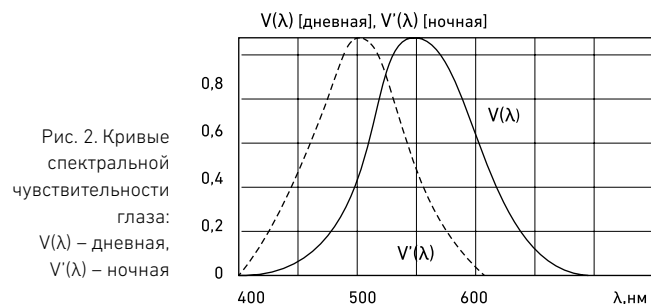
* Длинноволновая граница света разными авторами указывается по-разному – от 700 до 780 нм; в настоящем пособии принято наиболее распространенное значение – 760 нм (сокращенно нм).

Рис. 1. Спектр оптического излучения

Ультрафиолетовое	Бактерицидное
	Эритемное
	Загар
Видимое	Фиолетовое
	Синее
	Голубое
	Зеленое
	Желто-зеленое
	Желтое
	Оранжевое
	Красное
Инфракрасное	Нагрев
	Сушка

Чувствительность глаза к излучению разных цветов неодинакова – если на глаз попадает цветной свет с одинаковой мощностью электромагнитного излучения, то желтые и зеленые цвета будут казаться гораздо более светлыми, чем синие и красные. Международный комитет мер и весов в 1933 году принял единую стандартную чувствительность глаза к излучению разных цветов для дневного зрения.

На рис. 2 показана стандартизованная **кривая спектральной чувствительности глаза**, называемая в светотехнической литературе также «**кривой относительной**



спектральной световой эффективности излучения». На основе кривой спектральной чувствительности глаза для дневного зрения построена вся система световых величин и единиц. Максимум кривой спектральной чувствительности глаза лежит в желто-зеленой области спектра и приходится на длину волны **555 нм**. Если света мало (например, в сумерки), то кривая спектральной чувствительности смещается в сторону коротких волн, то есть в сторону синих цветов. Каждый человек по собственному опыту знает, что ночью голубые и синие цвета кажутся значительно светлее, а красные становятся черными. «Ночная» кривая чувствительности глаза также стандартизована международными организациями в 1951 году.

В самом конце 20-го века было открыто незрительное действие света. Оказалось, что в глазах человека имеются не только известные рецепторы – колбочки и палочки, воспроизводящие изображения предметов, но и рецепторы, воспринимающие свет без образования изображения. Эти рецепторы отвечают за выработку гормона мелатонина, регулирующего суточные ритмы жизнедеятельности. Максимум спектральной чувствительности новых рецепторов (в специальной литературе называемых БОИ – «без образования изображения») приходится на синюю область спектра – около 450 нм.

Излучения с длинами волн короче 380 и длиннее 760 нм глазом не воспринимаются. Коротковолновое излучение, называемое **ультрафиолетовым**, оказывает сильное биологическое действие – образует загар на коже человека, убивает микробы, а также вызывает различные фотохимические реакции (превращает обычный кислород воздуха в озон, приводит к выцветанию красок и т. п.). С помощью специальных веществ – люминофоров – ультрафиолетовое излучение может быть превращено в видимый свет (подробно об этом будет сказано в главе, посвященной люминесцентным лампам).

Длинноволновое излучение, называемое **инфракрасным**, воспринимается кожей человека как тепло. Это излучение используется для сушки лакокрасочных покрытий, нагревания предметов, в медицинских целях, в устройствах дистанционного управления радиоаппаратурой и т. п.

Видимое, ультрафиолетовое и инфракрасное излучения в совокупности образуют оптический диапазон спектра электромагнитных колебаний или **оптическое излучение**. Светотехника занимается изучением не только видимого излучения (света), но и всей оптической частью спектра.

Надо сказать, что свет излучается любым источником в виде отдельных «порций», называемых фотонами. Каждый **фотон** несет определенную энергию (**квант излучения**), величина которой ϵ зависит от частоты ν или длины волны λ излучения:

$$\epsilon = c h / \lambda$$

или

$$\epsilon = h \nu,$$

где h – так называемая постоянная Планка, равная $6,62 \cdot 10^{-34}$ джоуль-секунды. Из этих формул видно: чем короче длина волны, тем более «энергичным» является излучение, то есть тем большую энергию имеет каждая его порция (квант). Это свойство электромагнитных излучений широко используется на практике, в частности, в люминесцентных лампах и светодиодах.

ВЫВОДЫ

1. Свет – это воспринимаемое глазом электромагнитное излучение с длинами волн от 380 до 760 нм.
2. Длина волны определяет цвет светового излучения.
3. Глаз человека имеет наибольшую чувствительность при длине волны 555 нм.
4. Свет излучается в виде отдельных «порций» – квантов.
5. Чем короче длина волны, тем большую энергию имеет каждый квант излучения.

Световые величины и единицы их измерения

Для оценки количественных и качественных параметров света разработана специальная система световых величин.

Основной мерой света можно считать **световой поток**, обозначаемый в светотехнической литературе буквой Φ . Фактически световой поток – это **мощность светового излучения**, измеренная не в привычных ваттах или лошадиных силах, а в специальных единицах, называемых **люменами** (сокращенное обозначение в русскоязычной технической литературе – лм, в иностранной – lm).

Что же такое люмен? Люмен – это 1/683 ватта светового монохроматического, то есть строго одноцветного, излучения с длиной волны 555 нм, соответствующей максимуму кривой спектральной чувствительности глаза. Величина 1/683 возникла исторически, когда основным источником света были обычные свечи, и излучение только появившихся электрических источников света сравнивалось со светом таких свечей. В настоящее время эта величина (1/683) узаконена многими международными соглашениями и принята повсеместно.

Световой поток от источников света, будь то простая свечка или сверхсовременная электрическая лампа, как правило, распространяется более или менее равномерно во все стороны. Но с помощью зеркал или линз свет

можно направить нужным нам образом, сосредоточив его в некоторой части пространства. Часть или доля пространства характеризуется **телесным углом**. Понятие «телесный угол» прямого отношения к свету не имеет, но используется в светотехнике настолько широко, что без него невозможно объяснение многих светотехнических терминов и величин.

Телесный угол равен отношению площади, вырезаемой этим углом на сфере произвольного радиуса R , к квадрату этого радиуса (рис. 3). В технической литературе телесные углы обычно обозначаются греческой буквой ω и измеряются в **стерадианах** (сокращенно ср):

$$\omega = S / R^2.$$

Очевидно, что величины S и R должны измеряться в одинаковых единицах.

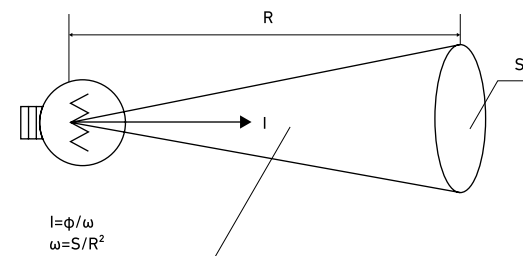


Рис. 3.
Телесный
угол

Световой поток Φ от какого-либо источника света можно сконцентрировать в некотором телесном угле ω . В этом случае можно говорить о **силе света** этого источника как о степени концентрации, то есть об угловой плотности светового потока. Таким образом, **сила света** (обозначается буквой I) – это отношение светового потока, заключенного в каком-либо телесном угле, к величине этого угла:

$$I = \Phi / \omega.$$

Если источник света светит равномерно по всему пространству, то есть в телесном угле 4π (так как площадь сферы равна $4\pi R^2$), то сила света такого источника равна $\Phi/4\pi$. Сила света измеряется в **канделах** (русское обозначение кд; в англоязычной литературе – **cd**; в немецкоязычной – **kd**). Слово «кандела» переводится на русский язык как свеча, и именно свечой называлась единица силы света в СССР до 1963 года. Одна кандела – это сила света источника, излучающего световой поток 1 лм в телесном угле 1 ср. Примерно такую силу света имеет обычная стеариновая свеча (отсюда ясно, что световой поток такой свечи равен примерно 12,56 лм).

Свет от какого-либо источника нужен, как правило, для того, чтобы осветить конкретное место – рабочий стол, витрину, улицу и т. п. Для характеристики освещения конкретных мест вводится еще одна световая величина – **освещенность**. Освещенность – это величина светового потока, приходящаяся на единицу площади освещаемой поверхности. Если световой поток Φ падает на какую-то площадь S , то средняя освещенность этой площади (обозначается буквой E) равна:

$$E = \Phi / S.$$

Единица измерения освещенности называется **люксом** (сокращенное обозначение в русскоязычной литературе – **лк**, в иностранной – **lx**). Один **люкс** – это освещенность, при которой световой поток 1 лм падает на площадь в 1 квадратный метр:

$$1 \text{ лк} = 1 \text{ лм} / 1 \text{ м}^2.$$

Чтобы представить себе эту величину, скажем, что освещенность около 1 лк создается стеариновой свечой на плоскости, перпендикулярной направлению света, с расстояния 1 метр. Для сравнения: освещенность от полной Луны на поверхности Земли зимой на широте Москвы не превышает 0,5 лк; прямая освещенность от Солнца в летний полдень на широте Москвы может достигать 100 000 лк.

Освещенность на какой-либо поверхности от источника света или осветительного прибора с силой света I определяется простой формулой:

$$E = I \cdot \cos \alpha / l^2,$$

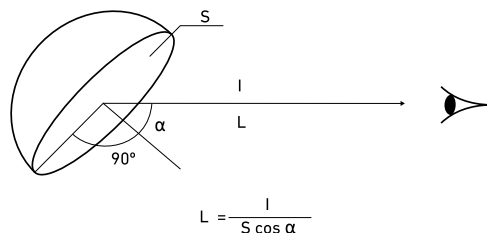
где l – расстояние от источника света до освещаемой поверхности;

α – угол падения света на освещаемую поверхность, то есть угол между направлением света и перпендикуляром к этой поверхности.

Эта формула, называемая «**законом квадратов расстояний**», является одним из основных понятий светотехники и лежит в основе всех светотехнических расчетов, в том числе и компьютерных программ.

Допустим, что на рабочем столе освещенность равна 100 лк. На столе лежат листы белой бумаги, папка черного цвета, книга в сером переплете. Освещенность всех этих предметов одинакова, а глаз видит, что листы бумаги светлее книги, а книга – светлее папки. То есть наш глаз оценивает светлоту предметов не по их освещенности, а по какой-то другой величине. Эта «другая величина» называется **яркостью**. **Яркость** поверхности S – это отношение силы света I , излучаемой этой поверхностью в каком-либо направлении, к площади проекции этой поверхности на плоскость, перпендикулярную выбранному направлению (рис. 4).

Рис. 4.
К определению
понятия
«яркость»



Как известно, площадь проекции какой-либо плоской поверхности на другую плоскость равна площади этой поверхности, умноженной на косинус угла между плоскостями. В технической литературе яркость обозначается буквой L :

$$L = I / S \cdot \cos \alpha.$$

В этой формуле I – сила света поверхности в определенном направлении (например, плоскости рабочего стола или лежащих на нем предметов); S – площадь этой поверхности; α – угол между перпендикуляром к плоскости и направлением, в котором мы хотим знать яркость (например, линией зрения, то есть линией, соединяющей глаз и оцениваемую поверхность).

Если для светового потока, силы света и освещенности существуют специальные единицы измерения (люмен, кандела и люкс), то для единицы измерения яркости специального названия нет. Правда, в старых (до 1963 года) учебниках по физике, светотехнике, оптике и в другой технической литературе было несколько названий единиц измерения яркости: в русскоязычной – нит и стильб, в англоязычной – футламберт, апостильб и другие (в американской технической литературе эти названия иногда встречаются и в наше время). Международная система СИ ни одну из этих единиц не приняла, а принятой единице измерения яркости специального названия не придумали.

За единицу измерения яркости принята яркость плоской поверхности, излучающей силу света в 1 кд с одного квадратного метра в направлении, перпендикулярном светящейся поверхности, то есть 1 кд/м^2 .

От чего же зависит яркость предметов?

Прежде всего, конечно, от количества попадающего на них света, то есть от освещенности. Но в приведенном примере освещенность всех предметов, лежащих на столе, одинакова. Значит, яркость зависит и от свойств самих предметов, а именно – от их способности отражать падающий свет.

Способность предметов отражать падающий на них свет характеризуется **коэффициентом отражения**, обычно обозначаемым греческой буквой ρ . Коэффициент отражения – это отношение величины светового потока, отраженного от какой-либо поверхности, к световому потоку, падающему на эту поверхность от какого-либо источника света или светильника:

$$\rho = \Phi_{\text{отраженный}} / \Phi_{\text{падающий}}.$$

Чем выше коэффициент отражения предмета, тем более светлым он кажется. В приведенном примере с рабочим столом коэффициент отражения листов бумаги выше, чем переплета книги, а у этого переплета – выше, чем у папки.

Коэффициент отражения материалов зависит как от свойств самих материалов, так и от характера обработки их поверхности. Отражение может быть направленным в одну сторону или рассеянным в определенном телесном угле. Возьмем лист обычной белой писчей бумаги или ватмана. С какой бы стороны и под каким бы углом мы на такой лист не смотрели, он кажется нам одинаково светлым, то есть яркость его по всем направлениям одинакова (рис. 5в). Такое отражение называется **диффузным** или **рассеянным**; соответственно, поверхности с таким характером отражения также называются **диффузными**.

Это неглянцевая бумага, большинство тканей, матовые краски, побелка, шероховатые металлические поверхности и многое другое.

Но если мы начнем полировать шероховатую металлическую поверхность, то характер ее отражения начнет изменяться. Если поверхность отполирована очень хорошо, то весь падающий на нее свет будет отражаться в одну сторону. При этом угол, под которым отражается падающий свет, точно равен углу, под которым он падает на поверхность (рис. 5а). Такое отражение называется **зеркальным**, а равенство углов падения и отражения света, открытое еще древнегреческим математиком Евклидом, является одним из базовых законов светотехники: на этом законе основаны все методы расчетов прожекторов и светильников с зеркальной оптической частью.

Кроме зеркального и диффузного отражения, существует **направленно-рассеянное** (например, от плохо отполированных металлических поверхностей, шелковых тканей или от глянцевой бумаги рис. 5б), а также **смешанное** (например, от молочного стекла рис. 5г).

Кривая, характеризующая угловое распределение коэффициента отражения, называется **индикатрисой отражения**.

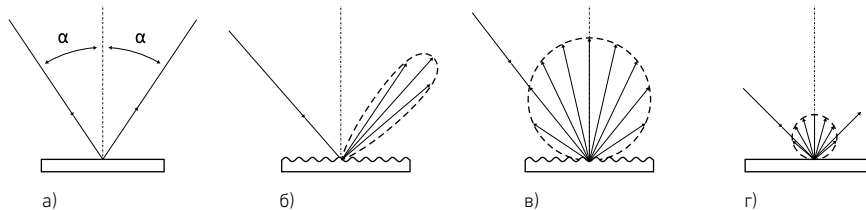


Рис. 5. Для поверхностей с диффузным отражением яркость Индикатрисы отражения

Для поверхностей с диффузным отражением яркость связана с освещенностью простым соотношением:

$$L_{\text{дифф}} = E \cdot \rho / \pi.$$

Яркость зеркальной поверхности равна яркости отражающихся в ней предметов (источников света, потолка, стен и т.п.), умноженной на коэффициент отражения:

$$L_{\text{зерк}} = \rho L_{\text{отраженных предметов}}$$

Для оценки яркости предметов и поверхностей с направленным-рассеянным и смешанным отражением необходимо знать индикатрисы отражения.

Четыре названных световых величины – **световой поток, сила света, освещенность и яркость** – это те важнейшие понятия, без знания которых невозможно объяснение работы источников света и осветительных приборов. Однако для такого объяснения необходимо еще и знание светотехнических характеристик материалов.

С одной из таких характеристик – **коэффициентом отражения** – мы уже познакомились. Но в природе нет материалов, отражающих весь падающий на них свет, то есть с коэффициентом отражения $\rho = 1$. Та доля света, которая не отражается от материала, в общем случае делится еще на две части: одна часть проходит сквозь материал, другая поглощается в нем. Доля света, проходящая сквозь материал, характеризуется **коэффициентом пропускания** (обозначается греческой буквой τ); а поглощенная доля – **коэффициентом поглощения** (обозначается α).

$$\tau = \Phi_{\text{прошедший}} / \Phi_{\text{падающий}}.$$

$$\alpha = \Phi_{\text{поглощенный}} / \Phi_{\text{падающий}}.$$

Соотношения между этими коэффициентами – отражения, поглощения и пропускания – могут быть самыми разными, но во всех без исключения случаях сумма трех коэффициентов равна единице:

$$\rho + \tau + \alpha = 1.$$

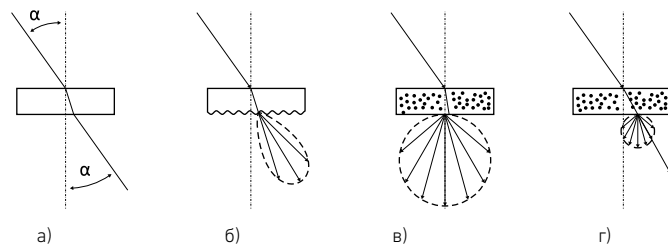
В природе нет ни одного материала, у которого хотя бы один из трех коэффициентов был равен 1. Наибольшее диффузное отражение имеет свежевывпавший снег ($\rho \approx 1$), химически чистые сернистый барий и окись магния ($\rho = 0,96$). Наибольшее зеркальное отражение – у чистого полированного серебра ($\rho = 0,92$) и у специально обработанного алюминия (до 0,98 – см. об этом в разделе 6).

Величина коэффициента пропускания указывается в справочной литературе для определенной толщины материала (обычно для 1 см). К наиболее прозрачным материалам можно отнести особо чистый кварц и некоторые марки полиметилметакрилата (органического стекла), у которых $\tau = 0,99/\text{см}$.

Гипотетическое (реально несуществующее!) вещество с коэффициентом поглощения равным 1, называется «абсолютно черным телом» – к этому понятию мы еще обратимся при объяснении работы тепловых источников света.

Как и отражение, пропускание света может быть направленным (у силикатных или органических стекол, поликарбоната, полистирола, кварца и т. п., рис. 6а), диффузным или рассеянным (молочные стекла, рис. 6в), направленнорассеянным (матированные и опаловые стекла, рис. 6б) и смешанным (рис. 6г). Кривые, показывающие зависимость коэффициента пропускания от угла падения света, называются индикатрисами пропускания.

Рис. 6.
Индикатрисы пропускания



Подавляющее большинство материалов по-разному отражает, пропускает или поглощает свет с разной длиной волны, то есть разного цвета. Именно это свойство материалов определяет их цвет и создает многокрасочность окружающего мира. Для полной характеристики светотехнических свойств материалов необходимо знать не только абсолютные значения их коэффициентов отражения, пропускания и поглощения, но и распределение этих коэффициентов в пространстве (индикатрисы) и по длинам волн. Распределение коэффициентов по длинам волн называется **спектральными характеристиками** (отражения, пропускания или поглощения).

Все три названных коэффициента являются относительными (безразмерными) величинами, и выражаются в долях единицы или в процентах.

Спектральный состав света и спектральные характеристики отражения или пропускания материалов определяют цвет предметов. Таким образом, цвет – это объективная величина, которая, как и все объективные величины, может быть измерена и выражена вполне конкретными параметрами. Какими же параметрами характеризуется цвет?

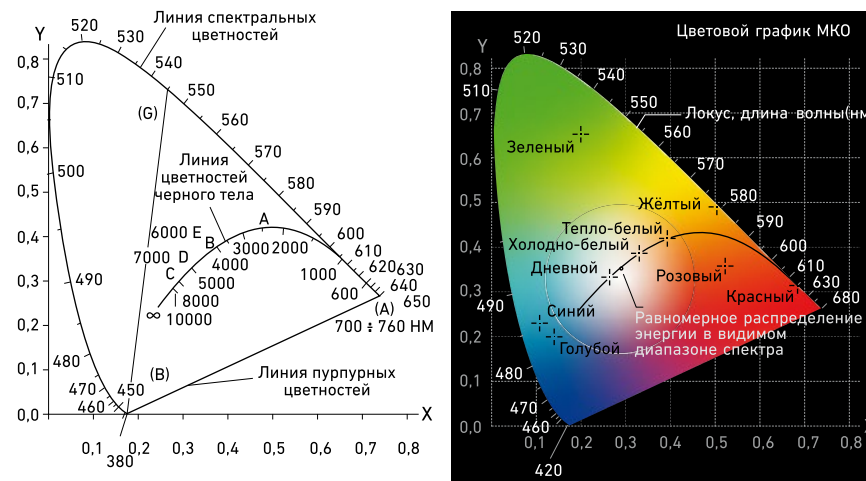
Все люди (если они не страдают редкой болезнью – дальтонизмом) воспринимают цвета более или менее одинаково: небо – голубым, траву – зеленой, кровь – красной и т. п. Но глаз «среднего» человека различает до 1000 цветовых оттенков (у тренированных людей – до 5000 оттенков), а каждый цветовой оттенок имеет множество градаций по чистоте и насыщенности цвета. Для подавляющего большинства этих оттенков ни в одном языке мира нет названий.

Для точного описания цвета было разработано несколько **колориметрических систем**, наиболее распространенной из которых в настоящее время является система **координат цветности**. На рис. 7 представлено поле реальных цветов. На ограничивающей его кривой линии, называемой **локусом**,

отмечены длины волн монохроматических излучений, воспринимаемых глазом – от 420 (фиолетовый цвет) до 700 (красный цвет) нм. Видимое излучение с длинами волн более 700 нм и короче 420 нм наш глаз не различает по цветности и воспринимает как одинаково красное и фиолетовое.

Концы локуса соединены прямой линией «пурпурных цветов», то есть таких цветов, которые не являются монохроматическим излучением, а получаются только в результате смешивания в определенных пропорциях фиолетового и красного цветов. Внутри области, ограниченной локусом и замыкающей его концы прямой линией, расположены все существующие в природе цвета. Каждому цвету соответствуют точные **координаты цветности** x и y . Таким образом, любой цвет может быть выражен с помощью двух координат цветности – x и y – и интенсивности излучения (то, что в повседневной жизни называется, например, темно-красный, светло-красный и т. п.).

Средняя часть цветового поля – это область белых цветов. В ней проведена жирной линией кривая **теплового излучения**, то есть кривая координат цветности белого света, получаемого при нагревании абсолютно черного тела до определенной температуры. Цвет излучения тепловых источников света (ламп накаливания) очень точно соответствует этой кривой. Температура излучающего тела, при которой его цвет наиболее близок к цвету абсолютно черного тела, называется **цветовой температурой** ($T_{цв}$). Белый свет газоразрядных источников света, как правило, лежит вне кривой теплового излучения. Цветность излучения таких источников оценивается по **коррелированной цветовой температуре** (в иностранной технической литературе обычно называемой **ССТ**), то есть по температуре теплового излучения, наиболее близкого по цвету к сравниваемому источнику.



Цветовой график, изображенный на рис. 7, обладает интересным свойством: если мы будем суммировать излучение двух разных цветов, то координаты цветности получаемого в результате смешивания нового цвета всегда будут находиться на прямой линии, соединяющей координаты исходных цветов. Смешивая три цветных излучения, можно получить любой цвет, находящийся внутри треугольника, образованного точками координат исходных цветов.

Очевидно, что белый цвет может быть получен бесчисленным множеством комбинаций трех монохроматических (однородных) излучений. Для удобства пользования принято считать основными три цвета – красный, зеленый и синий (на немецком языке – rot, grün, blau, на английском – red, green, blue). Если исходные цвета являются строго монохроматическими, то есть расположенными непосредственно на локусе, то, комбинируя их в определенных пропорциях, можно получить неограниченное количество новых цветов с практически любым цветом, лежащим внутри треугольника исходных цветов. При этом, чем ближе к локусу и чем

Рис. 7. Цветовой график с линией цветности абсолютно черного тела (кривой Планка)

дальше друг от друга расположены координаты цветности исходных цветов, тем большую площадь будет занимать треугольник и, соответственно, можно будет получить большее количество цветовых оттенков суммарного света. По первым буквам иностранных названий основных цветов технология получения новых цветов на базе красного, зеленого и синего излучений называется «технологией RGB». В настоящее время такая технология используется исключительно широко для создания различных цветодинамических эффектов.

ВЫВОДЫ

1. Основные светотехнические величины: **световой поток Φ** ; **сила света I** ; **освещенность E** ; **яркость L** .
2. Единицы измерения этих величин: **люмен (лм)**, **кандела (кд)**, **люкс (лк)**, **кандела с квадратного метра (кд/м²)**.
3. Светотехнические свойства материалов определяются тремя коэффициентами: **отражения ρ** ; **пропускания τ** ; **поглощения α** .
4. Сумма коэффициентов отражения, пропускания и поглощения для всех материалов равна 1.
5. Цвет предметов или излучений определяется **координатами цветности x и y** .
6. Белый свет различных источников света оценивается **коррелированной цветовой температурой $T_{цв}$** .

РАЗДЕЛ 3

Нормирование и расчет освещения

3.1. Нормирование освещения

Очевидно, что от работы глаз зависят и скорость, и качество любой деятельности, в которой зрение принимает хоть какое-то участие, а работа наших глаз напрямую связана с условиями освещения. Поэтому человек с незапамятных времен пытался как-то осветить те места, где ему приходилось работать в темное время суток при отсутствии природного источника света – Солнца. С доисторических времен и до конца 19-го века единственным искусственным источником света был огонь – костра, факела, лучины, свечи, керосиновой или газовой лампы. Света от таких источников было явно недостаточно, хотя он и позволял кое-как выполнять многие виды работ. Ни о каком измерении параметров освещения, а тем более об их нормировании, не могло быть и речи.

Положение коренным образом изменилось после изобретения электрических источников света в 70-е годы 19-го века. Наблюдательные предприниматели быстро заметили, что с улучшением освещения у рабочих повышается производительность труда и снижается количество брака, при этом, чем сложнее была работа, тем большей была отдача от улучшения освещения. Получалось, что вкладывать средства в освещение – дело выгодное, и электрический свет начал свое триумфальное шествие по заводам и фабрикам, вытесняя свечи и керосиновые лампы.

Но тут же встал вопрос – а сколько надо света, чтобы хорошо выполнять работу и не делать лишних затрат на строительство новых электростанций и установку все большего количества ламп? Другими словами, появилась необходимость нормирования освещения, то есть определения конкретных параметров света, которые должны быть обеспечены на рабочих местах.

Вопрос нормирования освещения возник более ста лет назад, но до сих пор его нельзя считать окончательно решенным. В 1999 году Европейский комитет по стандартизации после двенадцатилетней работы принял новые нормы освещенности EN 12464-1, получившие статус общеевропейских, и с 2003 года началось введение этих норм в действие в странах Европейского Союза. Международная комиссия по стандартизации (ISO) на основе этих норм приняла международные нормы внутреннего освещения ISO 8995:2002. В 2011 году были приняты некоторые изменения и дополнения к нормам. Сегодня Европейские нормы EN 12464-1-2011 являются основным документом по нормированию освещенности во всех европейских странах. Сейчас в нашей стране идет работа по приведению российских норм в соответствие с общеевропейскими.

В 2005 году были приняты Европейские нормы освещенности для рабочих мест вне помещений EN 12464-2.

В связи с вступлением России во Всемирную торговую организацию (ВТО) проводится работа по согласованию российских и международных стандартов, и требования международных норм рано или поздно будут внедряться и у нас. Поэтому при рассмотрении вопросов нормирования освещения мы, по возможности, будем приводить требования как российских, так и европейских норм.

В России главным документом, устанавливающим параметры освещения, являются Санитарные правила и нормы СанПиН 2.21/2.1.1.1278-03. В марте 2010 года были утверждены

Санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.1/2.1.12585–10 «Изменения и дополнения №1 к санитарным правилам и нормам СанПиН 2.2...1/2.1.1.1278–03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий»». В этих «Изменениях и дополнениях...» впервые в стандарте самого высокого уровня упомянуты светодиоды как полноправные источники света наравне с лампами накаливания, люминесцентными и другими лампами. Правда, сделана одна существенная оговорка: «кроме дошкольных, школьных и лечебных учреждений».

На основе этих санитарных норм разработаны другие нормативные документы. Вторым по значимости документом является введенный в действие в июле 2011 года Свод правил СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение» (актуализированная редакция Строительных норм и правил СНиП 23-05-95). Кроме этого, существуют Московские городские строительные нормы МГСН 2.06-99 и множество отраслевых документов, в которых подробно расписаны требования к освещению различных рабочих мест.

В Европе, кроме недавно принятых Европейских норм освещенности, имеется несколько десятков специализированных норм (например, для дорожного, уличного и туннельного освещения, для освещения спортивных сооружений и т. п.), а также многие Национальные нормы и правила. Но во всех нормативных документах регламентируются те же параметры, что и в России. Нормируемые величины различаются в разных странах, но эти различия не носят принципиального характера.

В СП 52.13330.2011 даны нормы освещенности в зависимости от класса зрительных работ. Этот класс определяется по минимальным размерам деталей, с которыми приходится работать на данном рабочем месте, и по контрасту деталей и фона. **Контраст** – это отношение яркостей предметов,

которые нужно видеть, к яркости поверхности (фона), на которой эти предметы находятся. Очевидно, что чем меньше угловые размеры рассматриваемых деталей и чем меньше контраст, тем выше должна быть освещенность, обеспечивающая нормальную работу.

По характеру работы, выполняемой внутри помещений, выделено 7 классов точности: наивысшей, очень высокой, высокой, средней и малой точности, грубая работа и работа с самосветящимися или раскаленными объектами. Нормируемые уровни освещенности для этих классов – от 5000 до 100 лк.

Работы, выполняемые на открытых местах, относятся к 9 – 14 классам. Конкретные значения нормируемой освещенности для конкретных рабочих мест приводятся не в СП 52.13330.2011, а в многочисленных отраслевых нормах.

Для общественных помещений в СП 52.13330.2011 даются значения нормируемой освещенности в зависимости от назначения помещений и характера выполняемых в нем работ.

В европейских нормах EN 12464-1-2011 приведен список более 280 конкретных рабочих мест и требования к их освещению. Освещение общественных помещений нормируется аналогично СП 52.13330.2011.

Какие же параметры освещения сейчас нормируются? Для всех рабочих мест внутри помещений и для рабочих мест вне помещений, на которых выполняется конкретная работа (железнодорожные станции, аэропорты, карьеры и т. п.) основной нормируемой величиной является **освещенность на рабочем месте**. Хотя глаз, как уже было сказано, реагирует не на освещенность, а на яркость предметов, нормируемой величиной является именно освещенность, так как она значительно проще рассчитывается и измеряется и не зависит от параметров освещаемых предметов.

При освещении улиц, автомобильных туннелей, проезжих дорог основной нормируемой величиной служит **яркость дорожного покрытия**. Она устанавливается в зависимости от категории улиц (дорог), интенсивности движения, характера окружающей обстановки. Яркость нормируется также и при декоративном освещении архитектурных сооружений (зданий, памятников и др.).

Освещенность и яркость характеризуют количественную сторону освещения, остальные нормируемые параметры определяют его качество.

Одна и та же освещенность может быть создана множеством разных способов, которые будут различаться между собой весьма существенно. Каждый человек знает, что присутствие в поле его зрения каких-либо ярких предметов (ламп, солнца) или их отражений («зайчиков») сильно затрудняет работу глаза, а иногда делает ее просто невозможной – глаз перестает видеть нужные предметы и особенно их детали. Как говорится в научно-технической литературе, в таких случаях у людей возникает ощущение **дискомфорта**, то есть зрительного неудобства, а в особо неблагоприятных случаях – чувство **ослепленности**. Эти ощущения зависят от яркости мешающих «зайчиков», их размеров и расположения относительно линии зрения. А свойство ярких предметов вызывать неприятные ощущения в глазах называется **блескостью**. Имеются различные методики оценки блескости, создаваемой яркими источниками света или их отражениями.

В осветительных установках промышленных предприятий нормируется **показатель ослепленности S**, равный отношению пороговых (то есть минимально различаемых) разниц яркости объекта и фона при наличии и отсутствии слепящих источников в поле зрения. Для расчета показателя ослепленности разработаны методики, которые приведены в СП 52.13330.2011 в виде приложения.

Для общественных зданий вместо коэффициента ослепленности нормируется **показатель дискомфорта M**, величина которого зависит от характера выполняемой работы и может принимать значения от 15 до 90.

Величина допустимого значения **дискомфорта** или **ослепленности** является вторым нормируемым параметром освещения. В Европейских нормах и в разрабатываемых сейчас Российских нормах освещенности нормируется **обобщенный показатель дискомфорта UGR**. В таблице 1 приведены соотношения между показателями дискомфорта по действующим российским и европейским нормам.

Таблица 1.
Соотношение
между показате-
лями дискомфорта

M	15	25	40	60	90
UGR	14	19	22	425	27

В ряде случаев род работы требует четкого различения цвета предметов и их деталей. Это особенно необходимо там, где именно цвет является важнейшим критерием качества продукции – в полиграфии, текстильной промышленности, в некоторых магазинах и т. п. Поэтому для целого ряда рабочих мест (а в Европейских нормах освещенности EN 12464-1-2011 – практически для всех рабочих мест) нормируется еще один качественный показатель освещения – **общий индекс цветопередачи** (в литературе обозначается **R_a**).

Что же это за параметр?

Зрительный аппарат человека сформировался за многие тысячи лет эволюции в условиях, когда единственным источником света было Солнце. Мы привыкли считать правильными те цвета предметов, которые они имеют при солнечном освещении. С конца 19-го века в жизнь людей стали активно вторгаться электрические источники света.

Пока были только тепловые источники света (лампы накаливания), имеющие сплошной спектр излучения, зрительный аппарат человека подсознательно вносил коррективы в восприятие цветов при искусственном освещении, и проблем с оценкой качества цветопередачи не возникало. Положение резко изменилось с массовым внедрением разрядных источников света, имеющих не сплошной, а линейчатый или полосатый спектр излучения. Люди стали замечать, что при освещении таким светом цвет предметов изменяется и иногда изменение цвета бывает настолько сильным, что предметы становятся трудно узнаваемыми. Поэтому в 70-е годы минувшего века была выработана методика оценки качества цветопередачи при освещении искусственным светом.

Международными организациями было выбрано и согласовано несколько типов предметов, цвет которых оценивался при освещении их различными источниками света: человеческая кожа, зеленые листья растений, специальные выкраски – всего 14 образцов. Спектральные характеристики выбранных образцов в виде таблиц зафиксированы специальным документом Международной комиссии по освещению (МКО). Средняя из оценок восьми первых образцов названа «общим индексом цветопередачи **R_a**», а отдельные оценки каждого из образцов называются «частными индексами цветопередачи R_i». За «стандартный» источник при оценке качества цветопередачи источников света с цветовой температурой ниже 5000 К принимается тепловое излучение абсолютно черного тела, а выше 5000 К – естественный дневной свет. Поэтому у всех тепловых излучателей, то есть у ламп накаливания, общий индекс цветопередачи по соглашению равен 100. У стандартных люминесцентных ламп с галофосфатным люминофором с цветовой температурой 3000 К общий индекс цветопередачи принят равным 50.

Международной комиссией по освещению (МКО) рекомендована такая система оценки качества цветопередачи:

- $R_a \geq 90$ – отличное;
- $90 > R_a \geq 80$ – очень хорошее;
- $80 > R_a \geq 70$ – хорошее;
- $70 > R_a \geq 60$ – удовлетворительное;
- $60 > R_a \geq 40$ – приемлемое;
- $R_a < 40$ – плохое.

В российских нормах освещения установлено, что для предприятий полиграфической, текстильной, лакокрасочной отраслей промышленности, а также для хирургических отделений больниц, R_a должен быть не ниже 90.

В европейских нормах EN 12464-1-2011 почти для всех видов работ и типов общественных помещений нормируется R_a не ниже 80; для контроля цвета в полиграфической и текстильной промышленности, для хирургических кабинетов, для некоторых торговых залов, как и в СП 52.13330.2011, требуется индекс цветопередачи не ниже 90. Для тех производственных помещений, в которых различение цвета предметов не имеет существенного значения (металлообработка, металлургия и др.), допускается применение источников света с плохой цветопередачей (в частности, натриевых ламп высокого давления).

Кроме общего индекса цветопередачи, европейские нормы регламентируют и цветовую температуру источников света. По цветности излучения все источники света разделены на три группы: теплые ($T_{\text{цв}} \leq 3500$ К), средние ($T_{\text{цв}} = 3500 - 5300$ К) и холодные ($T_{\text{цв}} \geq 5300$ К). Для большинства видов работ и помещений рекомендуются «средние» источники света ($T_{\text{цв}} = 4000$ К). В СП 52.13330.2011 на этот счет указано, что при архитектурно-художественном освещении для «холодных» поверхностей рекомендуются источники света с $T_{\text{цв}}$ не ниже 4000 К, а для «теплых» поверхностей – с $T_{\text{цв}}$ меньше 3500 К. Регламентируется

также цветовая температура источников света для витринного освещения (для тканей, галантереи, обуви, мехов 2800–5000 К при $R_a \geq 80$, для посуды-хозяйственных товаров, электротоваров, хлеба, бакалеи – 2800–3000 К при $R_a \geq 70$, для мясных и молочных продуктов, гастрономии овощей и фруктов – 2800–3500 К, для рыбных продуктов – 4500–6500 К при R_a также не ниже 80).

Еще одним нормируемым параметром освещения является **распределение яркости в поле зрения**. Так как яркость рассчитывается достаточно сложно, то и в этом случае нормируют неравномерность распределения освещенности. В зависимости от характера выполняемой работы, соотношение освещенности на рабочем месте и в ближайшем окружении должно быть не более 1:0,3–1:0,7. Европейские нормы выделяют на рабочем месте зону выполнения задания и окружающую зону. Освещенность в этих зонах должна соотноситься примерно так же, как по СП 52.13330.2011 освещенность рабочих мест и ближайшего окружения.

В России нормируется еще один качественный показатель освещения – **коэффициент пульсаций освещенности**. Нормирование этого показателя также потребовалось в связи с повсеместным внедрением разрядных источников света, так как за счет достаточно большой тепловой инерционности у излучения ламп накаливания пульсации весьма незначительны и каких-либо неудобств от их существования люди не испытывали. У разрядных источников света – люминесцентных, ртутных высокого давления, металлогалогенных, натриевых ламп – величина светового потока изменяется с удвоенной частотой тока сети.

В России, странах СНГ, Европы и Азии частота переменного тока в электрических сетях равна 50 Гц; в США, Канаде и ряде других стран – 60 Гц. Следовательно, световой поток ламп изменяется («пульсирует») 100 или 120 раз в секунду – все разрядные лампы как бы мерцают с такой частотой.

Глаз эти мерцания не замечает, но они воспринимаются организмом на подсознательном уровне и могут вызывать неприятные явления – повышенную утомляемость, головную боль и даже (по последним сообщениям зарубежной печати) стрессы. Кроме этого, при освещении пульсирующим светом вращающихся или вибрирующих предметов возникает так называемый стробоскопический эффект, когда при совпадении частоты вращения или вибрации с частотой пульсаций света предметы кажутся неподвижными, а при неполном совпадении – вращающимися с очень малыми скоростями. Это вызывает у людей ошибочные реакции и является одной из серьезных причин травматизма на производстве.

Глубина пульсаций измеряется коэффициентом пульсации освещенности K_n :

$$K_n = 2(E_{\max} - E_{\min}) / (E_{\max} + E_{\min}).$$

где E_{\max} и E_{\min} – максимальное и минимальное значения освещенности за полупериод сетевого напряжения.

Российскими нормами установлено, что глубина пульсаций освещенности на рабочих местах не должна превышать 20%, а для некоторых видов производства – 15%. По Санитарным правилам и нормам СанПиН 2.21/2.1.1/1278-03 в помещениях, оснащенных компьютерами, глубина пульсаций освещенности на рабочих местах должна быть не более 5%.

В европейских нормах EN12464 нет нормируемых количественных показателей пульсации освещенности, хотя этому явлению посвящен специальный раздел. Вместо значений коэффициента пульсации в этом разделе просто сказано, что **в помещениях с длительным пребыванием людей пульсации освещенности и возникновение стробоскопического эффекта не допускаются.**

Таким образом, в нормативных документах регламентируются пять параметров: **величина освещенности, неравномерность освещенности, показатель дискомфорта, общий индекс цветопередачи и коэффициент пульсаций освещенности.** Первый из этих параметров определяет количественную сторону освещения, четыре остальных – качественную.

В европейских нормах освещенности для ряда помещений введен еще один нормируемый параметр: для рабочих мест, оснащенных дисплеями (а в современных условиях – практически для всех рабочих мест в офисах) устанавливаются требования к максимальной яркости тех поверхностей светильников, которые могут отражаться на экранах. Для компьютеров 90-х годов эта яркость не должна превышать 200 кд/м²; для современных мониторов с антибликовыми покрытиями экранов электронно-лучевых трубок или с жидкокристаллическими экранами яркость отражающихся в них светильников должна быть не более 1000 кд/м².

В СП 52.13330.2011 для некоторых типов помещений, кроме освещенности на рабочей плоскости, нормируется еще **цилиндрическая или полуцилиндрическая освещенность**, характеризующая насыщенность помещения светом. В европейских нормах такого показателя раньше не было. В 2011 году и Европейские нормы для ряда помещений начали нормировать полуцилиндрическую освещенность.

Российскими нормами и СП 52.13330.2011 предусматривается общее, местное, локализованное и комбинированное освещение, причем нормируемые уровни освещенности при разных системах освещения существенно различаются. Например, для работ наивысшей точности при малом контрасте объекта, различаемого на светлом фоне, нормируемая освещенность составляет: при одном общем

освещении – 750 лк, при комбинированном освещении – 2500 лк. Кроме этого, нормируемая освещенность зависит от типа источника света – при лампах накаливания или при люминесцентных лампах с отличной цветопередачей ($R_a \geq 90$) уровень освещенности должен понижаться на одну ступень. В европейских нормах такого деления нет; там нормируется освещенность в зоне выполнения задачи и в зоне непосредственного окружения. Нормируемая освещенность не зависит ни от системы освещения, ни от типа источника света. В проекте новых Российских норм закладывается такой же подход.

Для наружного освещения улиц, дорог и площадей нормируемой величиной является средняя яркость дорожного покрытия, а для северных районов – средняя горизонтальная освещенность проезжей части. Улицы делятся на три категории: А – магистральные дороги и улицы общегородского значения; Б – магистральные улицы районного значения; В – улицы и дороги местного значения. Каждая из категорий делится на несколько групп в зависимости от интенсивности движения автотранспорта. Для оживленных магистралей с интенсивностью движения более 3000 автомобилей в час средняя яркость дорожного покрытия должна быть не менее $1,6 \text{ кд/м}^2$, а для улиц местного значения с одиночными автомобилями – не менее $0,2 \text{ кд/м}^2$. Кроме освещения проезжей части, нормируется освещенность тротуаров, пешеходных зон, подземных переходов, транспортных туннелей.

Помимо требований к рабочему (функциональному) наружному освещению, в СНиП приводятся требования к архитектурному, витринному и рекламному освещению. Для архитектурного освещения нормируется средняя яркость фасадов зданий, а также средняя яркость элементов фасада, выделяемых акцентирующим светом. Для освещения зеленых насаждений и фасадов с «холодными»

цветовыми оттенками рекомендуются источники света с цветовой температурой выше 4000 К, а для освещения объектов, окрашенных в «теплые» тона – не выше 3500 К. Для освещения цветных архитектурных объектов рекомендуются источники света с R_a не менее 80.

Для витринного освещения нормируется не минимальная, а максимальная освещенность с учетом акцентирующего освещения. Это означает, что освещенность выделяемого светом объекта должна быть не более нормируемого значения, а нормируемое значение освещенности зависит от категории улиц, на которых располагается витрина.

В рекламном освещении регламентируется максимальный уровень яркости в зависимости от площади и расположения рекламных щитов и панелей. При этом требуется, чтобы уровень суммарной засветки окон жилых зданий или палат лечебных учреждений от осветительных приборов архитектурного, витринного и рекламного освещения не превышал установленных значений: 20 лк при нормируемой яркости дорожных покрытий $1,2\text{--}2,0 \text{ кд/м}^2$, 10 лк при $0,6\text{--}1,0 \text{ кд/м}^2$ и 7 лк при яркости покрытия меньше $0,4 \text{ кд/м}^2$.

Для освещения улиц и дорог с автомобильным движением предписывается применение разрядных ламп, прежде всего – натриевых ламп высокого давления как наиболее экономичных.

Кроме рабочего освещения, в производственных, административных и других общественных зданиях и помещениях должно быть предусмотрено **аварийное, дежурное и охранное** освещение. В СП 52.13330.2011 аварийное освещение делится на **освещение безопасности** и **эвакуационное**. Освещение безопасности необходимо в случаях, когда отключение рабочего освещения может вызвать взрыв, пожар, отравление людей, длительное нарушение технологического процесса, нарушение режима детских

учреждений и т. п. Эвакуационное освещение предусматривается: в местах, опасных для прохода людей; в проходах и на лестницах, служащих для эвакуации более 50 человек; в проходах производственных зданий с числом работающих более 50 человек; на лестничных клетках жилых домов выше 6 этажей; в производственных помещениях с числом работающих более 100 человек; в производственных помещениях без естественного света.

Освещение безопасности должно создавать на рабочих местах не менее 5% от нормируемой рабочей освещенности от общего освещения, но не более 30 лк при разрядных лампах и не более 10 лк при лампах накаливания. Эвакуационное освещение должно обеспечивать среднюю освещенность на полу проходов не менее 0,5 лк в помещениях и не менее 0,2 лк на открытых территориях. Неравномерность освещенности (отношение максимальной освещенности к минимальной) при эвакуационном освещении должна быть не более 40:1.

В европейских нормах EN 12461-1-2011 требований к аварийному освещению нет, так как они полностью изложены в более раннем нормативном документе EN 3881. Эти требования в основном совпадают с требованиями российских норм, но там аварийное освещение не зависит от количества людей, работающих в помещении.

Дежурное и охранное освещение применяется при необходимости. В качестве дежурного обычно используется небольшая часть светильников рабочего освещения.

В таблице 2 приведены фрагменты норм освещенности по СП 52.13330.2011 и по европейским нормам EN12464-1-2011. В таблицах 3–9 приведены выдержки из Московских городских строительных норм МГСН 2.06-99, устанавливающих требуемые уровни уличного, дорожного и архитектурно-художественного освещения, а также освещения витрин.

Таблица 2. Нормы освещенности

Вид помещений, род деятельности	Нормы по EN 12464-1			Нормы по СП 52.13330.2011		
	E, лк	UGR	R _a	E, лк	M	R _a
Общественные помещения						
Административные бюро (офисы) в зданиях управленческого и банковского типов	500	19	80	500	15	
Проектно-конструкторские бюро	750	16	80	600	40	
Машинописные и машиночетные бюро	500	19	80	400		
Читальные залы	500	19	80	300	40	
Рабочие места для компьютерного проектирования	500	19	80	500	15	
Конференц-залы	500	19	80	300	60	
Школьные классы:						
на партах	300	19	80	400	40	
в середине доски (вертикальная)	500	19	80	500		
Столовые, буфеты	300	22	80	200	60	
Торговые залы магазинов	300	22	80	400	40	
Кассовые зоны магазинов	500	19	80	300	40	
Гостиницы:						
бюро обслуживания	200	22	80	200	60	
гостиные, холлы				150		
номера				150		
Санитарно-бытовые и другие вспомогательные помещения (уборные, курительные)	200	22	80	75		
Вестибули в общественных зданиях	200	22	80	150		
Вестибули в жилых домах				30		
Лестничные клетки, площадки, ступеньки	150	25	40	100		
Лифтовые холлы	100	22	80	75		
Склады, кладовые обычные	150	25	40	50		
Места упаковки	300	25	60	200		
Архивы	200	25	80	75		

Вид помещений, род деятельности	Нормы по EN 12464-1			Нормы по СП 52.13330.2011		
	Е, лк	UGR	R _a	Е, лк	М	R _a
Коридоры	100	28	40	75		
Зрительные залы театров, концертные залы				300	60	
Выставочные залы				200	90	
Залы спортивных игр				200	60	
Залы плавательных бассейнов				150	60	
Залы многоцелевого назначения				400	40	
Производственные помещения						
Производство керамики и стекла:						
сушка	50	28	20			
шлифование, гравировка	750	16	80			
тонкие работы, ручная роспись	1000	16	90			
Электротехническая промышленность:						
намотка малых катушек	750	19	80			
монтажные операции грубые	300	25	80			
монтажные операции очень тонкие	1000	16	80			
производство электронной техники	1500	16	80			
Литейные цеха	200	25	80			
Ручная сборка часов	1500	16	90			
Автоматическая сборка часов	500	19	80			
Погрузочно-разгрузочные зоны	150	25	40			

Таблица 3. Нормы освещения улиц, дорог и площадей с регулярным транспортным движением с асфальтобетонным покрытием

Категория объекта по СП 52.13330.2011	Улицы, дороги и площади	Наибольшая интенсивность движения транспорта в обоих направлениях, ед/ч	Средняя яркость покрытия, кд/м ²	Средняя горизонтальная освещенность покрытия, лк
А	Магистральные дороги, магистральные улицы общегородского значения	Свыше 3000	1,6	20
		От 1000 до 3000	1,2	20
		От 500 до 1000	0,8	15

Категория объекта по СП 52.13330.2011	Улицы, дороги и площади	Наибольшая интенсивность движения транспорта в обоих направлениях, ед/ч	Средняя яркость покрытия, кд/м ²	Средняя горизонтальная освещенность покрытия, лк
Б	Магистральные улицы районного значения	Свыше 2000	1,0	15
		От 1000 до 2000	0,8	15
		От 500 до 1000	0,6	10
В	Улицы и дороги местного значения	500 и менее	0,4	6
		менее 500	0,3	4

Таблица 4. Нормы освещения непроезжих частей улиц, дорог, площадей, бульваров и скверов, пешеходных улиц и территорий микрорайонов

Освещаемые объекты	Средняя горизонтальная освещенность, лк
Главные пешеходные улицы исторической части города и основных общественных центров административных округов, непроезжие части площадей А и Б и предзаводские площади.	10
Пешеходные улицы:	
в пределах общественных центров	6
на других территориях	4
Тротуары, отделенные от проезжей части, на улицах категорий:	
А и Б	4
В	2
Посадочные площадки общественного транспорта на улицах всех категорий	10
Открытые пешеходные мостики	10
Подземные пешеходные тоннели	75
Мостовые закрытые пешеходные переходы с прозрачными стенами и потолком, вечером и ночью	75
Лестницы подземных пешеходных тоннелей вечером и ночью	20
Лестничные сходы и смотровые площадки мостовых закрытых пешеходных переходов с прозрачными стенами или застекленными стеновыми проемами	50

Освещаемые объекты	Средняя горизонтальная освещенность, лк
Пешеходные дорожки бульваров и скверов, примыкающих к улицам категорий:	
А	5
Б	4
В	2
Производственные помещения	
Проезды:	
основные	4
второстепенные	2
в том числе тротуары-подъезды	2
Хозяйственные площадки и площадки при мусоросборниках	2
Детские площадки в местах расположения оборудования для подвижных игр	10

Таблица 5. Нормы освещения территорий, прилегающих к общественным зданиям

Освещаемые объекты	Средняя горизонтальная освещенность, лк
Детские ясли-сады, общеобразовательные школы, школы-интернаты, учебные заведения	
Главные пешеходные улицы.	10
Групповые и физкультурные площадки	10
Площадки для подвижных игр, зоны отдыха	10
Подъезды и подходы к корпусам и площадкам	4
Санатории, дома отдыха	
Въезды на территории	6
Проезды и проходы к спальным корпусам, столовым, кинотеатрам и подобным зданиям	
Центральные аллеи парковой зоны	4
Боковые аллеи парковой зоны	2
Площадки зоны тихого отдыха и культурно-массового обслуживания (площадки массового отдыха, площадки перед открытыми эстрадами и т. п.)	10*
Площадки для настольных игр, открытые читальни	10*

*Освещенность столов для чтения и настольных игр принимается по нормам освещенности помещений

Таблица 6. Нормы освещения территорий парков, стадионов, выставок

Освещаемые объекты	Средняя горизонтальная освещенность, лк			
	Общегородские парки	Сады административных округов	Стадионы	Выставки
Главные входы	6	4	10	10
Вспомогательные входы	2	1	6	6
Центральные аллеи	4	2	6	10
Боковые аллеи	2	1	4	6
Площадки массового отдыха, площадки перед входами в театры, кинотеатры, выставочные павильоны и на открытые эстрады; площадки для настольных игр	10	10	–	20
Зоны отдыха на территориях выставок	–	–	–	10

Таблица 7. Нормы освещения закрытых автотранспортных туннелей

Длина туннеля, м	Наличие уклона спуска к порталу	Ориентация въездного портала	Средняя горизонтальная освещенность, лк, на расстоянии от начала въездного портала, м						
			5	25	50	75	100	125	150 и более
От 61 до 100	Не учитывается	Любая	750	750	400	150	60	–	–
Более 100	Без уклона	Северная	750	750	400	150	75	60	50
		Южная	1000	1000	550	250	100	60	50
		С уклоном	1250	1000	650	350	125	60	50

Примечание: Ход снижения уровней освещенности последовательных участков въездной зоны соответствует требованиям создания необходимых условий адаптации въезжающего в туннель водителя.

Таблица 8. Нормы наружного архитектурного освещения городских объектов

Категория городского пространства	Место расположения объекта освещения	Освещаемый объект	Средняя яркость L, кд/м ²			
			Заливающее освещение	Заливающее и акцентирующее освещение	Локальное освещение	
А	Площади столичного центра, зоны общегородских доминант	Памятники архитектуры национального значения, крупные общественные здания, монументы и доминантные объекты столицы	10	30	10	
			Магистральные улицы и площади общегородского значения	8	25	8
			Парки, сады, бульвары, скверы и пешеходные улицы общегородского значения	5	15	5
Б	Площади окружных и районных общественных центров	Памятники и монументы, здания и сооружения окружного и районного значения	7	20	8	
			Магистральные улицы и площади окружного и районного значения	5	15	5

Категория городского пространства	Место расположения объекта освещения	Освещаемый объект	Средняя яркость L, кд/м ²		
			Заливающее освещение	Заливающее и акцентирующее освещение	Локальное освещение
Б	Парки, сады, бульвары, скверы и пешеходные улицы окружного и районного значения	То же и характерные элементы ландшафта	3	10	3
В	Улицы и площади, пешеходные дороги местного значения	Памятники, монументы, достопримечательные здания и сооружения	5	10	3
	Сады, скверы, бульвары местного значения	То же и характерные элементы ландшафта	3	8	3

Таблица 9. Нормы освещения витрин

Категория улицы, площади	Средняя освещенность в вертикальной плоскости, лк	Суммарная освещенность в вертикальной плоскости (общее и акцентирующее освещение), лк, не более
А	300	1000
Б	200	750
В	100	500

В процессе эксплуатации параметры осветительных установок постепенно снижаются. Это вызвано, в первую очередь, спадом светового потока источников света в течение их срока службы. Кроме того, при работе осветительных приборов неизбежно происходит их запыление, приводящее к снижению коэффициентов отражения отражающих поверхностей и коэффициентов пропускания стекол,

рассеивателей и защитных элементов. Иногда запыление бывает настолько сильным, что изменяется характер светораспределения приборов, что также ведет к ухудшению освещения.

Неизбежный в процессе эксплуатации спад освещенности на рабочих местах учитывается при нормировании и проектировании осветительных установок в виде коэффициента запаса. Величина коэффициента запаса зависит от типа помещения, от характера выполняемых в нем работ и от конструкции используемых осветительных приборов. Для общественных зданий с нормальными условиями среды коэффициент запаса равен 1,2–1,4 в зависимости от типа применяемых светильников и их расположения; для производственных помещений с пыльной средой – 1,8–2,0. Для остальных видов помещений величина коэффициента запаса изменяется в пределах 1,4–1,8. Это означает, что при проектировании осветительных установок должна предусматриваться освещенность, равная нормируемому значению, умноженному на коэффициент запаса.

Коэффициент запаса показывает, какая освещенность должна быть предусмотрена при проектировании осветительных установок, чтобы в течение всего времени их эксплуатации был обеспечен нормируемый уровень. Правильный выбор коэффициента запаса – ответственный момент проектирования освещения. Завышение его приводит к увеличению требуемого количества светильников, повышает затраты на сооружение осветительной установки и увеличивает расход электроэнергии в процессе ее эксплуатации, а занижение может привести к тому, что через какое-то время после ввода установки в эксплуатацию освещенность будет ниже требуемой нормами.

В европейских нормах EN 12464-1-2011 нормируется не коэффициент запаса, а «эксплуатационный коэффициент» – величина, обратная коэффициенту запаса. Значения этого

коэффициента – от 0,5 до 0,8, что полностью соответствует российским нормам.

Специфичен подход к нормированию освещения музеев, художественных выставок и других подобных мест. Известно, что под действием света и, особенно, ультрафиолетового излучения, происходит выцветание многих красок и изменение структуры материалов, иногда приводящее к их деформации и даже разрушению. Поэтому с целью обеспечения наилучшей сохранности экспонатов в таких случаях нормируется не минимальная, а максимально допустимая освещенность. Величина этой освещенности зависит от типа освещаемых экспонатов (бумага, акварель, ткани, масляные краски, ювелирные изделия и т. п.), спектрального состава излучения и от времени освещения. Строго говоря, в осветительных установках для музеев и выставочных залов должна нормироваться не освещенность, а суточная или годовая экспозиция, то есть произведение освещенности на время действия света на экспонаты.

Стандартизованных требований к музейному освещению в настоящее время в нашей стране и странах Европы нет, имеются только рекомендации.

В последние годы во всем мире широко развернулась кампания по энергосбережению. В связи с этим в СП 52.13330.2011 и в Московских нормах МГСН 2.01-99 «Энергосбережение в зданиях», кроме светотехнических параметров осветительных установок, нормируются и энергетические параметры, а именно – удельная установленная мощность. Удельная установленная мощность – это полная мощность установки (ламп, аппаратуры включения и управления), деленная на площадь помещения. Максимально допустимая удельная установленная мощность нормируется в зависимости от требуемых уровней освещенности и геометрических размеров освещаемых помещений (индекса помещений). Например, максимальная удельная

установленная мощность осветительных установок административных зданий при нормируемой освещенности 500 лк составляет 42 Вт/м². С этой же целью прямо оговариваются и параметры источников света. Так, указано, что для общего освещения должны использоваться разрядные лампы со световой отдачей не ниже 55 лм/Вт (о понятии «световая отдача» см. раздел 4.1); использование ламп накаливания допускается только для удовлетворения архитектурно-художественных требований и для освещения некоторых взрывоопасных помещений. Установлена взаимосвязь между общим индексом цветопередачи и световой отдачей источников света.

В таблице 10 приведены значения максимально допустимой удельной установленной мощности для некоторых типов помещений общественных зданий (по МГСН 2.01-99).

Таблица 10.
Максимально допустимая удельная установленная мощность для помещений общественных зданий

Наименование помещения	Нормируемая освещенность по МГСН 2.06-99, лк	Максимально допустимая удельная установленная мощность, Вт/м ²
Кабинеты, рабочие комнаты, офисы	300	20
Проектные, конструкторские и чертежные бюро	500	35
Помещения для работы с дисплеями	400	25
Читальные залы	400	25
Лаборатории	500	35
Операционные и кассовые залы банков	400	25
Школы, училища, средние и высшие учебные заведения (классы, аудитории, учебные кабинеты)	400	25
Дошкольные детские учреждения	400	25

Наименование помещения	Нормируемая освещенность по МГСН 2.06-99, лк	Максимально допустимая удельная установленная мощность, Вт/м ²
Предприятия общественного питания спальным корпусам, столовым, кинотеатрам и подобным зданиям:		
Обеденные залы	400	14
Производственные помещения	200	25
Торговые залы магазинов	400	25
Торговые залы супермаркетов	500	35
Парикмахерские	400	25
Ателье по пошиву и ремонту одежды	750	52
Аптеки (залы обслуживания)	200	14
Комнаты общежитий	300	20
Коридоры, лестницы, вестибюли жилых домов	20	4

Требования к электрической части осветительных установок (выбор типа и сечения проводов, необходимость заземляющих и защитных устройств, прокладка электропроводки и т.п.) изложены в Правилах устройства электроустановок (ПУЭ).

3.2. Простейшие методы расчета освещенности и яркости

В настоящее время имеются доступные компьютерные программы, позволяющие рассчитывать параметры осветительных установок с минимальными затратами времени и труда. Однако часто встречаются случаи, когда не требуется точных расчетов, а необходимо определить только требуемое количество осветительных приборов и их мощность или рассчитать яркость освещаемых объектов. Наиболее употребительны два метода таких простейших расчетов,

позволяющих, в первом приближении, находить искомые величины: точечный метод и метод коэффициента использования светового потока.

3.2.1. Точечный метод

Точечный метод позволяет определять освещенность или яркость по известным параметрам осветительных приборов. Этот метод базируется на основном законе светотехники – законе квадратов расстояний. Освещенность от точечных световых приборов равна силе света прибора, поделенной на квадрат расстояния от прибора до освещаемой точки и умноженной на косинус угла падения света, то есть угла между направлением от освещаемой точки к осветительному прибору и перпендикуляром к освещаемой поверхности:

$$E = I \cdot \cos \alpha / l^2.$$

Осветительный прибор в большинстве случаев можно считать точечным, если расстояние от его светового центра до расчетной поверхности составляет не менее пяти максимальных размеров светильника. Погрешность расчета при этом получается не более 5%. Если в помещении установлено несколько осветительных приборов, то по точечному методу рассчитывается освещенность от каждого из них и затем находится суммарная освещенность простым арифметическим сложением.

В установках с осветительными приборами прожекторного типа, в частности, в архитектурном освещении, точечный метод является наиболее распространенным и обеспечивает очень высокую точность расчетов. Однако при этом необходимо учитывать, что на пятикратном расстоянии световой пучок прожектора еще бывает не сфокусированным и поэтому погрешность расчета может быть достаточно большой.

Там, где нормируется не освещенность, а яркость объектов, переход от освещенности к яркости осуществляется с помощью простой формулы (справедливой только при диффузном или близком к диффузному отражении!):

$$L = \rho E / \pi,$$

где L – яркость в кд/м², ρ – коэффициент отражения освещаемых объектов, E – освещенность в лк, $\pi = 3,14$.

Значения коэффициентов отражения некоторых наиболее употребительных отделочных материалов даны в таблице 11. В таблице 12 приведены средние значения коэффициентов отражения наиболее употребительных цветов отделки поверхностей.

Цвет и материал поверхности	Средний коэффициент отражения
Белый: атмосферостойкие фасадные краски, мрамор, гипс, керамическая плитка, матовый алюминий, нержавеющая сталь, пластмассы	Более 0,6
Светлый: краски, мрамор, белый камень (известняк, доломит, песчаник), бетон и декоративные штукатурки на белых цементах и светлых заполнителях, керамические плитки, силикатный кирпич, латунь матовая, пластик, травертин, ракушечник	0,55
Средне-светлый: краски, мрамор, камень (туф, песчаник, известняк), бетон, цветные штукатурки, керамический кирпич, блоки, плитка, дерево (доски), пластик	0,45
Темный: краски, мрамор, гранит, глиняный кирпич, декоративные штукатурки и керамические плитки, потемневшее дерево, медь, листва деревьев	0,25
Черный: краски, камень (габбро, лабрадорит, диорит, базальт, гранит), чугун, патинированная бронза, декоративные штукатурки, хвоя деревьев	0,1

Таблица 11. Коэффициенты отражения отделочных материалов фасадов зданий, сооружений, монументов и зеленых насаждений

Таблица 12.
Коэффициенты
отражения
поверхностей

Поверхность	Коэффициент отражения
Белая	70–80
Светлая	50
Серая	30
Темно-серая	20
Темная	10

3.2.2. Метод коэффициента использования светового потока

Этот метод позволяет быстро и легко определять количество осветительных приборов, необходимых для обеспечения требуемых освещенностей. При расчете учитывается освещенность, создаваемая не только непосредственно осветительным прибором (прямая), но и освещенность, создаваемая в результате отражений светового потока от стен, потолка и пола. В основе расчета лежит понятие «коэффициента использования светового потока светильников».

Коэффициент использования светового потока светильника – это отношение потока, попадающего на расчетную плоскость, к потоку светильника. При этом учитывается не только световой поток, упавший на расчетную плоскость непосредственно от светильника, но и попавший на нее в результате отражений от стен, потолка и пола. Величина коэффициента использования светового потока η зависит от характера светораспределения осветительных приборов, геометрических параметров помещения и коэффициентов отражения стен, потолка и пола. По геометрическим параметрам определяется так называемый индекс помещения i :

$$i = a b / (a + b) h$$

где a – длина помещения, b – ширина помещения, h – расстояние от светильников до расчетной плоскости (высота

подвеса светильников от расчетной плоскости, а не от пола! За расчетную плоскость обычно принимается горизонтальная плоскость, расположенная на высоте 0,8 м от пола).

Количество светильников N , необходимое для создания заданной освещенности E в помещении с определенными геометрическими параметрами (площадь S , равная произведению длины и ширины помещения, и высота h) и с определенной отделкой стен, потолка и пола, рассчитывается по формуле:

$$N = E S k z / \eta n \Phi$$

В этой формуле: η – коэффициент использования светового потока светильника, k – коэффициент запаса (см. раздел 3.1), z – коэффициент неравномерности освещения (обычно принимается $z = 1,15$), Φ – световой поток одной лампы, n – количество ламп в одном светильнике.

Для расчета значений η необходимо знание кривых силы света светильников. Крупные светотехнические заводы (в России – «Световые Технологии», Ардатовский светотехнический завод) в каталогах своей продукции приводят значения коэффициентов использования светового потока для большей части светильников. В таблице 13 показаны примеры зависимости коэффициента использования светового потока η от параметров помещения для двух светильников с различными типами кривых силы света.

Величина коэффициента отражения стен, потолка и пола приблизительно может быть определена по таблице 12.

Светильник с полуширокой кривой силы света									
Коэффициент отражения, %	Потолок	80	80	80	70	50	50	30	0
	Стены	80	50	30	50	50	30	30	0
	Пол	30	30	10	20	10	10	10	0
Индекс помещения	0,6	55	37	29	35	34	29	29	24

Таблица 13.
Коэффициенты
использования
светового потока
светильников

Светильник с полуширокой кривой силы света									
Коэффициент отражения, %	Потолок	80	80	80	70	50	50	30	0
	Стены	80	50	30	50	50	30	30	0
	Пол	30	30	10	20	10	10	10	0
Индекс помещения	0,8	63	46	33	44	41	37	36	32
	1,0	68	52	43	49	47	42	42	37
	1,25	74	59	50	56	53	49	48	44
	1,5	77	64	54	60	56	53	52	48
	2,0	81	70	59	65	60	58	57	53
	2,5	84	75	63	69	64	61	60	57
	3	86	78	66	72	66	64	63	60
4	88	81	68	74	68	66	65	62	
5	89	84	70	76	70	68	67	64	

Светильник с глубокой кривой силы света									
Коэффициент отражения, %	Потолок	80	80	80	70	50	50	30	0
	Стены	80	50	30	50	50	30	30	0
	Пол	30	30	10	20	10	10	10	0
Индекс помещения	0,6	47	35	30	33	32	29	29	26
	0,8	52	41	35	39	38	35	35	32
	1,0	56	46	39	43	41	39	38	36
	1,25	60	51	44	48	45	43	43	40
	1,5	62	54	46	50	47	46	45	43
	2,0	64	57	49	53	50	48	48	46
	2,5	66	60	52	56	52	50	50	48
	3	67	63	53	57	53	52	51	49
	4	68	64	55	59	54	53	52	50
5	69	66	56	60	55	54	53	51	

ВЫВОДЫ

1. Нормируемыми величинами при проектировании осветительных установок являются: **освещенность на рабочем месте; неравномерность освещенности; показатель дискомфорта или коэффициент ослепленности; коэффициент пульсаций освещенности; общий индекс цветопередачи.**
2. В осветительных установках функционального освещения улиц нормируемой величиной является **яркость дорожного покрытия.**
3. В России основным нормативным документом, определяющим требования к освещению, являются **Санитарные правила и нормы СанПиН 2.21/2.1.1/1278-03.** Требования к освещению конкретных типов помещений, рабочих мест, видов деятельности изложены в **Своде правил «Естественное и искусственное освещение СП 52.13330.2011»** и в многочисленных отраслевых нормах.
4. В общественных и производственных зданиях, кроме рабочего освещения, должно предусматриваться **аварийное** и при необходимости **дежурное** и **охранное освещение.** Кроме светотехнических параметров, отечественные нормативные документы для определенных видов помещений регламентируют и энергетические параметры осветительных установок, а именно максимально допустимую **удельную установленную мощность.**
5. Необходимо учитывать **спад светового потока** источников света и запыление оптических деталей осветительных приборов в виде **коэффициента запаса.**
6. **Европейские нормы освещенности EN 12464-1-2011** по существу мало отличаются от российских норм – в них регламентируются те же самые параметры освещения. Имеются некоторые различия в величинах нормируемых параметров. Как правило, в европейских нормах

требования несколько выше, поэтому при возможности следует ориентироваться на них.

7. Для точных расчетов параметров осветительных установок существуют специальные компьютерные программы. Однако для упрощенных расчетов с достаточной точностью могут применяться **точечный метод или метод коэффициентов использования светового потока**.

РАЗДЕЛ 4

Источники света

С древнейших времен человек сталкивался с различными источниками света. Кроме упомянутого выше огня, люди видели молнии и полярные сияния (свет электрического разряда в газе), полет светлячков и свечение некоторых видов микроорганизмов в южных морях (химическую люминесценцию). Но все это были природные, естественные источники света, а единственным искусственным источником до конца 19-го века оставался огонь в различных его проявлениях.

С конца 19-го века, во многом благодаря усилиям русских изобретателей А. Н. Лодыгина и П. Н. Яблочкова, началось бурное развитие совершенно новых – электрических – источников света. За 130 лет существования электрические источники света в развитых странах практически полностью вытеснили свет огня – свечи и керосиновые лампы теперь используются разве что в далеких деревнях, в турпоходах да для создания романтической обстановки, и только в редких случаях (например, при отключениях электричества) – для освещения. Правда, следует сказать, что в европейских городах для уличного освещения еще достаточно широко используются газовые и газонакалильные фонари – в одном Берлине их более 40 000 штук. Электрические источники света с самого начала развивались по двум направлениям: «лодыгинское» – использование теплового действия электрического тока для разогрева тел до такой температуры, при которой они создают

достаточно яркий свет, и «яблочковское» – использование для генерации света электрического разряда между двумя электродами. Первое направление привело к созданию **тепловых** источников света, второе – **разрядных**. Именно эти два типа до недавнего времени (конец 90-х годов 20-го века) охватывали все многообразие искусственных источников света – от сверхминиатюрных ламп накаливания мощностью в сотые доли ватта до разборных ксеноновых ламп мощностью до 150 киловатт.

В последние годы, кроме этих двух типов, появился и начал все активнее вторгаться во все области третий тип электрических источников света – **полупроводниковый**. По прогнозам специалистов, именно этому новому типу принадлежит будущее. Темпы роста световой отдачи и срока службы полупроводниковых источников света – **светодиодов** – превосходят самые оптимистичные прогнозы специалистов. Сегодня светодиоды уже широко применяются не только в световой сигнализации, где у них в настоящее время нет конкурентов, но и для общего освещения.

Следует сказать, что в настоящее время существуют и неэлектрические искусственные источники света – **химические**, в которых свет создается при протекании некоторых химических реакций; **фотолюминесцентные**, где свет образуется за счет длительного послесвечения некоторых люминофоров после освещения их естественным или искусственным светом; **радиолюминесцентные**, в которых свет возбуждается под действием радиоактивного излучения. Но все эти источники, хотя и находят достаточно широкое применение, создают лишь мизерные доли суммарного светового потока, вырабатываемого искусственными источниками, и далее нами не рассматриваются. Также не рассматриваются и электролюминесцентные источники света, используемые в ряде устройств отображения информации, но не для общего освещения.

Прежде чем перейти к рассмотрению принципов работы электрических источников света, их особенностей и областей применения, познакомимся с общими параметрами, по которым и можно сравнивать различные источники, чтобы выбирать наиболее подходящие из них в конкретных случаях.

4.1. Параметры источников света

Все параметры источников света можно разбить на две группы: **технические** и **эксплуатационные**.

Технические параметры – это те, которые характеризуют сам источник света безотносительно к условиям его применения. К техническим относятся все электрические, световые и механические параметры ламп.

Основные электрические параметры источников света:

1. **Номинальное напряжение (U_n)** – напряжение, на которое рассчитана конкретная лампа или на которое она может включаться с предназначенной для этого специальной аппаратурой. Для ламп накаливания все остальные параметры снимаются именно при номинальном напряжении. Номинальное напряжение (впрочем, как и любое другое) измеряется в вольтах (сокращенное обозначение – **V, V**).
2. **Номинальная мощность лампы (P_n)** – расчетная мощность, потребляемая лампой накаливания при ее включении на номинальное напряжение. Для разрядных ламп номинальная мощность – это расчетная мощность, которую потребляет лампа при ее включении со специально предназначенной для этого аппаратурой. Мощность измеряется в ваттах (сокращенное обозначение – **Вт, W**).
3. Для разрядных ламп иногда оговаривается род питающего тока – переменный или постоянный, так как отдельные типы ламп могут работать только на постоянном токе (например, шаровые ксеноновые или ртутные), или только на переменном (люминесцентные лампы).

Если лампа может работать только на постоянном токе, то обязательно указывается **полярность включения**: к какому выводу лампы должен подключаться положительный полюс сети (+), к какому – отрицательный (–). Электрод лампы, к которому подключается положительный полюс напряжения, называется **анодом**, отрицательный – **катодом**.

- Для некоторых типов ламп (например, для эталонных или образцовых ламп накаливания) вместо номинальной мощности указывается номинальный ток (I_n), который измеряется в **амперах (А)** или **миллиамперах (мА, mA)**; $1 \text{ A} = 1000 \text{ mA}$.

Из световых параметров в каталогах и справочниках чаще всего указывается номинальный **световой поток Φ** , то есть поток, который создает лампа при ее номинальной мощности. Единица измерения светового потока, как уже было сказано – **люмен (лм, lm)**.

Для кинопроекторных и прожекторных ламп часто вместо светового потока указывается **габаритная яркость тела накала** (для ламп накаливания) или **яркость разрядного промежутка** (для ксеноновых ламп). Габаритная яркость тела накала равна силе света лампы в направлении, перпендикулярном телу накала, поделенной на площадь прямоугольника, в который вписывается тело накала. Поскольку яркости таких ламп очень велики, их измеряют не в кд/м^2 , а в **кило -** или **мегаканделах** с квадратного метра (ккд/м^2 или Мкд/м^2 ; $1 \text{ ккд/м}^2 = 1000 \text{ кд/м}^2$; $1 \text{ Мкд/м}^2 = 1\,000\,000 \text{ кд/м}^2$).

Для зеркальных ламп разных типов в технической документации указываются **осевые силы света** и приводятся **кривые силы света** (значения силы света под разными углами, обычно в виде графиков в прямоугольной или полярной системе координат). В зарубежных каталогах для зеркальных ламп часто приводятся **номограммы освещенности**, то

есть кривые распределения освещенности по плоскости, перпендикулярной оси лампы, при различных расстояниях от лампы до освещаемой плоскости (рис. 8).

Важнейшим параметром ламп, характеризующим их экономичность, является **световая отдача** – отношение светового потока лампы к потребляемой ею мощности. Световая отдача измеряется в **люменах на ватт (лм/Вт, lm/W)**. По существу, световая отдача – это коэффициент полезного действия лампы, выраженный в световых величинах. При равенстве остальных показателей световая отдача является решающим фактором для выбора источника света.

К световым параметрам источников света относится **цветовая температура ($T_{\text{цв}}$)**. Это условная величина, приблизительно характеризующая цвет излучения лампы и определяемая путем сравнения этого цвета с цветом теплового излучения так называемого абсолютно черного тела. Измеряется $T_{\text{цв}}$ в **кельвинах (К)**. Для ламп накаливания цветовая температура довольно близка к истинной температуре тела накала; для стандартных осветительных ламп мощностью 40–100 Вт $T_{\text{цв}} = 2700\text{--}2900 \text{ K}$, для галогенных ламп накаливания 2900–3100 К.

Для разрядных ламп и светодиодов указывается **коррелированная цветовая температура**. Следует отметить, что глаз человека воспринимает свет источников с различной цветовой температурой своеобразно: чем выше $T_{\text{цв}}$, тем «холоднее» кажется нам свет. Так, для люминесцентных ламп понятие «тепло-белый цвет» соответствует $T_{\text{цв}} = 2700\text{--}3000 \text{ K}$, «нейтрально-белый» – $T_{\text{цв}} = 4000\text{--}4500 \text{ K}$, «холодно-белый» – $T_{\text{цв}} = 5000\text{--}6000 \text{ K}$.

Для характеристики газоразрядных и полупроводниковых источников света в каталогах и другой технической литературе приводится еще один световой параметр – **общий индекс цветопередачи R_a** . Как было сказано в предыдущем разделе, все тепловые источники света имеют $R_a = 100$.

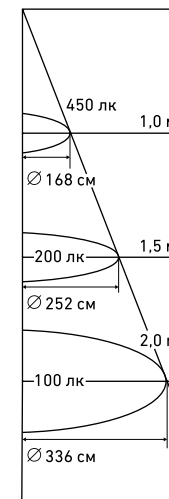


Рис. 8. Пример номограммы освещенности для зеркальных ламп

У всех газоразрядных ламп и светодиодов R_a меньше 100. Очевидно – чем выше значение R_a , тем лучше качество цветопередачи, то есть тем лучше лампа. Но на практике чем больше R_a , тем лампа дороже, и иногда разница в цене весьма значительна (в 4 – 6 раз). При этом лампы с лучшей цветопередачей имеют, как правило, меньшую световую отдачу. Поэтому применять лампы с очень высоким значением R_a (>90) целесообразно только там, где это действительно необходимо (например, в цветной полиграфии, цветочных магазинах, художественных галереях).

К **механическим параметрам ламп** относятся их **габаритные и установочные размеры**; **масса** (если она приводится в каталогах); **тип цоколя**; для некоторых типов ламп – **положение тела накала или разрядного промежутка относительно цоколя**. Сюда же можно отнести рабочее **положение ламп**, так как некоторые их типы (как ламп накаливания, так и газоразрядных) допускают работу только в одном определенном положении – строго горизонтальном, вертикальном или в пределах некоторого угла. Необходимость соблюдения определенного положения лампы при работе всегда указывается в технической документации.

Важнейшим из **эксплуатационных** параметров ламп является **срок службы**. Строго говоря, понятие «срок службы» далеко не однозначно: имеются полный, средний, минимальный, полезный и другие сроки службы.

Полный или физический срок службы – это время от начала эксплуатации источника света до его выхода из строя. Поскольку эта величина неопределенная (одна лампа какого-то конкретного типа может выйти из строя через несколько часов, а другая лампа этого же типа – через несколько тысяч часов), этот параметр в документации никогда не указывается.

В российских ГОСТах на лампы накаливания указан **средний срок службы** при номинальном напряжении, то есть

время работы достаточно большой группы ламп, в течение которого 50% от их количества может выйти из строя. В соответствии с ГОСТ 2239 для нормальных осветительных ламп накаливания этот срок равен 1000 часов, причем **средний спад светового** потока группы ламп не должен превышать 30%. Для других типов ламп средний срок службы устанавливается в технических условиях и может составлять от нескольких часов (некоторые типы ламп для оптических и светосигнальных приборов) до 5000 часов (кварцевые галогенные лампы большой мощности для инфракрасной сушки лакокрасочных покрытий).

Для люминесцентных ламп и других разрядных источников света в российских ГОСТах установлен **полезный срок службы** – среднее время работы ламп в номинальных условиях, в течение которого их эксплуатация экономически оправдана. Это время определяется тем, что в процессе работы ламп постепенно снижается их световой поток за счет «отравления» люминофоров парами ртути и вольфрама, потемнения стенок колбы и других факторов. Через какое-то время световой поток снижается настолько, что осветительная установка перестает обеспечивать необходимый (нормируемый) уровень освещенности, хотя лампы остаются работоспособными. Для отечественных люминесцентных ламп в соответствии с ГОСТ 23583 допустимый **спад светового потока** составляет 40%, а полезный срок службы 12 000 часов.

Для светодиодов, как правило, указывается средний срок службы при определенных условиях эксплуатации. Наиболее уважаемые фирмы (Osram, Philips, Nichia) для мощных светодиодов и модулей дают средний срок службы не более 50 000 ч при температуре р-п перехода + 25 °С. Подробнее о сроке службы светодиодов будет сказано в разделе «Светодиоды».

Минимальный срок службы – это время работы группы ламп до первого отказа, то есть до выхода из строя первой

лампы из группы. Этот параметр устанавливается в технической документации некоторых особо надежных ламп специального назначения и встречается достаточно редко. Чаще встречается **гарантированный** срок службы, определяемый временем, в течение которого вероятность отказа ламп не превышает установленного значения. Например, для отечественных люминесцентных ламп типа ЛБ8-6 установлен гарантированный срок службы 5000 часов при вероятности безотказной работы лампы в течение этого срока не ниже 0,95.

Кроме срока службы, к эксплуатационным параметрам относятся: **устойчивость к внешним климатическим факторам** (температура, давление и влажность окружающего воздуха); **устойчивость к механическим воздействиям** (удары, вибрации, линейные ускорения, звук); **устойчивость к колебаниям напряжения питающей электросети**.

Следует сказать, что в иностранных каталогах источников света крайне редко указывается срок службы и практически никогда не указывается устойчивость к механическим воздействиям. У ламп накаливания общего назначения зарубежного производства реальный средний срок службы совпадает с требованиями ГОСТ 2239 (1000 часов); полезный срок службы импортных люминесцентных ламп, как правило, выше, чем у российских (15 000 часов вместо 12 000) и относится он к спаду светового потока не на 40, а на 30%.

4.2. Тепловые источники света

К **тепловым источникам света** относятся все **лампы накаливания**, в том числе **галогенные и зеркальные**.

За 140 лет со времени появления первой лампы А. Н. Лодыгина с телом накала в виде угольного стержня лампы накаливания прошли несколько революционных этапов развития: снабжение ламп резьбовым цоколем (Эдисон, 1879 год); использование вольфрама для тела накала

(1909 год); наполнение ламп инертным газом и спирализация тела накала (1913 год); создание ламп с биспиральным телом накала и криптоновым наполнением (1936 год); создание ламп с вольфрамово-галогенным циклом (1959 год). Можно сказать, что к настоящему времени технические параметры ламп накаливания близки к теоретическим пределам, и ожидать какого-либо существенного прорыва здесь не приходится. В последние годы правительства ряда стран, в том числе и России, приняли постановления о постепенном запрете производства и продажи ламп накаливания из-за их низкой энергоэффективности. Но несмотря на это сегодня в мире ежегодно производится более 5 миллиардов ламп накаливания примерно 5000 типоразмеров – значительно больше, чем всех газоразрядных источников света вместе взятых.

Чем же объясняется столь широкое распространение ламп накаливания, параметры которых значительно хуже, чем у лучших разрядных и светодиодных ламп? Например, световая отдача обычных осветительных ламп не превышает 15 лм/Вт при сроке службы 1000 часов, в то время как световая отдача последних разработок линейных люминесцентных ламп превысила 100 лм/Вт при сроке службы 18 000 часов.

Главными причинами этого, безусловно, являются относительная **дешевизна ламп и простота их конструкции и схем включения**. Для ламп накаливания не требуется использование какой-либо пускорегулирующей аппаратуры, как для всех без исключения разрядных ламп и светодиодов – они просто ввинчиваются или вставляются в патроны и включаются обыкновенными выключателями.

К другим важным достоинствам ламп накаливания относятся: **компактность**, позволяющая легко управлять распределением светового потока в пространстве; **мгновенное включение** – номинальный световой поток ламп устанавливается сразу же после подачи на них напряжения;

практическая независимость параметров от температуры окружающей среды; достаточно высокая надежность; устойчивость к внешним механическим воздействиям; сплошной спектр излучения, обеспечивающий хорошую цветопередачу (как было сказано выше, общий индекс цветопередачи Ra для всех ламп накаливания равен 100).

Основные недостатки ламп накаливания: низкая световая отдача; относительно небольшой срок службы; сильная зависимость световых и эксплуатационных параметров от колебаний сетевого напряжения; большая доля теплового излучения в спектре ламп; большие броски тока в момент включения.

Чем же обусловлены эти достоинства и недостатки?

Свет ламп накаливания создается за счет нагрева до высокой температуры тела накала протекающим через него электрическим током. Законы теплового излучения очень сложны и исследовались несколькими поколениями физиков на примере реально не существующего «абсолютно черного тела» как наиболее простого излучателя. Значительный вклад в их изучение сделал немецкий физик Макс Планк, именно на основе законов теплового излучения создавший совершенно новую науку – квантовую физику. Не вдаваясь в подробности открытых Планком законов, отметим моменты, необходимые для понимания особенности работы ламп накаливания:

1. Интенсивность излучения любого нагретого тела пропорциональна четвертой степени его температуры.
2. Спектр теплового излучения – сплошной и имеет вид, показанный на рис. 9.
3. Положение максимума интенсивности излучения однозначно определяется температурой нагретого тела и связано с ней простым соотношением:

$$\lambda_{\max} \approx 2900 / T,$$

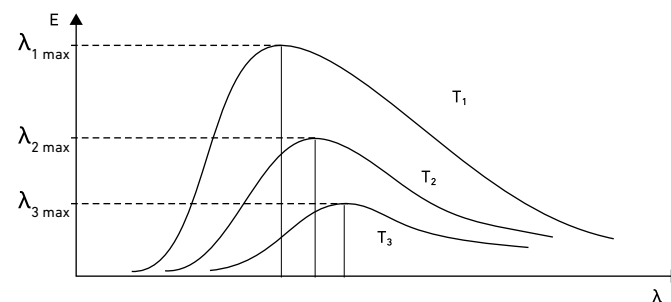


Рис. 9. Спектр излучения абсолютно черного тела

где λ_{\max} – длина волны в области максимума излучения в микрометрах;

T – температура тела в кельвинах.

Из этих трех моментов следует – чем выше температура тела, тем интенсивнее, то есть ярче оно светит.

Видимый диапазон длин волн – от 380 до 760 нм (0,38–0,76 мкм). Очевидно, что для наибольшей эффективности излучения его максимум должен лежать внутри видимой части спектра. Из приведенной выше формулы легко можно найти, что это получается при температурах от 3800 до 7200 К. Но на Земле нет металлов, которые оставались бы твердыми при столь высоких температурах: температура плавления самого тугоплавкого металла – вольфрама – около 3600 К. Рассчитано, что световая отдача излучения вольфрама при его температуре плавления равна 53,5 лм/Вт – это тот теоретический предел световой отдачи, которую могли бы иметь лампы накаливания при полном отсутствии потерь и «жидком» теле накала.

Именно потому, что вольфрам – самый тугоплавкий металл, нити накала всех современных ламп накаливания делают только из него. При этом очевидно: чем выше температура тела накала, тем более эффективной будет лампа, то есть тем выше будет ее световая отдача. Но, с другой стороны, чем выше температура, тем быстрее испаряется

вольфрам, даже не переходя в расплавленное состояние, и тем меньше срок службы лампы. Поэтому конструкции ламп и параметры тела накала (его длина и диаметр) всегда выбираются в результате компромисса между двумя желаниями – увеличить эффективность (световую отдачу), и обеспечить требуемый срок службы. Из-за этого компромисса лампы накаливания работают фактически на пределе своих возможностей.

На рис. 10 показана зависимость основных параметров ламп от колебания напряжения относительно номинального. Из рисунка видно, что, повышая световую отдачу на несколько процентов за счет повышения напряжения, мы проигрываем в сроке службы гораздо больше. В первом приближении можно считать, что при увеличении напряжения на лампе на 1% ток через лампу увеличится на 0,5%, мощность – на 1,5%, световой поток – на 4,7%, световая отдача – на 3,1%, а срок службы снизится на 13%! Всего при пятипроцентном повышении напряжения, что в наших сетях

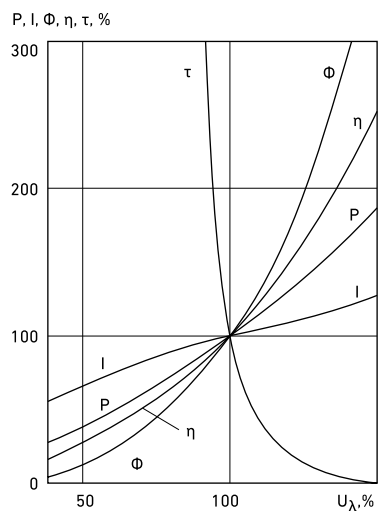


Рис. 10. Зависимость параметров ламп накаливания от напряжения (η-световая отдача)

происходит довольно часто, срок службы ламп снижается почти в три раза.

Следует также отметить, что удельное сопротивление вольфрама, как и всех чистых металлов, растет с температурой и при 2500–3200 К отличается от значений при комнатной температуре в 12–20 раз. Это вызывает резкие броски тока при включении – в момент включения ток в 12–20 раз превышает установившиеся значения. Длится такой бросок недолго – всего 0,1–0,2 секунды, но создает большие нагрузки на электрические сети. Именно из-за таких бросков тока выход ламп из строя почти всегда происходит в момент включения.

На рис. 11 показано устройство лампы накаливания. Хотя существует великое множество конструктивных исполнений ламп, принцип устройства их одинаков и хорошо виден на приведенном рисунке.

«Сердцем» всех ламп служит тело накала 1. Тело накала – это тонкая проволока из вольфрама. При прохождении по такой проволоке электрического тока расчетной величины она нагревается до температуры 2000–3200 К (примерно 1700–2900 °С) и начинает светиться. При таких высоких температурах на воздухе вольфрам соединяется с кислородом (как известно, в составе воздуха содержится 21% кислорода) и, если бы нить работала на воздухе, она мгновенно бы окислилась и разрушилась. Поэтому тело накала помещается в герметично запаянную стеклянную или кварцевую колбу 2, из которой воздух удален полностью. Пространство без воздуха называется вакуум (в переводе на русский – пустота). Однако вольфрам при высоких температурах в вакууме начинает испаряться, а испаряющиеся с нити атомы вольфрама оседают на стенках колбы, вызывая ее потемнение. Поэтому **вакуумными** делают лампы только небольшой мощности – до 25 Вт, у которых тело накала работает при температурах не выше 2500 К.

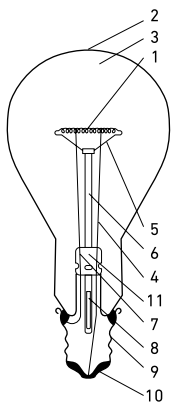


Рис. 11.
Устройство ламп
накаливания

Для уменьшения испарения вольфрама колбы более мощных ламп после тщательной откачки наполняют инертным газом 3. Такое наполнение значительно снижает скорость испарения вольфрама, причем этот эффект проявляется тем сильнее, чем тяжелее наполняющий газ. Лампы с колбой, наполненной инертным газом, называются **газополными**.

Из шести существующих на Земле инертных газов (гелий, неон, аргон, криптон, ксенон и радон) для наполнения колб ламп накаливания используются три – аргон, криптон и ксенон, которые добываются из воздуха. Более 95% всех газополных ламп наполняется аргоном, а точнее – техническим аргоном (86% аргона и 14% азота), до давления 600–650 мм ртутного столба. Менее 5% ламп делается с криптоновым наполнением, и только кварцевые галогенные лампы наполняют ксеноном.

Наполнение колб инертным газом уменьшает скорость испарения вольфрама, но увеличивает тепловые потери от тела накала, и поэтому требует подвода к лампе дополнительной мощности для того, чтобы нагреть тело накала до такой же температуры, которая была бы при отсутствии таких потерь. Количество тепла, отводимого через газ, прямо пропорционально длине тела накала. Для сокращения длины тела накала вольфрамовую нить свивают в спираль, а в некоторых типах ламп (особенно с криптоновым наполнением) делают еще «спираль из спирали», то есть двойную спираль или **биспираль**.

Естественно, что тело накала в колбе должно быть закреплено, и к нему необходимо подвести электрический ток. Для подвода тока в лампе имеются **электроды** (4 на рис. 11), которые чаще всего делаются из никеля. Электроды выполняют функцию и основных крепящих элементов, поддерживающих тело накала. Дополнительно тело накала поддерживается еще специальными **крючками** или

держателями 5, которые делаются из молибдена. Электроды и держатели вмонтированы в стеклянную трубочку, называемую **тарелкой**. На месте спая горловины колбы с тарелкой с помощью специальной мастики крепится цоколь 6. У обычных осветительных ламп цоколь делается резьбовым с наружным диаметром 14, 27 или 40 мм и специальной резьбой с крупным шагом (рис. 11 а). Такие цоколи называются соответственно **E14**, **E27** и **E40**. К резьбовой части цоколя припаян один из электродов лампы, другой электрод припаян к центральному контакту цоколя (7 на рис. 9).

Для обеспечения герметичности ламп электроды обычно делаются из трех звеньев – внутреннего (никель), наружного (медь) и промежуточного, герметично впаянного в расплюсченную часть тарелки – **лопатку** 11. Наиболее ответственное – промежуточное – звено электродов чаще всего изготавливается из специально обработанной стальной проволоки с медным покрытием, называемой **платинитом**. Сложность структуры промежуточных звеньев электродов обусловлена необходимостью обеспечения герметичности в широком диапазоне температур и несовпадением тепловых коэффициентов расширения стекла и металлов.

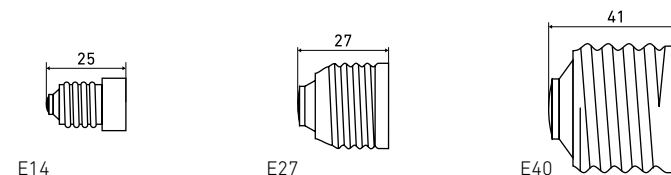


Рис. 11а.
Стандартные
цоколи ламп
накаливания

В последнее время очень большое распространение получили малогабаритные **зеркальные** лампы. От обычных осветительных ламп они отличаются только формой колбы, на часть которой нанесено отражающее (алюминиевое)

покрытие. Особенно широко такие лампы используются в так называемых точечных поворотных и неповоротных светильниках, встраиваемых в подвесные потолки.

Несколько иначе устроены **галогенные лампы накаливания**, хотя все основные элементы обычных ламп присутствуют и здесь. В этих лампах, появившихся в сентябре 1959 года в США и почти одновременно в СССР, для уменьшения испарения вольфрама и осветления стенок колбы используется **вольфрамово-галогенный цикл**. В состав наполняющего газа вводится небольшое количество галогенов – элементов седьмой группы таблицы Менделеева. К этим элементам относятся фтор, хлор, бром и йод. В первые годы после изобретения использовались только соединения йода, поэтому все галогенные лампы накаливания в популярной литературе до сих пор часто называют **йодными**. В настоящее время чаще используют более технологичные соединения брома – бромистый метан CH_2Br_2 и бромистый метилен CH_3Br . При температурах от 300 до 1200 °С, но наиболее активно при 500–600 °С, эти вещества образуют с вольфрамом летучие соединения, которые при температуре выше 1600 °С разлагаются на вольфрам и галоген. Получается замкнутый цикл: на стенках колбы, куда оседают атомы вольфрама, происходит их взаимодействие с галогенами с образованием летучих соединений, при попадании которых на горячую спираль с температурой выше 1600 °С они разлагаются на вольфрам и галоген. Вольфрам остается на теле накала, а галоген снова входит в состав наполняющего газа, чтобы на стенках вновь соединиться с осевшими там атомами вольфрама. Благодаря такому циклу, происходит очищение стенок колбы от вольфрама и частичное возвращение вольфрама со стенок на тело накала.

Из сказанного ясно, что для осуществления вольфрамово-галогенного цикла необходимы два условия:

температура тела накала должна быть не ниже 1600 °С, а температура стенок колбы – не ниже 300, а лучше всего 500–600 °С. Первое условие в лампах накаливания выполняется всегда, так как даже в самых маломощных лампах температура тела накала не ниже 1700 °С. Для выполнения второго условия ученым и инженерам пришлось найти принципиально новые конструкторские и технологические решения.

Прежде всего, пришлось значительно уменьшить габариты ламп. Первые галогенные лампы имели форму цилиндра с наружным диаметром 12 мм и длиной, зависящей от мощности лампы (рис. 12). Тело накала было сделано в виде спирали, расположенной строго по оси лампы.

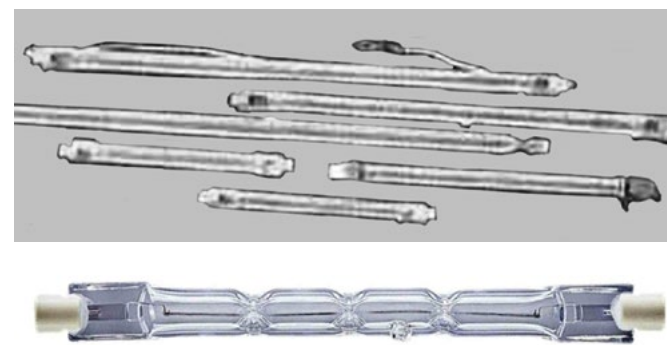


Рис. 12.
Галогенные лампы накаливания

Так как лампа работает при температуре колбы 500–600 °С, а иногда и выше, пришлось заменить материал колбы – вместо стекла колбы галогенных ламп делают из более термостойкого **кварца**. Малые габариты ламп позволили использовать для наполнения самый тяжелый и самый дорогой из инертных газов – **ксенон**, давление которого в холодной лампе составляет 5–7, а в работающей – 10–12 атмосфер.

Очищение колбы за счет вольфрамово-галогенного цикла и наполнение колбы тяжелым ксеноном под большим давлением позволили значительно повысить температуру тела накала и, тем самым, световую отдачу ламп при одновременном увеличении срока их службы. Если у нормальных осветительных ламп мощностью 500 Вт на напряжение 220 В световая отдача равна 15 лм/Вт при сроке службы 1000 часов, то у галогенной лампы такой же мощности эти параметры равны 19 лм/Вт и 1500 часов.

Сейчас в мире выпускаются сотни типов галогенных ламп накаливания мощностью от 3-х до 20 000 Вт. Кроме линейной конструкции, разработаны и изготавливаются компактные или малогабаритные лампы. Высокая температура на колбах галогенных ламп заставила отказаться от использования привычных резьбовых цоколей. Линейные лампы цоколюются с двух сторон специальными торцевыми цоколями R7s, выдерживающими высокие температуры. Лампы вставляются в патроны, изготовленные чаще всего из керамики. Некоторыми иностранными фирмами выпускаются линейные лампы, помещенные во внешнюю вакуумную колбу с резьбовым цоколем. В малогабаритных лампах, как правило, в качестве цоколя используется сама колба с жестко фиксированными выводами из вольфрамовой проволоки (рис. 13а). Автомобильные и самолетные галогенные лампы делаются со специальными цоколями.

Несмотря на физическое отсутствие какого-либо цоколя у малогабаритных ламп, в каталогах и другой технической документации такое оформление внешних выводов называется «цоколем типа G...,GY...»; цифры после букв обозначают расстояния между выводами в мм (например, G 6,35). Линейные галогенные лампы накаливания выпускаются на номинальное напряжение 127 или 220 В (за рубежом – 230 В), малогабаритные – в основном на низкое напряжение (6,3; 12; 24 и 27 В).

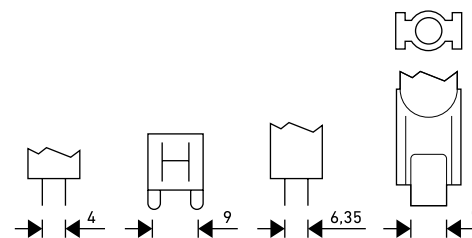


Рис. 13а. Цоколи галогенных ламп накаливания

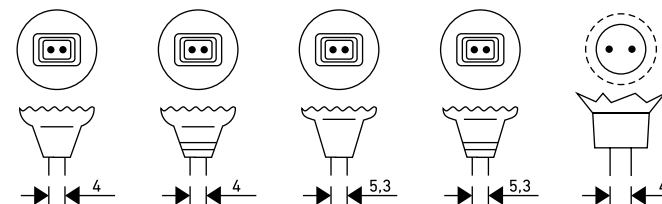


Рис. 13б. Цоколи зеркальных галогенных ламп накаливания

Малые габариты светящего тела галогенных ламп позволяют формировать различные световые пучки с помощью отражателей достаточно малых размеров. Благодаря этому, разработан обширный **ассортимент зеркальных галогенных ламп**, очень широко используемых в последние годы. Отражатель в таких лампах жестко соединен с колбой специальной высокотемпературной мастикой. Цоколь у них физически также отсутствует, элементами электрического соединения служат жесткие выводы лампы. Обозначения в каталогах «цоколь типа GU..., G...» показывают расстояния между ножками и некоторые отличительные признаки горловины отражателя (наличие или отсутствие «скоса» – смотри рис. 13б).

Зеркальные галогенные лампы изготавливаются с отражателями диаметром 35, 51 или 63 мм. Отражатель может быть алюминиевым или стеклянным. Основными параметрами таких ламп являются осевая сила света и угол рассеяния, то есть угол, на границах которого сила света равна

половине осевой. Наиболее типичные углы рассеяния – 8, 12, 20, 24, 38 и 60°.

Особый интерес представляют лампы со стеклянным интерференционным отражателем, в популярной и рекламной литературе называемые «лампами холодного света». Отражатель в таких лампах хорошо отражает видимый свет и также хорошо пропускает инфракрасное (тепловое) излучение. Поскольку доля теплового излучения составляет около 90% от мощности ламп, то при больших углах охвата количества тепла в световом пучке такой лампы действительно значительно меньше, чем у ламп с металлическим или стеклянным алюминированным отражателем. Однако при использовании таких ламп не следует забывать о том, что выходящие сквозь отражатель «назад» тепловое излучение никуда не исчезает и при установке ламп «холодного света» в небольшие по размерам светильники может нагревать их до недопустимо высоких температур.

В связи с развернувшимися во всем мире кампаниями за снижение энергопотребления правительствами ряда стран (Англии, Австралии, Китая, Кубы и некоторых штатов США) приняты решения о постепенном изъятии из обращения ламп накаливания общего назначения. Надо сказать, что эти постановления принимались часто поспешно, под сильным нажимом «зеленых», так как никакой равноценной замены лампам накаливания не предлагалось. По последним сведениям из Интернета, в некоторых странах начали отменять или смягчать «антиламповые» законы. В других странах производители ламп накаливания ищут пути обхода принятых постановлений: вместо запрещенных ламп мощностью 100 Вт стали выпускать лампы мощностью 95 Вт или те же самые лампы под названием «тепловые шарики».

Необходимо иметь в виду, что из-за специфики физико-химических процессов большинство линейных галогенных ламп может работать только в горизонтальном положении

с максимальным углом наклона 4°. При других положениях горения верхний конец ламп быстро темнеет и срок службы значительно сокращается. Малогабаритные галогенные лампы могут работать в любом положении.

Наконец, следует сказать, что галогенные лампы накаливания значительно (в 10 и более раз) дороже обычных, так как в них используются более дорогие материалы (кварц, ксенон) и, кроме того, технология их изготовления гораздо сложнее и требует исключительно высокой культуры производства. Поэтому применять кварцевые галогенные лампы следует только там, где это действительно необходимо, несмотря на то, что их параметры значительно превосходят параметры обычных ламп.

Несколько слов надо сказать о **лампах в колбах из прессованного стекла** с отражателем на внутренней поверхности (так называемых **PAR-лампах**). В этих лампах совмещаются функции источника света и светильника. Как правило, лампы типа PAR предназначены для работы на напряжении 220 В, снабжены цоколем E27 и могут вкручиваться в обычные патроны. Внутренний отражатель формирует требуемую кривую силы света, поэтому применение какой-либо внешней оптики не требуется. Параметры таких ламп уступают параметрам малогабаритных ламп с отражателем, но, поскольку они могут включаться прямо в сеть 220 В без понижающего трансформатора, то спрос на них достаточно велик. Основная область применения зеркальных ламп в колбах из прессованного стекла – акцентирующее освещение витрин и торговых залов.

Значительно раньше ламп PAR появились автомобильные и самолетные **лампы-фары**, также совмещающие функции источников света и осветительных приборов. Лампы-фары изготавливаются в колбах из прессованного стекла с отражателем на наружной стороне колбы. Эти лампы предназначены для работы на низком напряжении (12 или 27 В) и снабжены специальными цоколями.

В таблицах 14, 15 и 16 даны усредненные параметры некоторых типов ламп накаливания. Параметры отечественных и зарубежных ламп общего назначения различаются незначительно. Параметры галогенных ламп зарубежного производства несколько выше, чем российских.

Таблица 14.
Параметры ламп накаливания общего назначения

Тип лампы	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Габариты, мм	
			H	D
Вакуумные	15	105	107	61
	25	220	107	61
Газополные	40	415	114	61
	60	715	114	61
	75	950	114	61
	100	1350	129	66
	150	2100	175	81
С криптоновым наполнением	200	2920	175	81
	40	460	90	46
	60	790	96	51
	100	1450	105	61

Таблица 15.
Параметры линейных кварцевых галогенных ламп

Напряжение, В	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Срок службы, часов	Габариты, мм	
				L	D
110	5000	126000	2000	520	27
220	250	4000	1500	117	8
220	500	9500	2000	117	12
220	1000	22000	2000	189	12
220	2000	44000	2000	335	12
220	5000	110000	3000	990	20,5

Напряжение, В	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Срок службы, часов	Габариты, мм		Тип цоколя
				L	D	
3	0,9	11	50	25,3	4	Нет
12	20	400	50	24	4,15	Нет
12	20	350	2000	31	8	G4
24	100	2500	2000	44	11	G6,35
27	100	3200	15	50	12,1	Нет
220	150	2400	1500	67	17	G6,35
220	500	11000	250	75	23	G10

Таблица 16.
Параметры малогабаритных кварцевых галогенных ламп

4.3. Разрядные источники света

К разрядным источникам света относятся все люминесцентные лампы (в том числе компактные и безэлектродные), металлогалогенные, натриевые высокого и низкого давления, ксеноновые, неоновые и другие.

Все разрядные лампы делятся на три группы: **низкого, высокого и сверхвысокого давления**. Эти группы достаточно сильно различаются по физике протекающих в них процессов, параметрам, областям применения. Так как лампы сверхвысокого давления для общего освещения не применяются, далее о них не говорится.

Чем же отличаются **разрядные источники света** от тепловых? Если в тепловых источниках свет образуется за счет нагрева вольфрамовой проволоки до очень высоких температур, то в разрядных источниках свет возникает в результате электрического разряда между двумя электродами. Спектр возникающего при разряде излучения определяется составом и давлением газа, в котором происходит разряд. Яркость свечения зависит не только от состава газа, но и от его давления и величины тока разряда.

Несмотря на все многообразие разрядных источников света, есть два принципиальнейших момента, объединяющих все эти источники в одну группу. Расскажем об этих моментах подробнее.

Из школьного курса физики нам знаком закон Ома: напряжение на каком-либо устройстве, через которое протекает электрический ток, равно произведению тока на электрическое сопротивление этого устройства. Значит, с ростом тока будет расти и напряжение на этом устройстве. Этому закону подчиняются все электрические приборы – лампы накаливания, электромоторы, электрические печи и т.п. Все, кроме приборов с разрядом в газах или парах металлов. В отличие от всех остальных электрических устройств, напряжение на разрядном промежутке с ростом тока не увеличивается, а уменьшается.

На рис. 14 показана типичная зависимость напряжения от тока на разрядном промежутке. Такая зависимость называется **вольтамперной характеристикой**. Кроме «падающего» характера зависимости напряжения от тока, на этом рисунке видна еще одна особенность электрического разряда в газах: наличие некой «точки перегиба», после которой характеристика получает «падающий» вид. Прямая линия, параллельная оси X на рис. 20 – это напряжение электрической сети, питающей разряд, например, привычные для нас 220 В. Мы видим, что «точка перегиба» лежит выше напряжения сети. Величина напряжения в этой точке зависит от очень многих факторов: расстояния между электродами; рода и давления газа, в котором происходит разряд; температуры, материала и формы электродов; наличия внешних ионизирующих излучений (радиоактивного, космического, рентгеновского и т.п.) и многого другого.

Во время горения лампы напряжение на ней значительно ниже сетевого. Но для того, чтобы разряд возник, к электродам должно быть приложено напряжение не ниже того,

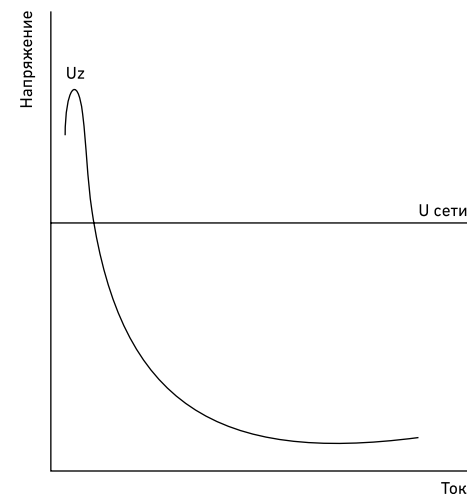


Рис. 14.
Вольтамперная характеристика газового разряда

которое соответствует «точке перегиба». Это напряжение называется «напряжением возникновения разряда» или чаще «напряжением зажигания». Напряжение на лампе в рабочем режиме называется «напряжением горения».

Падающий характер вольтамперной характеристики означает, что если мы каким-либо образом не ограничим ток разряда, то он будет увеличиваться до тех пор, пока прибор не выйдет из строя. Это свойство, а также наличие напряжения зажигания, большего, чем напряжение сети, и являются теми самыми двумя определяющими факторами, которыми электрический разряд в газах или парах металлов отличается от всех остальных потребителей электрической энергии. Из-за этих факторов разрядные источники света не могут включаться в электрическую сеть непосредственно, как это мы видели на примере ламп накаливания. Для включения любого разрядного источника света необходимы дополнительные устройства, которые выполняют две обязательных функции: **обеспечивают подачу напряжения**

не меньше напряжения зажигания и ограничивают ток разряда на требуемом уровне. Рассмотрим некоторые наиболее распространенные типы разрядных источников света.

4.3.1. Люминесцентные лампы

Люминесцентные лампы – второй в мире по распространенности источник света, а в Японии (в последние годы и в Китае) они занимают даже первое место, обогнав лампы накаливания. Ежегодно в мире производится более двух миллиардов люминесцентных ламп.

Первые образцы люминесцентных ламп современного типа были показаны американской фирмой General Electric на Всемирной выставке в Нью-Йорке в 1938 году. За 70 лет существования они прочно вошли в нашу жизнь, и сейчас уже трудно представить какой-нибудь крупный магазин или офис без светильников с люминесцентными лампами.

Люминесцентная лампа – это **типичный разрядный источник света низкого давления**, в котором разряд происходит в смеси паров ртути и инертного газа, чаще всего – аргона. Устройство лампы показано на рис. 15. **Колба лампы** – это всегда цилиндр 1 из стекла с наружным диаметром 38, 26, 16 или 12 мм. Цилиндр может быть прямым или изогнутым в виде кольца, буквы U или более сложной фигуры. В торцевые концы цилиндра герметично впаяны стеклянные **ножки** 2, на которых с внутренней стороны смонтированы **электроды** 3. Электроды по конструкции подобны биспиральному телу накала ламп накаливания и также делаются из вольфрамовой проволоки. В некоторых типах ламп электроды сделаны в виде **триспирали**, то есть спирали из биспирали. С наружной стороны электроды подпаяны к **штырькам** 4 **цоколя** 5. В прямых лампах используется только два типа цоколей – **G5** и **G13** (цифры 5 и 13 указывают расстояние между штырьками в мм).

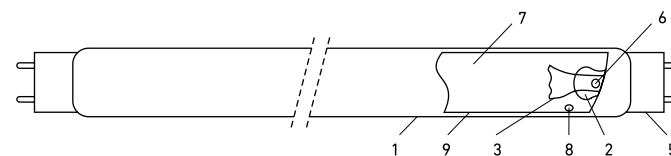


Рис. 15.
Устройство люминесцентной лампы

Как и в лампах накаливания, из колб люминесцентных ламп воздух тщательно откачивается через **штенгель** 6, впаянный в одну из ножек. После откачки объем колбы заполняется **инертным газом** 7 и в него вводится **ртуть** в виде небольшой капли 8 (масса ртути в одной лампе не более 30 мг) или в виде так называемой **амальгамы**, то есть сплава ртути с висмутом, индием и другими металлами. На биспиральные или триспиральные электроды лампы всегда наносится слой **активирующего вещества** – обычно смесь окислов бария, стронция, кальция, иногда с небольшой добавкой тория.

Если к лампе приложено напряжение большее, чем напряжение зажигания, то в ней между электродами возникает электрический разряд, ток которого обязательно ограничивается какими-либо внешними элементами. Хотя колба наполнена инертным газом, в ней всегда присутствуют пары ртути, количество (парциальное давление) которых определяется температурой самой холодной точки колбы. Разряд возникает в инертном газе, но поскольку атомы ртути возбуждаются и ионизируются гораздо легче, чем атомы газа, ток через лампу и ее свечение определяются преимущественно ртутью.

В ртутных разрядах низкого давления доля видимого излучения не превышает 2% от мощности разряда, а световая отдача ртутного разряда – всего 5–7 лм/Вт. Но более половины мощности, выделяемой в разряде, превращается в невидимое **ультрафиолетовое излучение** с длинами волн 254 и 185 нм. Как было сказано в разделе 1, чем короче длина волны излучения, тем большей энергией обладают

кванты этого излучения. С помощью специальных веществ, называемых люминофорами, можно превратить одно излучение в другое, причем, по закону сохранения энергии, «новое» излучение может быть только «менее энергичным», чем первичное, то есть его длина волны больше длины волны первичного излучения. Поэтому ультрафиолетовое излучение с помощью люминофоров можно превратить в видимое, а видимое в ультрафиолетовое – нельзя.

Вся цилиндрическая часть колбы с внутренней стороны покрыта тонким слоем именно такого люминофора 9, который и превращает ультрафиолетовое излучение атомов ртути в видимое. В большинстве современных люминесцентных ламп в качестве люминофора используется галофосфат кальция с добавками сурьмы и марганца (как говорят специалисты, «активированный сурьмой и марганцем»). При облучении такого люминофора ультрафиолетовым излучением он начинает светиться белым светом разных оттенков. Спектр излучения люминофора – сплошной с двумя максимумами – около 480 и 580 нм (рис.16). Первый максимум определяется наличием сурьмы, второй – марганца. Меняя соотношение этих веществ (активаторов), можно получить белый свет разных цветовых оттенков – от теплого до дневного. Так как люминофоры превращают в видимый свет более половины мощности разряда, то именно их свечение определяет светотехнические параметры ламп.

В 70-е годы минувшего века начали делать лампы не с одним люминофором, а с тремя, имеющими максимумы излучения в синей, зеленой и красной областях спектра (450, 540 и 610 нм). Эти люминофоры были созданы первоначально для кинескопов цветного телевидения, где с их помощью удалось получить вполне приемлемое воспроизведение цветов. Комбинация трех люминофоров позволила и в лампах добиться значительно лучшей цветопередачи,

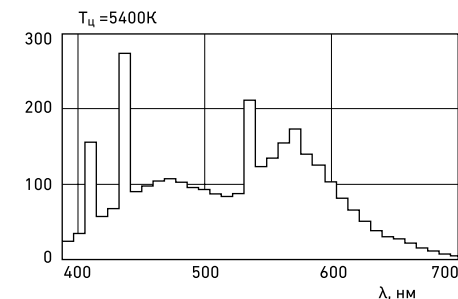
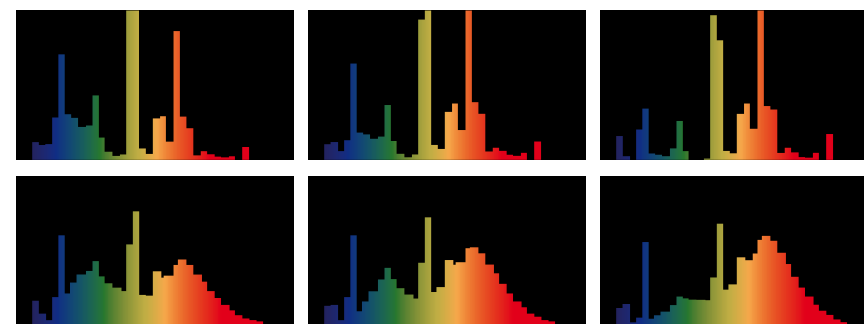


Рис. 16. Спектр излучения люминесцентных ламп с галофосфатным люминофором

чем при использовании галофосфата кальция, при одновременном увеличении световой отдачи. Однако новые люминофоры гораздо дороже старых, так как в них используются соединения редкоземельных элементов – европия, церия и тербия. Поэтому в большинстве люминесцентных ламп попрежнему применяются люминофоры на основе галофосфата кальция. Спектры излучения люминесцентных ламп с тремя узкополосными люминофорами показаны на рис. 17.

Рис. 17. Спектры излучения люминесцентных ламп с узкополосными люминофорами дневного, холодно-белого и тепло-белого цвета



Электроды в люминесцентных лампах выполняют функции источников и приемников электронов и ионов, за счет которых и протекает электрический ток через разрядный промежуток. Для того чтобы электроны начали переходить

с электродов в разрядный промежуток (как говорят, для начала термоэмиссии электронов), электроды должны быть нагреты до температуры 1100–1200 °С. При такой температуре вольфрам светится очень слабым вишневым цветом, испарение его очень мало. Но для увеличения количества вылетающих электронов на электроды наносится слой активирующего вещества, которое значительно менее термостойко, чем вольфрам, и при работе этот слой постепенно распыляется с электродов и оседает на стенках колбы. Обычно именно процесс распыления активирующего покрытия электродов определяет срок службы ламп.

Для достижения наибольшей эффективности разряда, то есть для наибольшего выхода ультрафиолетового излучения ртути, необходимо поддерживать определенную температуру колбы или хотя бы отдельной точки ее (так называемой холодной точки). Оптимальной является температура около 40 °С. Диаметр колбы выбирается именно из этого требования. Во всех лампах обеспечивается примерно одинаковая плотность тока – величина тока, деленная на площадь сечения колбы. Поэтому лампы разной мощности в колбах одного диаметра, как правило, работают при равных номинальных токах. Падение напряжения на лампе прямо пропорционально ее длине. А так как мощность равна произведению тока на напряжение, то при одинаковом диаметре колб и мощность ламп прямо пропорциональна их длине. У самых массовых ламп мощностью 36 (40) Вт длина равна 1210 мм, у ламп мощностью 18 (20) Вт – 604 мм, у ламп мощностью 58 Вт – 1514 мм.

Большая длина ламп создает неудобства при конструировании светильников, и это постоянно заставляло разработчиков ламп искать пути ее уменьшения. Простое уменьшение длины и достижение нужных мощностей за счет увеличения тока разряда нерационально, так как при этом увеличивается температура колбы, что приводит

к увеличению давления паров ртути и снижению световой отдачи ламп. Поэтому создатели ламп пытались уменьшить их габариты за счет изменения формы – длинную цилиндрическую колбу сгибали пополам (U-образные лампы) или в кольцо (кольцевые лампы). В СССР уже в 50-е годы делали U-образные лампы мощностью 30 ватт в трубках диаметром 26 мм и мощностью 8 ватт в трубках диаметром 14 мм.

Однако кардинально решить проблему уменьшения габаритов ламп удалось только в 80-е годы, когда начали использовать редкоземельные люминофоры, допускающие большие электрические нагрузки, что позволило значительно уменьшить диаметр колб. Колбы стали делать из стеклянных трубок с наружным диаметром 12 мм и многократно изгибать их, сокращая тем самым общую длину ламп. Появились так называемые компактные люминесцентные лампы. По принципу работы и внутреннему устройству компактные лампы не отличаются от обычных линейных ламп.

Поиск компромисса между очевидными преимуществами люминесцентных ламп перед лампами накаливания и консерватизмом наших привычек привел в начале 80-х годов минувшего века к появлению таких люминесцентных ламп, которые могли бы вкручиваться в обыкновенные патроны как лампы накаливания. Ограничитель тока и зажигающее устройство в таких лампах размещались в специальном «адаптере» с цоколем E27, а колба лампы многократно изгибалась для максимального уменьшения габаритов и покрывалась сверху декоративным колпаком, обеспечивающим также и защиту ламп от поломок при установке в патрон. Такие лампы мощностью 13 и 18 Вт выпускались крупнейшими фирмами Osram и Philips, а некоторыми фирмами выпускаются и до сих пор, но широкого распространения не получили: масса их была около 400 граммов, что практически исключало возможность их применения в настольных, настенных и подвесных многоламповых светильниках.

Положение коренным образом изменилось с появлением **электронных аппаратов включения и компактных люминесцентных ламп**. Массу и габариты ламп удалось уменьшить настолько, что люминесцентные лампы с электронными аппаратами и резьбовыми цоколями E27 и E14 стали полноценной заменой ламп накаливания даже без изменения конструкции светильников. Сейчас в мире ежегодно выпускается более полутора миллиардов таких ламп, и производство их непрерывно растет, особенно в Китае и странах Юго-Восточной Азии. Постоянно расширяется и номенклатура ламп. Диапазон мощностей современных компактных люминесцентных ламп, объединенных («**интегрированных**») с электронными аппаратами и оснащенных цоколями E27 или E14 – от 3 до 250 Вт; лампы выпускаются с различной цветностью излучения, разной конфигурации, с декоративными внешними колбами, с отражателями и другие (рис. 18). Срок службы КЛЛ – 8000–12 000 часов; имеются сообщения о выпуске КЛЛ со сроком службы 32 000 часов.

В середине 90-х годов на мировом рынке появилось новое поколение люминесцентных ламп, в рекламной литературе называемое «**серией T5**» (в Германии и других немецкоязычных странах более правильно – **T16**). У этих ламп наружный диаметр колбы уменьшен до 16 мм (или 5/8 дюйма, отсюда и название T5). По принципу работы они так-же не отличаются от обычных линейных ламп. В конструкцию ламп внесено одно очень важное изменение – люминофор с внутренней стороны покрыт тонкой защитной пленкой, прозрачной и для ультрафиолетового, и для видимого излучения. Пленка защищает люминофор от попадания на него частиц ртути, активирующего покрытия и вольфрама с электродов, благодаря чему исключается «отравление» люминофора, и обеспечивается высокая стабильность светового потока в течение срока службы.



Рис. 18. Формы компактных люминесцентных ламп

Изменены также состав наполняющего газа и конструкция электродов, что сделало невозможной работу таких ламп в старых схемах включения. Электроды помещаются внутри небольших колпачков с отверстиями, препятствующих прямому попаданию молекул активирующего покрытия и атомов вольфрама с электродов на стенки. Кроме того, – впервые с 1938 года – изменены длины ламп таким образом, чтобы размеры светильников с ними соответствовали размерам стандартных модулей очень модных сейчас подвесных потолков. Длина заэлектродных участков в лампах подобрана так, чтобы оптимальная температура «холодной точки» (примерно 42–45 °С) создавалась при температуре окружающего воздуха не + 25 °С, как в старых лампах, а + 35 °С. Это оптимизирует работу ламп в светильниках.

Люминесцентные лампы, особенно последнего поколения в колбах диаметром 16 мм, значительно превосходят лампы накаливания по световой отдаче и сроку службы. Достигнутые сегодня значения этих параметров равны 115 лм/Вт и 75 000 часов.

Однако люминесцентные лампы имеют и множество недостатков, которые необходимо знать и учитывать при выборе источников света:

1. Большие габариты ламп часто не позволяют перераспределять световой поток нужным образом.
2. В отличие от ламп накаливания, световой поток люминесцентных ламп сильно зависит от окружающей температуры (рис. 19).
3. В лампах содержится экологически опасная ртуть.
4. Световой поток ламп устанавливается не сразу после включения, а спустя некоторое время, зависящее от конструкции светильника, окружающей температуры и самих ламп. У некоторых типов ламп, в которые ртуть вводится в виде амальгамы, это время может достигать 10–15 минут.
5. Глубина пульсаций светового потока при включении ламп в стандартных стартерно-дрессельных схемах значительно выше, чем у ламп накаливания; особенно это проявляется в лампах с редкоземельными люминофорами. Это затрудняет использование ламп во многих производственных помещениях и, кроме того, отрицательно сказывается на самочувствии людей, работающих при таком освещении.
6. Яркость люминесцентных ламп на порядки ниже, чем яркость тела накала ламп накаливания. Поэтому принципиально невозможно создание осветительных приборов с такими лампами с большой силой света. Это обстоятельство препятствует применению люминесцентных ламп для освещения высоких помещений.

7. Как было сказано выше, люминесцентные лампы, как и все разрядные приборы, для включения в сеть требуют использования дополнительных устройств.

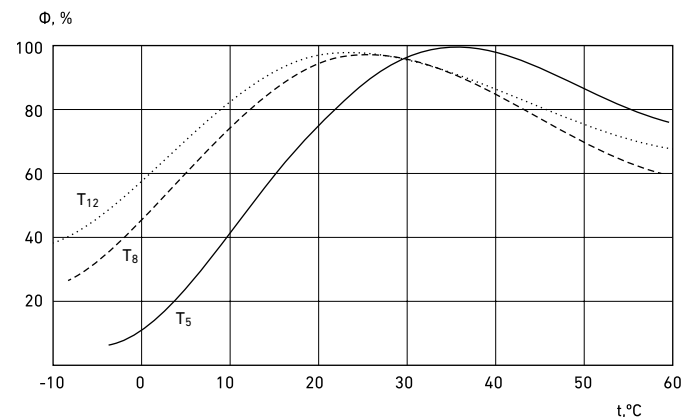


Рис. 19. Зависимость светового потока люминесцентных ламп от температуры

Зависимость световой отдачи люминесцентных ламп от температуры препятствует их использованию в наружном освещении и при освещении холодных помещений, так как при нулевой температуре окружающего воздуха световой поток открытых ламп в колбах диаметром 26 мм составляет всего 20%, а «тонких» ламп (Т5) – даже 10% от номинального. При температурах ниже $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ лампы в стандартных схемах включения большей частью вообще перестают зажигаться. Чтобы обеспечить более широкий диапазон рабочих температур, лампы делают в двойной колбе, то есть помещают лампу в герметичную наружную колбу большего диаметра и в промежутке между колбами создают глубокий вакуум. Лампа оказывается как бы помещенной в термос. Поскольку такие лампы очень дороги, фирмы-изготовители применяют в них все конструкторско-технологические решения для увеличения срока службы. Так, срок службы

некоторых ламп в двойных колбах при включении с электронными аппаратами достигает 50 000 часов.

Классификация и обозначение люминесцентных ламп

Все люминесцентные лампы можно разделить на две большие группы: линейные и компактные. Небольшой ассортимент кольцевых и U-образных ламп можно отнести к линейным, так как они делаются в колбах таких же диаметров и имеют близкие параметры.

Линейные лампы массового применения выпускаются в колбах диаметром 38, 26 и 16 мм (иностранное обозначение – T12, T8 и T5, то есть 12/8, 8/8 и 5/8 дюйма). Немецкая фирма Osram делает еще лампы T2 диаметром около 7 мм, но эти лампы применяются пока только в сканерах и другой репрографической аппаратуре и изредка в светильниках местного освещения. В последние годы за рубежом выпуск ламп в колбах диаметром 38 мм практически прекращен. Стандартный ряд мощностей линейных ламп не велик: 4, 6, 8, 13, 15, 18, 20, 30, 36, 40, 58, 65 и 80 Вт. В абсолютном большинстве современных светильников используются лампы только трех номиналов мощности: **18, 36 и 58 Вт**. В России еще продолжается выпуск ламп мощностью 20, 40, 65 и 80 Вт в колбах диаметром 38 мм.

Как уже было сказано, лампы разной мощности различаются длиной колб – от 136 до 1514 мм (с цоколями).

В отличие от ламп накаливания, на люминесцентных лампах никогда не указывается напряжение, на которое они должны включаться, так как в зависимости от применяемой схемы включения одна и та же лампа может работать при самых разных напряжениях – как по величине (от нескольких вольт до сотен вольт), так и по роду тока (переменный или постоянный).

Лампы каждой мощности выпускаются с различной цветностью излучения. В России по ГОСТ 6825 установлено пять

цветностей белого света: тепло-белый, белый, естественный, холодно-белый и дневной, обозначаемые буквами ТБ, Б, Е, ХБ и Д. Кроме белых ламп разной цветности, производятся цветные люминесцентные лампы – красные, желтые, зеленые, голубые и синие (К, Ж, З, Г и С).

Цветность белого излучения ламп приблизительно может быть охарактеризована цветовой температурой $T_{цв}$. Тепло-белой цветности соответствует $T_{цв} = 2700\text{--}3000$ К; белой – $T_{цв} = 3500$ К; холодно-белой – $T_{цв} = 4200$ К; естественной – $T_{цв} = 5000$ К; дневной – $T_{цв} = 6000\text{--}6500$ К.

В маркировке ламп зарубежного производства какого-либо единства нет, каждая фирма маркирует по-своему. Так, Philips все линейные лампы обозначает TL-D, Osram – Lumilux, General Electric – F. После этих букв указывается мощность ламп (18W, 36W, 58W).

По ГОСТ 6825 в маркировке ламп не предусмотрено указание индекса цветопередачи. В отличие от этого, в маркировке всех зарубежных ламп с хорошей и отличной цветопередачей после мощности (через дробь) ставится цифра, характеризующая общий индекс цветопередачи Ra. Если $Ra \geq 90$, то пишется цифра 9, при $80 \leq Ra < 90$ – цифра 8*. У ламп с удовлетворительной цветопередачей ($Ra = 50\text{--}70$) в маркировке ставится двузначное число, обозначающее код цветности. В таблице 17 дана расшифровка цифровых обозначений цветовой температуры и общего индекса цветопередачи люминесцентных ламп российских заводов и ведущих зарубежных фирм – Philips и Osram.

Цветность излучения	ГОСТ 6825	Philips	Osram
Стандартные лампы ($Ra \leq 70$)			
Тепло-белая ($T_{цв} = 2700\text{--}2900$)	ЛТБ	29	30
Белая ($T_{цв} = 3500\text{--}3900$)	ЛБ	35	–
Универсально (ярко) белая ($T_{цв} = 4000\text{--}4100$)	–	33, 25	25, 20

Таблица 17.
Обозначения
цветности
люминесцентных
ламп

Цветность излучения	ГОСТ 6825	Philips	Osram
Стандартные лампы (Ra ≤ 70)			
Холодно-белая (Т _{цв} =4500–4800)	ЛХБ	–	–
Дневная (Т _{цв} =6200–6500)	ЛД	54	–
Лампы с улучшенной цветопередачей (Ra=80-85)			
Тепло-белая	ЛТБЦ	827, 830	827, 830
Ярко-белая	–	840	840
Дневная	ЛДЦ	860	865
Лампы с отличной цветопередачей (Ra≈90)			
Тепло-белая	–	927, 930	927, 930
Ярко-белая	–	940	940
Холодно-белая	ЛХБЦЦ	950	950
Дневная	ЛДЦЦ	965	965

* С 2005 года фирма Philips аналогично стала маркировать и лампы с удовлетворительной цветопередачей (Ra = 50–70).

Ведущие зарубежные фирмы часто используют в названиях ламп слова, носящие явно рекламный характер: De Lux, Super, Super de Lux и т. п.

Учитывая, что большой разницей в обозначении ламп часто вводит потребителей в заблуждение, Международная комиссия по освещению (МКО) разработала и рекомендовала всем странам для использования единую универсальную систему обозначений источников света – ILCOS. В соответствии с этой системой, все линейные люминесцентные лампы, в том числе и серии Т5, обозначаются буквами FD, кольцевые – FC, далее указывается мощность ламп, общий индекс цветопередачи и цветовая температура.

Серия ламп Т5 с диаметром колбы 16 мм выпускается в двух вариантах – «лампы с максимальной световой отдачей» (фирменное обозначение у Osram – FH, у Philips – HE) и «лампы с максимальным световым потоком» (соответственно FQ и HO). Оба варианта содержат по четыре номинала

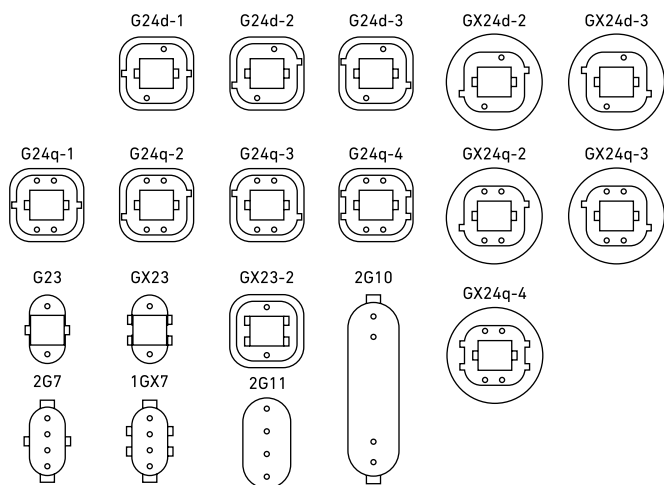
мощности: первый – 14, 21, 28 и 35 Вт, второй – 24, 39, 54 и 80 Вт. В лампах мощностью 28 и 35 Вт достигнута рекордная для люминесцентных ламп световая отдача – 115 лм/Вт. Все лампы серии Т5 могут работать только с электронными аппаратами включения. Лампы в колбах диаметром 26 и 38 мм (Т8 и Т12) снабжены цоколями G13, диаметром 16 мм – G5.

Компактные люминесцентные лампы (КЛЛ, за рубежом – CFL, Compact Fluorescent Lamp), в свою очередь, делятся также на две группы: с внешним аппаратом включения и со встроенным («интегрированным») аппаратом включения.

Лампы первой группы выпускаются с мощностью от 5 до 55 Вт. Цилиндрическая колба ламп может быть изогнута один, два, три и четыре раза. В литературе такие лампы обычно называются «двух-, четырех-, шести-, восьмиканальными», что в принципе неверно, так как у всех таких ламп разрядный канал только один. Цоколи у всех ламп этой группы – специальные с двумя или четырьмя внешними штырьками. В двухштырьковые цоколи встроены стартеры, и для включения ламп с такими цоколями нужен только дроссель соответствующего типа. С электронными аппаратами такие лампы работать не могут, так как встроенные стартеры и помехоподавляющие конденсаторы мешают работе электронных схем. Лампы с четырехштырьковыми цоколями могут включаться как с обычными дросселями и внешними стартерами, так и с электронными аппаратами (некоторые типы ламп большой мощности могут работать только с электронными аппаратами). Насчитывается около 20 типов цоколей (рис. 20).

В России компактные лампы обозначаются буквами КЛ (компактная люминесцентная) или КЛУ (компактная люминесцентная универсальная, то есть способная работать как с обычными дросселями, так и с электронными аппаратами). Далее в обозначении указывается мощность лампы и цветность излучения.

Рис. 20. Цоколи компактных люминесцентных ламп



Все компактные лампы делаются с использованием узкополосных редкоземельных люминофоров, обеспечивающих хорошую цветопередачу, поэтому в маркировке российских ламп присутствует буква Ц. Например, КЛ11/ТБЦ – компактные люминесцентные лампы со встроенным стартером, мощностью 11 Вт, тепло-белой цветности, с улучшенной цветопередачей, допускающая включение только с внешним дросселем; КЛУ9/БЦ – компактная лампа с четырехштырьковым цоколем мощностью 9 Вт, белой цветности, с улучшенной цветопередачей, допускающая включение как с дросселем и стартером, так и с электронным высокочастотным аппаратом.

Ведущие европейские, американские и китайские фирмы делают лампы с дважды-, трижды- и четырежды изогнутыми трубками (4, 6 и 8 линейных светящихся участков; в Китае делаются лампы с 20 линейными участками!), плоские типа 2D, спиральные и др. Фактически каждый типоразмер ламп имеет свой особый цоколь, исключающий возможность

включения ламп какой-либо одной мощности в арматуру, предназначенную для ламп другой мощности.

Как и для линейных, для компактных ламп каждая фирма имеет свою систему обозначений, затрудняющую ориентировку в ламповом мире и часто ставящую потребителей в тупик при решении вопроса о взаимозаменяемости ламп разных фирм. Например, лампы с цоколем G23 Philips называет PL-S, Osram – Dulux S, Sylvania – Lynx-S, General Electric – F...X. После буквенных обозначений, также как и у линейных ламп, указываются мощность, общий индекс цветопередачи и цветовая температура.

Компактные лампы второй группы (со встроенным аппаратом включения) появились на мировом рынке в 1981 году как прямая альтернатива стандартным лампам накаливания, но широкого применения тогда не нашли. Положение коренным образом изменилось в 1986 году, когда Philips, Osram, General Electric одновременно начали промышленный выпуск КЛЛ со встроенными электронными аппаратами включения и цоколями E14 и E27. Лампы мощностью до 26 Вт имеют массу не более 100 граммов; размерами, а часто и формой, напоминают привычные лампы накаливания; цветность излучения, как правило, тепло-белая, что также близко к лампам накаливания. Началась широкая рекламная кампания, для чего в Германии фирма Osram какое-то время даже раздавала лампы бесплатно. Рекламные акции сделали свое дело, и спрос на КЛЛ с цоколями E27 и E14 повсеместно начал расти, что привело к соответствующему росту их производства. Сейчас в мире делается уже более 1,5 миллиарда таких ламп в год, из них более 1 миллиарда – в Китае.

Компактные люминесцентные лампы с цоколями E27 или E14 обладают целым рядом преимуществ перед лампами накаливания и «неинтегрированными» КЛЛ: их световая отдача примерно в 5 раз выше, срок службы в 8 – 12 раз больше,

лампы просто вкручиваются в патроны, не гудят, не мигают при включении, горят непугающим светом. Недостаток у них фактически один – высокая цена. Однако рассчитано, что при существующих в Европе и США ценах на электроэнергию срок окупаемости КЛЛ составляет 1,5 – 2 года (а иногда и менее года) при работе ламп около 3-х часов в сутки.

Лампы с интегрированным аппаратом включения классифицируются по мощности и цветности излучения. Как и у ламп первой группы, какого-либо единства в обозначении интегрированных КЛЛ нет – каждая фирма обозначает их по-своему. По международной системе ILCOS все КЛЛ со встроенным аппаратом включения должны называться FSQ.

В России производится несколько номиналов КЛЛ со встроенным электронным аппаратом включения и со спиральной разрядной трубкой. Такие лампы типа «Аладдин» или СКЛЭН мощностью 11, 13 и 15 Вт в небольших количествах делают Московский электроламповый завод и Рязанский завод радиоламп.

В таблицах 18, 19 20 и 21 приводятся параметры некоторых типов люминесцентных ламп отечественного и импортного производства.

Таблица 18. Типовые параметры линейных люминесцентных ламп

Мощность, Вт	Длина, мм (полная)	Световой поток, лм	Световая отдача, лм/Вт
4	146	120	30
6	222	250	42
8	300	400	50
13	526	780	60
15	450	900	60
18 (20)	604	1060	60
30	910	2100	70

Мощность, Вт	Длина, мм (полная)	Световой поток, лм	Световая отдача, лм/Вт
36 (40)	1214	2800	70
58 (65)	1514	4600	70

Срок службы ламп – от 6000 до 15 000 часов.

Таблица 19. Параметры люминесцентных ламп в трубках диаметром 16 мм

Вариант ламп	Мощность, Вт	Длина, мм	Номинальный световой поток (при 20 °С)	Максимальный световой поток (при 35 °С)	Номинальная световая отдача, лм/Вт	Макс-я световая отдача, лм/Вт
FH (HE)	14	550	1200	1350	87,5	96
	21	850	1900	2100	90,5	100
	28	1150	2600	2900	93	115
	35	1450	3300	3650	94,3	115
FQ (HO)	24	550	1750	2000	72,9	89
	39	850	3100	3500	79,5	90
	54	1150	4450	5000	82,4	93
	80	1450	6150	7000	76,9	88

Срок службы ламп – 18 000 часов при среднем спаде светового потока 10%. Лампы выпускаются с цветовой температурой 2700, 3000, 4000 и 6000 К. Общий индекс цветопередачи всех ламп 85.

Таблица 20. Параметры КЛЛ, включаемых с внешними аппаратами

Тип ламп	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Длина, мм	Срок службы, ч	Тип цоколя
КЛ., КЛУ., ТС/ТС-Е (Dulux-S, PL-S/2p, Biax-S, Lynx-S)	5	250	105/85	8000	G23/G27
	7	400	135/115		
КЛ., КЛУ., ТС/ТС-Е (Dulux-S, PL-S/2p, Biax-S, Lynx-S)	9	600	165/145	8000	G23/G27
	11	900	235/215		
КЛ., КЛУ., ТС-L	18	1200	225	8000	2G11
	24	1800	320		

Тип ламп	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Длина, мм	Срок службы, ч	Тип цоколя
КЛ., КЛУ., ТС-L	36	2900	415		2G11
	40	3500	535		
	55	4800	535		
КЛ., КЛУ., ТС-D/DE	10	600	105/103	8000	G24 d-1/q-1
	13	900	132/130		G24 d-1/q-1
	18	1200	150/146		G24 d-2/q-2
	26	1800	168/165		G24 d-3/q-3
КЛ., КЛУ., ТС-T/TE	13	900	116/105	8000	GX24 d-1/q-1
	18	1200	123/115		GX24 d-2/q-2
	26	1800	153/145		GX24 d-3/q-3
	32	2400	168		GX24 q-4

Срок службы ламп не менее 8000 часов.

Таблица 21. Параметры КЛЛ со встроенными аппаратами включения

Тип ламп	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Габариты, мм		Масса, г	Тип цоколя
			L	D		
С двумя светящимися участками	5	200	121	30	50	E14, E27
С четырьмя светящимися участками	9	400	137	45	70	E14, E27
	11	600	145	45	75	E14, E27
	11	600	180			E27
	15	900	200			E27
С шестью светящимися участками	20	1200				E27
	15	900	140	52	105	E27
	20	1200	153	52	105	
	23	1500	175	58	150	
	15	900	155			
	20	1200	170			
	23	1500	185			

Средний срок службы ламп не менее 8000 часов.

4.3.2. Ртутные лампы высокого давления

Рассмотренные в предыдущем разделе люминесцентные лампы – это лампы низкого давления. Разряд в них происходит при давлении паров ртути не более 0,1 мм ртутного столба или 10 паскалей (Па). Спектр излучения разряда при таких давлениях имеет линейчатый характер, причем, как уже было сказано, до 80% мощности разряда приходится на две УФ линии: 257 и 185 нм, а на долю пяти линий видимой части спектра лишь около 2%.

Если давление паров ртути повышается, то вначале все линии «расплываются» и превращаются в полосы, затем происходит перераспределение энергии: излучение в УФ области ослабевает, а в видимой – увеличивается. При давлении паров ртути около 1000 мм ртутного столба доля видимого излучения возрастает настолько, что световая отдача разряда достигает 20–25 лм/Вт, то есть становится больше, чем у ламп накаливания общего назначения. Но при этом все видимое излучение сосредоточено в сине-зеленой части спектра, а желтый и красный свет отсутствуют полностью. Многим знаком свет медицинских УФ облучателей – довольно неприятного сине-зеленого цвета, сильно искажающий вид освещаемых предметов и человеческих лиц. В этих облучателях применяются как раз ртутные лампы высокого давления типа ДРТ (дуговая, ртутная, трубчатая).

Несмотря на относительное ослабление доли УФ излучения, оно все же остается в спектре разряда в довольно большом количестве (около 40% подводимой к разряду мощности). Также как и в люминесцентных лампах низкого давления, это излучение с помощью люминофора может быть превращено в видимое. Но если в обычных люминесцентных лампах температура стенок колбы лишь немногим выше температуры окружающего воздуха, то в лампах высокого давления размеры колб гораздо меньше, и температура на стенках достигает 500–600 °С. Найти люминофоры,

эффективно работающие при таких температурах, до сих пор не удалось.

Проблему решили в начале 50-х годов прошлого века. Малогабаритную ртутную лампу высокого давления поместили внутрь другой, значительно большей по размеру колбы, а уже на внутреннюю поверхность этой колбы стали наносить люминофор, имеющий наибольшую эффективность при температуре 200–300 °С и излучающий преимущественно в красной области. Сейчас в качестве люминофора чаще всего применяют фосфат-ванадат иттрия, активированный европием. С 1952 года начался массовый выпуск таких ламп ведущими мировыми производителями – General Electric, Philips, Osram. Сегодня по объему выпуска ртутные лампы высокого давления с люминофором занимают третье место после ламп накаливания и люминесцентных ламп.

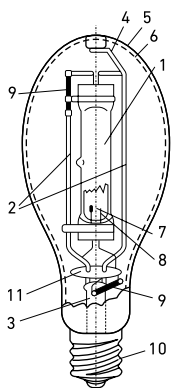


Рис. 21.
Устройство лампы ДРЛ

На рис. 21 показано устройство лампы. Разрядная трубка 1 («горелка») из кварца держателями 2 из достаточно толстой никелевой проволоки закреплена на ножке 3 (у мощных ламп горелка поддерживается еще и пружинящим держателем 4, упирающимся во внешнюю колбу). Ножка герметично впаяна во внешнюю колбу 5, покрытую изнутри слоем люминофора 6. В ртутных лампах высокого давления используются самокалящиеся электроды 7 в виде спирали, навитой на вольфрамовый стержень (кern) и покрытой активирующим веществом. Кроме основных электродов 7, в лампах имеются поджигающие электроды 8, расположенные вблизи основных и электрически соединенные с противоположными электродами через ограничительные сопротивления 9. На внешней колбе с помощью высокотемпературной мастики крепится стандартный резьбовой цоколь 10. Между горелкой и цоколем крепится тепловой экран 11 (обычно из слюды). Внутренний объем горелки заполнен инертным газом аргоном с давлением от 10 до 50 мм ртутного столба (в зависимости от мощности лампы) и ртутью.

В отличие от люминесцентных ламп, в которых ртуть всегда находится в жидком состоянии, в лампах высокого давления количество ртути строго дозировано, и при работе ламп ртуть в горелках находится только в газообразном состоянии при давлении паров 1000–1500 мм ртутного столба (1,5 – 2 атмосферы). Для получения таких высоких давлений паров ртути температура стенок горелки должна быть не менее 500 °С. Поэтому горелки ламп высокого давления делают только из кварца. Пространство между горелкой и внешней колбой заполняется газом (техническим аргоном).

Ртутные лампы высокого давления с люминофором выпускаются мощностью 80, 125, 250, 400, 700 и 1000 Вт; изредка встречаются лампы мощностью 50 и 2000 Вт. Лампы мощностью 50, 80 и 125 Вт выпускаются с цоколем E27, более мощные – с цоколем E40. Потери мощности в дросселях, как правило, составляют не больше 10%. В таблице 22 даны усредненные параметры ртутных ламп высокого давления с люминофором. Световая отдача современных ламп – от 40 до 60 лм/Вт; срок службы – до 24 000 часов. По этим параметрам ртутные лампы высокого давления значительно превосходят лампы накаливания, что и предопределило их очень широкое распространение.

Мощность, Вт	Световой поток, лм	Световая отдача, лм/Вт	Габариты, мм		Масса, г
			L	D	
80	3800	47,5	73	160	E27
125	6600	52,8	78	184	E27
250	13500	54	91	230	E40
400	24000	60	122	292	E40
700	40000	57	152	368	E40
1000	57000	57	180	400	E40
2000	120000	60	187	445	E40

Срок службы ламп не менее 15000 часов.

Таблица 22.
Типовые параметры ртутных ламп высокого давления

Кроме высокой световой отдачи и большого срока службы, ртутные лампы высокого давления имеют и другие достоинства: относительная компактность; простота включения; широкий диапазон мощностей; очень слабая зависимость параметров от окружающей температуры. Недостатки таких ламп:

1. Низкое качество цветопередачи ($R_a = 45-50$; у иностранных ламп Delux и Super Delux – не выше 55).
2. Большие пульсации светового потока (65–75%).
3. Большое время разгорания (до 10 минут).
4. Невозможность повторного включения горячей лампы – если лампа случайно погасла, снова включить ее можно только после остывания горелки.
5. Высокая температура на внешней колбе (250–300 °С).
6. Большие размеры, затрудняющие эффективное перераспределение света с помощью отражателей приемлемых размеров.

Ртутные лампы высокого давления широко применяются там, где не требуется высокого качества цветопередачи – в уличном освещении, на складах, на промышленных предприятиях (при наличии вращающихся деталей – с обязательным включением соседних светильников в разные фазы).

В последние годы в странах Евросоюза, США, Канаде приняты постановления правительств о постепенном снятии с производства и продажи ртутных ламп высокого давления. Окончательный срок прекращения производства этих ламп в Евросоюзе – 2015 год. Как и в случае с лампами накаливания, полноценной альтернативы лампам пока не предложено.

4.3.3. Металлогалогенные лампы

В 1964 году американская фирма General Electric для освещения павильонов Всемирной выставки Экспо-64 в Нью-Йорке впервые применила новый тип ламп – металлогалогенные (МГЛ). С 1969 года выпуск таких ламп

освоили фирмы Philips и Osram, в 70-е годы Саранский электроламповый завод в СССР.

По устройству МГЛ похожи на ртутные лампы высокого давления, но внешняя колба у них не покрыта люминофором, а сделана из прозрачного или (гораздо реже) из матового стекла. Первичным источником излучения, как и в лампах ДРЛ, служит горелка из кварца или поликристаллической окиси алюминия, наполненная инертным газом и ртутью. Но если в лампах ДРЛ для исправления цветности и повышения световой отдачи применяется люминофор, то в МГЛ для этой же цели применяются специальные светоизлучающие добавки: галогенные соединения различных металлов (чаще всего – натрия и скандия, а также галлия, индия, таллия и редкоземельных элементов – диспрозия, гольмия, тулия и др.).

Для того чтобы давление паров светоизлучающих добавок в МГЛ было достаточно большим, горелка должна нагреваться до более высоких температур, чем в лампах ДРЛ, и давление «стартового» инертного газа в ней должно быть выше. Такого простого решения для зажигания разряда, как в ДРЛ (установка поджигающих электродов вблизи основных), уже недостаточно: если в ДРЛ разряд возникает при напряжении ниже сетевого, то в МГЛ для этого требуется напряжение от 3 до 5 киловольт.

Изменяя состав светоизлучающих добавок, можно в широких пределах изменять цветность излучения – от теплобелого с $T_{цв} = 3000$ К до дневного с $T_{цв} = 6500$ К, а также создавать цветные лампы.

Сегодня в мире производится более 250 типов МГЛ мощностью от 20 до 3500 Вт.

Металлогалогенные лампы имеют большие световые отдачи, чем ДРЛ и лучшую цветопередачу (R_a до 90). Благодаря тому, что источником света в МГЛ является малогабаритная горелка, а не внешняя колба, световой

поток их значительно легче перераспределяется в пространстве с помощью отражателей или линз. Это свойство позволило создавать глубокоизлучающие светильники и прожекторы с очень узким световым пучком, что невозможно при использовании ДРЛ из-за больших габаритов светящегося тела.

Параметры МГЛ так же, как и ДРЛ, мало зависят от температуры окружающего воздуха, но гораздо больше – от колебаний сетевого напряжения. При этом часто наблюдается интересное явление – изменение напряжения даже в относительно небольших пределах (5%) вызывает заметное изменение цветности излучения. Изменение цветности происходит также и самопроизвольно в процессе работы ламп, причем у разных экземпляров ламп по-разному (так называемое разбегание цветов). Это особенно заметно в многоламповых осветительных установках, когда при сдаче установки в эксплуатацию все лампы светят одинаково, а спустя некоторое время освещение становится «разноцветным». По стандартам разных стран цветовая температура излучения МГЛ в течение срока службы может меняться на 500 К, то есть лампа с $T_{цв}=3500$ К («белая») может стать «тепло-белой» с $T_{цв}=3000$ К или «ярко-белой» с $T_{цв}=4000$ К. Это происходит оттого, что светоизлучающие добавки по-разному взаимодействуют с кварцем и вольфрамом и за счет этого состав наполнения в процессе работы ламп постепенно изменяется.

Необходимо отметить, что цветность излучения некоторых типов МГЛ зависит и от рабочего положения ламп, поэтому лампы должны эксплуатироваться только в том положении, которое регламентировано документацией для каждого конкретного типа.

Металлогалогенные лампы очень трудоемки в изготовлении и требуют исключительно высокой культуры производства. Особые сложности при изготовлении ламп связаны

с герметичной заваркой горелок, так как существующая технология запрессовки вводов не обеспечивает достаточной точности соблюдения размеров горелок.

Для повышения стабильности параметров МГЛ фирмы Philips и Osram с 1998 года начали делать горелки не из кварца, а из поликристаллической окиси алюминия Al_2O_3 . По химическому составу поликристаллическая окись алюминия полностью идентична драгоценным сапфиру и рубину, а также обыкновенной глине. По химической и тепловой стойкости поликристаллическая окись алюминия превосходит кварц, поэтому вполне годится для создания горелок разрядных ламп высокого давления, у которых, в отличие от кварцевых, все геометрические размеры могут быть выдержаны с очень высокой точностью. Сейчас МГЛ с горелками из поликристаллической окиси алюминия или, как их чаще называют, с керамическими горелками в большом количестве выпускаются ведущими электроламповыми фирмами.

Точно выдержанные размеры горелок и высокая химическая стойкость керамики значительно повысили стабильность световых параметров МГЛ. Изменение цветовой температуры к концу срока службы ламп с керамическими горелками не превышает 200 К, спад светового потока за 4000 часов не более 20%. Такие лампы выпускаются уже в достаточно широком диапазоне мощностей (20 – 680 Вт).

В 2004 году немецкая фирма Osram научилась делать горелки из поликристаллической окиси алюминия эллипсоидной формы с точным соблюдением всех размеров. Такая форма горелки обеспечивает еще большую стабильность параметров ламп и увеличивает их срок службы. Сегодня лампы с керамическими горелками эллипсоидной формы делаются уже мощностью до 680 Вт.

Основная область применения МГЛ – освещение при цветных телерепортажах, киносъёмках и освещение больших спортивных арен. Создание маломощных ламп, особенно

с керамическими горелками, открыло широкую дорогу для внедрения МГЛ во внутреннее освещение – для торговых залов, витрин, выставочных павильонов, некоторых административных помещений. Высокая яркость и малые размеры горелок позволяют создавать осветительные приборы с МГЛ с любыми типами кривых силы света, что открывает дорогу для применения их при освещении высоких помещений, например, цехов промышленных предприятий.

Срок службы отдельных типов современных МГЛ достигает 20 000 часов. Лампы выпускаются с различной цветностью излучения и с разным качеством цветопередачи.

Так как для зажигания разряда в МГЛ требуется напряжение в несколько киловольт, то лампы включаются только со специальными зажигающими устройствами. Как и все газоразрядные лампы, МГЛ могут работать только вместе с токоограничивающим элементом – дросселем, создающим сдвиг фаз между током и напряжением. Поэтому требуется компенсация коэффициента мощности, то есть включение компенсирующего конденсатора.

Недостатками МГЛ являются: высокая стоимость (в несколько раз дороже ДРЛ, особенно лампы с керамическими горелками); большое время разгорания (до 10 минут); большая глубина пульсаций светового потока (у ламп с редкоземельными элементами, имеющих наилучшую цветопередачу – до 100%); невозможность повторного включения горячей лампы после ее погасания хотя бы на доли секунды; необходимость применения зажигающих устройств.

Поскольку МГЛ большой мощности применяются для освещения крупных спортивных мероприятий с большим количеством зрителей, погасание ламп может вызвать панику среди зрителей, не говоря уже о срыве спортивного мероприятия. Для исключения таких явлений в прожекторах для освещения спортивных арен, кроме обычных зажигающих устройств, используются блоки мгновенного перезажигания

ламп – сложные, тяжелые и очень дорогие устройства, автоматически дающие на лампу при ее погасании импульсы с напряжением до 50 кВ, способные зажечь даже горячую лампу. Лампы, предназначенные для работы с такими блоками, имеют особую конструкцию – один из электродов выводится через цоколь, другой – через противоположную цоколю сторону внешней колбы.

Классификация и обозначение металлогалогенных ламп

Металлогалогенные лампы классифицируются по мощности, цветности излучения, общему индексу цветопередачи, конструктивному исполнению, типу цоколя.

Лампы изготавливаются мощностью 20, 35, 50, 70, 150, 250, 400, 700, 1000, 2000 и 3500 ватт. Лампы мощностью 2000 и 3500 Вт включаются в сеть с напряжением 380 В, остальные – 220 В.

Лампы выпускаются с широким диапазоном цветности излучения – от тепло-белого с $T_{цв}= 3000$ К до дневного с $T_{цв}= 6500$ К. Немецкая фирма BLV несколько лет назад первой в мире начала промышленное производство цветных МГЛ – синих, зеленых, оранжевых и пурпурных (magenta). В настоящее время цветные МГЛ выпускаются уже многими фирмами. Мощность цветных ламп от 150 до 1000 Вт; лампы делаются в одноцокольном исполнении с цоколем E40 или софитного типа с цоколями RX7s.

По конструктивному исполнению МГЛ можно разделить на двухцокольные (называемые также «софитными»), одноцокольные и бесцокольные. Двухцокольные МГЛ иногда делаются не со стеклянной, а с кварцевой внешней колбой сравнительно небольшого диаметра. Цоколи у таких ламп – торцевые типа RX7s. Двухцокольные лампы могут работать в горизонтальном положении с допустимым углом отклонения от горизонтали 45°. Это наиболее распространенный

тип МГЛ для прожекторов заливающего света, используемых в архитектурном освещении. Одноцокольные МГЛ мощностью 250–2000 Вт имеют стандартный резьбовой цоколь E40. Некоторые типы ламп с цоколем E40 могут работать в любом положении, другие же – только в вертикальном или только в горизонтальном положении с определенным допустимым углом отклонения. Рабочее положение ламп оговаривается в технической документации. Лампы малой мощности (в частности многие МГЛ с керамическими горелками) имеют специальные цоколи G8,5, G12 и др. Лампы с керамическими горелками, предназначенные для замены натриевых ламп в уличных светильниках, делаются с цоколями E27 (70 Вт) и E40 (150 Вт). Форма внешней колбы у ламп с односторонней цоколевкой может быть эллипсоидной или цилиндрической. Эллипсоидные колбы иногда делаются матированными для снижения слепящего действия ламп.

Бесцокольными изготавливаются лампы очень большой мощности – 2000 и 3500 Вт. Для подключения таких ламп к электрической сети служат гибкие токовводы с наконечниками в виде крючка или кольца.

Все МГЛ как отечественного, так и импортного производства включаются со специальными зажигающими устройствами, подающими на лампы высокочастотные импульсы с напряжением 3–5 кВ. После зажигания ламп или в случае неисправной лампы зажигающее устройство автоматически отключается.

В обозначении МГЛ российского производства используются буквы ДРИ или ДРИШ (дуговая ртутная с йодидами, Ш – шаровая форма горелки), далее цифры, указывающие мощность лампы в ваттах, и через дефис – модификация или конструктивное исполнение лампы (1 – лампы для телекиносъемок с $T_{цв}= 6000$ К, без внешней колбы 5 – лампы с натрийскандиевым наполнением, $T_{цв}= 4200$ К, эллипсоидная

внешняя колба; 6 – с таким же наполнением и с цилиндрической внешней колбой).

В маркировке МГЛ зарубежного производства, как и для других типов ламп, каждая фирма использует свою систему обозначений: Philips – HPI для ламп с односторонней цоколевкой и MHW-TD для софитных ламп; Osram – HQI и HQI-TS; General Electric – ARC, ARC-D, ARC-TD; Sylvania – M, HIS, HIS-TD. Далее в обозначении указывается мощность лампы в ваттах.

Лампы с керамическими горелками обозначаются буквами CDM и цифрами, показывающими мощность лампы.

По международной системе обозначений ILCOS одноцокольные МГЛ с внешней эллипсоидной колбой маркируются буквами ME, с внешней цилиндрической колбой – MT, двухцокольные (софитные) – MD.

В таблице 23 даны усредненные параметры некоторых типов МГЛ.

Таблица 23. Параметры металлогалогенных ламп

Тип	Мощность, Вт	$T_{цв}$, К	Световой поток, лм	Срок службы, ч	Габариты, мм		Цоколь
					L	D	
Лампы с керамическими горелками	70	3000	6300	20000	156	32	E27
	150	3000	13500	20000	211	47	E40
	35	3000	3400	20000	85	14	G8,5
	70	4200	6600	20000	85	17	G12
	150	4200	14000	20000	85	17	G12
Лампы с кварцевыми горелками	35	3000	3400	9000			G12/RX7s
	70	3000	6000	9000			Те же
	150	3000	14000	9000	132	23	Те же
	250	4200	19000	10000	227	62	E40
	400	4200	36000	10000	290	62	E40

Тип	Мощность, Вт	T _{цв.} , К	Световой поток, лм	Срок службы, ч	Габариты, мм		Цоколь
					L	D	
Colorlite	150	Цветные		6000	132	23	RX7s
	400				275	46	E40
	1000				336	76	E40

Рис 22. Типы металлогалогенных ламп

На рис. 22 показан внешний вид различных МГЛ, на рис. 23 – спектральное распределение излучения МГЛ с разной цветовой температурой и разными индексами цветопередачи.



4.3.4. Натриевые лампы

Электрический разряд в парах натрия при низком давлении создает яркое желтое свечение с длиной волны 590 нм. Так как эта длина волны лежит близко к максимуму спектральной чувствительности глаза (555 нм), то световая отдача излучения натриевого разряда может быть очень высокой (теоретически более 250 лм/Вт). Первые натриевые лампы были созданы еще в начале 30-х годов 20-го века. Они действительно имели очень высокую световую отдачу, но очень плохую цветопередачу,

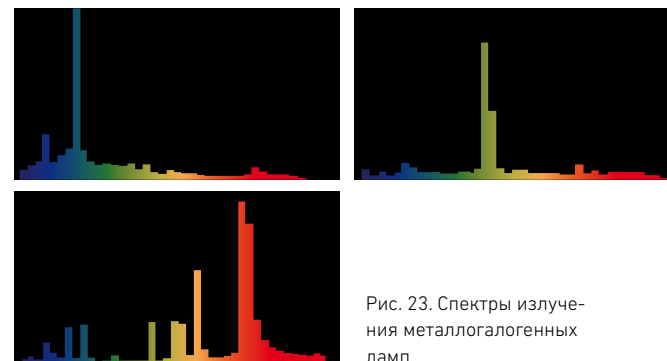


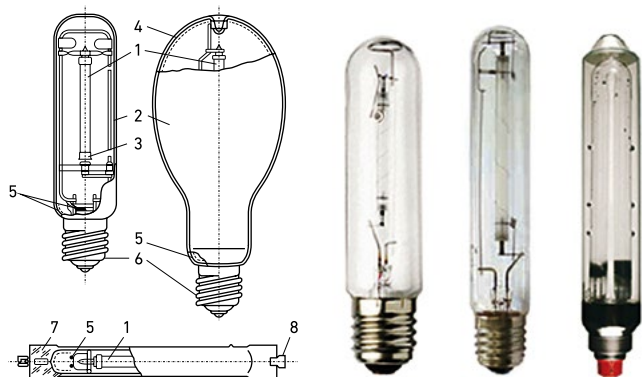
Рис. 23. Спектры излучения металлогалогенных ламп

большие габариты и малый срок службы, и практического применения в те годы не нашли.

В начале 60-х годов фирма General Electric на базе военно-промышленных технологий создала первые натриевые лампы высокого давления (НЛВД). По существу НЛВД – это одна из разновидностей МГЛ, в которой в качестве светозлучающей добавки используется натрий. Однако из-за очень высокой химической активности натрия и более высокой температуры в разряде для изготовления горелки применяется не кварц, а поликристаллическая окись алюминия в виде тонкостенной трубки диаметром от 5 до 9 мм и длиной от 45 до 150 мм в зависимости от мощности. На рис. 24 показано устройство НЛВД и внешний вид натриевых ламп высокого и низкого давления. (Цифрами обозначены: 1 – горелка; 2 – внешняя колба; 3 – вводы; 4 – матировка внешней колбы; 5 – геттер (газопоглотитель); 6 – цоколь).

Керамика не позволяет создавать герметичные токовводы методом заштамповки фольги или проволоки, как это делается у всех других источников света. Поэтому для токовводов используются специальные конструкции (в виде дисков или колпачков из редкого металла ниобия), герметично впаянные в трубочки из поликристаллической

Рис. 24.
Натриевые лампы
высокого и низко-
го давления



окси алюминия стеклоцементом (смесь окисей алюминия Al_2O_3 и кальция CaO). Для самих электродов используется вольфрам, активированный торием. Горелка помещается внутри внешней колбы, откачанной до высокого вакуума. Она наполняется инертным газом (аргоном или ксеноном) и в нее вводится небольшое количество амальгамы натрия – сплава натрия и ртути.

При работе НЛВД температура стенок горелки-трубочки повышается за счет тока разряда, ртуть и натрий испаряются, повышается давление их паров, и разряд начинает светиться ярким желтым светом. Поликристаллическая окись алюминия внешне похожа на матовое стекло, но ее коэффициент пропускания для света разряда очень высок – примерно 92%, поэтому свет выходит наружу почти без потерь. Время разогрева горелки до установившейся температуры (время разгорания лампы) меньше, чем у ДРЛ или МГЛ за счет меньшего диаметра трубки, и равно 5–7 минут.

Для включения НЛВД, как и МГЛ, используются специальные зажигающие устройства, дающие на лампу импульсы с напряжением 2–5 кВ.

Натриевые лампы высокого давления – это один из самых экономичных источников света: световая отдача ламп

мощностью 600 Вт достигает 150 лм/Вт, то есть в 2,5 раза больше чем у ДРЛ и в 10 раз больше чем у ламп накаливания. Качество цветопередачи – плохое (R_a около 20). На рис. 25 показано спектральное распределение излучения НЛВД.

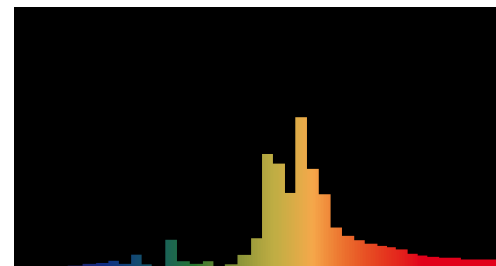


Рис. 25
Спектральное
распределение
энергии
излучения
натриевых
ламп высокого
давления

Низкое качество цветопередачи предопределило основную область применения НЛВД – освещение улиц и других открытых пространств. В последние годы эти лампы стали достаточно широко использоваться и при освещении некоторых производственных помещений, где нет жестких требований к различению цветов, например, высоких металлургических и металлообрабатывающих цехов, складов, локомотивных и вагонных депо.

Исследования врачей-гигиенистов показали, что контрастная чувствительность и острота различения у человеческого глаза при желтом свете имеют наибольшие значения. Поэтому замена других источников света на НЛВД при освещении дорог, в принципе дает не только экономию электроэнергии, но и обеспечивает более четкое различение препятствий водителями транспорта. Однако прямая замена ДРЛ на НЛВД в старых светильниках долгое время была невозможной, так как для работы НЛВД нужны зажигающие устройства. В последние годы были созданы НЛВД, у которых за счет различных

конструкторско-технологических усовершенствований напряжение зажигания снижено. Такие лампы могут просто устанавливаться в старые светильники вместо ДРЛ. При этом ДРЛ мощностью 400 Вт заменяются НЛВД мощностью 210 Вт, которые создают даже большую освещенность при значительной экономии электроэнергии.

За счет исключительно высокой химической и термической стойкости поликристаллической окиси алюминия НЛВД имеют очень большие сроки службы – до 32 000 часов. Фирмы General Electric, Sylvania, «Рефлекс» производят двухгорелочные НЛВД, в которых в одной внешней колбе параллельно друг другу расположены две одинаковых горелки, работающих поочередно. Срок службы таких двухгорелочных ламп – 55 000 часов (15 лет с ежедневной работой по 10 часов). Спад светового потока к концу срока службы у НЛВД меньше, чем у МГЛ и ДРЛ, и составляет 20%.

В последние годы за рубежом широко рекламируются НЛВД «с улучшенной цветопередачей» ($R_a=60$, $T_{цв}=2200$ К) и «белого света» (R_a до 85, $T_{цв}=2500-2800$ К). Однако эти лампы имеют значительно меньший срок службы (до 8000 часов) и меньшую световую отдачу (у ламп «белого света» – всего 50 лм/Вт), и никаких преимуществ перед МГЛ у них нет.

К недостаткам НЛВД, кроме плохой цветопередачи и большого времени разгорания, относится и большая глубина пульсаций светового потока (80%, а иногда и больше). Еще одним недостатком НЛВД является рост напряжения на лампе в течение срока службы (примерно на 2 вольта за каждые 1000 часов). Это приводит к тому, что лампы к концу срока службы перестают зажигаться.

Основное применение НЛВД, как уже было сказано, – освещение улиц, площадей, автостоянок, туннелей, высоких производственных помещений. За рубежом, особенно в Голландии, НЛВД очень широко используются и в сельском хозяйстве – в теплицах, оранжереях, селекционных камерах.

Фирма Philips разработала для этих целей специальные модификации ламп SON-T Agro мощностью 400 и 600 Вт, отличающиеся несколько увеличенной долей излучения в синей области спектра, что способствует более гармоничному росту и развитию растений.

Классификация и обозначение натриевых ламп высокого давления

Сейчас в мире выпускаются НЛВД четырех конструктивных исполнений: в прозрачной цилиндрической внешней колбе с резьбовым цоколем; в эллипсоидной (прозрачной или матированной) внешней колбе с резьбовым цоколем; в цилиндрической стеклянной или кварцевой колбе с двухсторонней цоколевкой; в колбе специальной формы с внутренним отражателем. Лампы классифицируются по мощности и конструктивному исполнению.

У ламп с односторонней цоколевкой мощностью до 70 Вт – цоколь E27, у ламп 100 Вт и более – E40. У ламп с двухсторонней цоколевкой (софитных) – RX7s.

В России НЛВД обозначаются буквами ДНаТ (дуговая натриевая трубчатая) или ДНаМТ (в матированной колбе); далее указывается мощность в ваттах и конструктивное исполнение (5 – эллипсоидная колба). Лампы с внутренним отражателем фирмы «Рефлекс» обозначаются ДНаЗ (дуговая натриевая зеркальная); лампы с полушироким светораспределением – ДНаЗ-1. За рубежом единства в обозначении НЛВД, как и других ламп, нет: General Electric обозначает их Lucalox-T (E, TD), Osram – NAV-T (E, TS), Philips – SON, SDW-T, Sylvania – SHP, SHP-TS (T – цилиндрическая одноцокольная; E – эллипсоидная одноцокольная; TD и TS – софитная двухцокольная). По международной системе обозначений ILCOS одноцокольные НЛВД в цилиндрической колбе маркируются ST, в эллипсоидной колбе – SE, двухцокольные (софитные) – SD. В таблице 24 даны усредненные параметры НЛВД.

Таблица 24.
Типовые параметры натриевых ламп высокого давления

Мощность, Вт	Световой поток, лм	Световая отдача, лм/Вт	Габариты, мм	
			L	D
50	3500	70	130	55
70	5600	80	165	42
100	9800	98	165	42
150	14500	97	211	48
210	25000	120	226	90
250	30000	120	250	48
400	52000	130	278	48
600	90000	150	375	82
1000	130000	130	375	82

Срок службы ламп – до 32 000 часов (ламп с двумя горелками – 56 000 часов).

Несколько слов необходимо сказать о натриевых лампах низкого давления. Эти лампы – самый старый газоразрядный источник света. Первые лампы такого типа были созданы фирмой Philips в Голландии еще в 1932 году и использовались там для уличного освещения (в 1937 году – в Москве), но из-за очень плохой цветопередачи быстро сошли со сцены. После многолетнего забвения в 70-е годы прошлого века фирма Philips, а за ней General Electric и Osram, на новой технологической базе возобновили производство этих ламп. Сейчас натриевые лампы низкого давления (НЛНД) используются для освещения загородных

Рис. 26.
Спектральное распределение энергии излучения натриевых ламп низкого давления



автострад, погрузочно-разгрузочных площадок морских портов, железнодорожных станций и в других местах, где нет никаких требований к качеству цветопередачи. Лампы выпускаются шести типонаминалов мощностью от 18 до 180 Вт. На рис 26 показано спектральное распределение энергии излучения НЛНД.

Натриевые лампы низкого давления – самые экономичные из существующих сегодня источников света: их световая отдача достигает 200 лм/Вт. В таблице 25 приведены параметры НЛНД фирмы Philips. В России НЛНД в настоящее время производятся только одного номинала мощности – 140 Вт. Фирмы Philips, Osram и General Electric обозначают НЛНД одинаково – SOX.

Мощность, Вт	Световой поток, лм	Световая отдача, лм/Вт	Габариты, мм	
			L	D
18	1800	100	216	54
35	4800	137	310	54
55	8000	145	425	54
90	13500	150	530	68
135	22500	166	725	68
180	36000	200	1120	68

Срок службы – до 15 000 часов.

Таблица 25.
Параметры натриевых ламп низкого давления

4.3.5. Безэлектродные люминесцентные лампы

Срок службы обычных люминесцентных ламп определяется двумя факторами: спадом светового потока за счет «отравления» люминофора атомами ртути и продуктами распыления электродов и потерей эмиссионной способности электродов из-за полного расхода активирующего покрытия. Если раньше решающим был первый из этих факторов, то в последние годы научились делать лампы с защитной пленкой на люминофоре, значительно уменьшающей спад светового потока,

и срок службы ламп нового поколения (Т5) определяется в основном уже только эмиссионной способностью электродов. Поэтому создание ламп без электродов – это реальный путь повышения срока службы люминесцентных ламп.

Возбуждение атомов до высокого энергетического уровня и связанное с этим свечение могут происходить не только при протекании электрического тока через разрядный промежуток, но и при воздействии высокочастотного электромагнитного поля. Спектр излучения при этом остается таким же, как и при возбуждении атомов протекающим электрическим током. Это давно известное явление удалось претворить в реальные и жизнеспособные конструкции источников света только в 90-е годы минувшего века, благодаря достижениям полупроводниковой электроники. Сейчас три мировых лидера в области источников света (Philips, Osram, General Electric) производят безэлектродные люминесцентные лампы низкого давления трех разных типов.

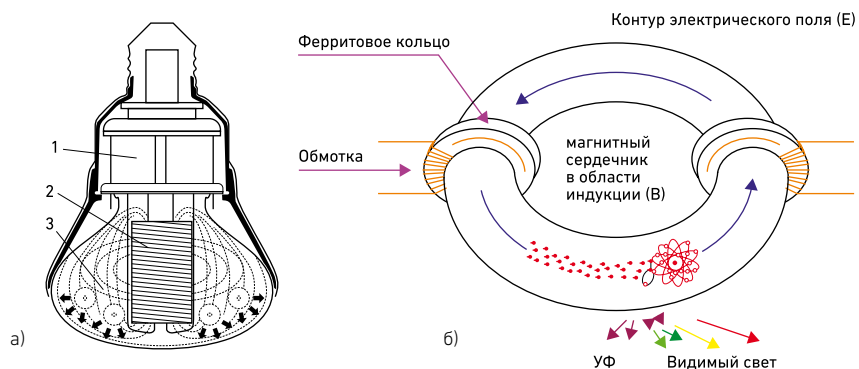
Несмотря на различное конструктивное исполнение, принцип работы этих трех типов ламп одинаков (рис. 27).

С помощью преобразователя 1 напряжение сети преобразуется в высокочастотное, которое питает индуктор 2. Высокочастотное электромагнитное поле передается

индуктором в разрядный объем 3, представляющий собой стеклянную колбу, наполненную инертным газом и ртутью и покрытую изнутри люминофором. Под действием высокочастотного электромагнитного поля в разрядном объеме происходит возбуждение атомов ртути, при котором до 80% подводимой мощности превращается в ультрафиолетовое излучение. Это излучение вызывает свечение люминофора точно так же, как это происходит в обычных лампах. Строго говоря, в «разрядном объеме» никакого разряда нет – в нем нет электродов, и электрический ток там не протекает и не может протекать. Но так как физические процессы, вызывающие свечение, здесь аналогичны тем, которые происходят в люминесцентных лампах, безэлектродные лампы традиционно относят к классу разрядных источников света.

Первые промышленные образцы безэлектродных люминесцентных ламп под названием QL были выпущены фирмой Philips в 1991 году. Лампы имеют грушевидную форму с диаметром колбы около 100 мм, мощность 85 Вт, световую отдачу (включая потери в аппаратуре включения) около 50 лм/Вт и срок службы 60 000 (!) часов. Цветность излучения определяется составом люминофора. Преобразователь, работающий с частотой 2,65 МГц, находится в отдельной коробке, расположенной рядом с лампой, индуктор – в патроне. Сейчас лампы типа QL выпускаются с двумя значениями мощности – 85 и 125 Вт. Большой срок службы этих ламп делает их незаменимыми там, где светильники труднодоступны для обслуживания (то есть для замены ламп) – в высоких цехах, в заградительных огнях на высоких трубах или мачтах и т.п. Лампы очень дороги, но часто их применение экономически вполне оправдано. В качестве примера их использования можно назвать сигнальнозаградительные огни на трубах Норильского горнометаллургического комбината высотой около 300 метров.

Рис. 27.
Устройство
безэлектродных
ламп типов
Genura (a)
и Endura (б)



В 1994 году фирма General Electric выпустила свою безэлектродную люминесцентную лампу под названием **Genura**. Лампа мощностью 23 Вт по форме и размерам близка к зеркальной лампе накаливания мощностью 100 Вт (диаметр 80 мм) и снабжена цоколем E27. По световому потоку она эквивалентна лампе накаливания мощностью 100 Вт, а по сроку службы превосходит ее в 15 раз. Цветность лампы Genura также близка к цветности ламп накаливания. Рабочая частота преобразователя, который находится в цоколе лампы, – 2,5 МГц.

В 1998 году и Osram начал производить свои безэлектродные люминесцентные лампы под названием **Endura**. Мощность первой лампы этого типа – 150 Вт, световая отдача – около 80 лм/Вт. Лампа сделана в виде эллипса длиной 414, шириной 139 и высотой 72 мм. По обеим коротким сторонам лампы расположены индукторы в виде кольцевых трансформаторов, охватывающих колбу. Преобразователь расположен в отдельном блоке, который может быть удален от лампы на расстояние до 0,5 м. Частота генерации преобразователя – около 250 кГц. Срок службы таких ламп – 60 000 часов. С 1999 года Osram начал производство ламп Endura мощностью 100 Вт с меньшими габаритами (313×139×72 мм). Лампы Endura применяются для освещения улиц в некоторых городах Германии, а также для освещения промышленных предприятий, особенно таких, где светильники расположены на большой высоте и замена ламп вызывает определенные трудности.

В 2005 году фирма Osram-Sylvania на выставке в Нью-Йорке экспонировала безэлектродную люминесцентную лампу типа ICETRON мощностью 100 и 150 Вт со сроком службы 100 000 (!) часов. По конструкции эта лампа аналогична лампам Endura, но на часть внутренней поверхности разрядной трубки нанесено отражающее покрытие. Эта фирма показала

и безэлектродные лампы DURA ONE со стандартными резьбовыми цоколями и сроком службы также 100 000 часов.

В мае 2013 года в Интернете появилось сообщение о том, что на Ганноверской промышленной ярмарке в апреле 2013 года была показана безэлектродная и безртутная компактная люминесцентная лампа КЛЛ «3rdPPBulb», созданная специалистами Технологического института Карлсруэ и Высшей технической школы Аахена. При наполнении КЛЛ «3rdPPBulb» вместо ртути использованы различные комбинации металлосодержащих соединений. При наполнении лампы вместо ртути использованы различные комбинации металлосодержащих соединений. Мощность лампы – 17 Вт, световая отдача – 50 лм /Вт.

Излучение лампы имеет тепло-белый оттенок, обладает хорошей цветопередачей и практически мгновенным зажиганием. Световой поток лампы может плавно регулироваться. Отсутствие электродов в объеме разрядной трубки обуславливает большой срок службы – более 25 000 часов. По заявлению авторов разработки, новая лампа может появиться на рынке уже в 2014 году. В связи с острой проблемой утилизации ртутных люминесцентных ламп, новая лампа может стать альтернативой обычным КЛЛ для массовой замены ламп накаливания.

4.3.6. Другие типы разрядных ламп

Все рассмотренные типы разрядных ламп содержат ртуть, что делает их экологически опасными изделиями. С другой стороны, наличие ртути обуславливает сильную зависимость параметров ламп, особенно низкого давления, от окружающей температуры. От этих недостатков свободны безртутные газоразрядные лампы, среди которых наиболее распространены лампы с наполнением инертными газами неона и ксенона.

Разряд в неоне дает излучение в широком участке спектра – от ультрафиолетового до инфракрасного. При этом в видимой области достаточно интенсивно оранжево-красное излучение с длинами волн 580–730 нм. Ультрафиолетовые линии неоновой разряда с помощью люминофоров могут превращаться в свет различных цветов, как это происходит в обычных люминесцентных лампах.

Неоновые лампы с люминофорами в виде длинных и тонких трубок очень широко используются для создания различных надписей, картин и т.п. Лампы делаются с холодными электродами и включаются через трансформаторы с рассеиванием. Напряжение холостого хода таких трансформаторов составляет несколько киловольт и достаточно для зажигания ламп. После зажигания разряда выходное напряжение трансформатора резко снижается, поэтому такие трансформаторы одновременно являются балластными сопротивлениями.

Параметры неоновых ламп очень слабо зависят от окружающей температуры. По-этому такие лампы широко применяются в наружном световом оформлении городов для создания реклам, вывесок и т. п. В последние годы неоновые лампы довольно быстро вытесняются из этой сферы светодиодами. Кроме таких ламп, неоновый разряд используется в лампах тлеющего свечения, выполняющих функции не источника света, а световых индикаторов.

Дуговые неоновые лампы мощностью 500 Вт с подогревными электродами (длина 1315 мм, диаметр 65 мм) применяются в гражданской и военной авиации для сигнальных огней. Световая отдача таких ламп – 13 лм/Вт, то есть значительно больше, чем у ламп накаливания с красным фильтром. Срок службы 1000 часов.

Ксеноновый разряд высокого и сверхвысокого давления дает излучение со спектром, очень близким к спектру Солнца. Лампы с ксеноновым наполнением бывают трубчатыми и шаровыми.

Трубчатые ксеноновые лампы высокого давления (ДКСТ) – это самые мощные источники света (до 50 000 Вт). Они применяются для освещения больших открытых пространств – площадей, карьеров, железнодорожных станций, портов. Световая отдача таких ламп – до 45 лм/Вт, срок службы до 1500 часов. Для зажигания ламп требуется напряжение до 50 кВ. Ток мощных ламп настолько велик, что они могут работать без балласта – ограничительным сопротивлением служат подводящие провода. Параметры ламп практически не зависят от окружающей температуры, но сильно зависят от напряжения. Температура колбы ксеноновых ламп – 700–750 °С. Часто применяется водяное охлаждение, позволяющее значительно уменьшить размеры ламп и повысить их световую отдачу.

Шаровые ксеноновые лампы сверхвысокого давления типа ДКсШ являются источниками света исключительно высокой яркости (до 1 000 000 килокандел/см², в 6–7 раз больше, чем яркость Солнца). Светящееся тело в лампах очень мало, что позволяет создавать осветительные приборы с узкими пучками, в частности, прожекторы дальнего действия.

В последние годы это свойство ксеноновых ламп открыло им широкую дорогу в автомобильной промышленности – сейчас часто встречаются автомобили с «ксеноновыми фарами». Строго говоря, в таких фарах используются не ксеноновые лампы, а металлогалогенные с ксеноновым наполнением. Световая отдача ксенонового разряда значительно меньше, чем у металлогалогенных ламп, но металлогалогенные лампы не могут зажигаться мгновенно, что недопустимо в автомобильных фарах. Поэтому разряд сначала происходит в ксеноне, что сразу дает яркий узкий пучок света, а при разогреве горелок испаряются светящиеся добавки, и лампы работают уже не как ксеноновые, а как металлогалогенные, с большей световой отдачей. Именно

поэтому на улицах днем стали встречаться автомобили с включенными фарами, работающими в дежурном режиме.

Характерная особенность ксенонового разряда – исключительно хорошая цветопередача ($R_a = 95-98$). Это обусловило основные области применения шаровых ксеноновых ламп – кинопроекторные аппараты и кинотелесъемочное освещение. Однако в последние годы в киносъёмочных прожекторах чаще применяют металлогалогенные лампы, имеющие в несколько раз большую световую отдачу.

Шаровые ксеноновые лампы работают только на постоянном токе и, как правило, только в одном рабочем положении (вертикально, анодом вверх). Для поджига шаровых ксеноновых ламп, в том числе и автомобильных, требуется напряжение в десятки киловольт.

В России в соответствии со Сводом правил «Естественное и искусственное освещение СП 52.13330.2011» применение ксеноновых ламп для внутреннего освещения запрещено.

4.3.7. Безэлектродные лампы высокого давления

В середине девяностых годов двадцатого века был большой поток информации о создании сверхвысокочастотных серных безэлектродных ламп. Американская фирма **Fusio Lighting** начала производство таких ламп мощностью около 1 киловатта. Лампы имели очень высокие параметры: световая отдача – до 150 лм/Вт, срок службы более 50 000 часов, общий индекс цветопередачи до 90, спектр излучения близок к солнечному. Были созданы реальные осветительные установки с такими лампами, где они использовались для ввода света в полые цилиндрические световоды. Для возбуждения разряда использовались магнетроны, аналогичные тем, которые применяются в бытовых микроволновых печах. В настоящее время работы по безэлектродным лампам высокого давления интенсивно ведутся в крупнейшей корейской фирме **LG Electronics**.

В результате электрического разряда в газе возникает плазма, так что все газоразрядные источники света можно отнести к плазменным. Решением проблемы является выбор серы в качестве вещества для получения плазмы и последующей эмиссии света. Так как сера в состоянии плазмы излучает свет в процессе молекулярной, а не атомной эмиссии, спектр излучения остается непрерывным во всем видимом диапазоне. При этом 73% общей эмиссии излучается в видимом диапазоне, около 20% в инфракрасном и менее 1% в ультрафиолетовом. Но использовать для серы традиционные электроды не представляется возможным, поскольку раскаленные пары серы мгновенно вступают в реакцию с металлом и разрушают электрод. Здесь требуются новые подходы, а, именно, возбуждение плазмы СВЧ-излучением.

Индукционные светильники на основе серы были изобретены в 1990 г. американскими учеными Майклом Ури (Michael Ury) и Чарльзом Вудом (Charles Wood). Разработка получила поддержку Департамента энергетики США, и уже в 1992 г. был продемонстрирован первый реально работающий образец плазменного светильника на основе серы. Затем по непонятным причинам интерес к таким лампам упал и возродился снова уже в 2009–2010 годах, в основном благодаря тому, что к разработке индукционных ламп высокого давления подключилась мощная южнокорейская корпорация **LG Electronic**.

Стремление компании **LG** постоянно находиться на острие технологий привело к созданию специализированного подразделения по разработке самых передовых устройств освещения. И одним из приоритетных направлений данного подразделения в настоящий момент являются именно «плазменные» светильники как наиболее перспективные и технологически совершенные устройства освещения. Серийное производство «плазменных» светильников было запущено в 2010 г., и в настоящее время компания

является единственным в мире массовым производителем такой продукции.

В основе работы плазменного светильника LG лежит принцип микроволновой ионизации газов. Микроволновое излучение, испускаемое магнетроном, возбуждает пары серы в аргоне внутри колбы лампы. При достижении определенного значения рабочей температуры высокоионизированный газ переходит в состояние плазмы, которое начинает постоянно испускать свет. Поскольку это уже не «микроволновая печь», а светильник, в компании придумали для него новый термин – «лайтрон».

Излучатель представляет собой запаянную стеклянную колбу диаметром 30 мм, в которой находятся аргон и несколько миллиграммов серы (рис. 28).

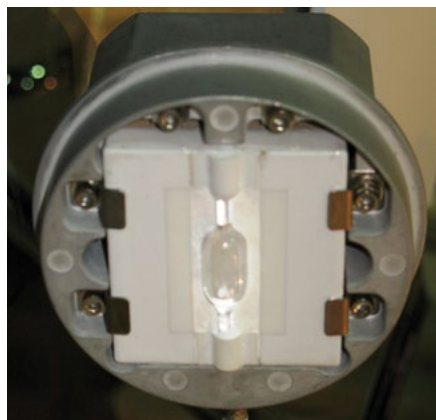


Рис. 28. Светильник с индукционной лампой высокого давления.

При необходимости достижения определенного спектра внутри колбы могут добавляться и другие вещества. Колба помещена в микроволновый резонатор, в который через волновод подается СВЧ-излучение от магнетрона. Резонатор представляет собой «корзину» из мелкочаеистой

сетки. Свет через нее проходит, а СВЧ-излучение – нет. При разогреве аргона давление в колбе может достигать 5 атм. Важным моментом является необходимость охлаждения колбы, так как при слишком высоких температурах сера теряет полиморфные свойства, из-за чего спектр излучения может стать линейчатым.

Колба вращается для равномерного нагрева газа. Впрочем, есть вероятность, что в будущем эта проблема будет принципиально решена, например, путем использования микроволн с круговой поляризацией, которые будут сами заставлять плазму вращаться.

Все компоненты, необходимые для производства подобных ламп, уже давно освоены компанией в массовом производстве. Например, применяемый в устройстве магнетрон с рабочей частотой 2,45 гигагерца производится по уже существующей технологии магнетрона для микроволновых печей, что делает и саму технологию, и производимую по ней продукцию в конечном итоге доступной и конкурентоспособной по цене.

В основном осветительные приборы данного типа предназначены для общественных, торговых и спортивных зданий и сооружений, конференцзалов, промышленных и складских помещений, теплиц. Главным образом, это помещения с высотой потолков от 6 м, для которых сложно реализовать освещение иными способами.

В отличие от светодиодных ламп, «плазменные» светильники могут создавать большой световой поток, и тем самым пригодны для освещения больших пространств – открытых территорий, стадионов, подсветки флагштоков и рекламно информационных щитов, подсветки зданий и сооружений и т. д. Следует отметить, что для стадионов, конференц-залов и других публичных мест, откуда могут вестись телевизионные трансляции, плазменные светильники представляются наилучшим вариантом освещения,

поскольку обладают сплошным спектром излучения в видимой области и отсутствием пульсаций, что благотворно влияет на качество телевизионной «картинки». Также они хорошо подойдут для выставочного бизнеса, где востребованы высокая мощность, большой срок работы и качество светового потока.

Если сравнивать «плазменные» светильники LG со светильниками на основе МГЛ, то, во-первых, налицо разница в световой отдаче. Световая отдача светильника на МГЛ оставляет примерно 60–80 лм/Вт. «Плазменный» светильник имеет световую отдачу 80–85 лм/Вт.

Свет «плазменного» светильника излучает в разы меньше ультрафиолета – на 92% меньше, чем галогенные лампы накаливания с колбой из кварцевого стекла и на 66% меньше, чем люминесцентные лампы, что благотворно влияет на здоровье людей, работающих под светом таких ламп. «Плазменные» светильники оказались значительно экологичнее, чем ртутные, металлогалогенные и люминесцентные. Например, содержание ртути в ртутной лампе – 200–250 мг, в металлогалогенной – 100–150 мг, в люминесцентной – 10–20 мг; в «плазменном» же светильнике ртути нет вообще, что ставит их по экологичности рядом со светодиодными. Также «плазменные» светильники не содержат ни свинца, ни мышьяка. Спектр излучения светильников данного типа очень близок к естественному свету, излучаемому солнцем. «Плазменные» лампы характеризуются высоким индексом цветопередачи R_a – более 80. Если сравнить графики спектров излучения различных типов металлогалогенных ламп и «плазменной» лампы, то можно увидеть, что спектр первых является «линейчатым», а спектр последних – сплошной и максимально приближен к спектру настоящего солнечного света.

Важное преимущество «плазменного» светильника – быстрое действие. Например, для достижения 80% номинального светового потока нужно всего 12 с. После выключения

повторно можно включить светильник через 5 мин. Для сравнения: МГЛ требует на разогрев около 4 мин, а ее повторное включение возможно не раньше, чем через 15 мин.

Индукционные лампы высокого давления отличаются высокой стабильностью светового потока, составляющей 90% в течение всего срока службы. «Плазменная» лампа не имеет электродов (а это одно из самых слабых мест разрядных источников света), что позволило компании довести средний срок службы устройства до 50 000 часов.

Работы по индукционным лампам высокого давления интенсивно ведутся и в США (фирмы e2 и другие), Китае и других странах.

Помимо всего прочего, «плазменная» лампа оказалась прекрасным источником света для выращивания растений. Некоторые ученые считают «плазменные» светильники наиболее перспективными источниками света для оранжерей.

4.4. Светодиоды

Электрические источники света появились около 140 лет назад, и за все эти годы люди использовали два типа источников света – тепловые и газоразрядные. И только в самом конце 20-го века появился третий тип электрических источников света – полупроводниковые или **светоизлучающие диоды (светодиоды)**.

В светодиодах используется принцип генерации света при прохождении электрического тока через границу полупроводникового и проводящего материалов. Электрический ток – это поток электронов в определенном направлении, движущийся под действием напряжения между концами проводника. Проводящие материалы или проводники можно сравнить с каналом, по которому течет поток воды, а полупроводники – с порогом на пути потока. В одну сторону («сверху вниз») поток без проблем преодолевает порог, при

этом даже выделяя какое-то количество энергии. Но чтобы заставить этот поток преодолеть порог в обратную сторону, надо затратить какое-то усилие, необходимое для подъема потока на высоту порога.

В полупроводниках электрический ток в одну сторону (в проводящем направлении) течет при приложении даже небольшого напряжения (как бы уклона в канале с водой), свободно преодолевая порог. В потоке воды энергия, выделяющаяся при преодолении порога, может вращать турбины, мельничные колеса и т. п. – все зависит от высоты порога и количества протекающей воды. Точно также электроны при преодолении «энергетического порога» выделяют определенную энергию. Обычно эта энергия выделяется в виде тепла, но при определенных условиях может превращаться и в свет.

Факт свечения некоторых полупроводниковых материалов (вернее, границы между проводником и полупроводником) при прохождении электрического тока был замечен в 1923 году русским инженером О. В. Лосевым. Однако это свечение было очень слабым, и практического применения этот эффект долго не находил. В начале 60-х годов появились первые приборы, использующие этот эффект – индикаторные элементы со слабым красным, а через несколько лет и зеленым свечением. Приборы получили название светодиодов. В качестве полупроводникового материала в них использовались арсениды алюминия, индия и смеси этих веществ. Световая отдача светодиодов в те годы составляла не более 0,1 лм/Вт (в 100 раз меньше, чем у ламп накаливания), срок службы измерялся сотнями часов и, естественно, они даже не рассматривались как источники света в общепринятом понимании.

Положение коренным образом начало меняться в конце 80-х годов, благодаря работам Ж. И. Алферова и других ученых, когда были созданы принципиально новые

полупроводниковые материалы, позволившие сразу на порядки увеличить мощность, яркость, световую отдачу и срок службы светодиодов. В новых материалах используются соединения индия, галлия, азота, алюминия в различных сочетаниях. Светодиоды на основе этих материалов давали уже довольно яркий свет красного, зеленого, желтого и оранжевого цветов. В 1994 году японским специалистам из компании Nichia после почти двадцатилетних поисков удалось создать первые светодиоды с синим цветом излучения. Синий свет с помощью люминофоров стали превращать в желтый, дающий в комбинации с синим белый свет различных оттенков, и с 1997–98 гг. в разных странах одновременно стали появляться первые осветительные приборы, в которых светодиоды выполняли функции не индикаторных элементов, а именно источников света.

Сегодня светодиоды (иностранное обозначение – LED, Lighting Emitted Diode) – наиболее развивающееся направление в области источников света. Сейчас созданы светодиоды практически всех цветов радуги – от красного до фиолетового, а также диоды, излучающие в инфракрасной и ультрафиолетовой областях. К производству светодиодов приступили мировые лидеры в области источников света Osram и Philips и сотни более мелких фирм во всех развитых странах.

В настоящее время на лабораторных образцах «белых» светодиодов американской фирмы Cree достигнута световая отдача 276 лм/Вт, что близко к теоретическому пределу. (Согласно расчетам физиков, предельное значение световой отдачи светодиодов с «белым» излучением при приемлемом качестве цветопередачи – 250–280 лм/Вт). Промышленные образцы светодиодов ряда фирм (Cree, Nichia, Toshiba, Samsung, Optogan) имеют световую отдачу до 160 лм/Вт, то есть больше, чем у люминесцентных ламп и даже натриевых ламп высокого давления. Массовая

продукция подавляющего большинства фирм выпускается со световой отдачей около 80 лм/Вт, то есть на уровне хороших люминесцентных и металлогалогенных ламп.

Но вот характерное сообщение фирмы Cree о светодиодной лампе с рекордной световой отдачей: «Компания Cree выпустила новую светодиодную лампу XLamp MK-R, которая демонстрирует рекордную световую отдачу более 200 лм/Вт. Такой показатель означает, что 8-ваттная светодиодная лампочка будет светить примерно так же ярко, как лампа накаливания на 100 Вт, которая дает световой поток 1550–1630 люмен. Компания Cree сообщила о начале тестирования светодиодов нового типа в феврале 2010 года. В лаборатории они показывали световую отдачу 208 лм/Вт. Максимальная яркость достигается при температуре 25 °С, то есть при нормальной комнатной температуре. **Однако в процессе работы светодиод нагревается до 85 °С, и в этих условиях световая отдача понижается до 106,7 лм/Вт.** Почти три года понадобилось, чтобы довести технологию до стадии массового производства и решить проблему с теплоотводом. Впрочем, в реальных условиях такие лампочки все равно не будут показывать лабораторные 208 лм/Вт. Собственно, и производитель рекламирует их как «100+ лм/Вт», что, однако, не снижает значимости этого технологического достижения».

Многие фирмы для «белых» светодиодов указывают общий индекс цветопередачи больше 90. В принципе это достижимое значение. Однако при этом необходимо иметь в виду, что с повышением качества цветопередачи обязательно снижается световая отдача светодиодов. Известный немецкий специалист в области светодиодов Т. К. Хан (Т. Q. Khanh) доказал, что часто рекламируемые величины световойдачи белых СД – 120–130 лм/Вт при реальных условиях измерений (ток 350 мА, температура р-п перехода 80 °С) могут быть отнесены только к таким типам

светодиодов, у которых R_a невысок (60–75) и они пригодны для применения в уличных светильниках и во внутреннем освещении с низкими требованиями к качеству цветопередачи. **К сожалению, бытует мнение, что белые СД со световой отдачей до 130 лм/Вт могут иметь высокое качество цветопередачи. Но это – очевидное заблуждение, причиной которого является неосведомленность о последних исследованиях или некорректная информация производителей о своей продукции.**

По данным фирмизготовителей средний срок службы светодиодов малой мощности превышает 50 000 часов, многие фирмы не стесняются указывать и 100 000 часов. Наиболее уважаемые фирмы (Osram, Philips, Nichia) для мощных светодиодов и светодиодных модулей дают срок службы 25 000 часов. Реального подтверждения этих цифр пока нет.

Надо сказать, что бурный рост производства светодиодов при одновременном улучшении их параметров породил множество мифов. В средствах массовой информации стали появляться рекламные объявления о продаже светодиодных светильников, обеспечивающих «трехкратную экономию электроэнергии» и срок окупаемости один-два года. При этом обычно не сообщается, по сравнению с какими источниками света обеспечиваются обещанные экономия и срок окупаемости.

Учитывая консерватизм привычек населения, в последние годы очень бурно развивается разработка и производство светодиодных ламп для прямой замены ими в существующих светильниках ламп накаливания и люминесцентных ламп (так называемых «ретрофитов»). Сегодня на рынке представлены уже сотни типов таких ламп. Причем встречаются совершенно фантастические варианты. Например, российская фирма Gauss предлагает в качестве аналога сорокаваттной лампы накаливания светодиодную лампу мощностью 3 Вт, а аналогом лампы накаливания мощностью 60 Вт фирма предлагает

светодиодные лампы мощностью 5 Вт! Заявленный фирмой срок службы светодиодных ламп – более 50 000 часов.

Очень показателен в этом отношении международный конкурс, проведенный в 2009–2011 годах Министерством энергетики США на разработку светодиодной лампы для прямой замены лампы накаливания мощностью 60 Вт. Лампа должна иметь световой поток не менее 900 лм, мощность не более 10 Вт, срок службы не менее 25 000 часов, общий индекс цветопередачи R_a выше 80, коэффициент мощности ($\cos \varphi$) не менее 0,7. Как видно, требования не такие уж заоблачные, если судить о параметрах светодиодов по рекламным материалам. Премия победителю – 10 миллионов долларов. Но за два года со времени объявления этого конкурса была подана только одна заявка – от фирмы Philips. Фирмы «Gauss», естественно, среди претендентов на премию в 10 млн долларов не было, так как на фирме, повидимому, все же понимают степень своего безответственного обмана потребителей.

В октябре 2011 года Министерство энергетики США присудило премию «L-Prize» светодиодной лампе мощностью 10 Вт фирмы Philips (рис. 29).

Однако в производство для замены шестидесятиваттной лампы накаливания запущены светодиодные лампы мощностью не 10, а 12 Вт («My Ambiance» для бытового сектора и Master LED Bulb A60 12 Вт для профессионального сектора). Начальный световой поток этих ламп – 806 лм (у ламп накаливания мощностью 60 Вт с криптоновым наполнением – 760 лм), срок службы – 25 000 часов. Лампы Parathom Classic A 80 12 W с аналогичными параметрами начала выпускать также фирма Osram (рис. 30). Отпускная оптовая цена лампы «My Ambiance» мощностью 12 Вт – 48,4 евро (около 2000 рублей).

В октябре 2011 года светодиодные лампы «Оптолюкс-E27» с цоколем E27 для прямой замены ламп накаливания



Рис. 29. Светодиодная лампа мощностью 10 Вт – призер конкурса, проведенного Министерством энергетики США



Рис. 30. Лампа Parathom Classic A 80 12 W, Osram

мощностью 60 Вт начало выпускать российское предприятие «Оптоган» (рис. 31).

Параметры этой лампы: мощность 11 Вт, начальный световой поток 720 лм, цветовая температура излучения 3000 К, общий индекс цветопередачи 80, расчетный срок службы светодиодов 50 000 часов. Это же предприятие предлагает и лампы на светодиодах «Оптолюкс-Трейд» для прямой замены люминесцентных ламп мощностью 18, 36 и 58 Вт. Световая отдача этих ламп при нейтрально-белом и холодно-белом излучении – от 56 до 73 лм/Вт, при тепло-белом – от 50 до 63 лм/Вт, мощность – 10, 20 и 30 Вт. Эти параметры «не зашкаливают» и вызывают определенное доверие.

Японская фирма Toshiba выпустила на рынок свою светодиодную лампу для прямой замены ламп накаливания. Мощность лампы – 8,4 Вт. Световая отдача ламп с холодно-белым светом – 77, с тепло-белым светом – 71 лм/Вт; срок службы – 25 000 часов; световой поток к концу срока службы снижается на 50%. Остается добавить, что фирменная цена этой лампы – 73,84 евро, то есть около трех тысяч рублей.

В мае 2012 года на международной светотехнической ярмарке «LIGHTFAIR International» в Лас-Вегасе концерн GE Lighting представил первую в мире светодиодную «Retrofit»-лампу типа «Energy Smart® LED» мощностью 27 Вт. Она позволяет получить экономию электроэнергии 73% при замене лампы накаливания 100 Вт. Основные характеристики лампы:

- Световой поток – 1600 лм, что превышает световой поток 100-ваттной стандартной лампы накаливания (1360 лм)
- Световая отдача «Energy Smart® LED» составляет 60 лм/Вт (в 4,4 раза больше, чем у лампы накаливания 100 Вт)
- Цветовая температура излучения $T_c = 3000$ К (соответствует свету галогенной лампы накаливания).
- Полезный срок службы – 25 000 часов



Рис. 31. Лампа «Оптолюкс», «Оптоган»

Ведущие светодиодные фирмы, прежде всего Cree и Philips, сегодня усиленно работают над снижением стоимости светодиодных ламп для прямой замены ламп накаливания. Поставлена реальная цель – довести розничную цену аналогов 60-ваттных ламп накаливания до 10 евро. Philips собирается решить эту задачу до конца 2013 года. Пока же цены таких ламп значительно выше. Как показывают расчеты, срок окупаемости таких ламп при существующих расценках на электроэнергию и ежесуточной работе по 3 часа составляет более пяти лет.

Недавно Министерство энергетики США утвердило требования к лампам со светодиодами для прямой замены ламп накаливания. Лампы с параметрами ниже утвержденных, не могут поступать в продажу в США: световая отдача – 50 лм/Вт для ламп мощностью до 10 Вт и 55 лм/Вт для ламп большей мощности, R_a не менее 80, коэффициент мощности – не менее 0,7.

Параметры всех источников света так или иначе зависят от температуры окружающего воздуха. Меньше всего это проявляется в лампах накаливания, сильнее всего – в люминесцентных лампах и светодиодах. О люминесцентных лампах было сказано выше, а температурную зависимость параметров светодиодов рассмотрим сейчас.

В рекламных материалах, да и в каталогах некоторых фирм приводятся параметры светодиодов, показывающие их неоспоримые преимущества перед другими источниками света: световая отдача до 200 лм/Вт при сроке службы до 100 000 часов. Для сравнения: у ламп накаливания общего назначения эти параметры равны 12–15 лм/Вт и 1000 часов. Однако крайне редко, да и то мелким шрифтом где-нибудь в незаметном месте, говорится, что параметры светодиодов приведены при температуре р-п перехода + 25 °С.

Типовая зависимость светового потока и срока службы от температуры р-п перехода показана на рис. 32 и 33.

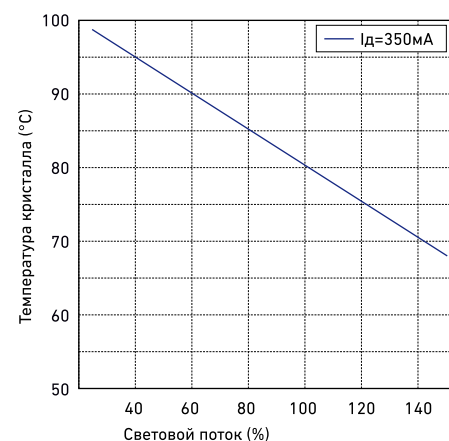


Рис. 32. Зависимость светового потока светодиода от температуры (по горизонтальной оси – температура кристалла, °С; по вертикальной оси – световой поток, %)

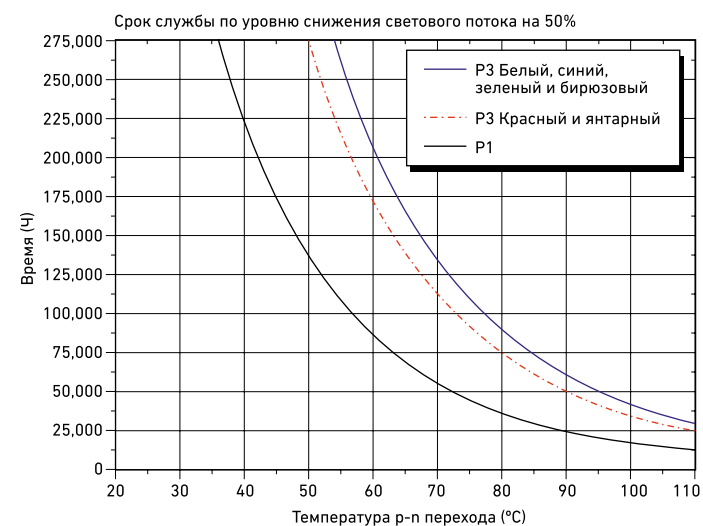


Рис. 33. Зависимость срока службы светодиодов от температуры

- P1 – светодиоды на основе соединений AlAsP;
- P2 – светодиоды красного и янтарного цвета на основе соединений InGaN;
- P3 – светодиоды зеленого, синего и белого цвета на основе соединений InGaN.

Из этих рисунков видно, что при температуре перехода +75 °С световая отдача снижается примерно на 30%, прогнозируемый срок службы – примерно также. При дальнейшем

росте температуры происходит еще более заметное снижение основных параметров светодиодов. Предельной температурой перехода можно считать +150 °С.

Отсюда можно сделать однозначный вывод: чтобы создать эффективный осветительный прибор, необходимо, прежде всего, позаботиться о температурном режиме светодиодов. К сожалению, это делается далеко не всегда. Поэтому реальные светильники со светодиодами при испытаниях часто показывают далеко не те параметры, которые были заявлены изготовителем.

Светодиоды действительно могут работать 100 000 часов и даже больше, но только при строгом соблюдении температурного режима. Точно также и световая отдача светодиодов достигает рекордных значений при температуре перехода не выше +25 °С. К сожалению, в погоне за местом под «светодиодным солнцем» многие фирмы в документации и, особенно, в рекламных материалах указывают для осветительных приборов срок службы и световую отдачу, присущие «голым» светодиодам, работающим в идеальных условиях. Используя эти данные, а вернее – манипулируя ими, досужие популяризаторы «определяют» срок окупаемости светильников со светодиодами в полтора – два года, а то и в один год. Надо сказать, что проблема достоверности данных о параметрах светодиодов существует во всем мире.

В Министерстве энергетики США разработана специальная программа испытаний светодиодных ламп и светильников «CALiPER». Проведено уже девять серий испытаний, в результате которых оказалось, что заявленным параметрам соответствует меньше трети испытанных светильников. У 5-ти из 26-ти проверенных изделий спад светового потока превысил 30% менее чем за 1000 часов. Еще худшие результаты получены в Томском политехническом институте, проводившем испытания светильников со светодиодами разных фирм.

Представление заведомо недостоверных параметров в документации на светильники не просто вводит потребителей в заблуждение, но и вызывает у многих разочарование в светодиодах как действительно перспективном источнике света. Поэтому надо особенно добросовестно подходить к составлению технической документации, чтобы не нанести непоправимого вреда этому перспективному направлению светотехники.

Из-за отсутствия достоверных данных о реальном сроке службы и реальной световой отдаче готовых светильников со светодиодами невозможно точно рассчитать сроки окупаемости таких светильников и оценить потенциал реальной экономии электроэнергии. В какой-то мере здесь ориентиром могут служить данные крупнейших светодиодных фирм – Osram, Philips, Nichia, Cree, а также требования Министерства энергетики США. Ни в одном из каталогов названных фирм не встречается срок службы светодиодов более 50 000 часов. Для мощных светодиодных модулей, как правило, фигурирует цифра 25 000 часов. При этом световая отдача составляет не более 80 лм/Вт. Например, новейшая разработка фирмы Osram – модули PrevalLED мощностью 11, 28 и 43 Вт – имеют световую отдачу менее 75 лм/Вт при цветовой температуре излучения 3000–4000 К и общем индексе цветопередачи 90. Светодиодная лампа этой же фирмы мощностью 9 Вт для прямой замены лампы накаливания имеет световой поток 700 лм и срок службы 10 000 ч.

Для прямой замены люминесцентных ламп многие фирмы выпускают светодиодные аналоги в трубках диаметром 26 или 16 мм с цоколями соответственно G13 и G5. Наиболее высокие параметры имеют такие лампы, выпускаемые фирмами Havells Sylvania, Toshiba, Aura Light. Например, фирма Havells Sylvania в конце марта 2013 года объявила о начале производства ламп «ToLEDo Tube T8» для замены люминесцентных ламп мощностью 18, 36 и 58 Вт. Мощность

светодиодных ламп соответственно 11, 26 и 32 Вт. световой поток – 1200, 2600 и 3200 лм, общий индекс цветопередачи R_a не менее 80, срок службы – 40 000 часов.

Корейская фирма Samsung в марте 2013 года объявила о начале производства ламп длиной 1200 мм (аналог люминесцентной лампы мощностью 36 Вт) со световой отдачей до 140 лм/Вт. Мощность лампы – 15,4 Вт, световой поток – 2150 лм.

Российское предприятие «Оптоган» производит такие лампы мощностью 10, 20 и 30 Вт со световой отдачей до 73 лм/Вт и с ожидаемым сроком службы 50 000 часов. Однако параметры светодиодных ламп изменяются настолько быстро, что эти цифры (данные 2011 года) могут быть уже устаревшими.

В 2011 году вступил в силу Свод правил СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение», заменивший «Строительные нормы и правила СНиП 23-05-95*». В этом документе впервые светодиоды рассматриваются как самостоятельный и полноценный источник света, разрешенный к всеобщему применению почти во всех случаях (за исключением детских и медицинских учреждений). Подробнее об этом «Своде правил» было сказано в главе 3, посвященной нормированию осветительных установок. Сейчас же еще раз подчеркнем, что светодиоды в нашей стране стали полноценными источниками света.

С июля 2012 года введен новый ГОСТ Р 54350-2011 «Приборы осветительные. Светотехнические требования и методы испытаний». В этот ГОСТ включены и осветительные приборы со светодиодами, дается толкование самих терминов «Светодиод», «Светодиодный модуль» и «Светодиодная лампа», приводятся специфические требования к светильникам со светодиодами, не относящиеся к осветительным приборам с другими (традиционными) источниками света.

Согласно ГОСТ, **светодиод** – это источник света, основанный на испускании некогерентного излучения в видимом диапазоне длин волн при пропускании электрического тока через полупроводниковый диод. **Светодиодный модуль** – сборка из двух или более светодиодов с полным набором электрических, оптических, механических и тепловых компонентов без устройств управления. **Светодиодная лампа** – лампа, в которой свет излучается одним или несколькими светодиодами, размещенными в светопропускающей колбе, и включающая оптические, механические, электрические и тепловые компоненты и снабженная стандартным цоколем. **Осветительный прибор со светодиодами**: осветительный прибор, в котором в качестве источника света используются светодиоды; **неразборный осветительный прибор со светодиодами**: осветительный прибор со светодиодами, из которого источник света (в частности, световой модуль) не может быть изъят при фотометрировании или заменен при эксплуатации.

Впервые включены понятия «Световая отдача осветительного прибора» и «Коэффициент световойдачи».

Световая отдача осветительного прибора – это отношение светового потока осветительного прибора при установившемся тепловом режиме к его потребляемой электрической мощности. **Коэффициент световойдачи осветительного прибора со светодиодами** – отношение световойдачи осветительного прибора к световой отдаче содержащегося в нем светодиода.

В ГОСТе приведена таблица значений световойдачи для различных типов светильников и прожекторов со светодиодами (таблица 26).

Коэффициент световойдачи светильников со светодиодами для общего освещения производственных и общественных зданий должен быть не менее 60%.

Таблица 26. Световая отдача светильников со светодиодами

Область применения светильников	Класс светораспределения	Световая отдача, лм / Вт, светильников			
		с призматическим рассеивателем		с вторичной оптикой	без оптических и экранирующих элементов
		прозрачным	матированным		
Помещения общественных зданий	П	70	65	65	-
	Н	65	60		-
	Р	65		60	-
Помещения производственных зданий	П	70	65	70	70
	Н, В	65			
	Р	65	60	65	65

Эти параметры на первый взгляд кажутся сильно заниженными – сегодня редкая фирма делает светодиоды со световой отдачей менее 100 лм/Вт. Однако протоколы реальных испытаний сотен типов светильников со светодиодами во ВНИСИ, «СВЕТОСе» и других высококвалифицированных учреждениях показывают, что требованиям ГОСТ Р 54350-2011 соответствуют далеко не все предъявляемые на испытания светильники. В связи с этим необходимо еще раз подчеркнуть, что при составлении технической документации на светильники со светодиодами нужно обращать особое внимание на достоверность представляемых параметров. Если представляются заведомо завышенные параметры, то это может привести только к разочарованию потребителей в этих перспективных источниках света и последующему их отторжению.

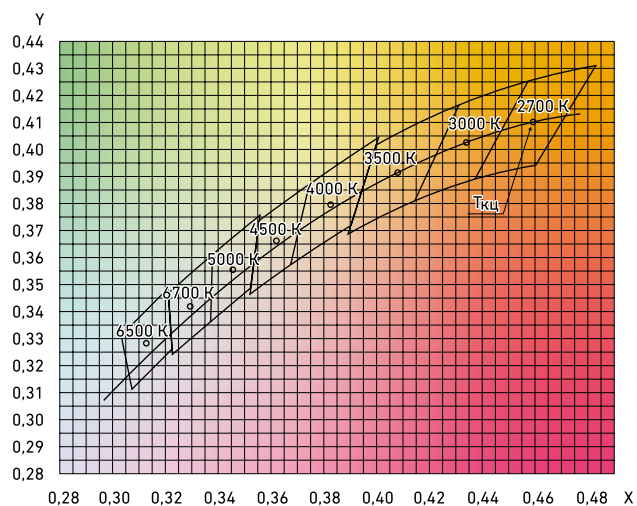
В ГОСТ Р 54350-2011 введены понятия «Цветовая температура» и «Коррелированная цветовая температура». **Цветовая температура** – это температура черного тела, при которой его излучение имеет ту же цветность, что и излучение рассматриваемого источника света. **Коррелированная цветовая**

температура – это температура черного тела, при которой координаты цветности его излучения близки в пределах заданного допуска к координатам цветности рассматриваемого излучения на цветовом графике МКО (Международной комиссии по освещению). Регламентированы следующие значения коррелированной цветовой температуры для светильников со светодиодами: 2700, 3000, 3500, 4000, 4500, 5000, 5700 и 6500 К. Определены допуски на каждое значение коррелированной цветовой температуры и приведены координаты этих допусков на цветовом графике МКО.

При использовании в одном осветительном приборе нескольких светодиодов или светодиодных модулей ГОСТ Р 54350-2011 требует применения изделий с одинаковой цветностью излучения. Поэтому производится подборка этих источников света по цветности. Для этого предприятия, выпускающие светодиоды, обычно производят их сортировку на группы («бины»), внутри которых светодиоды различаются по цветности излучения незначительно. В основе такой сортировки («разбиновки») лежит пороговая цветовая чувствительность глаза, характеризуемая так называемыми «эллипсами Мак Адама» – зонами цветового пространства на графике МКО, в пределах которых глаз различает одну две три или четыре цветовых градации. Чем более строгая сортировка, тем дороже светодиоды. В ГОСТ 54350 эллипсы Мак Адама заменены четырехугольниками с зафиксированными координатами вершин на цветовом графике (рис. 34).

Одним из важных нововведений ГОСТ Р 54350 стало требование проверки **времени установления светового потока светильников со светодиодами и спада светового потока за это время**. Время стабилизации должно указываться в технической документации на конкретные светильники или определяться экспериментально во время испытаний. Спад светового потока ко времени его стабилизации не должен превышать 15%.

Рис. 34. Цветовой график с четырехугольниками допустимых отклонений коррелированной цветовой температуры



Для ограничения слепящего действия светильников в ГОСТ 54350 нормируются защитные (или условно защитные) углы и зоны ограничения яркости. Максимальное значение габаритной яркости для встраиваемых и потолочных светильников со светодиодами – 5000 кд/м². Правда, имеется примечание, что требования к равномерности яркости при расчете габаритной яркости осветительных приборов со светодиодами, а также методика испытаний еще находятся в стадии рассмотрения.

Типичное устройство наиболее массовых светодиодов показано на рис. 35.

Основу светодиодов составляет полупроводниковый кристалл 1, расположенный на проводящей подложке 2. К кристаллу и подложке подводится электрическое напряжение через вводы 3 и 4. Кристалл окружен отражателем 5, направляющим свет в одну сторону. От внешних воздействий кристалл защищен корпусом 6 из прозрачной эпоксидной смолы или поликарбоната. Верхняя часть корпуса, как

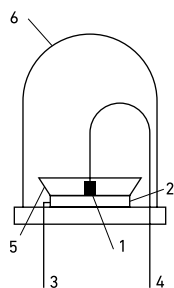


Рис. 35. Устройство светодиода

правило, делается в виде купола с определенной кривизной, и исполняет роль линзы, формирующей световой пучок. Иногда вместо купола делают «линзы Френеля», то есть наборы кольцевых concentрических микролинз на общем плоском основании.

Внутренний отражатель и корпус-линза формируют световой поток, излучаемый кристаллом, надлежащим образом, поэтому в светильниках со светодиодами не требуется применения какой-либо дополнительной оптической системы, как при «обычных» источниках света.

На рис. 36 показано устройство одного из типов мощных светодиодов, созданного по технологии SMD.

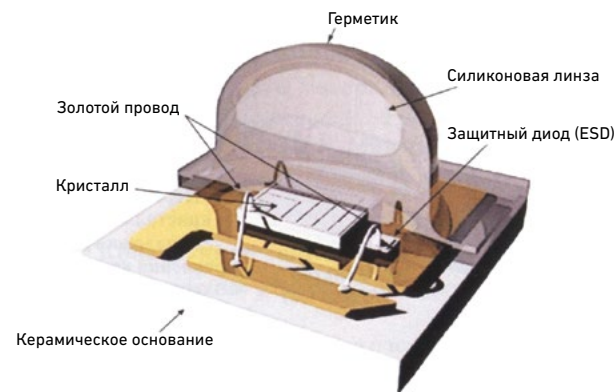


Рис. 36. Устройство мощного светодиода

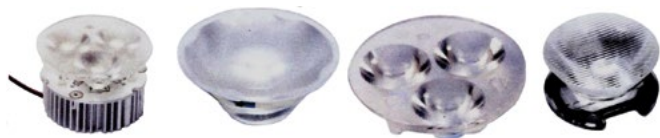
Пока были только маломощные светодиоды с током 20 – 40 мА, они выпускались фактически в виде готовых световых приборов, так как имели собственную оптическую систему, которая и перераспределяла световой поток требуемым образом (так называемая первичная оптика). С появлением мощных светодиодов с током 350 мА, а теперь 700 и даже 1000 мА, большинство производителей светодиодов стали отказываться от применения первичной оптики, так как при

работе мощных светодиодов кристаллы нагреваются достаточно сильно, и из-за разницы коэффициентов теплового расширения материалов кристалла и первичной оптики создаются значительные механические нагрузки внутри светодиодов, приводящие иногда к разрыву соединительных проводников или отрыву кристаллов от подложки.

В настоящее время большинство мощных светодиодов выпускается без первичной оптики. Поэтому для формирования требуемого светораспределения применяется вторичная оптика в виде линз или отражателей (рис. 37). Линзы делаются из полиметилметакрилата, поликарбоната или кремнийорганических соединений (силикона). Линзы выпускаются для одиночных светодиодов, светодиодных сборок (модулей, матриц) или в виде целых блоков, охватывающих большую группу светодиодов.

При конструировании световых приборов необходимо учи-

Рис. 37. Элементы вторичной оптики светодиодов.



тывать, что за счет френелевских отражений на передней и задней поверхностях линз теряется не меньше 8% светового потока. Кроме этого, линзы практически никогда не охватывают весь световой поток, излучаемый кристаллом. Поэтому заявления некоторых фирм, выпускающих вторичную оптику для светодиодов, о том, что их продукция имеет коэффициент пропускания около 100%, следует рассматривать только как рекламную акцию. Реальные значения коэффициента использования светового потока светодиодов с вторичной оптикой в виде линз – 80–85%

Из-за того, что светодиоды излучают свет только в одну полусферу, возможности отражательной оптики в световых приборах с ними ограничены. Отражатели имеют несколько большие размеры, чем линзы. Коэффициент использования светового потока кристаллов с отражателями – около 85–90%. Отражатели делают или из алюминия с высоким коэффициентом отражения (например, типа «Migo» фирмы «Аланод»), или из пластика с напылением зеркального слоя и защитой его от внешних воздействий.

Как линзы, так и отражатели требуют очень точного расположения относительно излучающего кристалла. Поэтому они, как правило, снабжены специальными направляющими (цапфами) для точной установки.

Наиболее распространенная технология изготовления мощных светодиодов и модулей – «кристалл на плате» (Chip on board, COB). Как ясно из названия, полупроводниковые кристаллы светодиодов крепятся непосредственно на печатной плате, которая выполняет и функции теплоотвода. Излучение таких светодиодов близко к диффузному, то есть распространяется в достаточно больших углах (до 180 градусов). Для формирования требуемого светораспределения применяется **вторичная оптика** в виде линз из поликарбоната, полиметилметакрилата или прозрачных кремнийорганических соединений (силикона). Реже применяется вторичная оптика в виде отражателей.

Для питания светодиодов нужен постоянный ток низкого напряжения, величина которого зависит от цветности излучения: у красных светодиодов это 1,9–2,1 В, у зеленых 2,5–3 В, у синих и белых – около 4-х В. Поэтому для включения их в сеть требуются специальные источники питания – устройства управления (УУ) или конверторы (в последнее время их часто называют «драйверами», что в принципе неверно и противоречит проекту ГОСТ на терминологию светодиодов). Эти аппараты – неотъемлемая часть любого

светильника со светодиодами, поэтому к ним должны предъявляться такие же требования, как и к источникам света. До настоящего времени в литературе не встречалось ни одно УУ со сроком службы более 50 000 часов. Поэтому остается загадкой, как некоторые фирмы обеспечивают срок службы светильников 100 000 часов?

Устройства управления должны обеспечивать не только питание светодиодов, но и электромагнитную совместимость светильника и сети, то есть определенную форму потребляемого тока (отсутствие высших гармоник), отсутствие радиопомех, коэффициент мощности. Кроме этого, есть еще один параметр, на который, к сожалению, мало обращают внимания – это пульсации выходного тока или напряжения. Светодиоды – практически безынерционный источник света, поэтому излучаемый ими световой поток полностью повторяет форму протекающего через светодиод тока. Это приводит к пульсациям освещенности на освещаемом месте.

Санитарные правила и нормы жестко регламентируют глубину пульсаций освещенности. Например, для рабочих помещений с компьютерами глубина пульсаций освещенности должна быть не более 5%. Основополагающий документ по нормированию освещенности в странах Евросоюза – нормы EN 12464-1 «Освещение рабочих мест внутри помещений». В этом документе есть специальный раздел 4, посвященный пульсациям освещенности. Раздел состоит из одного пункта: **«В помещениях с длительным пребыванием людей пульсации освещенности не допускаются».**

По данным каталогов ведущих фирм-производителей УУ для светодиодов глубина пульсаций выходного напряжения (тока) составляет 15–50%. Значит, и глубина пульсаций светового потока также составит 15–50%. На это необходимо обращать самое серьезное внимание, так

как на примере люминесцентных ламп, особенно с узкополосными люминофорами, установлено, что пульсации освещенности – исключительно вредное явление для людей.

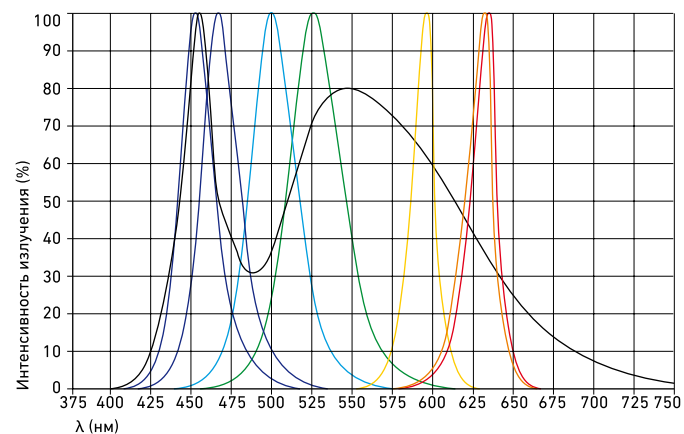
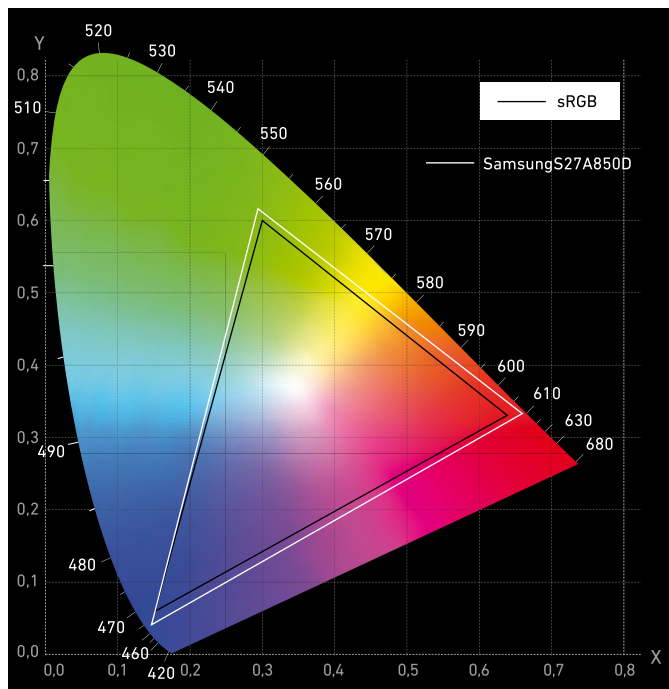


Рис. 38. Спектры излучения некоторых светодиодов

Излучения светодиодов близки к монохроматическим (рис. 38), поэтому координаты их цветности располагаются непосредственно на локусе. Цветовой треугольник, образованный координатами цветности типовых красных ($\lambda = 630$ нм), зеленых ($\lambda = 526$ нм) и синих ($\lambda = 470$ нм) светодиодов охватывает почти все поле реальных цветов (рис. 39).

Это позволяет создавать практически неограниченное количество цветовых оттенков света. На практике чаще всего используются системы управления светодиодами, в которых каждый из трех основных цветов имеет 256 (28) градаций. Нетрудно подсчитать, что общее количество возможных сочетаний составляет 16 777 216, что обычно и указывается в рекламных материалах («Более 16 миллионов цветов!»). Напомним, что «средний» человеческий глаз различает не более 1000 цветовых оттенков (см. раздел 2).

Рис. 39. Поле (треугольник) реальных цветов, достижимых с использованием цветных светодиодов (RGB LED)



Как уже было сказано, белый свет излучения светодиодов получается за счет применения синего излучения кристаллов и преобразованной части этого излучения с помощью люминофора, имеющего максимум излучения в желтой области спектра. В последнее время в связи с появлением достаточно эффективных светодиодов с максимумом излучения в ультрафиолетовой области спектра некоторые фирмы стали делать «белые» светодиоды на основе первичного УФ излучения и трех люминофоров с максимумами в синей, зеленой и желтой областях спектра. Суммарные спектры излучения «белых» светодиодов, созданных на основе первичных синего и ультрафиолетового излучения, показаны на рис. 39. Реальные спектры излучения

«белых» светодиодов различной цветности (с разной коррелированной цветовой температурой) показаны на рис. 40.

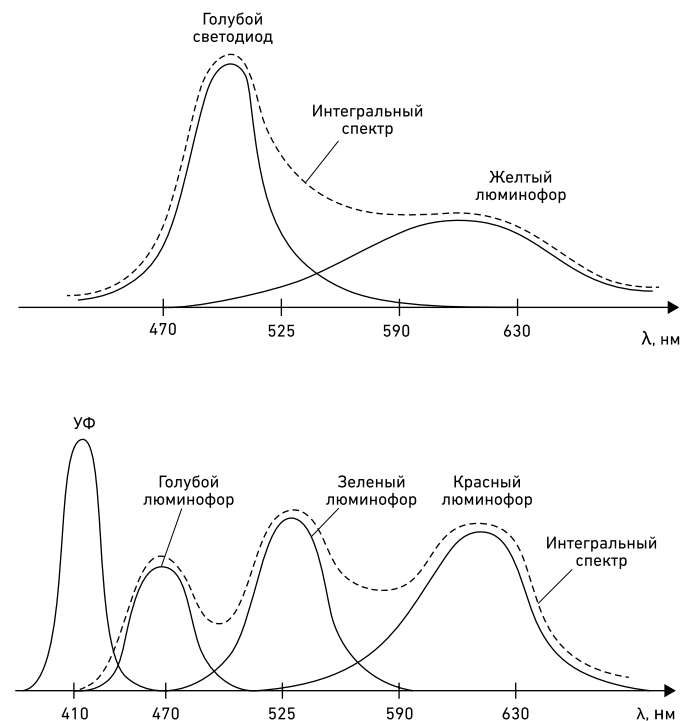


Рис. 40. Принципиальные спектры излучения «белых» светодиодов

Как видно из рис. 41, у светодиодов любой цветности излучения имеется четкий максимум в синей области спектра, обусловленный первичным излучением кристаллов. Эта особенность «белых» светодиодов породила дискуссии о так называемой синей опасности светодиодного освещения. В технической и популярной литературе появились десятки статей, в которых говорится о возможности повреждения глаз и других неприятностях при длительном пребывании человека в помещениях, освещенных светодиодами.

не меньшее количество научных и псевдонаучных работ доказывает безвредность такого освещения. Полной ясности в этом вопросе пока нет. Но в нашей стране Санитарные нормы и правила пока не разрешают применять светодиоды для освещения детских и медицинских учреждений. Похожие запреты имеются и в большинстве развитых стран.

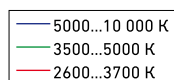
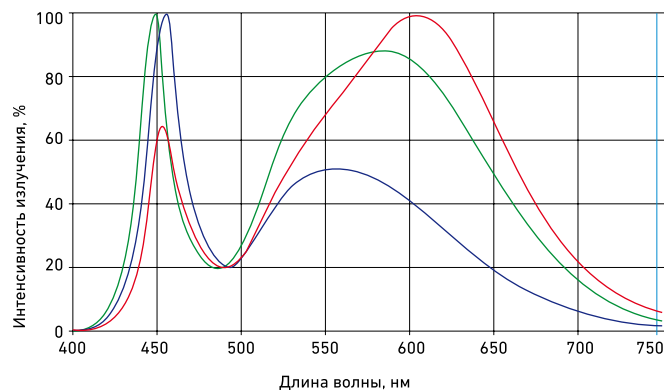


Рис. 41. Спектры излучения «белых» светодиодов разной цветности



Кроме большого срока службы и высокой световой отдачи, светодиоды имеют много других достоинств: высокую надежность; очень высокую устойчивость к внешним воздействующим факторам (окружающей температуре, влажности, механическим нагрузкам); малые габариты; высокий коэффициент использования светового потока; легкую управляемость; полную экологическую безопасность из-за отсутствия ртути и стекла; безопасность обслуживающего персонала. Широкая цветовая гамма и разнообразие углов излучения (от 3-х до 180°, то есть от очень узкого светового пучка до равномерного свечения в полусфере) способствуют использованию светодиодов в различных световых приборах.

В популярной литературе, посвященной светодиодам, среди достоинств этих новых источников света отмечается

«отсутствие выделения тепла». Такое утверждение несколько лет назад встречалось и в серьезных публикациях. Следует сказать, что это является глубоким и серьезным заблуждением, вызванным тем, что до настоящего времени подавляющее большинство выпускаемых светодиодов – это изделия с рабочим током 20 мА, то есть мощностью от 0,04 до 0,08 Вт, в корпусах диаметром 5 мм. Их нагрев действительно настолько мал, что может не учитываться. Но соответственно мал и световой поток – реально не более трех люмен. В последние годы единичная мощность светодиодов увеличилась до 3–5 и даже до 10 Вт, а светодиодных модулей – до десятков ватт, и такие светодиоды, если не принимать специальных мер, при номинальных режимах нагреваются до температуры выше 100 °С. Как сказано выше, при нагревании уменьшается световая отдача светодиодов, а также очень существенно снижается срок службы.

Для обеспечения требуемой температуры р-п перехода необходимо отводить от светодиодов генерируемое ими тепло. Для этого используются радиаторы с большой поверхностью (рис. 42). Сейчас такие радиаторы серийно выпускаются многими фирмами, в том числе и в нашей стране.

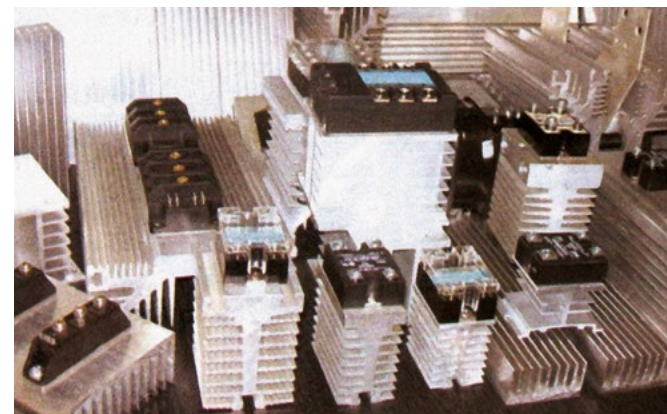


Рис. 42. Радиаторы

Но чтобы радиаторы работали эффективно, необходимо, прежде всего, обеспечить хороший тепловой контакт со светодиодами и одновременно электрическую изоляцию между ними. Для этого используются алюминиевые печатные платы с хорошей теплопроводностью и теплопроводящие пасты и мастики. В последнее время все большее распространение получают керамические радиаторы. Мощные светодиоды часто изготавливаются также в керамических корпусах. Кроме хорошего теплового контакта светодиода и радиатора, необходимо, чтобы тепло от радиатора выводилось наружу, а не оставалось внутри светильника. Поэтому радиаторы крепятся на корпус светильника, который часто также имеет сложную форму с хорошо развитой поверхностью (рис. 43).



Рис. 43. Задняя сторона корпуса светильника

На рис. 44 показаны некоторые типы серийно выпускаемых светодиодов.

В настоящее время светодиоды используются, прежде всего, в светосигнальных приборах – автодорожных и железнодорожных светофорах, информационных табло, указателях и т. п. В последние годы сотни фирм за рубежом и в России начали делать светильники со светодиодами для общего освещения различных помещений, для функционального и декоративного наружного освещения. Широко распространены настольные и переносные светильники со



Рис. 44. Формы светодиодов

светодиодами. Можно сказать, что уже полностью исчезли ручные фонари с лампами накаливания – их вытеснили светодиоды. Исключительно широко применяются светодиоды в светильниках для аварийного освещения.

В Москве почти все перекрестки в пределах Садового кольца, а также Ленинградский проспект, проспект Мира, Третье транспортное кольцо, МКАД и другие магистрали оснащены светофорами и дорожными указателями с использованием светодиодов. На Пушкинской площади, Новом Арбате и в других местах установлены большие (до 50×100 м) светодиодные рекламно-информационные щиты, изображение на которых хорошо видно даже в солнечные дни (например, светодиодный щит на здании института «Гидропроект» на развилке Ленинградского и Волоколамского шоссе).

В России несколько фирм («Оптоган», «Светлана-Оптоэлектроника», НПЦ «ОПТЭЛ») делают светодиоды, по качеству не уступающие зарубежным, а часто и превосходящие их. Например, московская фирма «Корвет» (теперь – «Кавер-Лайт») первой в мире начала делать «полноцветные» светодиоды, в которых красные, зеленые и синие кристаллы объединены в одном корпусе, что позволяет получать практически неограниченное количество цветовых оттенков излучения одного светодиода. Эта же фирма первой в мире стала производить светодиоды в шестигранных корпусах, допускающих сплошной монтаж и создание больших равномерно светящихся поверхностей (например, для железнодорожных светофоров), а также светодиоды с плоскими линзами Френеля.

В научно-производственном центре «ОПТЭЛ» изготавливаются мощные светодиоды и светодиодные сборки (модули) разных цветов, а также инфракрасные диоды. Световая отдача серийных светодиодов этой фирмы – выше 100 лм/Вт. Молодая фирма «Оптоган» в Санкт-Петербурге добилась световой отдачи серийных светодиодных модулей более 160 лм/Вт, что соответствует самым высоким мировым достижениям.

Недостатками светодиодов являются: малая единичная мощность, приводящая к необходимости использования большого их количества для создания необходимых уровней освещенности; необходимость отвода тепла; низкое напряжение питания, требующее включения светодиодов только со специальными понижающими трансформаторами и выпрямителями; довольно высокая цена, особенно белых и синих. Несомненно, что со временем все эти недостатки будут устранены.

Необходимо хотя бы коротко рассказать об органических светодиодах (английское название – Organic Light-Emitting Diode, OLED). Это далеко не новый тип источника

света. Явление электролюминесценции в полимерных материалах было открыто в начале 50-х годов прошлого века. В 1990 году появились сообщения о полимерах с зеленым свечением. В 2000 году группа ученых из Японии и США получила Нобелевскую премию за открытие проводящих органических полимеров.

Для создания органических светодиодов используются тонкопленочные многослойные структуры, состоящие из нескольких слоев электропроводящих полимеров. В качестве материала анода обычно используется окись индия, легированная оловом. Этот материал прозрачен в видимой области спектра. Для изготовления катода используются металлы (алюминий, кальций). При подаче на анод положительного напряжения в проводящем полимере происходит рекомбинация носителей электрического заряда (электронов и дырок), при которой выделяется энергия в виде света.

В настоящее время созданы полимеры, излучающие свет в красной, зеленой и синей областях спектра. Смешивание трех цветов позволяет получить множество цветовых оттенков излучения, в том числе и белый свет. Исходные излучения, в отличие от «обычных» светодиодов, занимают достаточно широкую полосу спектра, поэтому полученный в результате их смешивания белый свет обеспечивает хорошую цветопередачу.

Яркость свечения органических светодиодов регулируется в широких пределах и может достигать 100 000 кд/м². Однако с ростом яркости снижается срок службы светодиодов. Поэтому на практике наиболее широко используется яркость около 1000 кд/м². Такая яркость не оказывает слепящего действия.

Срок службы известных устройств из органических светодиодов, по данным фирм-производителей, составляет около 10 000 часов. Он определяется в основном тем, что полимер, излучающий синий свет, теряет свою эффективность

значительно быстрее, чем излучающие красный и зеленый. Поэтому суммарный белый свет изменяет цветность и ухудшается цветопередача.

Реальная световая отдача органических светодиодов, выпускаемых такими известными фирмами, как Osram, Philips, Verbatim составляет около 50 лм/Вт.

Полимерные слои могут быть очень тонкими (сотые доли миллиметра). Поэтому осветительные приборы с органическими светодиодами очень компактны и легки. Фирма Philips планирует создать прозрачные гибкие панели из органических светодиодов, которые могут открыть совершенно невероятные возможности освещения помещений.

В мае 2013 года японская фирма Panasonic объявила о создании органических светодиодов со световой отдачей 114 лм/Вт (при площади светодиода 1 см²; при площади 25 см² световая отдача равна 110 лм/Вт) и сроком службы более 100 000 часов.

Органические светодиоды излучают свет равномерно по всем направлениям в угле 180°. Они могут работать в широком диапазоне температур – от минус 40 до +70 °С.

Благодаря отсутствию слепящего действия, легкости, хорошей цветопередаче и возможности регулирования, органические светодиоды уже в недалеком будущем могут стать источником света, способным вытеснить с рынка все остальные типы источников. Это в полном смысле слова – источник света будущего.

Недостатки органических светодиодов – неотработанность технологии и очень высокая стоимость (например, цена органической светодиодной панели фирмы Osram – Orbeos CDW-031 диаметром 79 мм – более 100 евро).

На Московской выставке «Интерсвет-2012» одним из наиболее интересных экспонатов был светильник на органических светодиодах, показанный Международной группой компаний «Световые Технологии».

В сводной таблице 27 приводятся достигнутые настоящему времени параметры источников света, их достоинства и недостатки, целесообразные области применения.

Таблица 27. Сводная таблица сравнения источников света

Параметры	***							
	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Световая отдача, лм/Вт	Цветовая температура, К	Индекс цветопередачи Ra	Срок службы, часов	Недостатки	Достоинства
Люминесцентные лампы								
Линейные	4–80	110–7500	25–115	2700–6500	50–90	5000–100000	1,2,3,8	1,2,5
Компактные	4–250	110–20000	25–80	2700–6500	50–90	5000–100000	1,2,3,8	1,2,5
Безэлектродные	4–150	110–12000	50–90	2700–6500	50–90	5000–100000	1,2,3,8	1,2,5
РЛВД	50–1000	1800–58000	36–58	4000–4500	40–55	до 24000	4, 5	2, 8
МГЛ	20–3500	1000–30000	50–120	3000–6000	65–90	500–30000	2, 3, 5	3, 4, 8
НЛВД	35–1000	2000–130000	65–150	около 2000	меньше 25	до 56000	3, 4, 5	1, 2, 8
Лампы накаливания								
Общего назначения	10–1000	70–18000	7–18	2500–2900	100	1000	6, 7, 9	5, 6, 7, 8
Галогенные	3–20000	30–500000	до 30	2700–4000	100	до 1000	6, 7, 9	5, 6, 7, 8
Светодиоды	0,01–100	0,1–6800	до 200	любая	до 90	до 50000	3, 5, 8, 10, 11	1, 2, 3, 4

ВЫВОДЫ

1. Важнейшие параметры источников света: **световая отдача η** ; **срок службы t** .
2. Все массовые электрические источники света делятся на три группы: **тепловые**; **разрядные**; **полупроводниковые**.
3. Каждая группа источников света имеет свои достоинства и недостатки (см. таблицу 26).
4. При выборе источников света предпочтение следует отдавать лампам с **максимальным сроком службы и максимальной световой отдачей**, несмотря на то, что за них приходится платить дороже – первоначальные затраты многократно окупаются при эксплуатации осветительных установок.

РАЗДЕЛ 5

Аппаратура включения и управления

Как было сказано в разделе 4.2, все разрядные лампы имеют падающую вольтамперную характеристику, а напряжение зажигания этих ламп, как правило, выше напряжения сети. Поэтому для включения всех разрядных ламп (кроме «интегрированных» компактных люминесцентных ламп) требуется специальная аппаратура, обеспечивающая зажигание разряда и стабилизацию тока через лампу. Такая аппаратура получила название пускорегулирующей, хотя регулирование светового потока ламп она в большинстве случаев не производит. Более правильное название такой аппаратуры – **аппаратура включения**; в дальнейшем тексте мы будем использовать именно это название.

Сейчас выпускается довольно широкий ассортимент компактных люминесцентных ламп, в которых аппаратура включения объединена («интегрирована») с лампой в общую конструкцию, поэтому применение отдельных аппаратов не требуется. Во всех остальных случаях нужны отдельные балластные сопротивления, стабилизирующие ток разряда, и устройства для зажигания разряда.

Аппаратура включения в общем случае содержит три компоненты: зажигающее устройство, устройство стабилизации тока лампы и устройство, обеспечивающее электромагнитную совместимость источника света и электрической сети.

Для зажигания различных типов разрядных ламп требуется напряжение от сотен вольт до нескольких киловольт (для зажигания горячих ламп – даже десятки киловольт). Такое напряжение создается специальными аппаратами – зажигающими устройствами – или обеспечивается схемными решениями.

Стабилизация тока разрядных ламп всех типов обеспечивается за счет включения последовательно с лампой токоограничивающих элементов. В токоограничивающих элементах неизбежно теряется некоторая мощность, не производя полезного действия. По-этому такие элементы являются пустой, ненужной нагрузкой – балластом. В принципе в качестве балласта могут использоваться любые активные, индуктивные или емкостные сопротивления. Но на практике применяются только индуктивные сопротивления и лишь в специальных ртутно-вольфрамовых лампах – активные в виде нити накала. В качестве индуктивных сопротивлений всегда используются специальные электромагнитные аппараты, называемые дросселями или электромагнитными балластами.

Для обеспечения электромагнитной совместимости ламп с электрической сетью в большинстве случаев используются конденсаторы, включаемые, в основном, прямо на сетевое напряжение параллельно со светильником. И только в светильниках с люминесцентными лампами иногда используются другие варианты включения.

В последние годы получили очень широкое распространение электронные аппараты включения люминесцентных и маломощных металлогалогенных и натриевых ламп. В таких аппаратах совмещены все три функции – зажигания, стабилизации тока и электромагнитной совместимости.

Для включения ламп накаливания с номинальным напряжением 220 В никакой специальной аппаратуры не требуется. Однако в настоящее время широко распространены

галогенные лампы накаливания низкого напряжения с номинальным напряжением, как правило, 12 В, реже – 6 или 24 В. Для включения таких ламп в стандартные электрические сети с напряжением 220 В нужны понижающие трансформаторы, которые могут быть как традиционными электромагнитными, так и электронными. Специальная аппаратура требуется и для включения в сеть с напряжением 220 В новых источников света – светодиодов.

В этой главе подробно рассмотрены все названные аппараты: электромагнитные и электронные аппараты включения разрядных ламп (в том числе люминесцентных), электромагнитные и электронные трансформаторы для галогенных ламп накаливания низкого напряжения, устройства управления (блоки питания) светодиодов, зажигающие устройства и системы управления освещением. В главу также включен параграф «Электроустановочные изделия и шинопроводы» с описанием устройств, с помощью которых к светильникам, лампам и другим элементам подводится электрическое напряжение.

5.1. Электромагнитные аппараты

В качестве балластов в электромагнитных аппаратах всегда используются дроссели, а для люминесцентных ламп – иногда совокупность дросселя и конденсатора.

Дроссели – это катушки, намотанные медным изолированным проводом на сердечнике, собранном из лакированных пластин или ленты из специальных сортов электротехнической стали. Индуктивность дросселей рассчитывается так, чтобы сумма напряжений на дросселе и лампе (с учетом разности фаз) равнялась напряжению питающей сети.

Индуктивность дросселя определяется числом витков в катушке, типом применяемой стали для сердечника и величиной

зазора в сердечнике. Как правило, пластины для сердечника делаются в виде буквы Ш и перемычки над ней или половинок буквы О. Катушки наматываются на литом или штампованном каркасе из достаточно теплостойкой пластмассы. Наборы пластин вставляются в отверстие каркаса с двух сторон, а между ними прокладкой из электротехнического картона или алюминия создается зазор строго определенной величины. При протекании по катушке переменного электрического тока сердечник перемагничивается с частотой тока. На это расходуется определенная энергия, которая тем меньше, чем тоньше пластины сердечника. Именно поэтому сердечники не делаются из цельных кусков стали, что было бы проще и дешевле, а набираются из отдельных пластин или ленты. Зазор между половинками сердечника необходим для того, чтобы исключить магнитное насыщение сердечника, приводящее к уменьшению индуктивности дросселя и, как следствие, к росту тока через лампу. Кроме потерь на перемагничивание, в дросселях неизбежны потери в проводах катушки, так как любой провод создает какое-то сопротивление электрическому току.

Диаметр провода, которым наматывается катушка дросселя, выбирается на основании компромисса между двумя противоречивыми требованиями: чем больше диаметр, тем меньше потери мощности в катушке, но тем больше расход дорогой меди, то есть тем дороже и тяжелее дроссель. На практике диаметр провода выбирают таким, чтобы нагрев дросселя при работе не превышал заданной величины. На дросселях ставится контрольная точка «С», а в числе параметров дросселей указывается температура в этой точке, например, $t_c = 130\text{ }^\circ\text{C}$. Это означает, что при нормальной работе светильника с таким дросселем температура на нем не будет выше указанной (в нашем примере $130\text{ }^\circ\text{C}$).

Потери мощности в дросселях составляют от 10 до 100% от мощности лампы (чем больше мощность лампы, тем меньше доля потерь). За рубежом дроссели для люминесцентных ламп по уровню потерь делятся на три класса: класс D – «нормальные потери» (для ламп мощностью 18 Вт – до 30%, 36 Вт – 25%, 58 Вт – 20%); класс С – «пониженные потери» (соответственно 25, 20 и 15%); класс В – «особо низкие потери» (20, 15 и 12%). С целью экономии электроэнергии и защиты окружающей среды решением Международной экономической комиссии Европейского Союза с декабря 2001 года производство дросселей класса D должно было прекратиться во всех странах Европейского Союза, а с конца 2005 года должно быть прекращено производство дросселей и класса С. Как и все подобные решения, полностью оно не выполнено до сих пор – многие фирмы продолжают выпускать и продавать (особенно в Россию и страны СНГ) дроссели класса С. В Российском ГОСТ 19680 нет деления дросселей на классы по уровню потерь мощности. Опыт показывает, что практически все российские дроссели относятся к классу D.

На рис. 45 показана самая простая и распространенная схема включения люминесцентных ламп – **стартернодроссельная**. Для ограничения тока через лампу на требуемом уровне используется **дроссель 1**. Параллельно лампе и последовательно с обоими ее электродами включен **стартер 2**.

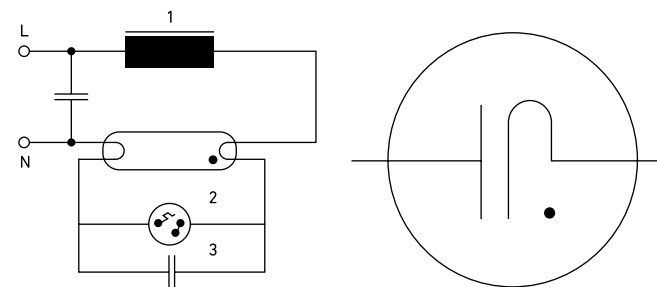


Рис. 45. Схема включения люминесцентных ламп (слева)

Рис. 46. Устройство стартера (справа)



Рис. 47. Стартер

Стартер – это тоже разрядный прибор, который должен удовлетворять одному требованию: напряжение зажигания разряда в нем должно быть ниже напряжения сети, но выше напряжения горения лампы. Устройство стартера показано на рис. 46. Один из контактов в стартере делается из биметаллической ленты, то есть из ленты, полученной путем жесткого соединения двух металлов с разными тепловыми коэффициентами расширения. Стартеры во всех странах производятся в одном конструктивном исполнении – в виде цилиндра с двумя контактами на дне (рис. 47). Стартеры выпускаются на два номинальных напряжения сети: 110–130 В и 220–230 В.

В 80-е годы некоторые зарубежные фирмы начали производство электронных стартеров, в которых вместо миниатюрной газоразрядной лампы с биметаллическими электродами была установлена электронная схема, обеспечивающая в комбинации с обычным дросселем прогрев электродов и подачу на лампу высоковольтного поджигающего импульса. Конструктивное исполнение таких стартеров и схемы их включения не отличались от традиционных. Особых преимуществ электронные стартеры не имеют, а цена их значительно выше. В связи с массовым производством электронных аппаратов включения люминесцентных ламп электронные стартеры сейчас почти не производятся.

При подаче напряжения на такую схему (рис. 38) в стартере возникает разряд, и ток идет по цепи: дроссель – один электрод лампы – стартер – другой электрод лампы. Величина этого тока ограничена дросселем. Ток нагревает электроды лампы и стартера, биметаллический электрод стартера начинает изгибаться и в какой-то момент замыкается с другим электродом. После замыкания электроды стартера начинают остывать и через некоторое время замыкаются. В момент размыкания на дросселе образуется большой импульс напряжения. Электроды лампы к этому

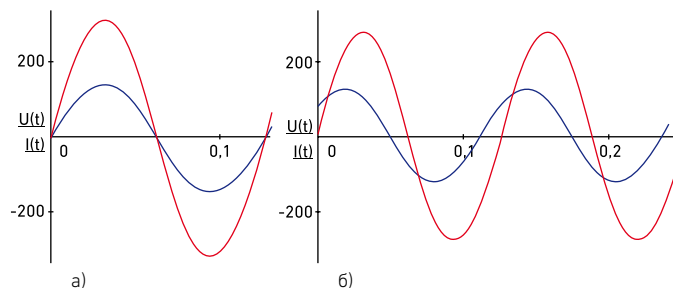
времени успевают нагреться до температуры, достаточной для эмиссии электронов из них. Если импульс напряжения на дросселе наложится на сетевое напряжение в нужный момент («совпадет по фазе»), то сумма напряжений сети и дросселя может оказаться больше напряжения зажигания лампы с прогретыми электродами, и лампа загорится. Так как вероятность этого достаточно мала, лампа почти никогда не загорается с первой попытки – всем хорошо известно мигание ламп при включении. Эти мигания неприятны и являются еще одним недостатком люминесцентных ламп, работающих с электромагнитными балластами. Стартер при миганиях создает заметные радиопомехи, поэтому параллельно ему включается **помехоподавляющий** конденсатор 3 (конструктивно стартер и конденсатор объединены в одном корпусе).

В лучших дросселях для ламп мощностью 36 (40) Вт теряется около 6 ватт, (примерно 15% мощности лампы); у мало-мощных ламп (4 – 11 Вт) потери мощности в дросселях могут быть равны мощности самих ламп. Поэтому световая отдача ламп в реальных светильниках всегда ниже той, которая указывается в документации для «голых» ламп.

Дроссели создают еще один неприятный момент – **сдвиг фаз между током и напряжением**. Напряжение в электро-сетях имеет синусоидальную форму. Если в лампах накаливания ток всегда совпадает по фазе с напряжением и точно повторяет его форму (рис. 48), то в любом дросселе ток отстает от напряжения на какую-то долю периода, которая измеряется в градусах.

Если полный период равен 360° , то «чистый» дроссель вызывает отставание тока от напряжения ровно на четверть периода или на 90° . В совокупности с лампой этот «сдвиг по фазе» всегда меньше 90° и зависит от качества самого дросселя. На этикетках дросселей во всех странах указывается не сам угол, на который ток отстает от напряжения при включении дросселя с лампой соответствующей мощности,

Рис. 48. Форма напряжения и тока в лампах накаливания (а) и в люминесцентных лампах в стартернодрозсельной схеме (б)



а косинус этого угла – $\cos \varphi$, называемый также «коэффициентом мощности». Наглядно пояснить смысл и значение $\cos \varphi$ можно следующим примером. Представим себе, что ток и напряжение – это пара лошадей, тянущих одну повозку. Если обе лошади тянут повозку в одну сторону, иначе говоря, между ними нет «сдвига по фазе», то эффект от этой пары будет наибольшим. Но если одна из лошадей вздумает изменить направление движения, то результат будет тем хуже, чем больше будет угол между направлениями тяги двух лошадей.

Если сдвига по фазе между током и напряжением нет, то мощность, потребляемая от сети, равна произведению тока на напряжение. Но если этот сдвиг есть, то мощность складывается из двух составляющих – активной и реактивной. Активная мощность – это та, которая производит полезную работу (в нашем случае – генерирует свет). Она будет определяться произведением уже трех величин – тока, напряжения и косинуса угла, на который ток отстает от напряжения:

$$P = U \cdot I \cos \varphi$$

Интересно отметить, что счетчики электроэнергии учитывают только активную мощность. Поэтому при любом сдвиге фаз мы будем платить только за потребляемую активную

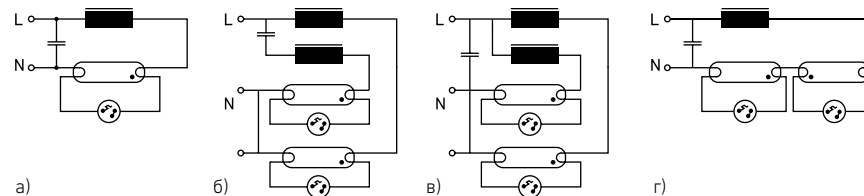
энергию (произведение активной мощности на время). Но токовая нагрузка на провода будет меняться при этом обратно пропорционально $\cos \varphi$:

$$I = P / U \cdot \cos \varphi.$$

Кроме нагрузки на провода, низкое значение $\cos \varphi$ увеличивает нагрузку трансформаторных подстанций и, в конечном итоге, электростанций. Поэтому во всех странах для всех крупных потребителей электроэнергии величина $\cos \varphi$ жестко нормируется.

Чтобы увеличить $\cos \varphi$, производится **компенсация реактивной мощности**. Для этого в светильниках с люминесцентными и другими разрядными лампами включается еще один элемент – **компенсирующий конденсатор**. Схемы включения такого конденсатора могут быть разными; все их варианты показаны на рис. 49. Чаще всего используется схема параллельной компенсации (а), позволяющая поднимать значения $\cos \varphi$ до 0,85.

Рис. 49. Схемы компенсации коэффициента мощности



Емкость компенсирующего конденсатора определяется мощностью ламп (таблица 28).

Мощность, Вт	5/7/9/11	18/20	36/40	58/65
Параллельная компенсация (250 В)	2,0	4,5	4,5	7
Последовательная компенсация (480 В)	–	2,7	3,4	5,3

Таблица 28. Емкости компенсирующих конденсаторов (мкФ)

Есть еще одно неприятное явление, связанное с дросселями – при работе на частоте 50 Гц все дроссели создают гудящий звук той или иной интенсивности. По уровню производимого шума дроссели в нашей стране делятся на четыре класса: с нормальным, пониженным, очень низким и особо низким уровнем шума (в соответствии с ГОСТ 19680 они маркируются буквами Н, П, С и А).

В литературе дроссели часто называют «**пускорегулирующими аппаратами**» (ПРА). Это абсолютно неверное название, так как из сказанного выше ясно, что дроссель сам по себе не может обеспечить ни «пуск» ламп, ни их регулирование. Для зажигания ламп необходимо наличие не только дросселя, но и стартера, а регулирование светового потока – это очень сложная техническая проблема, которую удалось решить только в последние годы.

Так как одним из условий работы стартернодроссельной схемы включения люминесцентных ламп является то, что напряжение зажигания стартера должно быть выше, чем напряжение горения лампы, то после зажигания лампы стартер как бы выключается из работы, и ток через него не идет. Следовательно, не идет и ток прогрева электродов лампы, а для нагрева электродов и обеспечения достаточной эмиссии электронов из них хватает тока разряда нормально работающей лампы. Если же мы начнем регулировать световой поток лампы уменьшением тока разряда, то этого тока не хватит для разогрева электродов до нужной температуры, разряд делается неустойчивым, и лампа гаснет. Если мы хотим регулировать световой поток лампы, то необходимо каким-либо образом обеспечить нагрев электродов до требуемой температуры. Именно поэтому долгое время считалось, что люминесцентные лампы вообще не поддаются регулированию.

Схема включения ртутных ламп высокого давления проще, чем люминесцентных ламп (рис. 50).

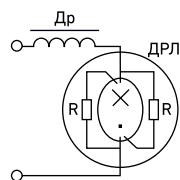


Рис. 50. Схема включения ламп типа ДРЛ

Благодаря наличию поджигающих электродов, расположенных очень близко к основным, между этими электродами разряд возникает при напряжениях ниже сетевого. Этот разряд очень слаб, так как ток его ограничен встроенными в лампу сопротивлениями R , но он создает начальную ионизацию газа в горелке, за счет которой разряд переходит на основные электроды. Ток основного разряда ограничивается только дросселем, и величина его в первое время после включения в 2–3 раза больше, чем после полного разгорания лампы. Ток разряда разогревает основные электроды до температуры, обеспечивающей достаточную эмиссию электронов из них (1000–1200 °С). Из-за большого тока разряда начинают разогреваться стенки горелки, находящаяся на них ртуть постепенно полностью испаряется, и процессы в лампе стабилизируются. Процесс разгорания длится достаточно долго – от 7 до 10 минут.

Для включения ламп типа ДРЛ требуются только дроссели. Как и в схемах с люминесцентными лампами, в дросселях для ДРЛ теряется определенная мощность (10–15% от мощности лампы), а для компенсации сдвига фаз между током и напряжением необходимо включение компенсирующих конденсаторов. При этом используется только параллельная компенсация.

Усредненные параметры дросселей для разных типов ламп даны в таблицах 29–32; параметры компенсирующих конденсаторов – в таблице 33.

Класс дросселя	Потери мощности, Вт		
	С лампой 18 Вт	С лампой 36 Вт	С лампой 58 Вт
D	12	10	14
C	10	9	12
B2	8	7	9
B1	6	6	8

Таблица 29. Потери мощности в дросселях для люминесцентных ламп

Таблица 30.
Параметры
дросселей для
ламп ДРЛ

Мощность лампы, Вт	Потери, Вт	cos φ	Габариты, мм			Масса, кг
			L	D	H	
80	11	0,45	120	85	90	1,9
125	15	0,53	120	85	90	3,0
250	22	0,53	145	135	100	4,0
400	25	0,53	175	140	150	6,5

Таблица 31.
Параметры
дросселей для
ламп МГЛ

Мощность лампы, Вт	Потери, Вт	cos φ	Габариты, мм			Масса, кг
			L	D	H	
70	14,2	0,39	111	66	53	1,5
100	16	0,43	111	66	53	1,5
150	19,5	0,42	133	66	53	2,0
250	28	0,42	135	85	70	3,15
400	29	0,50	135	85	70	3,18

Таблица 32.
Параметры
дросселей для
ламп НЛВД

Мощность лампы, Вт	Потери, Вт	cos φ	Габариты, мм			Масса, кг
			L	D	H	
70/50	14/9	0,39	111	66	53	1,5
100	16	0,43	111	66	53	1,5
250	28	0,42	135	70	85	3,15
400	32	0,40	165	70	85	4,3
1000	55	0,43	196	105	90	10,0

Таблица 33.
Емкости компенсаторов для ламп ДРЛ, НЛВД, МГЛ (в мкФ)

Мощность лампы, Вт	70/80	100/125	150	250	400
Емкость для ДРЛ	8	10	-	18	25
Емкость для НЛВД	12	12	20	32	45
Емкость для МГЛ	12	12	20	32	35

В обозначениях дросселей указывается тип лампы, мощность, условное обозначение конструктивного исполнения.

Схемы включения разрядных ламп с дросселями просты, надежны и поэтому получили исключительно широкое распространение, а для ламп высокого давления являются почти безальтернативными. Однако эти схемы имеют целый ряд недостатков:

1. В дросселях бесполезно теряется мощность (в светильниках с люминесцентными лампами малой мощности потери в дросселях соизмеримы с мощностью лампы).
2. Дроссели создают сдвиг по фазе между напряжением и током, что требует применения дополнительных устройств – компенсирующих конденсаторов.
3. Дроссели при работе создают гудящий звук.
4. Люминесцентные лампы в стартернодроссельных схемах при включении мигают, что не только неприятно для глаз, но и приводит к сокращению срока службы лампы и создает дополнительные радиопомехи.
5. Все разрядные лампы при работе с дросселями генерируют пульсирующий свет, причем глубина пульсаций может достигать 100%.
6. Дроссели тяжелы, что существенно влияет на массу и конструкцию светильников с разрядными лампами. Необходимость применения компенсирующих конденсаторов только усугубляет этот недостаток.

5.2. Электронные аппараты включения

Многие недостатки люминесцентных ламп и дросселей устраняются при использовании **электронных высококачественных аппаратов включения (ЭПРА)**.

В последние годы такие аппараты стали уже достаточно привычными: в странах Европейского Союза около половины всех светильников с люминесцентными лампами

делается с электронными схемами включения (в Швеции и Австрии даже больше половины). К сожалению, в России такие аппараты используются еще недостаточно широко.

На рис. 51 показана структурная схема современного ЭПРА, содержащая все основные узлы: входной фильтр подавления высокочастотных помех 1, выпрямитель 2, корректор формы потребляемого от сети тока 3, управляющий каскад 4, усилитель мощности 5, выходной каскад 6. Различия схем ЭПРА заключаются, в основном, в принципиальной схеме управляющего каскада, так как остальные узлы к настоящему времени отработаны настолько, что являются чуть ли не унифицированными.

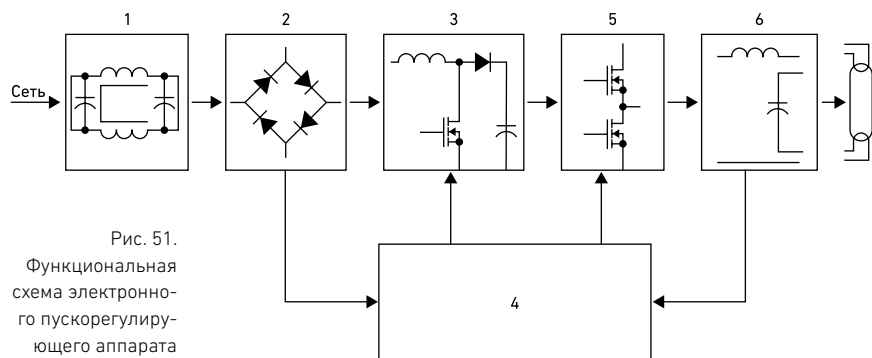


Рис. 51.
Функциональная
схема электронно-
го пускорегулиру-
ющего аппарата

Для подавления высокочастотных помех, создаваемых ЭПРА в электрической сети, используются П-образные или двойные П-образные фильтры из индуктивностей в несколько мГн и емкостей до 1000 нФ. Как правило, дополнительно для этой же цели включается емкость порядка единиц нФ между одним из питающих проводников (обычно нейтралью) и заземляющим проводом. В качестве выпрямителя может быть использован любой стандартный мостик, рассчитанный на соответствующие токи и напряжения.

Коррекция формы потребляемого тока осуществляется с помощью достаточно мощных транзисторов (обычно полевых), управляемых специальными устройствами. Для этого разработаны и серийно выпускаются интегральные микросхемы, отслеживающие форму тока.

«Сердцем» любого ЭПРА является управляющий каскад 4. В настоящее время еще встречаются схемы ЭПРА, в которых для управления силовыми транзисторами усилителя мощности используются автогенераторы на дискретных элементах. Однако в подавляющем большинстве ЭПРА для управления усилителем мощности применяются специально созданные интегральные микросхемы. Современные микросхемы с небольшим количеством внешних элементов (конденсаторов и резисторов) обеспечивают предварительный прогрев электродов ламп, зажигание, рабочий режим, стабилизацию параметров ламп в рабочем режиме, защиту от аварийных ситуаций (перегрузка по току, работа при неисправных лампах или без ламп, короткое замыкание выходной цепи и т. п.).

Сигналы с выхода интегральных микросхем подаются на усилитель мощности 5. В качестве усилителей в настоящее время используются, в основном, полевые транзисторы, хотя изредка еще встречаются схемы и на биполярных транзисторах.

К выходу усилителя мощности подключается выходной каскад – токоограничивающий дроссель и лампа, параллельно которой включен конденсатор. Конденсатор и дроссель образуют резонансный контур, резонансная частота которого близка к частоте импульсов на выходе усилителя мощности. Из физики известно: при совпадении резонансной частоты цепочки из последовательно включенных дросселя и конденсатора с частотой подаваемого на нее напряжения суммарное сопротивление цепочки равно нулю. Ток через цепочку и напряжение на каждом из элементов схемы

увеличиваются до бесконечности. Реально в электронных аппаратах включения частота напряжения на выходе усилителя мощности β близка к резонансной частоте цепочки из дросселя и конденсатора (но никогда не равна ей!). Поэтому при включении аппарата через электроды лампы протекает ток, достаточный для их разогрева до необходимой температуры, а на конденсаторе создается напряжение, необходимое для возникновения разряда в лампе с подогретыми электродами. После зажигания лампы напряжение на ней падает до напряжения горения, а частота напряжения преобразователя автоматически изменяется так, чтобы через лампу протекал ток заданной величины.

В большинстве современных аппаратов блок управления выполняет еще две функции: **стабилизацию тока лампы** при колебаниях сетевого напряжения и **коррекцию коэффициента мощности**. Коэффициент мощности, обычно обозначаемый греческой буквой γ , – это отношение мощности, потребляемой лампой вместе с аппаратом, к производству тока и напряжения:

$$\gamma = P / UI.$$

При синусоидальной форме тока и напряжения коэффициент мощности – это тот самый $\cos \varphi$, о котором мы говорили при рассмотрении стартернодроссельной схемы включения. Но при питании ламп через электронные аппараты форма тока искажается (как говорят, «в токе появляются высшие гармоники»), и коэффициент мощности уже не совпадает с $\cos \varphi$. У лучших современных аппаратов коэффициент мощности близок к 1 (0,95–0,99). Функции исправления формы потребляемого тока («подавление высших гармоник») обычно выполняет входной фильтр 1. Подавление высших гармоник и коррекция формы потребляемого тока обеспечивают электромагнитную совместимость аппарата с питающей сетью.

В некоторых аппаратах блок управления 4 выполняет еще одну функцию – обеспечивает **регулирование светового потока лампы**, чаще всего за счет изменения частоты напряжения преобразователя. **Строго говоря, только такие аппараты и могут называться пускорегулирующими, так как только они обеспечивают и пуск, то есть зажигание, ламп, и регулирование их светового потока.**

Принципиальное отличие электронных схем включения люминесцентных ламп от стартернодроссельных заключается в том, что лампы в таких схемах питаются током высокой частоты, обычно 20–40 кГц, вместо 50 Гц. Высокочастотное питание ламп дает следующие положительные результаты:

1. Из-за особенностей высокочастотного разряда увеличивается световая отдача ламп. Это увеличение тем больше, чем короче лампа: у ламп мощностью 36 (40) Вт световая отдача возрастает примерно на 10%, у ламп мощностью 18 (20) Вт – на 15%, у ламп мощностью 4 Вт – на 40%.
2. Глубина пульсаций светового потока с частотой 100 Гц уменьшается примерно до 5%.
3. Исключаются звуковые помехи, создаваемые дросселями.
4. Исключается мигание ламп при включении.
5. Исключается необходимость компенсации реактивной мощности (коррекции $\cos \varphi$).
6. За счет исключения миганий при включении и точного прогрева электродов повышается срок службы ламп (до полутора раз).
7. Появилась возможность регулирования светового потока ламп.
8. Электронные аппараты значительно легче, чем дроссели и компенсирующие конденсаторы.

Таким образом, ЭПРА устраняют большинство недостатков люминесцентных ламп со стартернодроссельными схемами включения. Но эти аппараты имеют и свой недостаток,

препятствующий их повсеместному внедрению: **цена электронных аппаратов сегодня значительно выше, чем дросселей, стартеров и компенсирующих конденсаторов, вместе взятых.** Но, тем не менее, как уже было сказано, в странах Европейского Союза доля светильников с электронными аппаратами приближается к 50% всех светильников с люминесцентными лампами.

Необходимо отметить, что люминесцентные лампы нового поколения в колбах диаметром 16 мм принципиально могут работать только с электронными аппаратами. Это обстоятельство дает дополнительные преимущества светильникам с такими лампами.

На рис. 52 показаны электронные аппараты включения для линейных и компактных люминесцентных ламп, разрядных ламп высокого давления, а также устройства управления для светодиодов и электронные трансформаторы для галогенных ламп накаливания.

В последние годы началось довольно широкое внедрение электронных аппаратов включения разрядных ламп высокого давления, в частности, металлогалогенных, совмещающих функции зажигающего устройства и дросселя. Высокочастотное питание ламп высокого давления не дает таких преимуществ, как у люминесцентных ламп, и, кроме того, приводит к неустойчивости разряда (так называемому акустическому резонансу). Поэтому, в отличие от люминесцентных ламп, лампы высокого давления через такие аппараты питаются не высокочастотным током, а током прямоугольной формы с частотой 80–150 Гц. Электронные аппараты включения значительно (в 3–4 раза) легче дросселей и, кроме того, сочетают функции балласта и зажигающего устройства, а иногда и компенсирующего конденсатора. Металлогалогенные лампы с керамическими горелками, как правило, рекомендуется использовать только с электронными аппаратами.



Рис. 52. Электронные аппараты включения различных источников света

Питание ламп током прямоугольной формы приводит к значительному снижению глубины пульсаций светового потока и улучшению некоторых параметров ламп (срока службы и световой отдаче). За рубежом такие аппараты выпускаются только для ламп небольшой мощности (до 150 Вт).

Параметры аппаратов разных фирм мало отличаются друг от друга. Некоторые фирмы выпускают аппараты, способные работать с лампами не одного, а нескольких номиналов мощности. Практически все крупные фирмы производят и аппараты, обеспечивающие регулирование светового потока ламп, то есть электронные пускорегулирующие аппараты (ЭПРА) в полном смысле этого понятия. Кроме обеспечения наиболее комфортного освещения, ЭПРА позволяют создавать и системы автоматизированного управления освещением, дающие экономию электроэнергии до 75%. Параметры некоторых типов ЭПРА даны в таблице 34.

Мощность лампы, Вт	Потери мощности, Вт	Габариты, мм			Масса, кг
		L	D	H	
Нерегулируемые					
18	3	234	40	28	0,27
36	4	234	40	28	0,27
58	6	234	40	28	0,27
2×18	4	234	40	28	0,28
2×36	6	234	40	28	0,28
2×58	10	234	40	28	0,28
3×18	7	234	40	28	0,28
4×18	10	234	40	28	0,28
14	3	280	30	21	0,20
21	3	280	30	21	0,20
35	3	280	30	21	0,20
39	4,6	280	30	21	0,20
54	4,2	280	30	21	0,20

Таблица 34. Типовые параметры электронных аппаратов включения люминесцентных ламп

Мощность лампы, Вт	Потери мощности, Вт	Габариты, мм			Масса, кг
		L	D	H	
2×14	4	360	30	21	0,26
3×14	8	360	30	21	0,26
4×14	12,8	360	30	21	0,26
2×39	6,5	360	30	21	0,26
2×54	8,5	360	30	21	0,26
Регулируемые					
14	3,8	360	30	21	0,26
2×14	7,6	360	30	21	0,35
28	4,0	360	30	21	0,26
2×28	5,0	360	30	21	0,26
35	3,0	360	30	21	0,26
2×35	5,0	425	30	21	0,36

Коэффициент мощности всех аппаратов не менее 0,95.

В последние годы на российском рынке появились сравнительно дешевые ЭПРА, изготавливаемые, в основном, в странах азиатско-тихоокеанского региона. Понятно, что существенно снизить цену аппаратов можно только за счет упрощения их схем, а это возможно лишь при условии исключения некоторых функций. «Дешевые» аппараты обеспечивают работу люминесцентных ламп, но обладают целым рядом существенных недостатков:

1. Включение ламп, как правило, производится без предварительного прогрева электродов, что при частых включениях приводит к сокращению срока службы.
2. В «дешевых» аппаратах нет стабилизации режима ламп при колебаниях сетевого напряжения.
3. Как правило, в «дешевых» аппаратах нет компенсации реактивной мощности, что требует использования внешних компенсирующих конденсаторов.

4. Нет коррекции формы потребляемого тока, поэтому аппараты не соответствуют требованиям Европейских и Российских норм по электромагнитной совместимости.
5. Большинство «дешевых» аппаратов не может работать на постоянном токе, что препятствует их использованию в светильниках аварийного освещения.
6. Срок службы «дешевых» аппаратов примерно в два раза меньше.
7. В некоторых аппаратах недостаточное сглаживание пульсаций выпрямленного сетевого напряжения приводит к заметной модуляции высокочастотного напряжения, подаваемого на лампу. В результате этого не устраняется один из главных недостатков стартернодроссельных схем – большая глубина пульсаций светового потока.

Эти недостатки приводят к увеличению эксплуатационных расходов в осветительных установках с такими аппаратами и сводят на нет выигрыш в цене по сравнению с высококачественными ЭПРА. Кроме того, производители светильников часто оказываются в неловком положении, так как светильники не соответствуют требованиям нормативных документов (в частности, по электромагнитной совместимости и cos φ).

5.3. Аппараты включения галогенных ламп накаливания низкого напряжения

Для включения галогенных ламп накаливания с номинальным напряжением 6, 12 и 24 В используются обычные электромагнитные или электронные трансформаторы. Компенсации реактивной мощности при этом не требуется, так как все лампы накаливания – это чисто активная нагрузка ($\cos \varphi = 1$). Электромагнитные трансформаторы просты, надежны, дешевы и получили очень широкое распространение в осветительных установках с галогенными лампами.

Однако схемы питания с электромагнитными трансформаторами имеют ряд недостатков:

1. Напряжение на выходе трансформатора прямо пропорционально входному напряжению. Поэтому все колебания сетевого напряжения передаются на лампу. Это приводит к нестабильности режима ламп, а при скачках сетевого напряжения, нередких в наших электросетях, заметно сокращают срок службы ламп.
2. Напряжение на выходе трансформаторов зависит от нагрузки. Если номинальная мощность трансформатора, например, равна 105 Вт, то к нему может быть подключено три лампы мощностью 35 Вт. Если же одна из ламп выходит из строя или просто не включена, то напряжение на двух оставшихся лампах может превысить номинальное, что ведет к сокращению их срока службы.
3. Как было сказано в разделе 4.2, электрическое сопротивление холодных ламп в 12–20 раз меньше, чем работающих, причем у галогенных ламп эта цифра ближе к максимуму. Это приводит к резким броскам потребляемого от сети тока – ток в момент включения многократно превышает рабочий, что усложняет требования к подводным проводам и защитным аппаратам (предохранителям).
4. Для регулирования светового потока требуется применение дополнительных устройств (автотрансформатора, темнителя).
5. Электромагнитные трансформаторы тяжелы, что увеличивает массу осветительных приборов.

Как и в случае с люминесцентными лампами, на помощь в преодолении этих недостатков пришла электроника – еще в 80-е годы прошлого века на рынке появились электронные трансформаторы. Электронный трансформатор – это аппарат, состоящий из выпрямителя сетевого напряжения и преобразователя выпрямленного напряжения

в высокочастотное переменное напряжение заданной величины. Преобразователь построен так, чтобы выходное напряжение было стабилизированным и не зависело ни от колебаний сетевого напряжения, ни от нагрузки (естественно, в определенных пределах). Кроме того, выходное напряжение после включения плавно нарастает в течение 1–2 секунд. Благодаря этому исключаются броски потребляемого от сети тока. Высокочастотный преобразователь неизбежно создает помехи и искажает форму потребляемого от сети тока. Для исключения помех и обеспечения требований норм по электромагнитной совместимости в схему электронных трансформаторов вводятся корректоры формы тока.

Электронные трансформаторы содержат внутренние устройства, защищающие их от коротких замыканий, перегрева и токовой перегрузки. Многие фирмы выпускают электронные трансформаторы, обеспечивающие плавное регулирование светового потока ламп от номинального значения до нуля, что значительно расширяет области применения галогенных ламп. Регулирование при этом, как и в ЭПРА для люминесцентных ламп, может быть аналоговым или цифровым в том или ином стандарте, или осуществляться потенциометром.

Высокочастотное питание ламп накаливания, в отличие от люминесцентных ламп, не дает никаких преимуществ по сравнению с питанием постоянным током или переменным током низкой частоты (50 Гц). Более того, высокочастотное питание в данном случае имеет свои недостатки: во-первых, электрическое сопротивление проводов на высокой частоте больше, чем на низкой или на постоянном токе, во-вторых, – появляются радиопомехи. Радиопомехи исходят, в основном, от проводов, соединяющих трансформатор с лампами. Поэтому фирмы-изготовители электронных трансформаторов всегда указывают максимальную длину проводов (обычно 2 метра).

Для преодоления этих недостатков некоторые фирмы производят трансформаторы с выпрямленным выходным напряжением. Длина проводов, подключаемых к таким трансформаторам, – до 20 метров. Введение выпрямителя выходного напряжения усложняет схему трансформатора, несколько понижает его КПД и увеличивает стоимость, но значительно повышает гибкость и функциональные возможности осветительных установок с галогенными лампами накаливания низкого напряжения.

5.4. Аппаратура включения светодиодов

В соответствии с проектом ГОСТ на терминологию светодиодов аппаратура включения светодиодов называется «Устройством управления». Распространенные сегодня названия «драйвер» и «конвертор» не соответствуют ГОСТ и рассматриваются как жаргонные.

Для питания светодиодов, как и галогенных ламп накаливания, требуется низкое напряжение. Но если для ламп может использоваться как переменное, так и постоянное напряжение, то для светодиодов требуется только постоянное. Величина этого напряжения, как было сказано в разделе 4.4, зависит от цвета излучения: для красных светодиодов это 1,9–2,1 В, для зеленых – 2,5–3 В, для синих и белых – от 3 до 4 В.

Параметры светодиодов зависят от протекающего через них тока гораздо сильнее, чем от приложенного к светодиоду напряжения. Поэтому большинство устройств управления – это источники стабилизированного тока. Сегодня мощные светодиоды выпускаются с номинальным рабочим током 350, 700 или 1050 мА, маломощные светодиоды – от 5 до 20 мА, светодиоды средней мощности – от 50 до 100 мА.

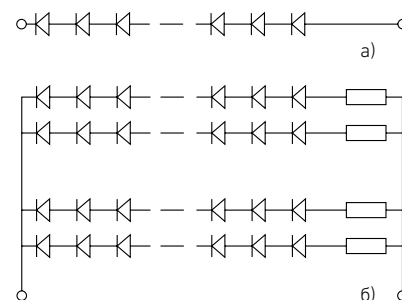
Выходное напряжение устройств управления – от трех до 480 В. К одному аппарату может быть подключено

практически любое количество светодиодов; ограничение накладывают выходные параметры устройства – мощность, ток и напряжение. Рыночный ассортимент устройств управления сегодня огромен; серийно выпускаются сотни типов таких устройств с различными выходными параметрами.

Как правило, КПД устройств управления очень высок – не ниже 85%. Большинство устройств делается с коррекцией коэффициента мощности ($\cos \varphi > 0,9$). К сожалению, часто встречаются устройства с высокими пульсациями выходного напряжения (больше 20%). Для уличного и декоративного освещения это не имеет большого значения, но для освещения помещений с длительным пребыванием людей, помещений с компьютерами и промышленных помещений со станками применение таких устройств управления абсолютно не допустимо.

Из-за малой единичной мощности светодиоды редко используются поодиночке. Группы светодиодов или светодиодных модулей обычно соединяются в цепочки последовательно. Количество светодиодов или модулей в цепочках подбирается так, чтобы суммарное напряжение на них было равно или несколько ниже выходного напряжения устройства управления (рис. 53).

Принцип работы устройств управления не отличается от принципа работы электронных трансформаторов для



галогенных ламп накаливания, но с обязательным выпрямлением выходного напряжения.

Светодиоды легко поддаются регулированию. Поэтому практически все устройства управления могут работать в режиме регулирования, которое, как и при традиционных источниках света, может быть аналоговым, цифровым или потенциометрическим. Цифровое регулирование светового потока светодиодов позволяет создавать бесконечно разнообразные цветодинамические картины. Чередование цветов и интенсивности света может быть заранее запрограммировано. Аппараты, предназначенные для программирования цветодинамических режимов освещения, называются секвенсорами. Крупные фирмы, производящие светодиоды и устройства управления, обычно изготавливают и секвенсоры, а также усилители мощности для подключения многих тысяч светодиодов (например, для рекламно-информационных табло, установленных на многих площадях в центре Москвы).

Для упрощения включения и расширения областей использования светодиодов некоторые фирмы выпускают готовые светодиодные цепочки разных цветов (а иногда и многоцветные) в виде линеек, гибких лент, наборов светодиодов на общей плате (модулей или кластеров) и т. п. Такие цепочки или модули всегда содержат и ограничительные сопротивления, поэтому могут прямо подключаться к выходу устройств управления.

Южнокорейская фирма Seoul Semiconductor производит светодиодные модули Acrich, предназначенные для прямого включения в сеть 220 В без устройств управления. Модули представляют собой две цепочки из 60 светодиодов, включенных последовательно. Цепочки через небольшие ограничительные сопротивления подключаются к сетевому напряжению антипараллельно, то есть так, что в один полупериод ток течет через одну цепочку, в другой полупериод – через другую. Прямое напряжение шестидесяти

белых светодиодов примерно равно 220 В; максимально допустимое обратное напряжение каждого светодиода – не менее 5 В. Поэтому модули Acrich без всякого устройства управления нормально работают при их непосредственном включении в сеть переменного тока. Модули имеют световую отдачу до 100 лм/Вт при общем индексе цветопередачи не менее 80. Недостатком этих модулей является большая пульсация светового потока (100%), что значительно ограничивает области их применения.

Большинство устройств управления производится в герметичных корпусах, обеспечивающих степень защиты от пыли и влаги IP67, и могут работать в достаточно широком интервале температуры окружающего воздуха – от -40 до +50 °С. Это позволяет использовать их практически в любых осветительных приборах как для внутреннего, так и для наружного освещения.

Важным параметром устройств управления является электромагнитная совместимость, определяемая степенью искажения формы потребляемого из сети тока и излучаемыми радиопомехами.

Срок службы серийных устройств управления, как правило, 50 000 часов. Он определяется в основном сроком службы электролитических конденсаторов, необходимых, прежде всего, для обеспечения электромагнитной совместимости.

5.5. Зажигающие устройства

Для зажигания металлогалогенных ламп и натриевых ламп высокого давления на них на короткое время надо подать напряжение 2–5 киловольт. Такое напряжение создается импульсными зажигающими устройствами (ИЗУ). ИЗУ – это полупроводниковые генераторы высоковольтных высокочастотных импульсов. Упрощенная схема ИЗУ показана на рис. 54.

Конденсатор С заряжается до амплитудного значения сетевого напряжения через резистор R и диод D. При замыкании

Рис. 54.
Упрощенная схема
ИЗУ (слева)

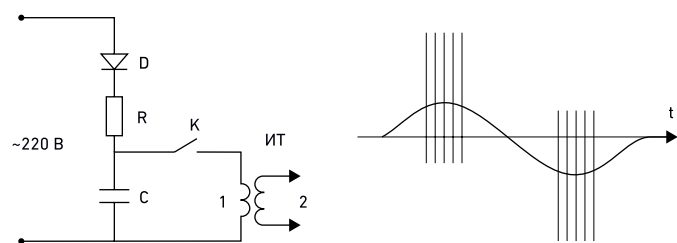


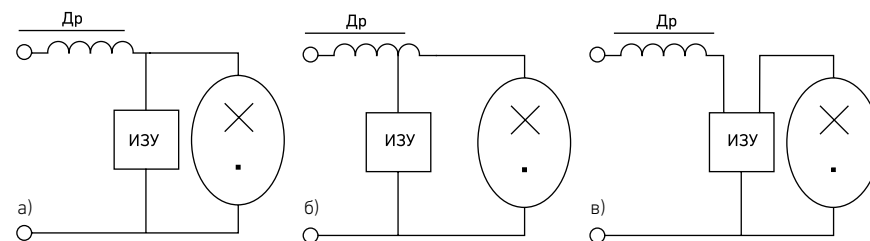
Рис. 55. Форма
суммарного
напряжения сети
и ИЗУ (справа)

контакта К происходит колебательный высокочастотный разряд конденсатора через первичную обмотку 1 импульсного трансформатора ИТ. На вторичной обмотке 2 трансформатора наводится напряжение, равное в идеальном случае напряжению на первичной обмотке, умноженному на коэффициент трансформации (отношение числа витков во вторичной обмотке к числу витков в первичной обмотке). Если коэффициент трансформации равен, например, 10, то есть в первичной обмотке 1 виток, а во вторичной – 10, то амплитуда импульсов на вторичной обмотке может достигать 3000 вольт.

В качестве контакта К обычно используются тиристоры, на управляющие электроды которых подается напряжение с частотой питающей сети (50 Гц). Параметры элементов ИЗУ подбираются так, чтобы высокочастотные импульсы вырабатывались только в определенные моменты (фазы) сетевого напряжения. На рис. 55 показана типичная форма суммарного напряжения сети и выходного напряжения ИЗУ. Количество высокочастотных импульсов в одном полупериоде сетевого напряжения – от одного до нескольких десятков; длительность импульсов – от долей микросекунды до нескольких микросекунд.

Импульсы с выхода ИЗУ подаются на лампу. На рис. 56 показаны три варианта схем включения ИЗУ.

На рис. 56а представлена схема параллельного включения ИЗУ. В этой схеме ток лампы не протекает через ИЗУ,



поэтому в нем практически нет потерь мощности. Схема ИЗУ для такого включения проста, сами аппараты дешевы, легки и надежны. Но генерируемые ИЗУ высоковольтные импульсы в этой схеме воздействуют не только на лампу, но и на дроссель, что требует применения дросселей с усиленной изоляцией, способной выдерживать напряжение 2–5 кВ. Так как стандартные дроссели для МГЛ и НЛВД не рассчитаны на такое напряжение, то параллельное включение ИЗУ применяется только с лампами, напряжение зажигания которых ниже 2 кВ. Это, прежде всего, мощные МГЛ (2000–3500 Вт).

Рис. 56. Схемы
включения ИЗУ

В ИЗУ, включенном по схеме рис. 56б, нет импульсного трансформатора – его роль выполняет балластный дроссель с отводом. Очевидно, что дроссель в этом случае должен быть специально предназначен для работы в таких схемах включения и иметь усиленную изоляцию. Некоторые фирмы производят такие дроссели для МГЛ мощностью от 35 до 2000 Вт и для НЛВД мощностью от 35 до 1000 Вт, а также ИЗУ, которые могут работать только с этими дросселями.

Схема последовательного включения ИЗУ (рис. 56в) получила наиболее широкое распространение. В этих ИЗУ вторичная обмотка импульсного трансформатора включается между балластным дросселем и лампой, и по ней протекает ток лампы. Из-за этого в ИЗУ неизбежно теряется некоторая мощность (до 1% от мощности лампы), и происходит нагрев элементов. Поэтому габариты и масса ИЗУ последовательного включения больше, чем у аппаратов параллельного включения или у ИЗУ для дросселей с отводом. Но в этой схеме могут использоваться самые обычные дроссели без усиленной изоляции, так как высокое напряжение прикладывается только к лампе. Доля ИЗУ последовательного включения составляет более 95% всех выпускаемых зажигающих устройств.

Качество ИЗУ оценивается следующими параметрами:

- амплитудой импульсов выходного напряжения;
- длительностью импульсов;
- фазой генерации импульсов (должна быть 60–90° и 240–270°);
- максимально допустимым током (так как пусковой ток ламп высокого давления всегда намного больше рабочего тока, рекомендуется выбирать ИЗУ с допустимым током в 2,5 – 3 раза большим рабочего тока лампы);
- напряжением включения (должно быть ниже минимально допустимого напряжения сети, то есть 198 В в сети с номинальным напряжением 220 В и 342 В в сети с напряжением 380 В, но выше напряжения горения лампы – соответственно 170 и 320 В);
- допустимой длиной проводов от ИЗУ;
- максимальным количеством включений за срок службы;
- наличием или отсутствием функций автоматического отключения при отсутствии ламп или при дефектных лампах.

В сопроводительной документации на ИЗУ иногда указывается не допустимая длина проводов, а допустимая

емкость нагрузки. Приблизительно можно считать, что допустимая длина проводов (в метрах) равна допустимой емкости нагрузки (в пкФ), деленной на 100. Во всех случаях, кроме схем с дросселями с отводом, длина проводов должна быть не более двух метров.

Длительное воздействие высоковольтных импульсов отрицательно влияет на лампу, провода и патроны. Чтобы это исключить, все ИЗУ после зажигания лампы автоматически отключаются за счет того, что напряжение горения ламп значительно ниже напряжения сети. Если лампа неисправна или просто не вставлена в светильник, ИЗУ продолжает генерировать высоковольтные импульсы, вызывая порчу арматуры. Поэтому в последнее время ведущие производители ИЗУ стали выпускать аппараты с блоками отключения. В схемы таких ИЗУ вводятся специальные устройства с цифровыми интегральными микросхемами, прекращающие генерацию импульсов через определенное время (TimeCONTROL) или через определенное количество поджигающих импульсов (Puls-CONTROL). Время отключения составляет 1–2 минуты для НЛВД и 10–15 минут для МГЛ.

ИЗУ одного типа включения (параллельного, последовательного или для дросселя с отводом) не могут работать в других схемах. В таблице 35 даны типовые параметры некоторых типов ИЗУ.

Мощность лампы, Вт	Макс. ток, А	Напр. импульса, кВ	Потери, Вт	Габариты, мм			Масса, кг
				L	B	H	
ИЗУ последовательного включения							
35–70	1	1,9–2,3	1	88	34	28	0,105
35–150	1,8	3,5–4,5	1	88	34	28	0,128
70–250	3	4,0–4,5	2,5	92	39	33	0,150
70–400	6	4,0–4,5	3	95	42	36	0,200

Таблица 35.
Типовые параметры ИЗУ

Мощность лампы, Вт	Макс. ток, А	Напр. импульса, кВ	Потери, Вт	Габариты, мм			Масса, кг
				L	B	H	
70–1000	12	4,0–4,5	6	108	55	43	0,450
1000–3500	20	3,5–5,0	9,3	125	65	47	0,750
ИЗУ параллельного включения							
2000–3500	–	1,4	3,8*	86	38	31	0,17
ИЗУ для дросселей с отводами							
35–2000	–	2,1–4,1	0,9	86	38	32	0,052

* потери только во время зажигания

5.6. Электроустановочные изделия и шинопроводы

К электроустановочным изделиям относятся патроны для ламп и стартеров, клеммные и соединительные колодки для подключения дросселей, зажигающих устройств, ламп и сетевых проводов внутри светильников, выключатели и переключатели, розетки и вилки для включения переносных светильников и других приборов в электрическую сеть. Сюда же можно отнести различные клипсы, ламподержатели и другие детали светильников, не выполняющие никаких электрических функций, но обеспечивающие фиксацию ламп в нужном положении, защиту их от выпадения и т. д.

Электроустановочные изделия можно разделить на две группы: промышленного назначения (те, которые устанавливаются в светильниках, аппаратах включения и других изделиях – патроны, зажимы, соединители, а также клипсы, лампо- и стартеродержатели и пр.), и бытовые (выключатели, розетки, удлинители и т. п.).

Важнейшей эксплуатационной характеристикой электроустановочных изделий служит их работоспособность, то есть обеспечение надежного контакта источников света и аппаратов включения в течение всего срока службы. Надежность изделий обеспечивается их конструкцией

и выбором материала для изготовления токоведущих и изолирующих деталей. Изолирующие детали, как правило, выполняют также функции конструктивных элементов, с помощью которых изделия крепятся к местам их установки.

Главное требование к изолирующим деталям – обеспечение электрической безопасности людей и пожарной безопасности помещений. Так как источники света при работе могут нагреваться до высоких температур, изолирующие материалы должны быть достаточно термостойкими. В патронах для галогенных ламп накаливания, металлогалогенных и натриевых ламп чаще всего используется керамика, способная работать при температурах выше 300 °С. Патроны для люминесцентных ламп и стартеров в настоящее время делаются из термопластичных смол – поликарбоната, полибутилентерефталата, полифенилсульфида.

При изготовлении патронов для обычных ламп накаливания до недавнего времени основным материалом был карболит – термореактивная смола на основе фенолформальдегида. Теперь использование карболита не рекомендуется по экологическим соображениям. Сейчас основным материалом при изготовлении патронов для ламп накаливания с резьбовыми цоколями E14 и E27 стали другие термореактивные полимеры, а также керамика. Основным изолирующим материалом клеммных и соединительных колодок в настоящее время являются поликарбонат, полибутилентерефталат, полифениленсульфид, а также термореактивные стеклопластики.

Токоведущие детали в патронах делаются из металлов, обладающих довольно высокой упругостью и не теряющих этой упругости во всем диапазоне рабочих температур, а также после многократной установки и вынимания ламп. Обычно это латунь, реже никель. Для защиты от коррозии латунные детали иногда покрывают слоем другого металла, более устойчивого к воздействию воздуха и содержащихся в нем паров воды или химических соединений – олова,

цинка, никеля. В патронах для линейных галогенных ламп, как правило, делают контакты с серебряным покрытием.

В последнее время колодки резьбового типа (с зажимом провода гайкой и шайбой) применяются только для подключения мощных источников света и аппаратов включения.

В дросселях, электронных аппаратах включения люминесцентных ламп, электронных трансформаторов для галогенных ламп накаливания низкого напряжения, устройств управления для питания светодиодов применяются безрезьбовые соединительные колодки «врубного» типа, в которые провод просто вставляется, а его зажим и надежный контакт обеспечиваются конструкцией пружинящего контактного узла. Это значительно снизило трудоемкость сборки светильников и позволило автоматизировать эту операцию. В ряде случаев при вставлении проводов в зажим происходит и автоматическое удаление изоляции (так называемая технология IDC).

Клипсы, поддержки и другие элементы для фиксации ламп в светильниках сейчас делаются преимущественно из поликарбоната.

К электроустановочным устройствам промышленного назначения условно можно отнести и такие широко распространенные в настоящее время изделия, как шинопроводы.

Шинопровод – это специальный алюминиевый профиль с жестко смонтированным вкладышем из изоляционного материала, по внутренней стороне которого проложены медные провода прямоугольного сечения (шины) (рис. 57).

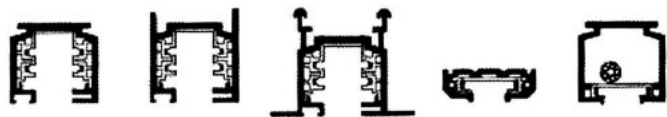
Площадь поперечного сечения шин достаточно велика (несколько мм²), что позволяет пропускать по ним большие токи. Количество шин – от 2 до 11. На шинопроводе с помощью специальных приспособлений (адаптеров) крепятся светильники. Шинопроводы могут монтироваться на потолках, стенах или на подвесах. Адаптеры обеспечивают не только крепление светильников на шинопроводе, но и электрические контакты с шинами, через которые к светильникам подводится питающее напряжение и при необходимости управляющие сигналы. Светильники с адаптерами могут устанавливаться в любом месте шинопровода, что делает осветительные установки исключительно гибкими и легко перестраиваемыми в соответствии с назначением освещаемого помещения. Особенно широко шинопроводы используются в осветительных установках акцентирующего света со светильниками с галогенными лампами накаливания низкого напряжения.

Качество электроустановочных изделий в значительной степени определяет качество осветительных приборов. Поэтому использование дешевых, но часто некачественных изделий крайне нежелательно, так как это может привести к сокращению срока службы светильников и прожекторов, а иногда и к более неприятным последствиям (выпадение ламп из патронов, короткие замыкания и т. п.).

5.7. Автоматизированные системы управления освещением

Достижения в разработке аппаратуры включения источников света позволили создать системы управления освещением (СУО), в том числе и автоматизированные. Такие системы решают две важнейшие задачи: повышение комфортности освещения и экономии электроэнергии.

Рис. 57.
Поперечные сечения шинопроводов



Хорошая СУО должна выполнять следующие функции:

- обеспечивать стабильность освещенности на рабочих местах;
- обеспечивать возможность работающим самим устанавливать наиболее приемлемую освещенность на своем рабочем месте;
- учитывать присутствие людей в освещаемом помещении;
- учитывать время суток, время года, дни недели.

Структурная схема СУО представлена на рис. 58.



Рис. 58. Структурная схема СУО. Очевидно, что «сердцем» СУО являются электронные аппараты включения источников света, позволяющие регулировать световой поток ламп. При этом регулирование должно быть как автоматическим – от датчиков (освещенности, присутствия, времени), так и ручным (непосредственно самими работающими). Управление может быть аналоговым, цифровым или потенциометрическим.

В системах с аналоговым управлением команды ручного управления или сигналы от датчиков подаются на управляющие входы аппаратов включения в виде постоянного

напряжения в диапазоне 1–10 В, вызывая соответствующее изменение светового потока ламп и освещенности.

В качестве датчика освещенности, в принципе, может использоваться любой светочувствительный элемент. Чаще всего применяются фоторезисторы или фотодиоды. Такие датчики реагируют на суммарную освещенность, создаваемую искусственным и естественным освещением. При увеличении естественной освещенности они снижают световой поток светильников или вообще отключают их. Благодаря этому, на рабочих местах всегда обеспечивается постоянная освещенность, уровень которой может по желанию устанавливаться самими работающими с помощью ручного управления.

Ручное управление, как правило, осуществляется дистанционно с помощью пультов с инфракрасными излучателями или потенциометрами, устанавливаемыми рядом с выключателями или непосредственно на рабочих местах.

Датчики присутствия служат для отключения светильников при отсутствии людей в помещении в течение заданного времени. Датчики могут быть активными (с прерыванием луча света или инфракрасного излучения входящими в помещения людьми) или пассивными (реагирующими на тепловое излучение людей).

Учет времени суток, дней недели и времен года осуществляется по часам реального времени, встроенным в СУО.

В отличие от аналоговых систем, цифровое управление позволяет не только регулировать освещенность, но и заранее программировать освещение в помещениях, а также осуществлять адресное управление светильниками. При этом аппараты включения сохраняют в памяти заданный уровень мощности ламп и при повторном включении сразу включают светильники с этим уровнем. При цифровом управлении управляющие сигналы представляют собой последовательность импульсов напряжения, закодированную в цифровой форме.

Оба способа управления (аналоговое и цифровое) могут использоваться одновременно. Согласование управляющих сигналов осуществляется с помощью аналого-цифровых и цифро-аналоговых преобразователей.

Система кодировки цифровых сигналов может быть разной, поэтому аппараты какой-либо одной фирмы могут «не понимать» команды, поступающие от датчиков другой фирмы. Для исключения такого явления в середине 90-х годов прошлого века ведущие мировые производители аппаратов включения источников света договорились о создании единого, понятного всем аппаратам способа кодирования, получившего название «DALI» (Digital Addressable Lighting Interface – цифровой адресуемый осветительный интерфейс). Теперь ЭПРА, электронные трансформаторы, устройства управления и другие аппараты этих фирм, предназначенные для регулирования светового потока ламп, выпускаются в соответствии с этим соглашением и отлично «понимают» друг друга.

Для всех датчиков требуется прокладка отдельной управляющей двухпроводной сети. Однако сейчас в странах Европейского Союза, США, Канаде, Японии наличие управляющей сети является обязательным, так как все вновь строящиеся или реконструируемые здания общественного назначения оборудуются системами пожарной сигнализации, кондиционирования и т. п. Поэтому внедрение СУО не вызывает дополнительных затруднений, связанных с прокладкой управляющих проводов.

В СУО существует и обратная связь – аппараты не только выполняют команды, но и посылают на посты управления сигналы об аварийных ситуациях в осветительных установках, о выходе ламп из строя, об отсутствии ламп в светильнике и т. п. Это значительно упрощает эксплуатацию осветительных установок.

Многие европейские и американские фирмы производят готовые СУО, то есть наборы всех необходимых устройств и программы управления.

Использование СУО с датчиками освещенности, присутствия и времени позволяет экономить до 75% электроэнергии, расходуемой на освещение. В масштабах страны это может дать годовую экономию электроэнергии в десятки миллиардов киловатт-часов.

Следует сказать еще об одной стороне применения СУО. В последние годы в странах Европы появилось увлечение цветодинамичным освещением. Для этого в светильниках применяются цветные люминесцентные лампы или светодиоды. Освещение в помещении или в его части изменяется по заранее составленной программе не только по уровню освещенности, но и по цвету. По мнению врачей и психологов цветодинамичное освещение в помещениях снижает утомляемость людей и повышает производительность труда.

ВЫВОДЫ

1. Для включения всех типов разрядных ламп, галогенных ламп накаливания низкого напряжения и светодиодов необходима специальная аппаратура. Для разрядных ламп это токоограничивающие элементы, зажигающие устройства и компенсирующие конденсаторы; для галогенных ламп накаливания – понижающие трансформаторы; для светодиодов – понижающие трансформаторы с выпрямителями выходного напряжения.
2. В качестве токоограничивающих элементов (балластов) обычно используются электромагнитные аппараты – дроссели.

3. Для зажигания люминесцентных ламп с электромагнитными балластами используются стартеры.
4. Зажигание металлогалогенных ламп и натриевых ламп высокого давления осуществляется специальными аппаратами – импульсными зажигающими устройствами.
5. Компенсация реактивной мощности (увеличение $\cos \varphi$) осуществляется конденсаторами, включаемыми параллельно (гораздо реже – последовательно) с лампами.
6. Электронные аппараты включения, как правило, сочетают в себе функции зажигания ламп, ограничения рабочего тока и компенсации реактивной мощности.
7. Во всех случаях выбора между электронными и электромагнитными аппаратами предпочтение следует отдавать электронным. Их более высокая цена с лихвой окупится при эксплуатации осветительных установок.
8. При любой возможности следует использовать автоматизированные системы управления освещением, позволяющие экономить до 75% электроэнергии, расходуемой на освещение.
9. Во всех случаях следует воздерживаться от применения дешевых, но часто недоброкачественных изделий – мнимая экономия на их приобретении может вызвать гораздо большие потери при эксплуатации осветительных приборов.

РАЗДЕЛ 6

Светотехнические материалы

Все применяемые при изготовлении осветительных приборов (ОП) материалы можно разбить на три группы: светопропускающие, светоотражающие и конструкционные.

6.1. Светопропускающие материалы

Светопропускающие материалы используются для изготовления линз, рассеивателей, защитных стекол, колпаков и т. п.

По типу исходного сырья светопропускающие материалы делятся на силикатные и органические. Силикатные материалы – это обычное стекло всех сортов, хрусталь, кварц, основной составляющей которых служит двуокись кремния SiO_2 , то есть обычный чистый песок. К органическим светопропускающим материалам относятся светотехнические бумаги и ткани, а также полиметилметакрилат, полистирол, полиэтилен, поликарбонат, поливинилхлорид, полиэтилентерефталат и другие, получаемые, как правило, синтетическим путем.

Основным параметром светопропускающих материалов является коэффициент пропускания τ – отношение светового потока, прошедшего сквозь материал, к световому потоку, упавшему на него. Коэффициент пропускания для бесцветных материалов указывается обычно в виде интегральной величины (соотношения световых потоков во всем видимом участке спектра 400–700 нм). Для цветных

материалов приводятся спектральные коэффициенты пропускания в виде кривых зависимости τ от длины волны. Важным параметром светопропускающих материалов является коэффициент преломления, показывающий, как изменяется направление луча света на границе воздуха и материала. Чем больше коэффициент преломления, тем более блестящим кажется материал и тем больше возможностей он предоставляет для управления распределением света.

Как было сказано в разделе 2, пропускание может быть направленным, рассеянным, направленно-рассеянным или смешанным. Распределение коэффициента пропускания в пространстве характеризуется специальными кривыми – индикатрисами.

К другим параметрам светопропускающих материалов относятся их плотность (удельный вес), пожароопасность, технологичность (температура и способ переработки), теплостойкость, твердость, устойчивость к воздействию химически активных веществ и растворителей.

Силикатные материалы характеризуются, прежде всего, абсолютной негорючестью, поэтому они могут применяться в осветительных приборах с любыми источниками света. Их коэффициент преломления может изменяться в достаточно широких пределах за счет введения в состав стекла солей различных металлов, прежде всего свинца. Стекло с высоким содержанием свинца и большим коэффициентом преломления получило название хрусталя или хрустально-го стекла и широко используется в производстве дорогих декоративных светильников для представительских помещений и быта (хрустальные люстры и т. п.).

Силикатные материалы очень тверды (не уступают большинству сортов стали и значительно превосходят алюминий и его сплавы). Стекла достаточно легко окрашиваются в самые различные цвета, и окраска их очень устойчива к воздействию света, тепла и времени. По химической стойкости

силикатные материалы превосходят большинство известных веществ и поэтому осветительные приборы с ними могут применяться в производственных помещениях с самой агрессивной средой. Также устойчивы эти материалы и ко всем растворителям. По теплостойкости силикатные материалы значительно превосходят все органические.

Одним из недостатков силикатных светопропускающих материалов является их неустойчивость к ударным нагрузкам (хрупкость). Для повышения удароустойчивости применяют специальный метод обработки – закаливание стекла. Как правило, в ОП с галогенными линейными лампами накаливания и мощными разрядными лампами применяются только закаленные стекла. Другие недостатки – довольно большая плотность (не менее $2,5 \text{ г/см}^3$), делающая изделия из этих материалов тяжелыми; сложность механической обработки; очень высокая стоимость многих цветных и хрустальных стекол и чистого кварца.

Силикатные светопропускающие материалы достаточно технологичны. Температура размягчения большинства стекол не превышает $1000 \text{ }^\circ\text{C}$, кварца – $1500 \text{ }^\circ\text{C}$. В размягченном или расплавленном виде силикатные материалы поддаются штамповке, прокатке, выдуванию, литью, прессованию.

Стекла в исходном виде прозрачны и бесцветны и поэтому могут использоваться в ОП в качестве линз, призматических преломлятелей или просто для защиты источников света и элементов конструкции от воздействия воды, агрессивных паров и т. п.

Однако часто бывает нужно не просто перераспределить световой поток, но и понизить яркость видимых частей источников света, а это возможно только за счет применения материалов с ненаправленным характером пропускания.

Для получения таких стекол в них при варке вводят соли различных металлов. Стекло, оставаясь бесцветным, становится не прозрачным, а светорассеивающим материалом.

Светорассеивающие стекла получили название «глушеных». В зависимости от степени рассеяния света, глушеные стекла делятся на опалиновые (слабое рассеяние, заметная доля направленного пропускания), опаловые (средняя степень рассеяния; при наблюдении через такое стекло лампы накаливания слабо видна только нить накала) и молочные – полное рассеяние света.

Характер пространственного распределения света, прошедшего через светопропускающий материал, описывается индикатрисами пропускания (см. об этом раздел 2).

Достоинства и недостатки силикатных материалов определяют области их применения. Плоские закаленные прозрачные стекла используются в качестве защитных элементов во всех ОП прожекторного типа с линейными галогенными лампами накаливания и мощными разрядными лампами. Призматические преломлятели широко применяются в уличных светильниках как функционального, так и декоративного назначения. Стекланные линзы (сплошные или наборные, так называемые линзы Френеля) – неотъемлемая часть всех проекторов, световых маяков, некоторых переносных светильников. Элементы из хрусталя, как уже было сказано, – основа многих декоративных светильников для бытовых, представительских, зрелищных и других помещений. Цветные стекла широко используются в осветительных приборах проекторного типа для создания декоративных эффектов в шоу-программах и т.п. Глушеное (чаще всего молочное) стекло – основа большинства бытовых светильников. Чистый кварц, благодаря его высокой прозрачности в ультрафиолетовой области спектра, используется при создании облучательных установок для обеззараживания воды и воздуха.

Во многих случаях при создании ОП силикатные материалы являются безальтернативными. Однако в ряде светильников, прежде всего, с люминесцентными лампами,

в последние десятилетия широко применяются и органические светопропускающие материалы. К достоинствам органических светопропускающих материалов необходимо отнести их большую устойчивость к ударным нагрузкам, меньшую плотность и, соответственно, меньшую массу деталей при равных размерах с деталями из силикатного стекла, возможность механической обработки, возможность изготовления крупногабаритных деталей, часто – меньшую стоимость. К органическим относятся полимерные (синтетические) светопропускающие материалы, а также светотехнические бумаги и ткани. Так как бумаги и ткани используются в производстве только бытовых светильников, далее о них говорить не будем.

Все полимерные материалы делятся на термореактивные и термопластичные. Термореактивные материалы при нагревании переходят в неплавкое и нерастворимое состояние и не подлежат повторной переработке. К таким материалам относятся, например, карболит, эпоксидные смолы, стеклопласты, используемые в светотехнической промышленности как конструкционные. Термопластичные материалы не теряют способности плавиться или растворяться после их нагревания и поэтому допускают вторичную переработку. К этому классу относятся практически все светопропускающие материалы.

В таблице 36 приведены физические параметры наиболее распространенных светопропускающих полимерных материалов и стекла.

Таблица 36. Основные характеристики светопропускающих материалов

Материал	Плотность, г/см ³	Коэффициент пропускания	Ударная вязкость, Дж/м ²	Твердость, Н/мм ²	Теплостойкость, °С
ПММА	1,19	0,92	10–12	190	90–105
ПС	1,05	0,90	10	180	95–97
СПС-УФ	1,05	0,60	40	150	90

Материал	Плотность, г/см ³	Коэффициент пропускания	Ударная вязкость, Дж/м ²	Твердость, Н/мм ²	Теплостойкость, °С
ПК	1,2	0,90	130–150	120	150
ПЭ	0,95	0,75	–	50	90
ПП	0,9	0,75	–	60–65	90
ПЭТФ	1,27	0,90	–	150	75
Стекло	2,3-2-7	0,92	–	–	600–800

ПММА – полиметилметакрилат;

ПС – полистирол;

СПС-УФ – светостабилизированный полистирол;

ПК – поликарбонат;

ПЭ – полиэтилен;

ПП – полипропилен;

ПЭТФ – полиэтилентерефталат.

Все полимерные материалы значительно легче стекла – плотность большинства из них близка к 1 г/см³. Ряд материалов (поликарбонат, полипропилен) значительно превосходят стекло по устойчивости к ударным нагрузкам.

Общим недостатком всех полимерных материалов является низкая устойчивость к свету и, особенно, к ультрафиолетовому излучению. Под действием света большинство материалов желтеет, и они становятся более хрупкими. Для повышения устойчивости к свету в полимеры вводят различные светостабилизирующие добавки, которые повышают стоимость материалов, а иногда снижают коэффициент пропускания. В настоящее время при изготовлении светильников применяются почти исключительно светостабилизированные полимерные материалы.

Другим общим свойством для всех синтетических материалов служит их старение, то есть постепенное ухудшение светотехнических и механических параметров. Если стекло может сохранять свои параметры в течение столетий, то срок службы полимерных материалов редко превышает 10 лет (некоторые материалы, например, поликарбонат и полиметилметакрилат, сохраняют свои параметры до 25 лет).

Еще одним неприятным свойством полимеров является их горючесть. Кроме поликарбоната, все прозрачные

полимеры являются горючими материалами. Поликарбонат относится к трудновоспламеняемым и самозатухающим материалам: он горит до тех пор, пока находится в пламени других веществ, а при выносе из пламени – гаснет.

Достоинством полимерных материалов является их более высокая технологичность по сравнению со стеклом. Все эти материалы перерабатываются при значительно меньших температурах, чем стекло и особенно кварц.

Наиболее распространенным способом переработки полимеров являются экструзия (продавливание расплавленных материалов сквозь щели различной формы) и литье под давлением. Экструзией изготавливаются рассеиватели для светильников с люминесцентными лампами самого разного профиля и любой длины. Широко распространены также методы вакуумного формования и штамповки из листов. Изделия сложной формы и толстостенные изделия делаются литьем под давлением или выдувом. Все полимерные материалы хорошо свариваются или склеиваются, поддаются различным видам механической обработки.

Низкая теплоустойчивость полимерных материалов делает невозможным использование их в ОП с галогенными лампами накаливания и мощными разрядными лампами. Основная область применения таких материалов – светильники с люминесцентными лампами и некоторые бытовые светильники с лампами накаливания. В производстве светильников с люминесцентными лампами полимерные светопропускающие материалы в настоящее время являются практически единственным типом материалов для изготовления рассеивателей. Наиболее распространен здесь полиметилметакрилат, известный также под названиями «органическое стекло», «плексиглас», «акрил». Кроме этого, для изготовления рассеивателей используется полистирол (стабилизированный), реже – полипропилен. Следует сказать, что полистирол из-за низкой теплостойкости, хрупкости

и недостаточной стойкости к воздействию ультрафиолетового излучению применяется в настоящее время преимущественно второстепенными фирмами для производства дешевых светильников. Поливинилхлорид используется для изготовления штампованных рассеивателей, экранирующих решеток.

Особое место среди полимерных светопропускающих материалов занимает поликарбонат (иностранные названия – макролон, лексан). Он имеет большую теплоустойчивость, чем другие прозрачные полимеры (до 150 °С), менее пожароопасен (самозатухает), а главное – значительно превосходит все другие материалы по устойчивости к ударным нагрузкам. Поэтому поликарбонат применяют при изготовлении так называемых антивандальных светильников, которые используются для освещения подъездов, лестничных клеток и лифтов в жилых домах, в подземных пешеходных переходах, для садово-паркового освещения – то есть в местах, где светильники могут подвергаться нарочитому разрушению. Кроме этого, поликарбонат используется для изготовления рассеивателей и защитных колпаков в осветительных приборах с высокой степенью защиты (IP54, IP65), применяемых для освещения производственных помещений. Широкому внедрению этого материала мешает его высокая стоимость (в 3–4 раза дороже полиметилметакрилата), а также большая трудоемкость изготовления изделий из него.

Полимерные светопропускающие материалы, как и стекло, могут иметь различный характер светопропускания. Из материалов с направленным пропусканием делают призматические преломлятели; с диффузным и направленно-диффузным пропусканием – опаловые или молочные рассеиватели. При оценке применимости типов рассеивателей необходимо иметь в виду, что призматические преломлятели обеспечивают большие КПД светильников, но практически не уменьшают яркость источников света.

6.2. Светоотражающие материалы

Светоотражающие материалы используются для изготовления отражателей с целью перераспределения светового потока источников света путем отражения его в нужных направлениях. По характеру распределения отраженного света различают зеркальное (направленное), направленно-рассеянное, рассеянное (диффузное) и смешанное отражение (рис. 5).

Важнейшими параметрами светоотражающих материалов являются коэффициент отражения ρ , кривая пространственного распределения отраженного света (индикатриса), а для цветных материалов еще и спектральное распределение коэффициента отражения. Цветные материалы при изготовлении ОП не используются, поэтому далее о них говорить не будем.

Материалы с зеркальным и направленно-рассеянным отражением – это металлы с различной обработкой поверхности или металлические покрытия на неметаллических поверхностях (в конечном счете, также металлы). Диффузным характером отражения обладают ткани, бумага неглянцевых сортов, многие эмали и краски. Смешанный характер отражения присущ стеклоэмалям (силикатным эмалям) и белым материалам с блестящей поверхностью (глушеное стекло, глушеные полимерные материалы, глянцевая бумага и другие).

Зеркальное отражение позволяет наиболее гибко и точно перераспределять световой поток источников света. Из чистых металлов наибольший коэффициент отражения имеет серебро – до 0,92. Однако из-за дороговизны его применяют только для покрытия стеклянных отражателей некоторых типов прожекторов и оптических приборов.

В светотехнической промышленности фактически единственным материалом с зеркальным отражением является алюминий. Коэффициент отражения чистого алюминия при

очень тщательной полировке поверхности может быть выше 0,8; однако чистый алюминий на воздухе быстро окисляется и тускнеет. Поэтому необходима защита алюминия от прямого контакта с воздухом. Способов защиты алюминия от окисления достаточно много.

Наиболее распространенными из таких способов являются альзакирование и анодирование или электрохимическое полирование (иногда называемое обьярчением). Альзакирование – это нанесение тонкой пленки двуокиси кремния на алюминиевую поверхность. Такая пленка, немного снижая коэффициент отражения, надежно защищает алюминий от воздействия воздуха и одновременно делает его поверхность более твердой. Анодирование или электрохимическое полирование – это обработка алюминиевой поверхности в растворах ортофосфорной кислоты, хромового ангидрида и других химических веществ при одновременном воздействии электрического тока. В результате такой обработки поверхность алюминия делается гладкой (отполированной) и блестящей. Под действием электрического тока на поверхности алюминия образуется тончайший слой окиси алюминия, предотвращающий ее дальнейшее окисление и потускнение. Чем чище алюминий, тем выше его коэффициент отражения. Но чистый алюминий – это очень мягкий и достаточно дорогой материал. Поэтому чаще для изготовления отражателей используются более твердые и дешевые материалы (алюминиевые сплавы, сталь, пластмассы, для особо точных – стекло), на которые наносится тонкий слой особо чистого алюминия, с последующей его защитой. Чаще всего алюминий наносится путем распыления в вакууме, а для нанесения защитного слоя используют двуокись кремния, распыляемую на той же установке после создания слоя алюминия.

Для получения чисто зеркального отражения поверхность, на которую наносится слой алюминия, должна быть

хорошо отполирована. Если поверхность подложки шероховата, то характер отражения будет направленно-рассеянным, причем, чем больше шероховатость, тем более рассеянным будет отражение.

В настоящее время некоторые фирмы за рубежом (Alanod в Германии, Saccal в Италии) освоили промышленное производство листового алюминия с «готовой» поверхностью с уже напыленным слоем алюминия исключительно высокой чистоты (99,95%), защищенным тончайшими слоями двуокисей кремния и титана. При этом толщина защитных слоев подбирается так, чтобы свет, отраженный от передней (обращенной к воздуху) и задней (обращенной к алюминию) поверхностей пленки находился в противофазе и как бы гасился за счет интерференции. Подобная технология (просветление оптики) уже много лет применяется в оптической промышленности – хорошо известны фотоаппараты с так называемыми «голубыми объективами», имеющими значительно больший коэффициент пропускания, чем аналогичные объективы с чистыми (непросветленными) линзами. Применение таких интерференционных покрытий и чистейшего алюминия позволило довести коэффициент отражения до 0,95 (листы марки Miro немецкой фирмы Alanod).

Листовой материал, изготовленный по такой же технологии, но с напылением серебра (Miro Silver) имеет коэффициент отражения до 0,98 – самый высокий показатель, достигнутый к настоящему времени.

Так как основой таких листовых материалов служит не чистый алюминий, а алюминиевый сплав с хорошими механическими свойствами, из них можно гнуть очень точные отражатели с достаточной формоустойчивостью.

Листы светотехнического алюминия выпускаются не только с зеркальным, но и с направленно-рассеянным отражением с различной степенью рассеяния, а также

тонируемые в розовый или золотистый цвета. Для защиты отражающей поверхности от повреждения во время транспортировки и обработки лицевая сторона листов покрывается полимерной пленкой, которая легко снимается с уже готовых отражателей.

Недостатками листового светотехнического алюминия типа Alapod является невозможность использования его для изготовления отражателей сложной формы из-за неизбежного повреждения защитного слоя при глубокой вытяжке, и достаточно высокая стоимость. Однако в производстве светильников с линейными люминесцентными лампами этот материал находит все большее распространение для изготовления отражателей и элементов зеркальных экраняющих решеток. Материал Miro Silver особенно хорош для изготовления полых щелевых световодов, где его применение при больших длинах световодов повышает коэффициент полезного действия в несколько раз по сравнению с обычно используемыми для этих целей металлизированными материалами.

Для получения материалов с диффузным (рассеянным) отражением используются различные эмали и краски на основе белых пигментов – окиси цинка, двуокиси титана, сернокислого бария и др. Эмали или краски наносятся на поверхность отражателей распылением струей сжатого воздуха или электростатическим полем (так называемая «сухая окраска»). Коэффициент отражения хороших эмалей – не ниже 0,85.

В светильниках с мощными лампами часто применяются стеклоэмали, имеющие смешанный характер отражения – с зеркальной и диффузной составляющими. В таких материалах при малых углах падения света преобладает диффузный характер отражения ($\rho_{\text{зерк}} \leq 7\%$, $\rho_{\text{диф}} = 50\text{--}65\%$). При больших углах падения зеркальное отражение увеличивается, а диффузное – уменьшается. При этом суммарный

коэффициент отражения возрастает примерно с 60 до 85%. Эту особенность материалов со смешанным отражением необходимо учитывать при разработке светильников.

Стеклоэмали наносятся чаще всего на поверхность стальных отражателей, которые одновременно являются и корпусами светильников. Стеклоэмалевые покрытия характеризуются высокой теплоустойчивостью, химической стойкостью, механической прочностью (допускают многократную протирку и мойку). Поэтому основная область применения светильников с отражателями, покрытыми стеклоэмалью, – освещение производственных помещений.

6.3. Конструкционные материалы

Эти материалы не выполняют какие-то светотехнические функции, а служат лишь для создания конструкций ОП. Поэтому к классу конструкционных могут быть отнесены практически все металлы, термореактивные полимеры, некоторые термопластичные полимеры.

Наиболее распространенными конструкционными материалами в светотехнической промышленности являются алюминиевые сплавы, листовая сталь, поликарбонат, полиамид (капрон). Для изготовления электроустановочных изделий (патронов, клеммных колодок, розеток, выключателей и т. п.) широко используется керамика, а из полимерных материалов – термореактивные смолы; полибутилентерефталат; поликарбонат; полиамид; полифениленсульфид.

В последние годы все более широкое распространение в качестве конструкционных материалов получают полиэфирные смолы и поликарбонат.

Полиэфирные смолы, в иностранной литературе обычно называемые «полиэстер», чаще используются для изготовления корпусов светильников с люминесцентными лампами. Этот материал ударопрочен, химически стоек,

может окрашиваться в массу в различные цвета. Для повышения механической прочности и теплоустойчивости в полиэфирные смолы часто добавляют стекловолокно. Изделия из полиэфирных смол делаются методом литья под давлением. Поверхность таких изделий имеет вполне эстетичный вид и не требует дополнительной декоративной окраски. Поликарбонат, окрашенный в массу, используется в качестве конструкционного материала и в светильниках с разрядными лампами мощностью до 400 Вт.

ВЫВОДЫ

1. Все материалы, применяемые в светотехнической промышленности, делятся на три группы: **светоотражающие, светопропускающие, конструкционные.**
2. Выбор материалов при конструировании осветительных приборов должен производиться с учетом реальных условий их эксплуатации.

РАЗДЕЛ 7

Осветительные приборы

Осветительные приборы (ОП) – это устройства, содержащие источник света (лампу) и арматуру, которая перераспределяет световой поток источников света в пространстве требуемым образом. Кроме перераспределения светового потока источника света, ОП обеспечивают крепление ламп, защиту их от механических повреждений и воздействия окружающей среды, а также подвод электрического напряжения к лампе. По общепринятой классификации все ОП делятся на три класса: светильники, прожекторы и проекторы.

Проекторы – это ОП, концентрирующие световой поток источника света на определенной четко ограниченной площади или в определенном объеме. Наиболее распространенный вид таких ОП – это известные всем кинопроекторы, создающие заданную освещенность только на определенной площади экрана. Как правило, в проекторах используются сложные оптические системы, обеспечивающие не только необходимые уровни и равномерность освещенности по всей заданной поверхности, но и предельно четкую передачу изображений (их «проекцию») из одного места в другое с изменением масштаба. Кроме кинотеатров, проекторы используются для демонстрации различных иллюстраций во время публичных выступлений, для создания статичных или динамичных световых эффектов (очень распространенное

явление при оформлении эстрадных концертов, дискотек и т. п.). Для целей освещения в обычном понимании этого слова ОП проекторного типа не используются и поэтому далее не рассматриваются.

Прожекторы и светильники – это световые приборы, предназначенные для освещения определенных объектов как внутри, так и вне помещений.

Прожекторами обычно называются ОП, сосредотачивающие световой поток источников света в достаточно малых телесных углах и освещающие объекты, находящиеся от ОП на расстояниях, значительно превышающих размеры самих ОП (в 20 раз и больше). Светильники – это ОП, в которых световой поток источников света распределяется внутри больших телесных углов. Как правило, светильники освещают поверхности или предметы, находящиеся от них на достаточно близких расстояниях, соизмеримых с размерами самих светильников (не более 20 размеров светильников).

Граница между прожекторами и светильниками весьма условна. Часто один и тот же прибор может быть отнесен как к светильникам, так и к прожекторам. Например, «прожекторы» для архитектурного освещения по их светотехническим характеристикам чаще всего являются не прожекторами, а именно светильниками, а «карманные фонарики» (ручные светильники) – это типичные ОП прожекторного типа, то есть действительно прожекторы.

Рассмотрим характерные особенности ОП, их параметры, классификацию по различным признакам, области применения.

7.1. Параметры осветительных приборов

Сегодня в мире ежегодно производятся сотни миллионов ОП, а количество их типов исчисляется тысячами. Как же из

этого множества правильно выбрать такой прибор, который наилучшим образом соответствовал бы предъявляемым к нему требованиям?

Прежде всего, необходимо понимать, по каким параметрам следует сравнивать различные ОП. Рассмотрим эти параметры.

7.1.1. Светотехнические параметры осветительных приборов

Любой ОП – это устройство, перераспределяющее в пространстве световой поток источника света. Обычно источники света излучают его во всех направлениях, а нам часто надо осветить какое-то конкретное место, например, рабочий стол. В этом случае полезным является световой поток, попадающий на нужное место (рабочий стол), а остальной – практически бесполезным. Таким образом, можно говорить о **коэффициенте полезного действия (кпд)** ОП. Под кпд ОП принято понимать отношение светового потока, выходящего из ОП, к световому потоку источника света:

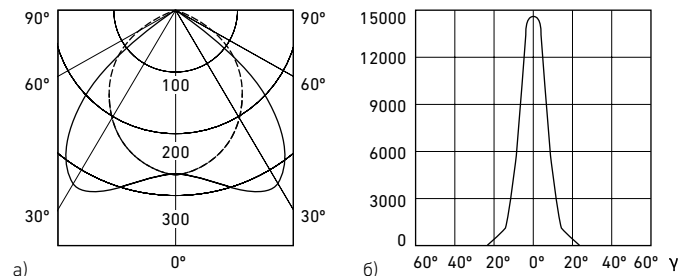
$$\text{кпд} = \Phi_{\text{св}} / \Phi_{\text{ис}}.$$

Однако очевидно, что далеко не весь световой поток, выходящий из ОП, попадает на нужное место – обычно большая его часть уходит «на сторону», освещая стены, потолок, но не заданную площадь. Для того чтобы оценить долю светового потока, попадающую на нужное место, необходимо знать характер распределения светового потока, вышедшего из ОП, в пространстве. Этот характер светораспределения описывается с помощью кривых силы света, являющихся важнейшим параметром любого ОП.

Кривая силы света (КСС) ОП – это графическое изображение зависимости силы света прибора от направления распространения света. Обычно КСС изображаются

в полярных координатах (рис. 59а), однако для ОП с очень малыми углами излучения иногда используется и прямоугольная система координат (рис. 59б).

Рис. 59. Примеры кривых силы света в полярных и прямоугольных координатах



Для удобства пользования в каталогах ОП приводятся условные КСС, рассчитанные для источника света со световым потоком 1000 лм. Реальная сила света ОП определяется для любого источника света, установленного в данный прибор, с помощью простого соотношения:

$$I_{\text{ОП реал}} = I_{\text{ОП}} 1000 \cdot \Phi_{\text{ис}} / 1000.$$

Если ОП многоламповый, то $\Phi_{\text{ис}}$ – это сумма световых потоков всех ламп.

Кривые силы света ОП с компактными одноцокольными источниками (лампы накаливания, ДРЛ), как правило, одинаковы во всех плоскостях, проходящих через оптическую ось прибора, то есть через условную прямую линию, проведенную через световой центр прибора перпендикулярно плоскости его выходного отверстия. А световой центр ОП – это точка внутри прибора, в которой находится источник света, если его размеры малы по сравнению с размерами ОП, или центр источника света, если он достаточно велик. В ОП с двухцокольными источниками света (линейные

люминесцентные лампы, линейные ГЛН, МГЛ софитного типа) или с одноцокольными источниками, имеющими вытянутую форму (КЛЛ, НЛВД и НЛНД, МГЛ) и расположенными не вдоль оси оптического прибора, КСС различны в разных плоскостях. В каталогах для таких ОП даются две КСС – в главной продольной и главной поперечной плоскостях. Продольная плоскость – это плоскость, проходящая через продольную оптическую ось ОП; поперечная плоскость – это плоскость, перпендикулярная продольной оптической оси ОП. Очевидно, что таких плоскостей – множество, поэтому выделяют главные плоскости, которые проходят через центр источника света перпендикулярно выходному окну ОП (рис. 60). При круглосимметричном светораспределении ОП КСС одинаковы во всех плоскостях, поэтому в каталогах для таких ОП приводится только одна кривая.

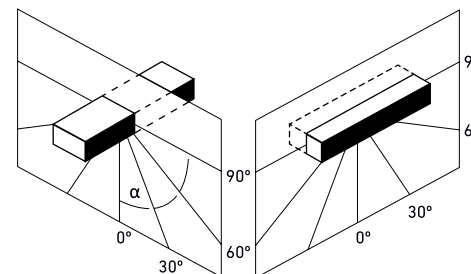


Рис. 60. Главные плоскости осветительных приборов

Наиболее полное представление о светораспределении ОП дает семейство КСС, в ряде плоскостей, имеющих общую линию пересечения, которая является осью вращения этих плоскостей. При этом в зависимости от ориентации этой линии относительно оптической оси ОП различают меридиональную и продольную системы секущих плоскостей.

В меридиональной системе ось вращения плоскостей совмещена с оптической осью, при этом плоскости рассекают условную сферу, центр которой совмещен со световым центром ОП, по меридианам (рис. 61а). Произвольное направление относительно центра системы определяется двумя углами: экваториальным углом C относительно выбранного нулевого направления $C_0 = 0$ и меридиональным углом γ , отсчитываемым в меридиональной плоскости C от положительного направления оптической оси. В международной практике вместо привычного обозначения углов (α, β) используется обозначение (C, γ), при этом углу α соответствует угол γ , а углу β – угол C . То же относится и к продольной системе представления КСС (B, β). Ориентация ОП в этой системе такова, что для неосесимметричных ОП главная поперечная и главная продольная плоскости совпадают с плоскостями C_0 – C_{180} и C_{90} – C_{270} соответственно. Координатные углы в этой системе изменяются в следующих диапазонах: $C = [0^\circ \div 360^\circ]$ или $[-180^\circ \div 180^\circ]$, $\gamma = [0^\circ \div 180^\circ]$.

В продольной системе ось вращения плоскостей лежит в главной продольной плоскости, проходит через световой центр ОП и перпендикулярна его оптической оси (рис. 61б). Для такой системы произвольное направление

в пространстве также определяется двумя углами: B (углом между продольной плоскостью, в которой лежит данное направление, и главной продольной плоскостью $B_0 = 0$), и β , отсчитываемым от линии пересечения этой плоскости с главной поперечной плоскостью Q_0 . Ориентация неосесимметричных ОП в этой системе обусловлена главной продольной плоскостью B_0 , с которой совмещена оптическая ось ОП. Координатные углы в этой системе изменяются в следующих диапазонах: $B = [0^\circ \div 360^\circ]$ или $[-180^\circ \div 180^\circ]$, $\beta = [-90^\circ \div 90^\circ]$. Между углами обеих систем существует однозначная связь, позволяющая переходить из одной системы в другую.

Для осесимметричных ОП обычно используется меридиональная система, как более наглядная, для круглосимметричных и асимметричных обе системы равноправны, и выбор определяется удобством фотометрирования.

Существует еще третья система (A, α), отличающаяся от системы (B, β) только тем, что ось вращения плоскостей перпендикулярна главной продольной плоскости. Эта система практически не применяется.

Отсчет углов начинается от оптической оси ОП. Поскольку оптическая ось является линией пересечения главных продольной и поперечной плоскостей, то в направлении оптической оси (то есть под углом ноль градусов) значения сил света в этих плоскостях всегда совпадают.

Совокупность КСС во всех плоскостях в светотехнической литературе называют «**фотометрическим телом**» светильника.

По характеру светораспределения в соответствии с ГОСТ 17677 ОП делятся на пять классов: прямого (П), преимущественно прямого (Н), рассеянного (Р), преимущественно отраженного (В) и отраженного (О) света. Все ОП прожекторного типа имеют только прямое светораспределение. Светильники прямого светораспределения – это те, у которых не менее 80% светового потока направлено в сторону выходного отверстия. Преимущественно прямым

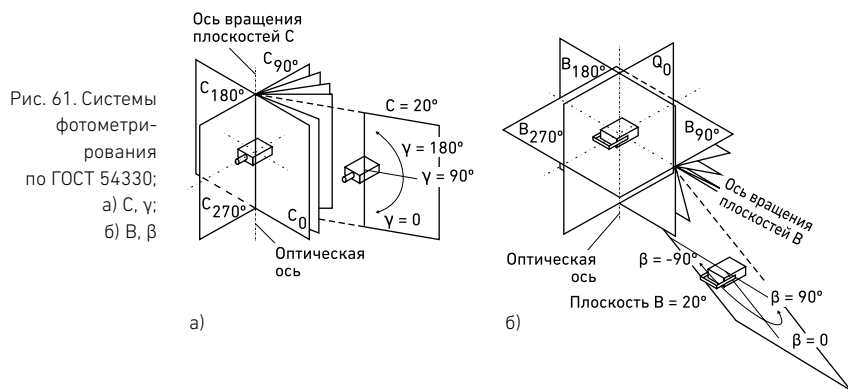


Рис. 61. Системы фотометрирования по ГОСТ 54330; а) C, γ ; б) B, β

светораспределением называется такое, при котором в сторону выходного отверстия направлено от 60 до 80% светового потока. Если свет направляется от светильника примерно поровну «вперед» (в сторону выходного отверстия) и «назад» (в обратную сторону), то такое светораспределение называется рассеянным. При преимущественно отраженном светораспределении доля светового потока, направляемого «вперед», составляет 20–40%, а от 60 до 80% направляется «назад». Если же «назад» направляется более 80%, то такое светораспределение называется отраженным (рис. 62).

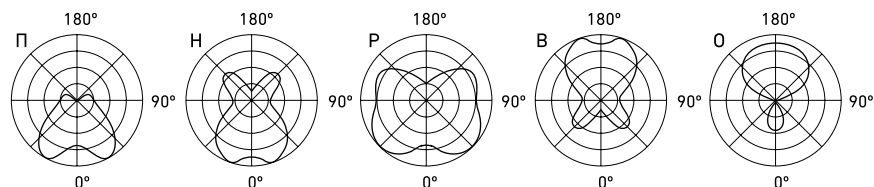


Рис. 62. Классы светораспределения (слева направо: П, Н, Р, В, О)

В последние годы в странах Западной Европы получили широкое распространение подвесные и напольные светильники, характер светораспределения которых не укладывается в названные пять классов. В отличие от светораспределений классов Н и В, в которых оптическая система светильников формирует КСС только в одну сторону, а световой поток, направленный в противоположную сторону специально не перераспределяется, у новых светильников световой поток четко формируется по обе стороны плоскости выходного отверстия («вверх» и «вниз», рис. 63). ГОСТом такой класс светораспределения не предусмотрен.

Российским ГОСТ 13828 установлены семь типов КСС: концентрированная (К), глубокая (Г), косинусная или диффузная (Д), полуширокая (Л), широкая (Ш), синусная (С) и равномерная (М) (рис. 64).

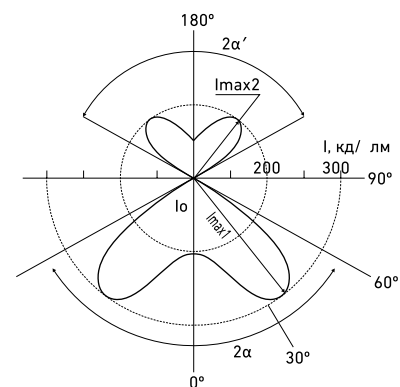


Рис. 63. Светораспределение светильника с разными КСС в нижней и верхней полусферах

У светильников с кривыми сил света типа К, Г и Д направление максимальной силы света совпадает с оптической осью или близко к ней, у типа С – перпендикулярно оптической оси. При «широком» типе КСС максимальная сила света создается светильниками в направлениях, лежащих под углом от 55 до 85° к оптической оси, при «полушироком» – от 35 до 55°. Следует сказать, что КСС типов Ш, Л и Д могут быть «вывернутыми» поскольку они присущи светильникам не только с прямым или направленным характером светораспределения, но и с отраженным и преимущественно отраженным. В этих случаях направление максимальной силы света относительно оптической оси соответствует углам 180° (Д), 95–125° (Ш) и 125–145° (Л).

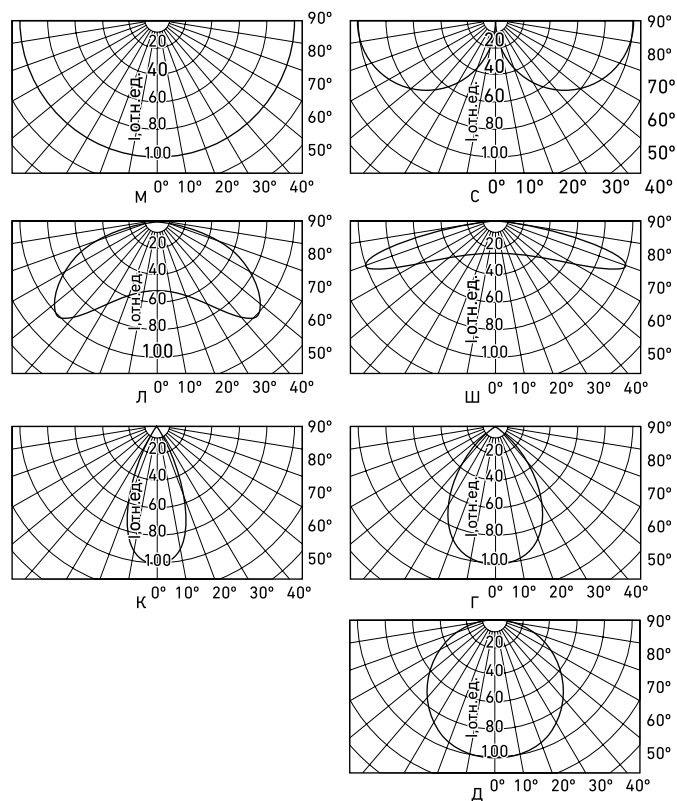
К светотехническим параметрам светильников относятся еще две величины: **яркость видимых частей светильников** и **защитный угол**.

Задачей ОП является не только перераспределение светового потока, но и защита глаз от воздействия на них высокой яркости. Как было сказано выше, яркость является именно той светотехнической величиной, на которую реагирует глаз, а наличие в поле зрения предметов

с высокой яркостью вызывает определенные неудобства (дискомфорт), снижение функций зрения и ослепленность. Поэтому в технической документации часто регламентируется максимально допустимая яркость видимых частей светильников. В частности, такое требование обязательно для светильников, устанавливаемых в помещениях с большим количеством персональных компьютеров.

Совершенно очевидно, что ограничивать яркость надо не по всем направлениям, а только в определенных угловых зонах. Обычно это углы от 0 до 30° к горизонтальному направлению.

Рис. 64. Типы кривых силы света по ГОСТ 17677



Снижение яркости осуществляется путем экранировки источников света с помощью отражателей и специальных экранирующих решеток или пластин, а также с помощью рассеивателей.

Угол, в пределах которого глаз защищен от попадания на него прямого света ламп, называется **защитным углом** светильника (рис. 65).

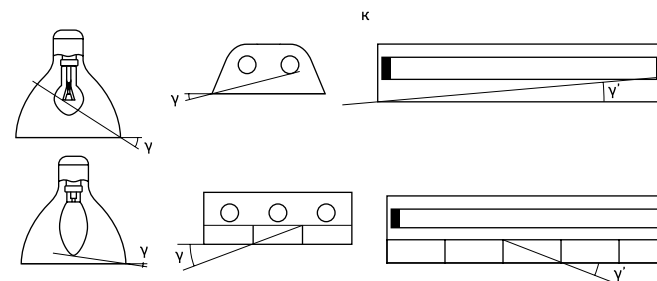


Рис. 65. Защитные углы светильников

Если отражатели и экранирующие решетки из непрозрачных материалов действительно защищают глаз от прямого воздействия высокой яркости источников света, то рассеиватели разных типов или экранирующие решетки из светопропускающих рассеивающих материалов лишь уменьшают эту яркость. При этом необходимо иметь в виду, что призматические преломлятели из прозрачных материалов практически не изменяют яркость источников света, а лишь «размазывают» их очертания. Поэтому светильники с призматическими преломлятелями не должны использоваться там, где они попадают в поле зрения непосредственно или в виде отражений («бликов») на блестящих предметах (стекло, полированный металл), а также на экранах персональных компьютеров.

7.1.2. Другие параметры осветительных приборов

Кроме светотехнических параметров, при выборе ОП необходимо знать основное назначение ОП, а также механические,

конструктивные, тепловые, эксплуатационные и другие параметры. К механическим параметрам относятся масса и габаритные размеры ОП. Они определяются, прежде всего, типом и мощностью источника света, для которого предназначен ОП.

Конструктивные параметры – это способ установки ОП, используемые материалы, степени защиты от воздействия внешней среды, пожаро- и взрывобезопасность, электрическая безопасность.

Тепловые параметры характеризуют степень нагрева ОП и их отдельных частей при нормальной работе и при аварийных режимах, а также количество тепла, выделяемого ОП в помещение и в системы принудительного теплоотвода (если они имеются в освещаемом помещении).

Эксплуатационные параметры – это устойчивость к внешним механическим и климатическим факторам, возможность управления световым потоком, срок службы.

7.2. Классификация осветительных приборов

Нормативными документами предусмотрена классификация ОП по большинству параметров. Рассмотрим наиболее важные из перечисленных параметров и классификацию ОП по ним.

7.2.1. Классификация осветительных приборов по основному назначению

По основному назначению ОП делятся на ряд групп:

- ОП для освещения производственных помещений;
- ОП для освещения административных, офисных, культурно-просветительских и других помещений общественного назначения;
- ОП для освещения бытовых помещений;
- ОП для освещения сельскохозяйственных помещений;

- ОП для освещения спортивных сооружений;
 - ОП для функционального наружного освещения;
 - ОП для декоративного наружного освещения;
 - ОП для внутреннего освещения средств транспорта;
 - ОП для архитектурно-художественного освещения зданий, памятников, фонтанов и т. п.;
 - ОП аварийного освещения.
- Каждая из этих групп, в свою очередь, делится на более мелкие подгруппы. Так, в группе ОП для освещения производственных помещений можно выделить:
- ОП для освещения помещений с нормальной средой;
 - ОП для освещения помещений с тяжелой средой (пыльных, влажных, с агрессивными парами);
 - ОП для освещения взрывоопасных помещений;
 - ОП для освещения пожароопасных помещений.

В группе осветительных приборов функционального наружного освещения выделяются ОП: для улиц, дорог и площадей; для больших открытых пространств (морских и речных портов, железнодорожных станций); для автотранспортных туннелей и подземных пешеходных переходов; лобовые для транспортных средств; для автозаправочных станций и т. п.

Классификация ОП по основному назначению определяет преимущественные области их применения. Однако эта классификация довольно условна, так как часто один и тот же светильник может использоваться в самых разных ситуациях.

7.2.2. Классификация осветительных приборов по конструктивному исполнению

В основу этой классификации положен, прежде всего, способ установки ОП на их «законных» местах. По способу установки ОП делятся на следующие группы (в скобках указано обозначение по ГОСТ 17677):

- встраиваемые (В);
- потолочные (П);

- подвесные (С);
- настенные (Б);
- напольные (Т);
- настольные (Н);
- венчающие (Т);
- консольные (К);
- переносные (Р).

В литературе иногда еще встречаются старые названия типов светильников: настенные светильники называются «бра», напольные – «торшеры», потолочные – «плафоны». В соответствии с ГОСТ 17677 использование таких названий в официальной технической документации не допускается.

В каталогах некоторых фирм потолочные светильники иногда называются **накладными**. В ГОСТ 17677 такого термина нет.

В последние годы очень широкое распространение получили ОП с креплением на шинпроводах. Такие светильники не включены в ГОСТ 17677, поэтому они не имеют специального обозначения. В принципе их можно считать переносными, но с особым способом установки.

Условные обозначения светильников в России регламентируются ГОСТ 17677. Согласно этому стандарту, условное обозначение должно состоять из трех букв и набора цифр. Первая буква показывает тип источника света (Н – лампа накаливания общего назначения, Л – прямая люминесцентная лампа, Ф – фигурная, в том числе компактная, люминесцентная лампа, Р – ртутная лампа высокого давления с люминофором, Г – металло-галогенная лампа, Ж – натриевая лампа высокого давления, К – ксеноновая лампа). Вторая буква обозначает способ крепления светильника (см. выше в данном разделе). Третья буква соответствует основному назначению светильника (П – для производственных помещений, О – для общественных зданий, Б – для жилых помещений, У – для наружного освещения, Р – для рудников и шахт,

Т – для кинематографических и телевизионных студий). После трех букв ставится двузначное число, соответствующее номеру серии. Далее – через дефис – указывается количество ламп в светильнике и их мощность. Следующие три цифры обозначают номер разработки (модификации) светильника. Затем ставятся буквы и цифры, обозначающие климатическое исполнение и категорию размещения светильника (см. раздел 7.2.6).

Например, обозначение **ЛСП01–2×40–024 УХЛ 4** соответствует подвесному светильнику для производственных помещений с двумя люминесцентными лампами мощностью 40 Вт, серии 01, модификации 024, климатического исполнения УХЛ, категории размещения 4. Уличный консольный светильник для любых климатических зон с натриевой лампой высокого давления мощностью 400 Вт должен обозначаться, например, как **ЖКУ99–400–001 О 1**. Такой же светильник с металлогалогенной лампой обозначается **ГКУ...** После условных обозначений может применяться фирменное название светильника («Орфей», «Тюльпан» и т. п.)

7.2.3. Классификация осветительных приборов по степени защиты от пыли и влаги

Степень защиты ОП от воздействия пыли, влаги и агрессивных сред является эксплуатационным параметром, но определяется, прежде всего, конструкцией изделий.

Существует международная система классификации и обозначения ОП и другого электротехнического оборудования по степени их защищенности от воздействия влаги (воды) и твердых частиц (пыли). Степень защиты обозначается буквами IP (Ingress Protection – защита от проникновения) и двумя цифрами. Первая цифра показывает степень защищенности ОП от проникновения в него пыли и посторонних тел и может принимать значения от 2 до 6:

2 – специальной защиты от пыли нет; обеспечена защита от проникновения твердых тел с максимальным размером в поперечном сечении более 12 мм и длиной более 80 мм, что исключает возможность прикосновения пальцами к токоведущим элементам;

3 – защиты от пыли также нет, но исключена возможность прикосновения к токоведущим элементам твердым телом с максимальным размером в поперечном сечении более 2,5 мм (например, отверткой);

4 – защиты от пыли нет, исключена возможность прикосновения к токоведущим элементам твердыми телами с максимальным размером в поперечном сечении 1 мм (например, проволокой диаметром 1 мм);

5 – обеспечена защита от попадания на токоведущие элементы и колбы ламп пыли в количестве, препятствующем нормальной работе ОП. Полная защита от соприкосновения с токоведущими деталями (пылезащищенные приборы);

6 – полная защита от попадания пыли во внутренний объем ОП (пыленепроницаемые приборы) и от соприкосновения с токоведущими деталями.

Вторая цифра в обозначении показывает степень защиты от проникновения воды внутрь ОП. Эта цифра может быть от 0 до 8 и означает:

0 – влагозащита не предусмотрена;

1 – предусмотрена защита от капель воды, падающих вертикально;

2 – обеспечена защита от капель воды, падающих сверху под углом не более 15° к вертикали (каплезащищенные ОП);

3 – защита от капель и брызг, падающих сверху под углом к вертикали до 60° (дождезащищенные);

4 – защита от капель и брызг, попадающих на прибор с любого направления (брызгозащищенные);

5 – защита от водяных струй, падающих с любого направления (струезащищенные);

6 – защита от проникновения воды при непостоянном попадании на ОП больших ее масс (волнозащищенные);

7 – защита от проникновения воды внутрь ОП при погружении его на определенную глубину и заданное время (водонепроницаемые);

8 – защита от проникновения воды при погружении ОП в воду на неограниченное время (герметичные).

При степенях защиты 7 и 8 в технической документации и на самих ОП указывается предельная глубина погружения (в метрах).

На практике наиболее часто встречаются ОП со степенями защиты IP20 (все ОП для освещения общественных и бытовых помещений, некоторых производственных помещений и спортивных сооружений), IP43 (большинство уличных светильников), IP65 (пылевлагозащищенные ОП для предприятий с тяжелыми условиями, ОП для наружного архитектурно-художественного освещения).

Для получения необходимой степени защиты ОП от пыли и влаги используются прокладки из эластичных материалов. Наиболее подходящим материалом можно считать кремнийорганические (силиконовые) резиновые смеси.

В таблице 37 приведены наиболее распространенные степени защиты ОП от пыли и влаги и рекомендуемые области применения приборов с такими степенями защиты.

Таблица 37. Степени защиты осветительных приборов от пыли и влаги


Степень защиты	Защита от пыли	Защита от влаги	Рекомендуемые области применения
IP20	Нет	Нет	Большинство административных и жилых помещений
IP23	Нет	Защита от дождя	Промышленные предприятия с нормальной воздушной средой
IP40	Частичная	Нет	Коридоры, гардеробы, цеха с повышенной запыленностью


Степень защиты	Защита от пыли	Защита от влаги	Рекомендуемые области применения
IP43	Частичная	Защита от дождя	Душевые, ванны. Школьные классы. Уличное освещение
IP54	Пылезащищенные	Защита от капель и брызг, падающих под любым углом	Производственные помещения с высокой влажностью
IP65	Пыленепроницаемые	Защита от струй, падающих под любым углом	Промышленные предприятия с тяжелой средой. Наружное освещение, в т.ч. архитектурное


7.2.4. Классификация осветительных приборов по электробезопасности

Электробезопасность ОП должна обеспечивать защиту людей от поражения электрическим током. Степень безопасности определяется наличием и качеством электрической изоляции токоведущих элементов (проводов, клеммных колодок, патронов), наличием заземления и величиной электрического напряжения, на которое включен ОП.

В соответствии с «Правилами устройства электроустановок» (ПУЭ) по степени электробезопасности все электрооборудование, в том числе и ОП, делится на 4 класса:

- 0 – безопасность обеспечивается только рабочей изоляцией на всех токоведущих элементах;
- 1 – кроме рабочей изоляции токоведущих частей, на приборах имеется специальная клемма для подключения заземляющего проводника (ни в коем случае нельзя использовать в качестве заземляющего провода нулевой или нейтральный провод электрической сети!). Около клеммы для подключения заземляющего провода на приборах ставится значок .
- 2 – безопасность изделия обеспечивается двойной или усиленной изоляцией токоведущих элементов. Двойная изоляция, кроме обычной рабочей изоляции, предусматривает применение дополнительных мер,

обеспечивающих защиту от поражения электрическим током при нарушении рабочей изоляции. Усиленная изоляция – это улучшенная рабочая изоляция, обеспечивающая такую же защиту от поражения электрическим током, как и двойная изоляция. Класс электрозащиты 2 применяется в большинстве бытовых электроприборов – электробритвах, кухонных комбайнах, стиральных машинах, настольных и напольных светильниках и т. п. Заземление приборов с классом защиты 2 не требуется. На приборах с таким классом защиты ставится знак . Очевидно, что ОП с классом электрозащиты 2 дороже аналогичных приборов с классом защиты 1. Но если в помещениях нет линии заземления, то применение ОП с классом электрозащиты 2 может быть экономически более выгодным, чем использование светильников класса 1 и прокладка к ним заземляющих проводов. Применение ОП с классом защиты 2 целесообразно также там, где обслуживание осветительных установок осуществляется людьми, не имеющими профессиональной подготовки.

- 3 – безопасность приборов обеспечивается питанием их от электросети с напряжением не выше 42 В*, которое в подавляющем большинстве случаев не опасно для людей. Заземления таких приборов также не требуется. Изделия с классом электрозащиты 3 – это переносные светильники (ручные и налобные фонари), ОП с галогенными лампами накаливания низкого напряжения и светодиодами. Приборы с классом электрозащиты 3 маркируются знаком .

7.2.5. Пожаробезопасность осветительных приборов


Пожаробезопасность ОП непосредственно связана с их тепловыми параметрами и характеризуется соответствием

* По ПУЭ; по ГОСТ Р МЭК 60598 напряжение холостого хода может быть до 50 В

температуры на всех элементах ОП ее допустимым значениям как при нормальной работе, так и в аварийных режимах. При работе все источники света нагреваются до определенной температуры, зависящей от типа, мощности и условий охлаждения. Температура нагрева может быть достаточно высокой: например, внешняя поверхность галогенных ламп накаливания может нагреваться выше 400 °С, поверхность ламп накаливания общего назначения – выше 200 °С, МГЛ и НЛВД – выше 300 °С. Поэтому ОП являются приборами, создающими опасность возникновения пожара в местах их установки. Кроме источников света, тепло выделяется и аппаратами включения ламп (дрроселями, трансформаторами, зажигающими устройствами).


С другой стороны, опасность возникновения пожара зависит и от условий эксплуатации ОП – типа материала, на котором устанавливается ОП, наличием в освещаемом помещении легковоспламеняющихся веществ, запыленности помещений. Для исключения вероятности возникновения пожароопасных ситуаций необходимо знать степень пожароопасности как самих ОП, так и помещений, в которых они работают.

На ОП встраиваемого, потолочного, настенного, настольного и напольного исполнения наносятся специальные знаки, характеризующие их пожароопасность.


Если на ОП имеется знак , то это означает, что данный прибор может устанавливаться не только на любую поверхность из несгораемых материалов (бетон, металл, штукатурка), но и на поверхности из сгораемых материалов с температурой воспламенения не ниже 200 °С (например, дерево или фанера при толщине более 2 мм). Температура корпуса такого ОП при работе в нормальных условиях не превышает 115 °С, в аномальном режиме может повышаться до 130 °С, а при дефектах дросселя (например, междудитковое замыкание) – до 180 °С. Аномальным режимом

можно считать случай, когда, например, люминесцентная лампа не загорается, и у нее только греются электроды или происходит непрерывное мигание.

Когда на ОП имеется двойной знак , то корпус такого прибора нагревается до температуры не выше 95 °С. Такие ОП могут устанавливаться на поверхности из сгораемых материалов с неизвестной температурой воспламенения, на деревянных и фанерных поверхностях любой толщины (в том числе и менее 2-х мм), а также могут использоваться в помещениях, в которых присутствует пыль или волокна горючих веществ.

Осветительный прибор не может устанавливаться ни на какие поверхности из горючих материалов, если на нем имеется знак  (перечеркнутое).

Иногда на светильниках из термопластичных материалов (полиметилметакрилат, полистирол, поликарбонат и т.п.) имеется значок ...°С. Такой знак говорит о том, что устанавливаемые в светильник узлы (дрросели для люминесцентных ламп, понижающие трансформаторы для галогенных ламп накаливания) при работе не должны нагреваться выше указанной в треугольнике температуры.


Светильники и прожекторы с галогенными лампами накаливания могут нагревать до недопустимо высоких температур не только те поверхности, на которых они установлены, но и освещаемые поверхности. В этих случаях на ОП наносится знак .

7.2.6. Взрывобезопасность осветительных приборов

При освещении предприятий химической, нефтяной, газовой и некоторых других отраслей промышленности необходимо учитывать, что в таких местах могут образовываться взрывоопасные смеси, и светильники ни при каких режимах работы не должны быть источниками возникновения взрывоопасных ситуаций. Для освещения таких предприятий могут

применяться только специальные светильники, конструкция которых, так или иначе, предотвращает возможность возникновения взрыва.

Как правило, в светильниках для освещения взрывоопасных помещений используются литые корпуса из алюминиевых сплавов, а источники света помещаются в защитные кожухи из силикатного стекла (иногда – из поликарбоната). При освещении некоторых помещений, где опасность взрывов особенно велика, светильники устанавливаются вне помещений, а свет вводится через специальные световые проемы или с помощью полых щелевых световодов.

Взрывобезопасные светильники во всех странах маркируются знаком .

Перед знаком **Ex** ставится цифра **0, 1** или **2**. Светильники с маркировкой **2Ex** называются «светильниками повышенной надежности против взрыва». В них предусмотрены меры защиты, затрудняющие образование опасных искр, дуг или перегрева только при нормальной работе светильников. В осветительных приборах с маркировкой **1Ex**, называемых «взрывобезопасными», меры защиты обеспечивают предохранение от взрыва окружающих взрывоопасных смесей в результате возникновения искр, дуг или перегрева как при нормальной работе светильников, так и при возможных повреждениях в процессе эксплуатации. В светильниках с маркировкой **0Ex** («особовзрывобезопасные») предусмотрены специальные дополнительные меры взрывозащиты.

Взрывобезопасность ОП, как и пожаробезопасность, непосредственно связана с их тепловыми параметрами. В соответствие с Правилами устройства электроустановок (ПУЭ), вся электроаппаратура, в том числе и ОП, делится на 6 температурных групп (от Т1 до Т6). Температура на поверхности любых элементов ОП для этих групп не должна превышать следующие значения: для Т1 – 450, Т2 – 300, Т3 – 200, Т4 – 135, Т5 – 100 Т6 – 80 °С.

7.2.7. Классификация по устойчивости к механическим и климатическим воздействиям

Все изделия при транспортировке и эксплуатации подвергаются воздействию внешних механических факторов – ударов, вибраций, линейных ускорений, акустических шумов. В ГОСТ 15150 предусмотрена классификация ОП по их устойчивости к таким воздействиям. Уровень воздействий определяется степенью жесткости. Установлено 20 степеней жесткости по уровню вибрации и 8 степеней по ударным нагрузкам, отличающихся амплитудой и частотой вибраций, амплитудой и длительностью ударов, ускорением при линейных нагрузках, уровнем звукового давления. Устойчивость приборов к механическим нагрузкам зависит от их конструкции, а также от применяемых материалов. Как было сказано в разделе 6, среди полимерных материалов наибольшей механической прочностью при ударах обладает поликарбонат.

Кроме степеней жесткости механических воздействий, нормативными документами установлены группы устойчивости ОП к воздействию климатических факторов (температуры и влажности воздуха, атмосферного давления, солнечной радиации и др.). Уровень воздействия таких факторов в значительной степени определяется назначением ОП и местом его эксплуатации. Устойчивость ОП к климатическим воздействиям зависит от их **климатического исполнения**. По ГОСТ 15150 предусмотрены следующие климатические исполнения: У – для районов с умеренным климатом; ХЛ – для районов с холодным климатом; Т – для районов с тропическим климатом (имеются варианты этого исполнения: ТС – для сухого и ТВ – для влажного климата; О – для всех климатических районов.

Кроме климатического исполнения, условия эксплуатации ОП определяются их **категорией размещения**: для работы на открытом воздухе (1), под навесами (2), в помещениях с естественной вентиляцией (3), в отапливаемых

помещениях (4), в помещениях с кондиционированием воздуха (4.1), в лабораториях и жилых помещениях (4.2), в помещениях с повышенной влажностью (5).

Климатическое исполнение и категория размещения ОП указывается в сопроводительной документации и на самих изделиях. Например, если в обозначении светильника имеется «УХЛ 4.1», то он может использоваться во всех помещениях с кондиционированием воздуха, расположенных в районах с умеренным и холодным климатом.

Устойчивость ОП к воздействию агрессивных сред обеспечивается соответствующим выбором материалов и характером их обработки. Из светоотражающих материалов наибольшей химической стойкостью обладают силикатные эмали. Из светопропускающих материалов наиболее стойким является также силикатное стекло. Практически все полимерные материалы в той или иной степени неустойчивы к воздействию кислот, щелочей, некоторых растворителей. В качестве конструкционных материалов для ОП, предназначенных для работы в наиболее тяжелых условиях, применяют нержавеющую сталь или титан. Несмотря на очень высокую цену таких ОП, их использование часто оказывается экономически целесообразным.

7.3. Сертификация осветительных приборов

Все новые изделия перед запуском их в производство должны пройти сертификацию, то есть проверку соответствия их параметров требованиям государственных и отраслевых стандартов. Для проведения сертификации созданы специальные центры, аттестованные Госстандартом РФ.

В настоящее время большинство российских стандартов приводится в соответствие с требованиями международных организаций, в частности, Международной электротехнической комиссии – МЭК (IEC). Стандарты, соответствующие

требованиям МЭК, называются ГОСТ Р МЭК. Сертификация на соответствие таким стандартам свидетельствует о том, что изделие отвечает требованиям МЭК и может поставляться на экспорт практически во все страны.

Основными требованиями стандартов типа ГОСТ Р МЭК являются требования безопасности для жизни и здоровья людей, сохранности окружающей среды и имущества. Для оценки технических параметров и качества изделий существуют международные стандарты, разработанные Международной комиссией по стандартизации ISO. Этой же комиссией разработаны и приняты стандарты, по которым аттестуются предприятия, выпускающие какую-либо продукцию (например, стандарт ISO 9001, на базе которого разработан ГОСТ ISO 9001-2000).

В странах Европы, кроме стандартов МЭК, действует целый ряд международных норм, устанавливающих требования к электротехническим изделиям по уровню радиопомех, по электромагнитной совместимости, по безопасности (Европейские нормы EN). Изделия, соответствующие таким нормам, помечаются значком ENEC и символом сертификационного центра, проводившего испытания (например, в Германии – VDE). Знак ENEC заменяет национальные сертификационные знаки всех стран-членов Европейского Союза. Наличие такого знака означает полное соответствие изделий требованиям комплекса международных стандартов, подтверждаемое регулярными проверками и испытаниями, проводимыми представителями контролирующих органов.

Кроме знака ENEC или вместо него, на изделиях иногда ставится знак CE. Такой знак подтверждает соответствие изделия только требованиям правил электромагнитной совместимости, действующих в странах ЕС, но не является признаком качества, надежности и безопасности изделий. В отличие от знака ENEC, являющегося сертификационным

и присваиваемым только по результатам испытаний изделий в специализированных центрах, знак CE наносится предприятием-изготовителем под собственную ответственность.

Если ОП сертифицирован на соответствие требованиям ГОСТ Р МЭК 60 598, то каких-либо дополнительных сертификатов (пожарных, медицинских и т. п.) **не требуется**. Возможность использования ОП в определенных условиях (например, на АЗС, в больничных палатах) подтверждается заключениями компетентных организаций, имеющих право давать такие заключения (ВНИИ пожарной охраны, ВНИИ охраны труда, Институтом общей и коммунальной гигиены и др.).

ВЫВОДЫ

1. Осветительные приборы делятся на три класса: **светильники, прожекторы и проекторы**.
2. Основной светотехнической характеристикой осветительных приборов являются **кривые силы света**.
3. Осветительные приборы классифицируются: **по основному назначению; по способу установки; по степени защиты от пыли и влаги; по электробезопасности; по климатическому исполнению и категории размещения; по устойчивости к внешним механическим воздействиям; по пожаро- и взрыво-безопасности**.
4. Качество осветительных приборов подтверждается их **сертификацией** на соответствие требованиям российских и международных стандартов.

РАЗДЕЛ 8

Некоторые рекомендации по выбору светильников

Освещение должно обеспечивать условия для выполнения определенных зрительных задач. В зависимости от рода выполняемой работы требования к освещению различны. В разделе 3 «Нормирование освещения» были рассмотрены нормируемые параметры освещения и влияние на них различных факторов. При выборе светильников и систем освещения, в первую очередь, необходимо исходить из функционального назначения освещаемого помещения. Приблизительно можно выделить следующие типы помещений:

- Производственные (среди них отдельные группы – «чистые», пыльные и сырые, с агрессивной средой, взрывоопасные и др.);
- Офисы с большим количеством компьютеров;
- Обычные офисы;
- Торговые;
- Учебные;
- Учреждения здравоохранения;
- Музейные и выставочные;
- Спортивные;
- Холлы, вестибюли и т.п.;
- Вспомогательные (коридоры, раздевалки, туалеты и т. п.);
- Складские и подсобные;
- Конференц-залы, комнаты для деловых встреч, переговоров и т. п.

Кроме освещения рабочих мест, расположенных внутри помещений, необходимо освещать и улицы, площади, рабочие места на открытых пространствах, отдельные здания и памятники, зоны отдыха и прогулочные дорожки в садах и парках и многие другие объекты, находящиеся снаружи помещений. Поэтому освещение можно разделить на **внутреннее** и **наружное**.

8.1. Критерии качества освещения

Очевидно, что одинаковые значения освещенности могут быть обеспечены множеством различных вариантов. Какими же критериями нужно руководствоваться при выборе светильников, обеспечивающих хорошее освещение и что такое «хорошее освещение»? Этот вопрос не такой уж наивный – в Германии, например, существует даже специальное научно-техническое общество, которое так и называется «Хорошее освещение». Это общество выпустило уже 17 брошюр с названиями «Хорошее освещение производственных помещений», «Хорошее освещение административных помещений» и т. п. (четыре из этих брошюр – по освещению административных помещений, магазинов, мест для занятий спортом и отдыха, а также по применению светодиодов переведены на русский язык).

Критериями качества освещения можно считать:

1. Обеспечение нормируемых параметров (освещенности);
2. Комфортность;
3. Безопасность;
4. Надежность;
5. Экономичность;
6. Удобство эксплуатации;
7. Эстетичность.

Эти критерии тесно связаны между собой. Важность каждого из них определяется видом освещаемого помещения или

объекта и характером выполняемой работы. Например, для производственных помещений необходимо, прежде всего, обеспечить требуемые нормами уровни освещенности, а для представительских помещений часто наиболее значимым является внешний вид светильников, их эстетичность.

Рассмотрим каждый из названных критериев.

8.1.1. Уровни освещенности

Нормируемые уровни освещенности обеспечиваются выбором светильников по их светотехническим параметрам, количеством светильников в освещаемых помещениях, их расположением относительно освещаемых поверхностей, а также отражающими свойствами потолка, стен и пола.

Освещенность достаточно легко может быть рассчитана. Наиболее распространенным и сравнительно простым методом расчета является метод коэффициента использования светового потока в осветительной установке (см. раздел 3.2).

В настоящее время существует множество компьютерных программ расчета освещенности в помещениях, позволяющих по известным КСС светильников и заданной освещенности находить требуемое количество светильников, их оптимальное расположение, мощность источников света, распределение яркости в поле зрения. В качестве примера таких программ можно назвать программы DIALux, Relux, Light Scape, 3D max.

Из закона квадратов расстояний ясно, что чем ближе к освещаемой поверхности расположен светильник, тем при меньшей силе света он обеспечит требуемую освещенность. Поэтому для достижения необходимых освещенностей в помещениях с высокими потолками целесообразно использовать подвесные светильники, максимально приближая их к освещаемой поверхности. Если характер помещения не позволяет размещать подвесные светильники на малых высотах, например, в цехах

с высоким оборудованием, спортивных залах и т.п., то предпочтение должно отдаваться светильникам с глубокими или концентрированными кривыми силы света (тип КСС – Г или К).

Если требуется хорошая равномерность освещения, то целесообразно применять светильники с полуширокими (Л) или широкими (Ш) КСС.

Иногда требуется обеспечивать нормируемые уровни освещенности не на горизонтальных, а на вертикальных плоскостях (картины, классные доски, витрины, фасады зданий). В этих случаях незаменимыми оказываются светильники или прожекторы с асимметричным светораспределением («кососветы») или поворотные светильники направленного света.

При освещении торговых залов часто требуется не просто обеспечить нормируемые уровни освещенности, но и создать насыщенность помещений светом. Для этого хорошо подходят встраиваемые поворотные светильники направленного света с металлога-логенными лампами или галогенными лампами накаливания, встраиваемые неповоротные с компактными люминесцентными лампами, акцентирующие светильники, крепящиеся на шинопроводах. Для создания насыщенного общего освещения и одновременно акцентирующего освещения образцов товаров (или экспонатов выставочных залов) эффективны светильники с зеркальными галогенными лампами накаливания на карданных подвесах.

Если нужно правильно различать цвета освещаемого объекта, то необходимо использовать металлогалогенные или компактные люминесцентные лампы; если же цветопередача не играет значительной роли или объекту надо придать «солнечный вид», лучше использовать более экономичные натриевые лампы высокого давления.

8.1.2. Комфортность освещения

Если освещенность – величина объективная, которая может быть легко рассчитана и измерена специальными приборами (люксметрами), то следующий критерий качества освещения – **комфортность** – включает в себя множество факторов, которые не всегда поддаются расчету и измерению. Важнейшими из таких факторов является **прямая и отраженная блескость**, то есть слепящее действие источников света, осветительных приборов и их отражений на блестящих поверхностях. Для ограничения прямой блескости светильников применяются различные конструктивные приемы – использование экранирующих решеток, рассеивателей и т.п.

Наиболее эффективны с точки зрения ограничения блескости зеркальные решетки с профилем расчетной формы (параболические или бипараболические), позволяющие наилучшим образом перераспределять световой поток источников света и одновременно обеспечивать полное отсутствие прямой блескости в пределах заданных углов. С массовым внедрением персональных компьютеров вопрос ограничения блескости приобрел особую остроту, так как отражение светильников в стеклянных экранах мониторов приводит к резкому ухудшению видимости изображения на экранах и повышенной утомляемости операторов. В новых Европейских нормах освещенности жестко регламентируется максимальная яркость светящихся поверхностей светильников, которые могут отражаться в экранах мониторов. Этим нормам полностью удовлетворяют светильники с зеркальными параболическими и бипараболическими решетками. Очень удачно решена проблема снижения блескости в светильниках отраженного и комбинированного (прямого и отраженного) света. Хотя КПД этих светильников ниже, чем у осветительных приборов прямого

света, они создают очень мягкое и комфортное освещение и могут быть рекомендованы для использования в офисах, конструкторских бюро, конференц-залах и т. п.

Рассеиватели из глушеных (опаловых, молочных) материалов снижают яркость источников света, однако использовать светильники с такими рассеивателями в помещениях с компьютерами все же нежелательно. Призматические рассеиватели из прозрачных материалов, как уже было сказано, не уменьшают яркость источников света и поэтому создают большую блескость, чем опаловые. Коэффициент полезного действия светильников с такими рассеивателями выше, чем у светильников с опаловыми рассеивателями, а сами светильники имеют более нарядный и менее «казенный» вид. Поэтому в тех помещениях, где люди не находятся постоянно (торговые и выставочные залы, вестибюли и т. п.) предпочтение часто отдается как раз светильникам с призматическими рассеивателями.

Другими факторами, влияющими на комфортность освещения, являются **цветность излучения и качество цветопередачи**. Если слепящее действие определяется конструкцией самих осветительных приборов, то цветность и качество цветопередачи однозначно связаны только с источниками света, так как в одном и том же светильнике могут быть установлены различные лампы. Предпочтительная цветность излучения во многом зависит от индивидуальных особенностей людей и местности их проживания. Например, в скандинавских странах предпочитают «теплые» тона света ($T_{\text{цв.}} = 2700\text{--}3000\text{ К}$), а в южных – «холодные» ($T_{\text{цв.}} = 6000\text{--}6500\text{ К}$). В большинстве стран Европы предпочтение отдается «нейтрально-белому» свету с $T_{\text{цв.}} = 4000\text{--}4200\text{ К}$. В быту большинство людей в Европе и в России предпочитают свет «теплых» тонов, близкий к свету ламп накаливания.

В европейских нормах освещенности EN 12464-1-2011 для всех административных помещений предписывается использование источников света с «очень хорошей» цветопередачей (R_a не менее 80). В России такого жесткого требования нет, однако совершенно очевидно, что плохая цветопередача в помещениях с длительным пребыванием людей (рабочие комнаты, школы) крайне нежелательна, а в ряде случаев (цветочные, продовольственные и промтоварные магазины, картинные галереи) просто недопустима. Оптимальными можно считать источники света с $R_a = 80\text{--}85$. В некоторых случаях (цветная полиграфия, текстильная промышленность, хирургические отделения больниц, магазины одежды и тканей, цветочные магазины) необходимо использовать источники света с «отличной» цветопередачей (R_a не менее 90), несмотря на то, что такие лампы имеют меньшую световую отдачу и стоят значительно дороже.

Важным фактором комфортности освещения является **коэффициент пульсаций освещенности**. Если в светильниках с лампами накаливания этой проблемы нет (глубина пульсаций их светового потока не превышает 5%), то при использовании разрядных, в том числе и люминесцентных ламп, пульсации светового потока присутствуют всегда. Сегодня наиболее рациональный путь снижения пульсаций – использование электронных высокочастотных аппаратов включения, которые имеют и другие положительные свойства (см. раздел 5.2).

Еще одним фактором, влияющим на комфортность освещения, является **возможность регулирования освещенности**. В европейских нормах освещенности указан ряд помещений, в которых возможность регулирования обязательна (в частности, конференц-залы и комнаты для переговоров). Целесообразно регулирование освещенности в зрительных залах театров и кинотеатров. Очень

желательно обеспечивать регулирование освещенности непосредственно на рабочих местах. Кроме повышения комфортности, регулируемое освещение обеспечивает значительную экономию электроэнергии.

Во всех помещениях с длительным пребыванием людей с целью исключения вредного влияния пульсаций предпочтение должно отдаваться высокочастотному питанию ламп. Несмотря на большую стоимость светильников с электронными аппаратами включения, их применение всегда оправдано во многих помещениях, особенно в рабочих кабинетах с компьютерами или с напряженной зрительной работой.

К другим факторам, определяющим комфортность освещения, относятся: **распределение яркости в поле зрения, направленность света, тенеобразующие свойства света, акустические помехи** от осветительных приборов и т. д.

Одним из средств повышения комфортности освещения при одновременной экономии электроэнергии в настоящее время являются автоматизированные **системы управления освещением**.

8.1.3. Безопасность освещения

Безопасность освещения определяется, прежде всего, классом защиты осветительных приборов от поражения людей электрическим током. Однако осветительные приборы с разрядными лампами являются потенциальными источниками и экологической опасности, так как все разрядные лампы содержат крайне ядовитую ртуть. Поэтому, кроме электрической защиты, в осветительных приборах должны быть предусмотрены меры защиты от разрушения ламп, выпадения их из патронов и т.п. Эти меры обеспечиваются конструкцией приборов и качеством используемых в них электроустановочных изделий. В связи с этим следует еще раз напомнить о недопустимости использования

в качественных светильниках недоброкачественных комплектующих изделий, в частности, электроустановочных.

Особое значение вопросы безопасности приобретают при освещении взрывоопасных и пожароопасных помещений. В таких помещениях критерий безопасности является, безусловно, наиболее значимым. Для освещения взрывоопасных помещений могут использоваться только специальные светильники, имеющие в маркировке обозначение **Ex**. Взрывобезопасность осветительных приборов обеспечивается их конструкцией. Светотехнические параметры взрывобезопасных светильников заметно хуже, чем у обычных, поэтому применять такие светильники для освещения невзрывоопасных помещений нет смысла.

Пожаробезопасность осветительных приборов обеспечивается их конструкцией, выбором конструкционных и светотехнических материалов и ограничением максимальной температуры, до которой могут нагреваться отдельные элементы. Для осветительных приборов с зеркальными отражателями и с галогенными лампами накаливания или металлогалогенными лампами иногда ограничивается еще и минимальное расстояние от выходного отверстия прибора до освещаемой поверхности.

С точки зрения безопасности необходимо отметить еще одно обстоятельство. В последнее время получили широкое распространение галогенные лампы накаливания с интерференционными отражателями, часто называемые лампами «холодного света». Как уже отмечалось в главе 4, такие лампы могут использоваться только в специально предназначенных осветительных приборах. Применение ламп «холодного света» в обычных светильниках может вызвать недопустимый перегрев корпуса и стать причиной пожара.

К вопросу безопасности можно отнести и проблему утилизации выходящих из строя разрядных ламп. Так как все разрядные лампы содержат ртуть, то для предотвращения

загрязнения воздуха парами ртути их нельзя просто выбрасывать, как обычный мусор. Неработающие лампы должны складироваться (без их разрушения) в определенных местах и затем переправляться в специализированные пункты. Там на специальных установках производится разрушение ламп и извлечение из них ртути, люминофоров и вольфрама для дальнейшей переработки.

8.1.4. Надежность освещения

Надежность как критерий качества освещения включает понятия срока службы, зависимости параметров от внешних воздействующих факторов (температуры и влажности воздуха, запыленности, наличия паров агрессивных веществ, механических воздействий – вибрации, ударов и т. п.), и от качества электроэнергии.

Срок службы осветительных приборов определяется, в основном, установленными в них источниками света, так как срок службы арматуры, электроустановочных изделий, аппаратов включения, оптических элементов, как правило, на порядки выше, чем у ламп. При оценке осветительных приборов с точки зрения надежности необходимо иметь в виду, что лампы накаливания имеют наименьший срок службы среди источников света. Кроме того, срок службы ламп накаливания зависит от параметров электрической сети гораздо больше, чем у разрядных ламп. Увеличение напряжения сети на 5% ведет к снижению срока службы ламп накаливания почти в 3 раза, а люминесцентных ламп с хорошими электромагнитными балластами всего на 5%. Включение люминесцентных ламп с электронными балластами увеличивает их срок службы до полутора раз и делает его практически независимым от колебаний напряжения сети.

Надежная работа осветительных приборов в условиях повышенной влажности, запыленности, присутствия в воздухе паров агрессивных химических соединений обеспечивается

их конструкцией. Для освещения помещений с высокой влажностью (ванных комнат, душевых, прачечных, закрытых плавательных бассейнов) необходимо использовать светильники со степенью защиты не ниже IP54. В особо сырых и пыльных помещениях, а также в цехах химических предприятий степень защиты должна быть IP65.

При освещении спортивных залов необходимо учитывать возможность попадания в светильник мячом или другим спортивным инвентарем. Защита таких светильников от разрушения обеспечивается металлической сеткой, устанавливаемой поверх рассеивателей.

8.1.5. Экономичность

Очень важным критерием качества освещения является **экономичность**.

Как показывает опыт, за реальное время эксплуатации осветительных установок (10–15 лет) в промышленных и административных помещениях капитальные затраты (стоимость самих светильников с лампами и их монтажа) составляют 10–15%. Затраты на обслуживание (чистка, замена источников света) – около 15%; затраты на электроэнергию 70–75%. В странах Западной Европы и Америки, где труд и электроэнергия дороже, чем в России, доля капитальных затрат еще меньше. Поэтому при выборе светильников необходимо учитывать не только их цену, но и суммарные расходы на освещение.

Если капитальные затраты определяются, в основном, ценой светильников и не зависят от светотехнических параметров источников света, то расходы на обслуживание и стоимость электроэнергии напрямую связаны с этими параметрами – их световой отдачей и сроком службы. На количество потребляемой электроэнергии влияют параметры и самих светильников, прежде всего, характер их светораспределения (КСС) и КПД.

Очевидно, чем выше световая отдача источника света, тем при меньшей потребляемой мощности может быть обеспечена требуемая освещенность. С этой точки зрения самые невыгодные источники света – лампы накаливания, а наиболее предпочтительные для внутреннего освещения административных помещений – люминесцентные лампы, для наружного освещения и освещения некоторых промышленных предприятий – натриевые лампы высокого давления. При равных освещенностях осветительная установка с хорошими люминесцентными лампами потребляет в 7–10 раз меньшую мощность, чем с лампами накаливания. Естественно, что светильники с люминесцентными лампами стоят значительно дороже, чем с лампами накаливания. Однако большие первоначальные затраты быстро окупятся за счет сокращения эксплуатационных расходов.

В последние годы по важнейшим параметрам – световой отдаче и сроку службы – на первое место выдвинулись светильники со светодиодами. В ряде случаев по световой отдаче они превосходят лучшие светильники с люминесцентными лампами и приближаются к светильникам с натриевыми лампами высокого давления (см. об этом раздел 4.5). По сроку службы светильники со светодиодами часто также превосходят светильники с традиционными источниками света.

Однако в проблеме экономичности светильников со светодиодами не все так просто. В печати часто встречаются сообщения типа: «Замена старых светильников на новые светодиодные позволяет экономить до 70% электроэнергии и сократить эксплуатационные расходы на освещение в пять раз». При этом обычно не указывается, какие источники света были в «старых» светильниках и за счет чего получена указанная экономия. Попробуем разобраться в этом деле без предвзятости.

В настоящее время основными источниками света для внутреннего освещения общественных зданий являются

люминесцентные лампы, для освещения промышленных предприятий с отсутствием требований по цветопередаче – лампы типа ДРЛ, для наружного освещения – натриевые лампы высокого давления. Параметры этих ламп приведены разделе 4 (таблица 27).

Если судить по значениям световойдачи, приводимым в рекламных материалах, а иногда и каталогах, на «голые» светодиоды, то эти источники света значительно превосходят все «традиционные». Однако в июле 2012 года вступил в силу ГОСТ Р 54330-2011. По этому ГОСТу для светильников со светодиодами вводится контрольный показатель эффективности: световая отдача светильников должна быть не ниже 65 лм/Вт. На фоне заявлений многих фирм о создании светодиодов со световой отдачей до 150 лм/Вт (а то и выше) это требование выглядит довольно скромным. Однако результаты испытаний более ста типов светильников со светодиодами лучших мировых производителей, в том числе Cree, Lumiled, Nichia, показывают, что этому скромному требованию удовлетворяют далеко не все светильники.

Во-первых, необходимо учитывать, что параметры светодиодов даются для температуры р-п перехода +25 °С, а реальная температура, как правило, составляет 90–120 °С. Во-вторых, светодиоды включаются только со специальной аппаратурой (управляющим устройством), КПД которого обычно равен 85–90%. В-третьих, не учитываются потери во вторичной оптике, составляющие не менее 8%. В итоге от 150 лм/Вт «голового» светодиода в светильнике остается в лучшем случае 60–75 лм/Вт.

Световая отдача реальных светильников с натриевыми лампами высокого давления мощностью 250 и 400 Вт (наиболее распространенных в уличном освещении) в реальных условиях составляет около 100 лм/Вт, с зеркальными натриевыми лампами типа «Рефлекс» – до 130 лм/Вт,

с люминесцентными лампами в трубках диаметром 16 мм–70–90 лм/Вт, с металлогалогенными лампами с керамическими горелками – 70–80 лм/Вт. Поэтому непонятно, за счет чего может получиться хоть какая-то экономия электроэнергии, не говоря уже о «трехкратной».

Непонятно и снижение эксплуатационных затрат. Под эксплуатационными затратами понимаются затраты, связанные с чисткой светильников и заменой выходящих из строя ламп. Чистка необходима во всех случаях, независимо от типа источника света. Замена ламп должна производиться при снижении их светового потока на заданную величину. По технической документации снижение светового потока к концу срока службы для «тонких» люминесцентных ламп составляет 5%, для натриевых ламп высокого давления и металлогалогенных ламп с керамическими горелками – 20%. Снижение светового потока светодиодов очень сильно зависит от температуры р-п перехода и, как правило, составляет не меньше 30% за 20–25 тысяч часов. О результатах испытаний светильников со светодиодами по специальной программе CALiPER в США было сказано выше.

Очень показательны статьи бывшего президента Международной комиссии по освещению (МКО) и главного светотехника фирмы Philips Ван Боммеля (Светотехника № 4, 2010 г. и № 1, 2011 г.), который пишет:

«В области традиционного освещения значительное большинство поставщиков светотехнических изделий и проектов представляют достоверные данные, а в области осветительных приборов со светодиодами слишком часто – недостоверные. Причина этого, вероятнее всего, в том, что пока очень часто продукция и проектирование не отвечают запросам конечных потребителей. Такое поведение поставщиков приводит к тому, что новые потребители светодиодов разочаровываются в своих ожиданиях, а это, в свою очередь, мешает быстрому и успешному появлению светодиодов

хорошего качества в изделиях и установках как на потребительском, так и на профессиональном рынках. В качестве примера, в Голландском метрологическом институте VSL в 2009 году были проверены параметры светодиодных ламп для прямой замены ламп накаливания пяти брендов. Изготовители ламп заявляли, что по световому потоку они соответствуют лампам накаливания мощностью 25 и 40 Вт. Испытания же показали, что световой поток проверяемых светодиодных ламп гораздо меньше, чем у ламп накаливания мощностью 15 Вт. Также и в проектах освещения со светодиодами: порой заявляется «эквивалентность» традиционным осветительным установкам, тогда как реальные установки со светодиодами не эквивалентны им по уровню или равномерности освещения или по ограничению блескости».

Проблема достоверности параметров светодиодов в реальных условиях эксплуатации очень серьезна, и не только в нашей стране. Хвастливые заявления некоторых производителей и откровенное искажение фактов на эту тему могут только навредить этому новому и, безусловно, перспективному направлению светотехники. Пожалуй, наиболее достоверные данные предоставляет японская фирма Nichia – родина синих и белых светодиодов: срок службы 40 000 часов при снижении светового потока на 30%, световая отдача – до 90 лм/Вт (при температуре на кристалле +25 °С).

При оценке эффективности «светодиодного» освещения чаще всего встречается ошибка, связанная с прямой заменой люминесцентных ламп в светильниках на аналогичные по геометрическим размерам светодиодные лампы. Такие лампы, как было сказано в разделе 4, выпускаются уже сотнями фирм в разных странах. Как правило, мощность таких ламп при длине 600 мм (аналог люминесцентной лампы мощностью 18 Вт) составляет 10 Вт, при длине 1200 мм (аналог 36 Вт) – 20 Вт и при длине 1500 мм (аналог 58 Вт) – 30 Вт. На основании этих мощностей производители светильников

безаппеляционно заявляют о двукратной экономии электроэнергии и сроке окупаемости светильников со светодиодами в полтора-два года. При этом не учитывается, что световой поток светильника при такой замене оказывается почти в два раза меньше, чем световой поток люминесцентных ламп, то есть для создания равной освещенности требуется вдвое большее количество светильников. Простой расчет показывает, что даже при световой отдаче светодиодных ламп 100 лм/Вт экономии электроэнергии не происходит, то есть говорить об экономической целесообразности не приходится.

Однако, несмотря на отсутствие прямой экономической выгоды, применение светильников со светодиодами для освещения административных и некоторых производственных помещений является целесообразным. Это обусловлено рядом факторов: экологической безопасностью светодиодов, легкой управляемостью их световым потоком, отсутствием пульсаций светового потока, хорошей цветопередачей, возможность конструирования светильников самых необычных форм.

Применение светодиодов для утилитарного наружного освещения достаточно проблематично. **Реальная** световая отдача натриевых ламп высокого давления – до 150 лм/Вт, **реальный** же их срок службы у лучших фирм – 32 000 часов, а у двухгорелочных ламп, выпускаемых General Electric и еще несколькими фирмами, – 55 000 часов. Поэтому экономическая выгода от замены НЛВД на светодиоды не просто вызывает большие сомнения, а является чистой выдумкой некоторых авторов. Но по сравнению с ртутными лампами высокого давления (ДРЛ) светодиоды действительно могут снизить потребление электроэнергии на 30–50% при примерно одинаковом сроке службы.

В жилых помещениях сегодня лампы и светильники со светодиодами также не имеют реальных преимуществ перед

компактными люминесцентными лампами, и срок их окупаемости (если считать его не по рекламным заявкам, а по реальным параметрам) значительно превосходит реальный срок службы ламп. Правда, одно неоспоримое преимущество у них все же есть и со временем оно может оказаться решающим – это отсутствие необходимости в специальной утилизации, так как в отличие от люминесцентных ламп, в светодиодах нет ртути. Но здесь тоже пока не все ясно.

Люминесцентные лампы применяются для освещения уже более 70 лет (первые такие лампы появились в 1938 году, когда ими был освещен павильон США на Всемирной выставке в Париже). Конечно, в Европе и Америке до появления компактных люминесцентных ламп (КЛЛ) со встроенным электронным балластом «обычные» люминесцентные лампы использовались почти исключительно в общественных и промышленных зданиях. Но в Японии еще в восьмидесятые годы прошлого века более 90% жилищ были освещены люминесцентными лампами. В линейных люминесцентных лампах содержится ртути примерно в десять раз больше, чем в КЛЛ, но почему-то до появления светодиодов как источников света вопрос утилизации так остро не стоял.

В административных и производственных помещениях пока применение светодиодов для освещения также экономически невыгодно, как не печально это признавать. На выставке «Свет и здания» (Light & Building) во Франкфурте, состоявшейся в апреле 2010 года, Osram экспонировал линейные люминесцентные лампы Lumilux T5 мощностью 25 Вт со световой отдачей 116 лм/Вт (с учетом потерь в ЭПРА) и лампы HO XT T5 мощностью 54 и 80 Вт со сроком службы 45 000 часов. То есть по этим основным параметрам люминесцентные лампы снова вышли вперед. Цена же светодиодов пока на порядки выше, чем люминесцентных ламп. Стоимость аппаратуры включения, необходимой и для светодиодов, и для ламп, можно считать примерно одинаковой.

Важнейшей проблемой при проектировании осветительных установок, определяющей их экономичность, является выбор источников света. Очевидно, что при освещении производственных и общественных помещений нет смысла использовать лампы накаливания из-за их низкой световой отдачи и малого срока службы; кстати, нормативные документы в нашей стране требуют применения в таких помещениях источников света со световой отдачей не ниже 55 лм/Вт. Однако в быту лампы накаливания пока что почти безальтернативны благодаря их дешевизне, простоте включения и отсутствию ртути. Кроме этих достоинств, лампы накаливания, в том числе галогенные, обеспечивают идеальную цветопередачу и поэтому широко используются в торговых и выставочных залах для витринного и акцентированного освещения. Дешевые светильники с обычными лампами накаливания могут быть также рекомендованы для освещения небольших вспомогательных помещений с низкими уровнями освещенности.

Для освещения административных и общественных помещений (офисов, школ, больниц, конструкторских бюро и т.п.) лучше всего подходят люминесцентные лампы, в том числе компактные, и светодиоды. Из люминесцентных ламп особенно выделяются лампы в колбах диаметром 16 мм (серия T5) – они имеют наибольшую световую отдачу (до 115 лм/Вт), очень большой срок службы (до 45 000 часов), малый спад светового потока в течение срока службы (всего 5%), хорошую цветопередачу, удачно вписываются в размеры стандартных модулей подвесных потолков. Малый диаметр ламп позволяет наиболее рационально перераспределять световой поток, обеспечивая тем самым более высокие значения КПД и коэффициента использования светового потока, то есть дополнительную экономию электроэнергии.

При выборе люминесцентных ламп по качеству цветопередачи следует ориентироваться на требования

европейских норм освещенности EN 12464: в помещениях с длительным пребыванием людей R_a не должно быть меньше 80. Очевидно, что в коридорах, туалетах и других вспомогательных помещениях вполне пригодны и значительно более дешевые лампы со «стандартной» цветопередачей. Лампы с «отличной» цветопередачей (R_a не менее 90) следует применять только там, где цветопередача является одним из главных критериев освещения – в полиграфии, текстильной и лакокрасочной промышленности, в художественных галереях, цветочных магазинах.

Как уже было сказано, светильники с люминесцентными лампами и со светодиодами значительно дороже, чем с лампами накаливания. Однако большие первоначальные затраты быстро окупятся за счет меньшего расхода электроэнергии и большего срока службы ламп. Срок окупаемости может быть рассчитан достаточно просто. При расчете учитываются: цена светильников и ламп, стоимость монтажа, стоимость электроэнергии, годовая наработка светильников, срок службы ламп, стоимость обслуживания. Специалисты немецкой фирмы Osram рассчитали, что срок окупаемости при замене ламп накаливания на компактные люминесцентные лампы со встроенными электронными аппаратами включения (цена – около 10 евро) при ежедневной работе всего 3 часа и стоимости электроэнергии 10 центов за киловатт-час составляет около одного года.

Кроме экономии электроэнергии, использование люминесцентных ламп и светодиодов ведет к сокращению и других эксплуатационных расходов, так как срок службы их в 15–20 раз больше, чем у ламп накаливания. Необходимо иметь в виду, что в некоторых осветительных установках стоимость работы по замене ламп значительно превышает стоимость самих ламп. Это относится, прежде всего, к помещениям с высокими потолками и с труднодоступными светильниками.

В светильниках одного типа могут устанавливаться лампы разной мощности (18, 36 и 58 Вт) и в разном количестве. Как было показано в разделе 4.3, световая отдача люминесцентных ламп увеличивается с их длиной, а доля потерь мощности в дросселях при этом уменьшается, что ведет к еще большему росту световой отдачи комплекта «лампа-балласт». Например, четыре лампы мощностью 18 Вт создают световой поток примерно 4200 лм и потребляют мощность (с дросселями) 98 Вт, а две лампы по 36 Вт – 5600 лм и 85 Вт соответственно. Поэтому со светотехнической точки зрения применение светильников с лампами мощностью 36 Вт предпочтительнее, чем с лампами мощностью 18 Вт. Однако при выборе мощности и количества ламп необходимо учитывать не только их световую отдачу, но и все остальные факторы. Практика показывает, что в помещениях с относительно низкими потолками чаще используются светильники с лампами мощностью 18 Вт, а в высоких помещениях (3,5 м и выше) – 36 и 58 Вт.

Существенный вклад в экономию электроэнергии при одновременном повышении комфортности и надежности освещения дает использование электронных аппаратов включения люминесцентных ламп. Светильники с электронными аппаратами включения должны как можно шире внедряться во всех помещениях с длительным пребыванием людей или их напряженной зрительной работой. Российские Санитарные правила и нормы СанПин 2.21/2.1.1.1278-03 рекомендуют в помещениях с дисплеями применять светильники с люминесцентными лампами только с электронными аппаратами включения. Интересно также отметить – в Белоруссии законодательно установлено, что в школьных классах для освещения должно использоваться только высокочастотное питание люминесцентных ламп. Дополнительную экономию электроэнергии в осветительных установках дает использование аппаратов с регулированием светового потока ламп.

На базе таких аппаратов создаются автоматизированные системы управления освещением.

Маломощные металлогалогенные лампы, особенно с керамическими горелками (типа CDM), сейчас достаточно широко применяются для витринного и акцентирующего освещения вместо галогенных ламп накаливания, так как при хорошей и стабильной цветопередаче они имеют гораздо большие срок службы и световую отдачу. Кроме этого, металлогалогенные лампы широко применяются в прожекторах для наружного архитектурного освещения.

Натриевые лампы высокого давления незаменимы для уличного освещения и для освещения таких производственных помещений, в которых нет требований по качеству цветопередачи и точности работы (металлургические, металлообрабатывающие цеха, склады).

Ртутные лампы высокого давления с люминофором (ДРЛ) широко используются в уличном освещении малых городов и второстепенных улиц в больших городах, так как они значительно дешевле натриевых ламп и не требуют использования зажигающих устройств. Во внутреннем освещении область применения таких ламп – производственные помещения без особых требований к качеству цветопередачи (склады, деревообрабатывающие, химические цеха). В странах Евросоюза намечено постепенное изъятие этих ламп из употребления к 2015 году.

В тех местах, где обслуживание осветительных приборов затруднено, предпочтительны безэлектродные люминесцентные лампы и индукционные лампы высокого давления («плазменные»), имеющие наибольший срок службы среди массовых источников света.

8.1.6. Удобство эксплуатации

Критерий **удобства эксплуатации** тесно связан с критерием экономичности. Он включает в себя доступность

светильников для чистки оптических элементов (отражателей и рассеивателей) и замены источников света по мере выхода их из строя. Удобство эксплуатации обеспечивается, с одной стороны, расположением светильников, а с другой стороны – их конструкцией. Иногда встречаются светильники, в которых замена перегоревших ламп является головной задачей, требующей больших затрат времени и применения специального инструмента.

Чистка светильников должна производиться от двух до двенадцати раз в год. В пыльных помещениях целесообразно применять светильники со степенью защиты не ниже IP54, так как внутренние оптические элементы в них остаются чистыми, и процесс чистки значительно упрощается.

8.1.7. Эстетичность

Эстетичность светильников для освещения промышленных предприятий не имеет решающего значения, однако в общественных зданиях и в быту она часто является одним из решающих критериев при выборе осветительных приборов, а при освещении представительских помещений, уникальных архитектурных сооружений и в ряде других случаев в жертву эстетичности приносятся все остальные критерии. В таких помещениях часто используются (и это не запрещается нормативными документами) крайне неэффективные лампы накаливания и хрустальные люстры, создающие совершенно неприемлемую блескость. Тем не менее, при прочих равных условиях и для освещения промышленных предприятий потребители предпочитают более красивые светильники неказистым моделям. Критерий эстетичности имеет существенное значение при выборе ОП наружного декоративного освещения. Эстетичность осветительных приборов обеспечивается их конструкцией (формой) и качеством (цветом, фактурой) применяемых материалов. Очень привлекательно выглядят, например,

светильники с корпусами из стеклонаполненных полиэфирных смол, поликарбоната, полиамида.

Эстетичность освещения зависит не только от дизайна осветительных приборов, но также от их расположения. В последние годы очень широкое распространение получили подвесные потолки, которые отлично сочетаются со встраиваемыми светильниками с люминесцентными лампами и светодиодами. Именно такой тип освещения сейчас наиболее часто встречается в крупных магазинах и других общественных местах.

В некоторых помещениях достаточно хорошо смотрятся осветительные установки в виде сплошных светящихся линий. Для этого разными фирмами выпускаются так называемые модульные светильники.

В помещениях с низкими потолками (до 3,5 м) целесообразно использовать встраиваемые или потолочные светильники. В более высоких помещениях лучше применять подвесные светильники. При этом использование подвесных светильников позволяет экономить электроэнергию, так как расстояние от светильника до освещаемой поверхности становится меньше, а освещенность обратно пропорциональна квадрату этого расстояния.

В конце 90-х годов минувшего века психологи разных стран пришли к выводу, что в помещениях с длительным пребыванием людей применение только встраиваемых светильников нежелательно, так как потолки при этом освещаются лишь светом, отраженным от стен, пола и мебели, и выглядят темными. Это отрицательно сказывается на самочувствии и настроении людей. Поэтому, если в таких помещениях уже установлены встраиваемые светильники, желательно дополнительно использовать настенные или напольные осветительные приборы.

В настоящее время за рубежом для освещения помещений с длительным пребыванием людей наиболее

распространены подвесные светильники с отдельно сформированными КСС в нижней и в верхней полусферах. В таких светильниках «нижние» и «верхние» лампы питаются через отдельные аппараты с регулированием светового потока, что позволяет устанавливать оптимальное соотношение яркостей стен и потолка.

Очень эффективны в некоторых помещениях встраиваемые светильники направленного света с компактными люминесцентными или металлогалогенными лампами. Для акцентирующего освещения витрин, музейных и выставочных экспонатов наиболее пригодными могут быть светильники с галогенными лампами накаливания, маломощными металлогалогенными лампами или со светодиодами, устанавливаемые на шинопроводах.

Для освещения вспомогательных помещений (коридоры, лестничные клетки, гардеробы), в которых люди находятся не постоянно, целесообразно использовать наиболее простые светильники. Если при этом помещение сырое или пыльное, то более пригодны светильники, у которых патроны обеспечивают высокую степень защиты (IP 65).

8.2. Наружное освещение

Наружное освещение можно разделить на две группы: функциональное и декоративное.

Функциональное освещение обеспечивает освещение проезжей части улиц, дорог, транспортных развязок, туннелей, пешеходных переходов и др. Основной задачей функционального наружного освещения является обеспечение безопасности движения транспорта и пешеходов в темное время суток. Статистика разных стран показывает, что хорошее наружное освещение сокращает количество дорожнотранспортных происшествий в темное время суток в среднем на 30%.

Нормы функционального наружного освещения установлены Сводом правил СП 52.13330.2011 (СНиП 23-05-95). Основной нормируемой величиной при этом, как было сказано в главе 3, является **яркость дорожного покрытия**. Кроме освещенности, яркость дорожного покрытия зависит от типа покрытия (бетон, асфальт, гравий) и его состояния (сухое, мокрое, покрытое снегом и т. д.), а также от углов падения света. И только в простейших случаях (грунт, щебенка, гравий), когда характер отражения света от покрытия близок к диффузному, яркость прямо связана только с освещенностью. Дополнительно нормируется неравномерность распределения яркости. Отношение минимальной яркости покрытий проезжей части улиц, дорог и площадей к средней яркости должно быть не меньше 0,4 при средней нормируемой яркости не ниже 0,6 кд/м² и не меньше 0,3 при норме средней яркости ниже 0,6 кд/м². Соотношение минимальной и максимальной яркости дорожного покрытия на полосе движения должно быть не менее 0,6 при средней яркости выше 0,6 кд/м² и не менее 0,4 при средней яркости 0,6 кд/м² и ниже.

Для обеспечения требований неравномерности яркости, а также для максимального увеличения расстояний между светильниками и сокращения их количества, в функциональном наружном освещении используются светильники с широкими (типа Ш), и реже – с полуширокими (типа Л) КСС. В СНиП регламентируется высота установки светильников в зависимости от типа КСС и светового потока источника света в светильнике. Например, светильники с КСС типа Ш и световым потоком лампы менее 5000 лм могут устанавливаться на высоте не менее 7,5 метров, а со световым потоком более 40000 лм – не менее 13,5 метров; с КСС типа Л – соответственно 7 и 11,5 метров.

Чаще всего для функционального наружного освещения используются светильники, устанавливаемые на опорах с помощью достаточно длинных кронштейнов (1–2,5 м).

Кронштейны обеспечивают наклон продольной оси светильника относительно горизонтальной плоскости, что позволяет увеличить долю светового потока, падающую на проезжую часть, и уменьшить долю, падающую на тротуары. При освещении улиц, имеющих особое значение для истории и культуры страны, иногда используются уличные светильники, в которых светотехнические параметры отходят на второй план, уступая требованиям эстетичности. Например, Невский проспект в Санкт-Петербурге освещен венчающими светильниками со сферическими молочными рассеивателями (КСС типа М), коэффициент использования светового потока которых вряд ли достигает 20%. Естественно, что в таких фонарях теперь используются не газовые или керосиновые горелки, а вполне современные натриевые лампы высокого давления, а вместо стекла – поликарбонат.

Иногда для функционального наружного освещения применяются осветительные системы со светильниками с вторичными отражателями. Источники света в таких системах устанавливаются или внутри опоры, или рядом с ней на некоторой высоте. Свет от источника падает на вторичный отражатель (диффузный или зеркальный со специально рассчитанным профилем) и от этого отражателя – на освещаемую часть улиц или тротуаров. В качестве источников света используются металлогалогенные или натриевые лампы высокого давления мощностью до 2000 Вт. Коэффициент использования светового потока в таких системах, как правило, невысок, но полностью исключается блескость, и освещение получается комфортным и эстетически привлекательным. Примером такого освещения может служить участок улицы Неглинки в Москве напротив Малого театра.

На территориях автозаправочных станций и автостоянок могут применяться светильники рассеянного света (КСС – типа Д или М), устанавливаемые на высоте не ниже 3 метров

при световом потоке ламп до 6000 лм и не ниже 4 метров при световом потоке более 6000 лм. Не допускается применение прожекторов, расположенных на крышах и навесах и направленных в сторону улиц и дорог.

В качестве источников света для функционального наружного освещения СНиП рекомендует газоразрядные лампы, преимущественно – натриевые лампы высокого давления.

Декоративное наружное освещение должно обеспечивать хорошую видимость и художественную выразительность наиболее важных архитектурных и скульптурных объектов, элементов садово-паркового искусства, ландшафтной архитектуры. В последние годы очень широкое распространение получило декоративное освещение садово-парковых зон как в общественных, так и в частных садах и парках. Очевидно, что жестких нормативных требований к такому декоративному освещению не должно быть – здесь решающую роль играет индивидуальный художественный вкус проектантов или владельцев освещаемых объектов. Тем не менее, в Своде правил СП 52 13330.2011 установлены некоторые требования к освещению архитектурных сооружений, реклам и витрин, о чем было сказано в главе 3.

По сравнению с осветительными приборами для функционального освещения, ОП для декоративного освещения значительно разнообразнее как по светотехническим характеристикам, так и по конструктивному исполнению и внешнему виду. Многие предприятия в России и за рубежом производят светильники для декоративного наружного освещения с имитацией фонарей девятнадцатого века («под старину»), например, чугунные фонари, установленные в пешеходной зоне на Старом Арбате в Москве.

Для освещения дорожек в садах и парках широко применяются светильники, устанавливаемые непосредственно на почву («столбики»). В опорах таких светильников часто располагается аппаратура включения (дроссели, а при

необходимости – зажигающие устройства и компенсирующие конденсаторы). Источники света обычно находятся в верхней части опор и закрываются рассеивателями, преломлятелями или защитными колпаками. Как правило, основное назначение этих элементов – не светотехническое, а эстетическое, поэтому форма их может быть самой разнообразной.

Одно из специфических требований к светильникам наружного декоративного освещения – обеспечение их защиты от нарочитого разрушения (вандализма). Поэтому в большинстве случаев защитные колпаки или светорассеивающие элементы делаются из поликарбоната. С этой же целью – защиты от вандализма – конструкция светильников обеспечивает невозможность доступа к источникам света и аппаратуре включения без применения специального инструмента. В качестве конструкционных материалов используются алюминий или сталь, иногда – поликарбонат.

Антивандальными должны быть также светильники для освещения подъездов административных или жилых зданий. Рассеиватели таких светильников часто делаются из молочного поликарбоната; иногда рассеиватели защищаются еще и прочной металлической решеткой.

Светотехнические характеристики для светильников декоративного освещения не имеют такого большого значения, как для всех остальных осветительных приборов. Очень широко распространены садово-парковые светильники с синусной КСС (типа С), совершенно нерациональной в других случаях.

Отдельная группа светильников декоративного освещения – светильники, встраиваемые в грунт. Они устанавливаются вдоль дорожек и обеспечивают декоративное освещение зеленых насаждений или просто определяют направление движения. Такие светильники должны выдерживать значительные статические нагрузки (например,

хождение по ним человека или проезд автомобиля) и иметь степень защиты от пыли и воды не ниже IP 65. Защитное стекло обычно силикатное, так как поликарбонат при его очень высокой ударной прочности имеет малую твердость и при встраивании непосредственно в грунт быстро истирается. В последние годы для встраивания в грунт все чаще используются светильники со светодиодами разных цветов.

В настоящее время стало широко применяться декоративное освещение фонтанов, иногда в сочетании с цветодинамикой. Светильники для такого освещения должны быть герметичными со степенью защиты IP 67. Наиболее подходящим источником света в этом случае также являются светодиоды. Несколько лет назад в мире началось производство светодиодных модулей в отражателях от галогенных ламп накаливания низкого напряжения с цоколем G 6,3, предназначенных, в частности, для использования в подводных светильниках для подсветки фонтанов.

В светильниках декоративного освещения чаще всего применяются компактные люминесцентные лампы. Иногда используются металлогалогенные лампы небольшой мощности и галогенные лампы накаливания. Для эффектного выделения отдельных деревьев и кустарников иногда применяются цветные лампы или светофильтры. В последние годы все более широкое применение в декоративных светильниках находят светодиоды.

Для архитектурно-художественного освещения фасадов зданий используются специальные прожекторы. Поскольку прожекторы часто устанавливаются на небольшой высоте и светят снизу вверх, их конструкция должна обеспечивать защиту от водяных струй, падающих под любым углом. Поэтому степень их защиты должна быть не ниже IP65. Эти же прожекторы хорошо подходят для освещения рекламных щитов. Если освещаемая поверхность находится близко к прожектору, то целесообразнее использование

прожекторов с асимметричным светораспределением; при освещении с больших расстояний лучше подходят прожекторы с круглосимметричной КСС.

8.3. Аварийное освещение

Аварийное освещение, прежде всего, должно обеспечивать безопасность людей при выходе из строя общего освещения. На предприятиях и в цехах с непрерывным циклом производства аварийное освещение, кроме того, должно обеспечивать минимально необходимые условия для продолжения работы. В этом случае оно играет роль резервного освещения. Еще одной важной функцией аварийного освещения является указание путей эвакуации из помещений в аварийных ситуациях.

Если резервное освещение требуется лишь на некоторых промышленных предприятиях, то эвакуационное освещение необходимо практически везде. Требования к светильникам аварийного освещения изложены в ГОСТ Р МЭК 60598-2-22-99, а к аварийному освещению – в СП 52.13330.2011. В соответствии с этими требованиями, светильники аварийного освещения в случае выхода из строя основного (рабочего) освещения должны обеспечивать на полу освещенность не ниже 0,5 лк, достаточную для четкого различения лестничных ступенек или каких-либо препятствий. Для обеспечения эвакуационного освещения в помещениях должны устанавливаться специальные светильники или же часть светильников общего освещения должна переключаться в режим аварийного освещения.

Для обеспечения всех функций аварийного освещения разработаны и широко производятся в разных странах специальные аварийные светильники и эвакуационные указатели. В соответствии с требованиями СП 52.13330.2011, в аварийных светильниках могут использоваться только

лампы накаливания, а люминесцентные лампы – лишь в тех помещениях, в которых температура воздуха не может опускаться ниже +5 °С. Аварийные светильники могут быть автономными или централизованного питания, когда для них прокладываются специальные электрические сети от отдельных подстанций или от аккумуляторов. В последнее время все большее распространение получают аварийные светильники со светодиодами.

Автономные светильники аварийного освещения могут быть постоянными, непостоянными и комбинированными. Наиболее рациональными можно считать комбинированные светильники, которые в нормальном режиме работают как обычные светильники общего освещения, а при авариях переключаются в режим аварийного освещения. Поскольку в аварийном режиме требуются значительно меньшие освещенности, чем при нормальной работе, то при переходе в такой режим многоламповых светильников в них остается работать только одна лампа, причем и она работает не на полную мощность. В одноламповых светильниках – снижается мощность лампы (как правило, до 20–30, а иногда и до 5%). Необходимое количество аварийных светильников определяется размерами и характером помещений.

Для реализации автономного питания сегодня производятся так называемые конверсионные модули или «блоки аварийного питания». Конверсионный модуль – это устройство, содержащее электронный аппарат включения люминесцентных ламп, аккумуляторы и электронное или электромеханическое реле, переключающее лампы с работы от сетевого напряжения на работу от аккумуляторов. В многоламповых светильниках на аккумуляторное питание обычно переключается только одна лампа. Емкости аккумуляторов достаточно для работы ламп в течение одного, двух или трех часов (в зависимости от типа конверсионного

блока). Этого времени должно хватить для завершения необходимых работ и эвакуации людей.

Имеются варианты конверсионных блоков, в которых переключается только система питания аппарата включения. В нормальном режиме лампы питаются через аппарат от сети, а в аварийном – через тот же аппарат от аккумулятора и преобразователя.

Конверсионные блоки могут встраиваться во многие типы светильников с люминесцентными лампами, превращая, таким образом, светильники общего освещения в светильники аварийного или резервного освещения. Для этого могут быть использованы, в принципе, любые светильники с люминесцентными лампами.

От светильников аварийного освещения необходимо отличать световые эвакуационные указатели (например, «ВЫХОД»). В соответствии с Нормами пожарной безопасности НПБ 77-98, такие указатели должны устанавливаться во всех помещениях с одновременным пребыванием большого количества людей. В отличие от светильников аварийного освещения, эвакуационные указатели не обязаны обеспечивать освещенность, достаточную для безопасной эвакуации людей. В настоящее время функции светильников аварийного освещения и эвакуационных указателей часто совмещаются в одних изделиях – на светильники наклеиваются соответствующие трафареты. При этом обеспечивается и необходимая освещенность в аварийных режимах, и указание путей эвакуации.

Очевидно, что применение одних эвакуационных указателей в больших помещениях (крупные торговые залы, цеха промышленных предприятий и т. д.) явно недостаточно: если при аварии погаснет свет, то люди просто не будут видеть путей эвакуации, хотя где-то и будут светиться указатели «ВЫХОД». Поэтому часть светильников обязательно должна питаться от отдельных аварийных сетей или иметь

встроенные конверсионные модули, переключающие одну из ламп светильника на питание от внутренних аккумуляторов. С учетом сказанного выше, предпочтение следует отдавать второму варианту – использованию конверсионных модулей.

ВЫВОДЫ

При выборе ОП необходимо учитывать:

1. Основное назначение ОП.
2. Конструктивное исполнение ОП.
3. Светотехнические параметры ОП, прежде всего, кривые силы света.
4. Степень защиты ОП от воздействий внешней среды.
5. Параметры безопасности ОП (класс электрозащиты, пожаро- и взрывобезопасность).
6. Климатическое исполнение и категорию размещения ОП.
7. Экономические показатели ОП.
8. Надежность ОП.
9. Необходимость аварийного освещения.
10. Энергоэффективность светильников.
11. Возможность утилизации выходящих из строя ламп.

Эксплуатация осветительных установок

Как было сказано в предыдущей главе, при работе осветительных установок происходит постепенное снижение освещенности, вызванное спадом светового потока источников света, загрязнением оптических элементов осветительных приборов, а также выходом из строя части ламп. Основная задача правильной эксплуатации – обеспечение необходимых условий освещения в течение всего времени работы осветительной установки. Осветительные установки требуют такого же ухода, как и любое технологическое оборудование на производстве.

Нормальная эксплуатация заключается в регулярной периодической чистке осветительных приборов и замене выходящих из строя ламп.

Периодичность чистки установлена требованиями СП 52.13330.2011 (СНиП 23-05-95*) и зависит от степени загрязнения освещаемых помещений или наружных освещаемых участков. В относительно чистых производственных помещениях с содержанием пыли не более 1 мг/м^3 чистка светильников общего освещения должна производиться от 1 до 3-х раз в год, в помещениях с сильной запыленностью (цементные, металлургические заводы и т.п.) – от 4 до 12 раз в год, в помещениях со средней запыленностью – до 6 раз в год. Чистка светильников местного освещения должна производиться еженедельно самими работающими при уборке рабочих мест.

Способы чистки зависят от характера воздушной среды в помещениях (содержания и вида пыли, наличия в воздухе паров агрессивных веществ и растворителей, условий вентиляции), от материалов, из которых сделаны светильники, от конструктивного исполнения ОП.

Сухая протирка отражателей и рассеивателей наименее эффективна, а иногда и вредна. Если отражатель покрыт диффузно отражающей эмалью, то при протирке пыль и грязь втираются в поры и трудно удаляются при мойке. Тоже происходит и при протирке рассеивателей или защитных колпаков с неполированной поверхностью (рифленых, призматических, офактуренных). Кроме того, при сухой протирке изделий из полимерных материалов на поверхности наводится статическое электричество, способствующее накоплению пыли. На зеркально отражающих поверхностях из мягких материалов (например, алюминия с электрохимическим полированием) при протирке могут появляться царапины, особенно если в пыли или на тряпках содержатся частицы абразивных материалов, что приводит к снижению коэффициента отражения.

Гораздо эффективнее мойка осветительных приборов. Обычно мойка производится теплым раствором моющих средств (мыла, порошка, пасты) и мягкой ветошью. Иногда в моющие растворы добавляют вещества, снижающие появление статического электричества на поверхности (антистатические жидкости). Для осветительных приборов, работающих в грязных цехах, мойки теплым мыльным раствором часто бывает недостаточно. В этих случаях применяют специальные моющие средства, в состав которых вводится соляная кислота или щелочи.

При чистке и мойке светильников необходимо учитывать механические и химические свойства отражающих и светопропускающих материалов. Отражатели, покрытые силикатными эмалями, и силикатные стекла наиболее устойчивы ко всякого вида воздействиям и допускают многократные

чистки практически без ухудшения параметров осветительных приборов. Достаточно устойчив к различным способам чистки алязакированный алюминий, в том числе типа Alanod. Однако при чистке зеркальных отражателей недопустимо применение средств, содержащих абразивные материалы.

Кроме чистки осветительных приборов, нормальная эксплуатация предусматривает замену выходящих из строя ламп. Способ замены ламп может быть индивидуальным, групповым или комбинированным. При индивидуальном способе лампы заменяются по мере выхода их из строя. Такой способ замены целесообразен там, где выход из строя отдельных ламп приводит к заметному снижению освещенности в зоне расположения светильников или повышает коэффициент пульсации освещенности. Это происходит при включении соседних светильников в разные фазы сетевого напряжения, что по нормативным документам является обязательным для всех газоразрядных источников света с электромагнитными аппаратами.

При групповом способе замена всех ламп в достаточно больших помещениях производится одновременно. При этом меняются как вышедшие из строя лампы, так и лампы, еще продолжающие работать. Необходимость замены работающих ламп вызвана снижением их светового потока при длительной работе. Напомним, что по ГОСТ средний спад светового потока люминесцентных ламп к концу срока службы составляет 40%. Это значит, что даже без учета загрязнения светильников, работающие лампы к концу срока службы не будут обеспечивать нормируемые уровни освещенности во многих помещениях, если освещение их и было спроектировано с учетом коэффициента запаса. Эксплуатация таких ламп к концу срока службы просто становится экономически невыгодной.

Интервалы между групповыми заменами ламп зависят от стабильности светового потока во времени. С этой точки

зрения особенно выгодны люминесцентные лампы в колбах диаметром 16 мм (серия T5), так как у них спад светового потока к концу срока службы составляет всего 5–10%. Также значительно увеличивает стабильность параметров ламп в процессе эксплуатации применение электронных аппаратов включения (ЭПРА) с прогревом электродов. Для определения интервалов между групповыми заменами ламп имеет значение соотношение цены ламп и стоимости работы по их замене. Немецкие специалисты подсчитали, что при индивидуальной замене стоимость работ иногда превышает стоимость самих ламп, особенно в случаях, когда светильники установлены в труднодоступных местах.

Групповой способ замены значительно дешевле индивидуального. Как правило, такая замена производится в выходные дни, когда в помещениях нет работающих. Для административных помещений, освещенных светильниками с люминесцентными лампами, групповой способ является наиболее распространенным. Однако для осветительных установок с металлогалогенными лампами или натриевыми лампами высокого давления групповая замена часто оказывается экономически невыгодной из-за высокой стоимости таких ламп, и в этих случаях применяется индивидуальная замена.

В осветительных установках промышленных предприятий наиболее часто применяется комбинированный индивидуально-групповой способ замены люминесцентных ламп: периодически производится групповая замена, а в промежутках между групповыми заменами меняются лампы, выходящие из строя. Установлено, что такой способ замены на 10–15% дешевле индивидуального.

Для определения целесообразности групповой замены ламп необходимо контролировать реальное состояние освещения. Это обязаны делать энергетические службы предприятий.

Чистка осветительных приборов и замена ламп – достаточно дорогие процедуры. В высоких помещениях для этого требуется использование специальных сооружений – кранов, мостков, площадок – или применение подъемных механизмов.

Общие затраты на освещение складываются из двух частей:

- первоначальных затрат на светильники с лампами, электропроводку, защитные и распределительные устройства, монтаж;
- эксплуатационных расходов – стоимости электроэнергии и обслуживания осветительных установок.

Опыт всех стран показывает, что за время работы осветительных установок от сдачи в эксплуатацию до капитального ремонта или полной реконструкции доля эксплуатационных расходов может достигать 85% от общих затрат на освещение. Поэтому рациональная эксплуатация осветительных установок с периодической чисткой светильников и заменой ламп – совершенно необходимое и экономически целесообразное мероприятие.

К вопросам эксплуатации осветительных установок можно отнести и требование обеспечения необходимых климатических условий (температуры и влажности воздуха, атмосферного давления).

Температура окружающего воздуха практически не влияет на параметры осветительных приборов с лампами накаливания, ртутными и натриевыми лампами высокого давления, металлогалогенными лампами, но очень сильно сказывается на параметрах светильников с люминесцентными лампами. Снижение температуры от +25 до 0 °С приводит к уменьшению светового потока люминесцентных ламп почти в 5 раз. Тонкие люминесцентные лампы (серии Т5) сконструированы так, чтобы их максимальная световая отдача была при температуре окружающего воздуха не +25, как у ламп диаметром 26 и 38 мм, а при +35 °С. Поэтому

у них спад световой отдачи с понижением температуры происходит еще сильнее (см. рис. 22). Повышение температуры сказывается меньше: при росте температуры от +25 до +50 °С световой поток ламп снижается на 20–25%. Поэтому в климатических условиях России нет смысла применять светильники с люминесцентными лампами для наружного освещения и освещения неотапливаемых помещений.

ВЫВОДЫ

1. Эксплуатация осветительных установок включает в себя периодическую **чистку светильников и замену источников света**.
2. Замена ламп должна производиться не только при выходе их из строя, но и по мере снижения светового потока.
3. Периодичность чисток светильников установлена СП 52.13330.2011 (СНиП 23-05-95).
4. Способы чистки должны выбираться с учетом свойств материалов, из которых изготовлены оптические части светильников (отражатели, рассеиватели, защитные стекла и т. п.).
5. В осветительных установках с люминесцентными лампами наиболее рациональным является индивидуальногрупповой способ замены ламп. В установках с металлогалогенными лампами более выгоден индивидуальный способ замены.

Заключение

Хорошее освещение обеспечивается грамотно спроектированными и регулярно обслуживаемыми осветительными установками. Осветительные установки – это сложные комплексные устройства, которые должны не только обеспечивать необходимую освещенность, но и соответствовать множеству требований, о которых было рассказано в этой книге. От качества освещения зависят и производительность труда, и уровень брака, и утомляемость людей, и расход электроэнергии, и, в конечном итоге, – здоровье человека и психологический климат в коллективе. Поэтому к вопросу освещения необходимо подходить исключительно ответственно, учитывая все перечисленные критерии качества освещения, а не только по принципу «нравится – не нравится». Нельзя при этом забывать и древнюю мудрость – **скупой платит дважды**. Сэкономив средства на капитальных затратах за счет установки дешевых осветительных приборов или использования дешевых комплектующих изделий, мы можем многократно проиграть из-за большего расхода электроэнергии, снижения надежности, снижения производительности и качества труда, нанесении ущерба здоровью людей.

Однако необходимо учитывать и другую сторону проблемы хорошего освещения. В последние годы много внимания уделяется вопросам энергосбережения. И с этой точки зрения необходимо всегда иметь в виду, что экономия

энергии только ради энергосбережения может обернуться обратной стороной: сэкономив энергию путем уменьшения освещенности, мы можем гораздо больше проиграть за счет снижения производительности труда, повышения брака, ухудшения зрения и здоровья работников. В конце концов, никакая экономия энергии не стоит человеческого здоровья. Поэтому если и экономить электроэнергию, то ни в коем случае не за счет снижения освещенности, а только путем повышения эффективности осветительных установок, рационального проектирования их, использования наиболее эффективных средств и способов освещения.

* * *

Примечание

Часть фотографий в тексте заимствована из поисковой системы Bing (портал www.bing.com/images/search?q=..., сайты: люминесцентные лампы, компактные люминесцентные лампы, металлогалогенные лампы, натриевые лампы, светодиоды и электронные ПРА).

Учебный центр компании «Световые Технологии»

Учебный центр компании «Световые Технологии» начал свою активную работу с августа 2013 г. На сегодняшний момент разработаны и внедрены четыре обучающие программы, посвященные проектированию освещения, а также повышению знаний специалистов в смежных областях. Центр активно развивается и каждый месяц можно наблюдать увеличение числа семинарских занятий и учебных программ. Мы не гонимся за количеством слушателей. Наше главное правило – качество. Этим и обуславливается ограниченное количество участников семинаров – не более 12 человек.

Наши цели:

В рамках внедрения стратегии корпоративной и социальной ответственности повышать уровень компетенции специалистов, работающих в области светотехники и проектирования, тем самым способствовать созданию энергоэффективных решений, а, следовательно, снижать уровень потребления электроэнергии, тем самым уменьшая загрязнение окружающей среды.

Подробная информация на сайте www.ltcompany.com в разделе Услуги / Учебный центр.



www.ltcompany.com