

Денис Николаев | Nikolaev@ledcommunity.ru
 Сергей Щеглов | Serge_Sheglov@mail.ru
 Анатолий Феопентов | Feopentov@ledcommunity.ru

Светодиодные светильники:

ваш первый опыт

Все чаще и чаще мы слышим о светодиодном освещении и светодиодных светильниках. Кто-то уже начинает их «пробовать», другим это испытание предстоит в скором будущем. Так же как и с люминесцентными лампами, мнение о них неоднозначно. А неудачный первый опыт может только усилить неприятие. Мы постараемся помочь специалистам по светотехнике и потребителям полупроводниковых светильников перейти на полупроводниковые источники света таким образом, чтобы первый опыт оказался положительным.

В этой статье мы расскажем, на что следует обращать внимание при выборе и эксплуатации полупроводникового светильника и от чего зависят самые главные достоинства полупроводникового света: его эффективность и срок службы.

Типичный светодиодный светильник состоит из светодиодов, оптических элементов, теплоотвода и схемы питания. Каждая из частей играет свою важную роль и, соответственно, влияет на качество и эффективность изделия. За этими общими словами кроются конкретные важные характеристики, о которых и пойдет речь.

Эффективность

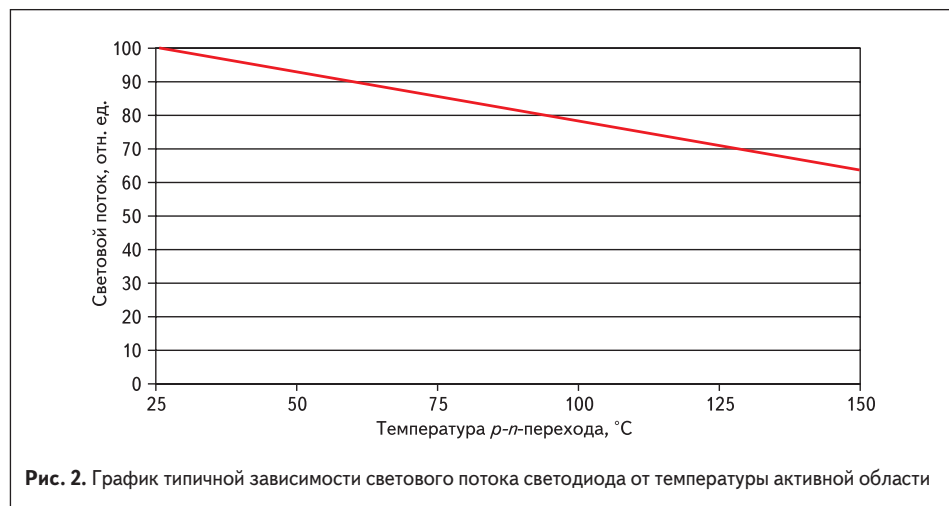
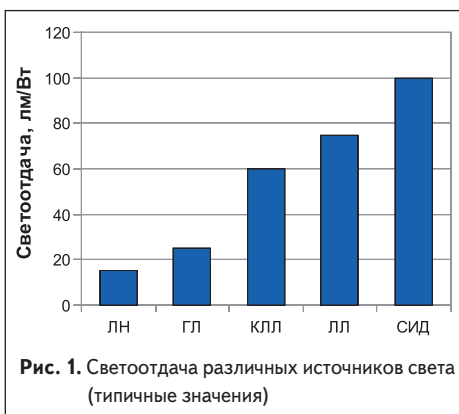
Одним из важнейших преимуществ светодиодного светильника по сравнению с традиционными лампами накаливания (ЛН), галогенными (ГЛ), люминесцентными (ЛЛ), компактными люминесцентными (КЛЛ) является их эффективность, то есть способность преобразовывать потребляемую электроэнергию в видимый свет. У светильников она характеризуется так называемой световой отдачей — отношением количества света, воспринимаемого челове-

ским глазом (лм), к количеству электроэнергии, затрачиваемой на работу светильника (Вт). У ЛН эта величина составляет 10–15 лм/Вт, а у белых светодиодов до 100 лм/Вт и выше. Значения для других источников света (ламп) показаны на рис. 1. У светильников, в которых используются такие лампы, световая отдача окажется меньше. А в светодиодном светильнике световая отдача зависит прежде всего от используемых светодиодов, также на нее влияют КПД блока питания (драйвера), температура светодиодов (точнее, их активной области — *p-n*-перехода) и КПД светильника — отношение светового потока светильника к сумме световых потоков всех источников (светодиодов), измеренных вне светильника. Потери светового потока возникают при прохождении излучения от светодиода через оптические элементы

(коллиматоры, линзы), при преобразовании на светорассеивателях, отражающих поверхностях и корпусных деталях. По этим причинам для корректного сравнения светильников необходимо знать световую отдачу именно всего изделия в целом, а не только светодиодов, входящих в него. Например, если световая отдача светодиода составляет 100 лм/Вт, КПД драйвера 80%, а потери из-за рассеивателя 10%, то световая отдача светильника составит 72 лм/Вт.

Чтобы светильник обладал высокой световой отдачей, недостаточно просто установить в нем самые эффективные светодиоды, о чем заявляют многие изготовители. Разработчик светильника обязательно должен обеспечить правильный тепловой режим, а потребитель — соблюдать условия эксплуатации.

При повышении температуры активной области светодиода на 10 °С световой поток снижается примерно на 2,5% (рис. 2). Если производитель указывает световой поток светодиода (например, 100 лм) для температуры активной области кристалла (*p-n*-перехода) 25 °С, то в светильнике, где светодиод может нагреваться до 100 °С, светодиод будет излучать уже около 80 лм. Нагрев происходит не мгновенно, в зависимости от конструкции это время может составлять до нескольких десятков минут. Поэтому для оценки ваших светильников, установленных на объекте,



измерение освещенности следует проводить через 2 ч после включения. Подробнее о соблюдении тепловых режимов речь пойдет ниже.

Другим важным с точки зрения эффективного использования светильника параметром является диаграмма направленности излучения, которая характеризует пространственное распределение силы света. Лампы накаливания или люминесцентные лампы без абажуров или арматуры светят во всех направлениях практически с одинаковой силой. Если такой источник света использовать, например, для подсветки приусадебного участка, то около половины света уйдет на освещение неба, то есть будет потеряно. Пожалуй, самыми неэффективными в этом плане можно назвать светящиеся матовые шары. Для более рационального освещения объектов и рабочих зон следует локализовать исходящий от светильника поток. Для этого необходимо использовать отражающие и фокусирующие элементы. Наиболее распространенным является применение в составе со светодиодом так называемой вторичной оптики – оптического элемента, направляющего излучение светодиода в необходимый телесный угол пространства. Существующая сегодня широкая номенклатура различных оптических элементов позволяет разработчику светильника наилучшим образом решать такого рода задачи. Примеры элементов вторичной оптики приведены на рис. 3.

Для экономии затрачиваемых ресурсов на освещение рабочей поверхности свет должен попадать только на интересующую нас площадь, но, с другой стороны, необходимо соблюдение требований по равномерности засветки (со-



Рис. 3. Примеры вторичной оптики для мощных светодиодов (LEDIL)

Таблица 1. Результаты расчета освещенности

Характеристика	Полуширокая диаграмма (120°)	Диаграмма направленности типа Л
Средняя освещенность, лк	3	27
Минимальная освещенность, лк	6,8	8,3
Максимальная освещенность, лк	67	36

значений освещенности). Всем известно, что самое яркое место в комнате — под лампой, в то время как по краям комнаты темно. А светильник, имеющий специальный тип диаграммы направленности — тип Л по ГОСТ 17677-82 (так называемая «бабочка» или «крыло летучей мыши») — позволяет осветить определенную площадку равномерно, с минимальными потерями. Это хорошо видно на рис. 4. В обоих случаях световой поток 1000 лм, габариты помещения 6×6 м, высота подвеса светильников 2,35 м. Результаты, полученные при сравнении расчета освещенности, приведены в табл. 1. На рис. 4а показан пример нерационального использования светодиодного светильника: он обладает диаграммой направленности как у светодиодов, с полушириной около 120°. На диаграмме рас-

пределения освещенности область, где освещенность достигает максимальных (избыточных) значений, отмечена красным. Интенсивность освещения убывает к краям. Чтобы повысить освещенность периферии площадки, придется либо заменить светильник на более мощный, что приведет к увеличению энергопотребления, либо установить несколько таких светильников, увеличив капитальные затраты. На рис. 4б показано светораспределение от светильника, имеющего такой же световой поток, но с линзами, формирующими индикатрису типа Л по ГОСТ 17677-82. Такой светильник освещает площадку более равномерно.

В качестве другого интересного примера хотелось бы привести светильник компании Ruud (рис. 5). Картина распределения освещенности на поверхности под светильником представляет собой форму, близкую к квадрату! Крайне редкое до нынешнего

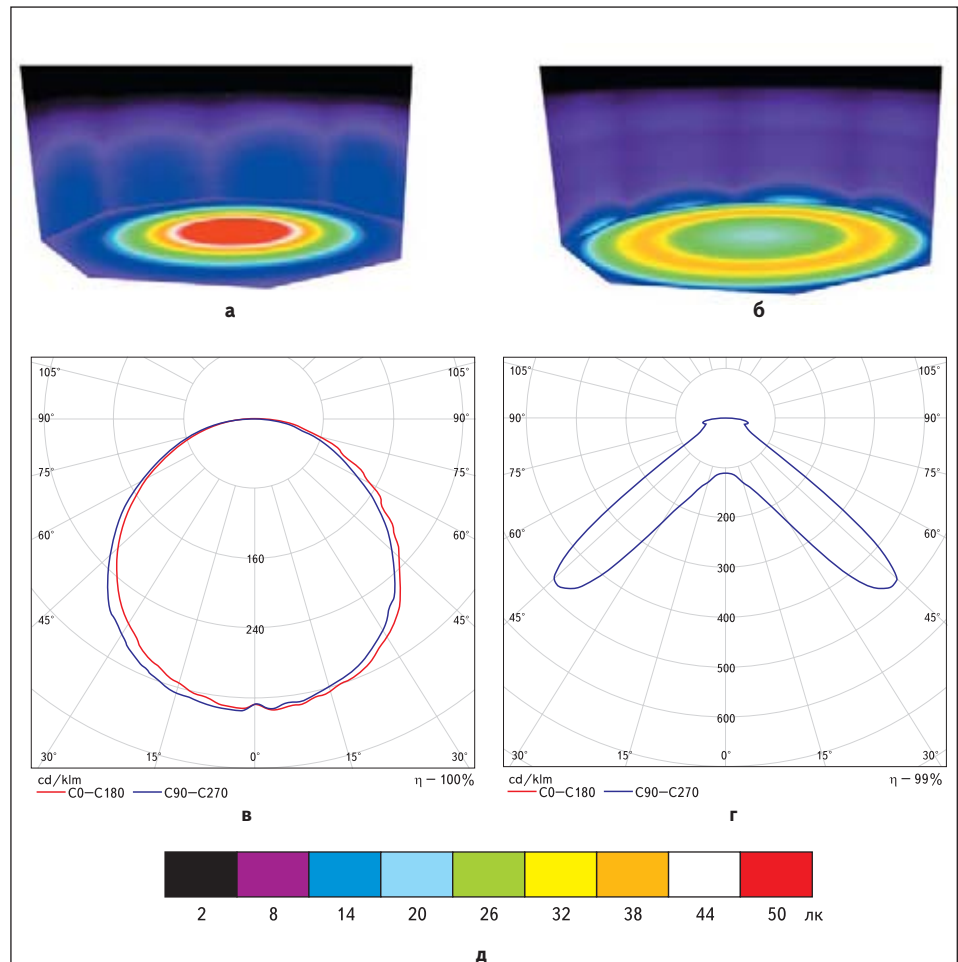
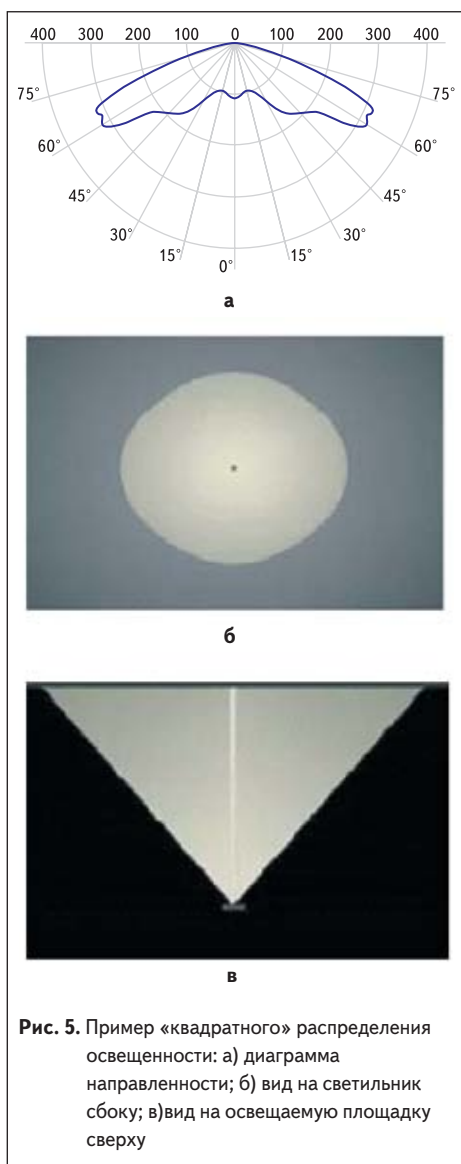


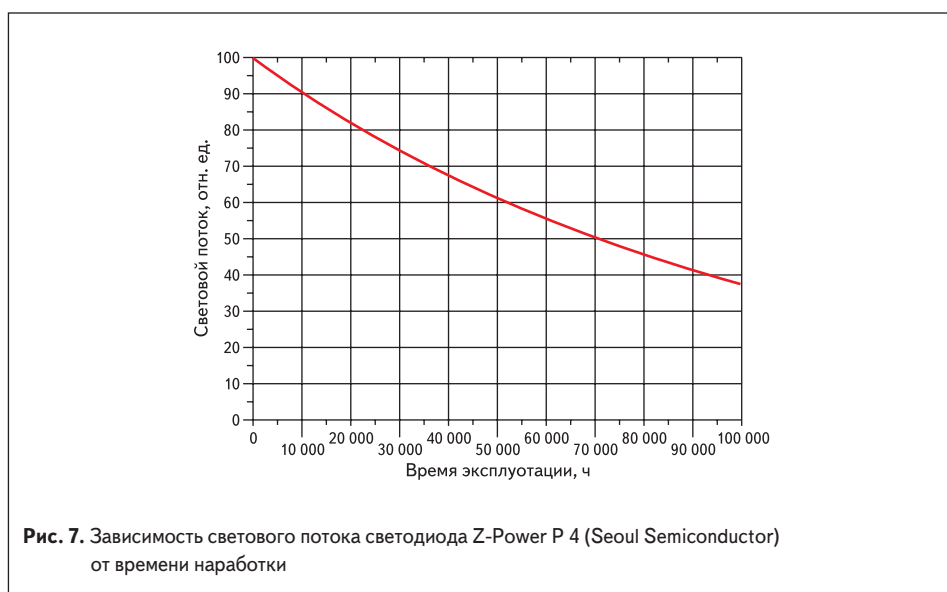
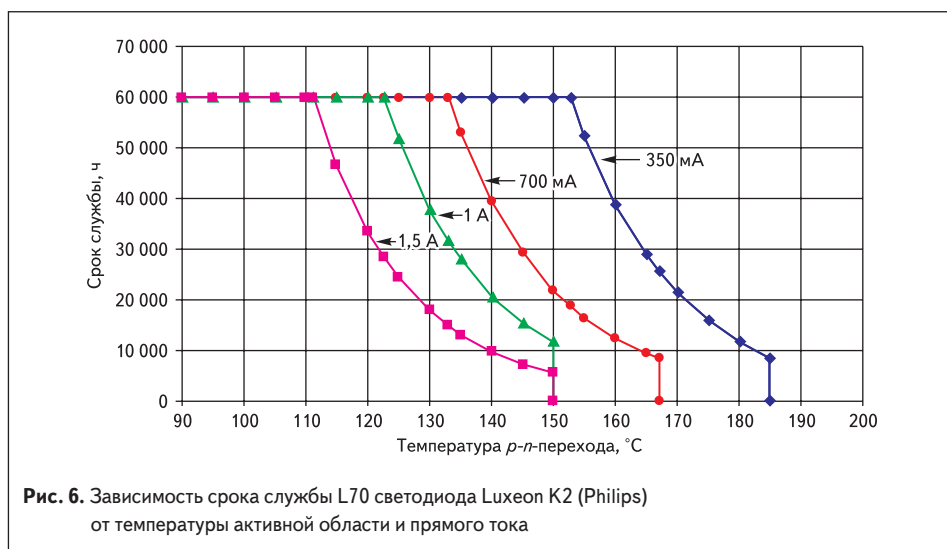
Рис. 4. Сравнение освещенности от двух источников света, отличающихся типом диаграммы направленности излучения: а) светильник с полуширокой диаграммой направленности (120°); б) светильник с диаграммой типа Л; в, г) диаграммы направленности светильников в полярных координатах; д) распределение освещенности, создаваемое светильниками в помещении. Значения на шкале в люксах



момента явление в светотехнике. Преимущество такого решения кажется очевидным: если большинство площадок (например, автостоянки, дорожки) прямоугольные, то не лучше ли использовать «прямоугольные» светильники?

Благодаря правильному подбору пространственного распределения силы света и расположению одного или группы светильников можно снизить общую потребляемую мощность, затрачиваемую на освещение объекта или площадки, причем не только за счет высокой световой отдачи, но и за счет рационального использования светового потока. То есть вместо КЛЛ с потоком 1000 лм вы сможете обойтись светодиодным светильником с потоком, например, 700 лм.

Достоинство светильника с особым распределением силы света из существенного преимущества может превратиться в его недостаток. Во-первых, причиной тому может стать неправильный выбор и размещение светильника, из-за чего не будет обеспечена равномерность засветки или необходимый уровень освещенности. Чтобы такого не случилось, мы рекомендуем обращаться за помощью к светотехнику — специалисту, который поможет подобрать наиболее оптимальный вариант не только



с точки зрения экономии, но и с учетом действующих норм и правил по размещению, освещенности и комфортному восприятию световых источников. Во-вторых, если речь идет о помещениях, концентрация усилий на выполнении требований освещенности на полу приведет к тому, что на стены практически не будет попадать прямой свет (на рис. 5б это хорошо видно). Хотя все обязательные нормы при этом будут учтены, уровень комфорта в помещении окажется низок. На лестничной площадке, например, будет тяжело разглядеть лицо посетителя. При прямом наблюдении за ярким светящимся светодиодом, естественно, возникает слепящий эффект, как, например, при наблюдении за работающей без какого-либо светорассеивателя лампочкой накаливания. Для того чтобы светодиодный светильник не имел слепящего действия, необходимо минимизировать возможность попадания прямого света непосредственно в глаз человека. С одной стороны, это достигается правильным расположением источника, с другой — применением в конструкции светильника ограничивающих и рассеивающих направленный свет элементов.

Срок службы

О сроке службы светодиодов в различных публикациях указывают совершенно разные данные. Кто-то рассказывает, что светодиод будет светить 100 тысяч часов, а кто-то (вроде бы честно) говорит «всего» о 30 тысячах. Кстати, 30 тысяч часов — вовсе немало: это три с половиной года непрерывной работы или 8 лет при эксплуатации по 10 часов в сутки. Срок службы светильника зависит в первую очередь от срока службы светодиода. А на некоторые блоки питания производители (например MeanWell) дают гарантийный срок наработки до 200 тысяч часов и более.

Срок службы самого светодиода зависит прежде всего от трех основных факторов:

- качество структуры светодиодного кристалла;
- значение прямого тока, протекающего через светодиод;
- температура активной области кристалла (*p-n*-перехода).

Качество структуры светодиодных кристаллов обеспечивается их изготовителем, именно оно определяет потенциальную возможность долгой жизни светодиода. Сегодняшний опыт

позволяет утверждать, что светодиоды таких известных мировых производителей, как Cree, Nichia и Philips, таким качеством, как правило, обладают. Это подтверждают не только исследования самих производителей, но и результаты внедрения и эксплуатации изделий с такими светодиодами, в том числе и в России.

Чтобы светодиоды «жили» долго, необходимо контролировать силу тока, протекающего через них, а также температуру активной области светодиодного кристалла. Ведь даже при эффективности 100 лм/Вт около 70% потребляемой электроэнергии светодиод превращает в тепло, а не в свет. Чем больше сила тока и выше температура, тем ниже срок службы светодиода. Данная зависимость носит экспоненциальный характер. Типичный график (в нашем случае для светодиода Luxeon K2), приведенный на рис. 6, показывает, что срок службы светодиода длительностью 50 тысяч часов можно обеспечить при токе 1,5 А и температуре перехода 115 °С или при токе 350 мА и температуре 155 °С. Большинство производителей указывают различные допустимые значения температуры для своей продукции. Например, у светодиода XLamp XR-E это 80 °С, а у Luxeon K2 — 155 °С. Все это говорит о строгой необходимости обеспечивать требуемый тепловой режим. В противном случае одно из важнейших преимуществ светодиодного светильника — долгий срок службы — может существенно пострадать.

Тепловой режим светильника определяется его конструкцией, точнее, способностью эффективно отводить от светодиодов выделяемое тепло. Проверить эффективность теплоотвода потребитель, как правило, возможности не имеет, да он и не должен этого делать. Однако, чтобы убедиться в качестве конструкции, нелишне



Рис. 8. Светильники для внутреннего освещения: а) «Светлана-Оптоэлектроника» — для установки на плоскую теплоотводящую поверхность (стену); б) Ama Precision — для встраивания в подвесной потолок

попросить у разработчиков светильника отчет с результатами исследования теплового режима, а также сведения о надежности светодиодов (т. н. Reliability Data).

Но за тепловой режим ответствен не только разработчик. Условия эксплуатации светового прибора целиком зависят от пользователя, точнее — от способа и качества установки светильника. Тепло от находящихся внутри корпуса светодиодов передается либо в окружающее пространство через радиатор (рис. 8б), либо стене, на которую устанавливается вся конструкция (рис. 8а). Нарушение рекомендаций по установке, которые обязательно должен предоставить изготовитель, приведет, скорее всего, к ухудшению теплообмена и повышению температуры активной области кристаллов, а следовательно — к сокращению срока службы и уменьшению светового потока изделия. Типичным примером неправильной установки можно назвать отсутствие необходимого объема воздуха у светильника, встраиваемого в подвесной потолок. Иногда его даже умудряются накрывать теплозвукоизоляционным материалом, что абсолютно недопустимо.

В некоторых случаях в светильник встраивают ограничитель, понижающий ток питания светодиодов при чрезмерном перегреве. С одной стороны, это решение кажется удачным: оно защищает прибор не только от ускоренной деградации, но и от преждевременного выхода из строя. С другой стороны, продуманные конструктивные решения должны предусматривать его нормальное долговременное функционирование во всем заявленном температурном диапазоне, даже несмотря на естественную (но не полную) запыленность теплоотводящих поверхностей. Со временем эксплуатации световой поток светодиодов снижается (рис. 7). В отличие от ламп накаливания они не перегорают. Поэтому важно понимать, что именно производитель подразумевает под сроком службы. Как правило, принято пользоваться характеристикой, обозначаемой как L70. Она показывает продолжительность эксплуатации, в течение которой световой поток светильника упадет до 70% от начального значения (снизится на 30%). Но в некоторых случаях (как правило, в светильниках для развлекательного, а не утилитарного применения) может использоваться характеристика L50 (падение на 50%).

При подготовке светотехнического проекта деградацию световых параметров светильника следует закладывать в коэффициент запаса,

чтобы нормы освещенности выполнялись не только в момент установки светильников, но и в течение всего срока службы, на который вы рассчитываете. Кроме деградации светодиодного кристалла, на светоотдачу светильника влияет загрязнение его внешних и внутренних поверхностей. Несмотря на то, что полупроводниковые источники света считаются не обслуживаемыми, периодическая их очистка все же требуется. В обычных условиях от этого куда не деться, но, к счастью, эта процедура существенно дешевле замены лампы. Однако особенно важно, чтобы в процессе эксплуатации не покрывались пылью внутренние поверхности. Дабы этого не происходило, светильник должен обладать соответствующей пылезащищенностью, уровень которой, в лучшем случае, должен быть подтвержден результатами испытаний. Чтобы полностью избежать проблем с загрязнением, рекомендуется (прежде всего на улице), использовать герметичные светильники, например с IP55 и выше. О степени защиты изделия от проникновения пыли можно узнать по первой цифре кода IP, о защите от воды говорит вторая (таблица 2).

Как правило, преждевременную деградацию (например, через 10 тысяч часов) выявить сложно, человек заметит изменение освещенности, когда та упадет приблизительно в два раза по сравнению с первоначальной. Но будет уже поздно, потому что гарантийный срок, скорее всего, к тому времени закончится, а светильник не выработает и половины заявленного ресурса. Поэтому раз в год имеет смысл проводить контроль уровня освещенности. Сделать это можно с помощью специального прибора — люксметра, который есть в отделах безопасности труда многих учреждений.

Цвет

Цвет — это одна из характеристик светодиодного светильника, которая для потребителя часто оказывается непривычной. Почти все мы привыкли к «теплому» свету ламп накаливания (цветовая температура около 2800 К). Но многие светодиоды характеризуются более холодными оттенками: с цветовой температурой 4000 К (т. н. нейтральный белый), 6000 К (как у Солнца) и даже 8000 К (холодный белый, с заметным голубоватым оттенком). К сожалению, пока наибольшей эффективностью (100 лм/Вт и выше), позволяющей уверенно

Таблица 2. Расшифровка кодов IP

Уровень	Первая цифра. Защита от проникновения предметов, пыли.	Вторая цифра. Защита от воды.
4	Защита от проникновения предметов крупнее 1 мм	Защита от брызг
5	Пылезащищенное	Защита от водяных струй
6	Пыленепроницаемое	Защита от сильных водяных струй
7	—	Допускается кратковременное погружение на глубину до 1 м

конкурировать, например, с ЛЛ и КЛЛ, обладают светодиодами именно холодных оттенков. Иногда, в стремлении повысить светоотдачу, производители делают светодиоды, излучение которых обладает слабым зеленоватым оттенком. Однако это не должно пугать потребителя, если экономическая сторона для него важнее эстетических предпочтений. Страшного в этом ничего нет, ведь привыкли же мы к желтым уличным фонарям, освещающим города. В большинстве светильников для улиц и дорог устанавливают натриевые лампы высокого давления (ДНаТ), излучающие только в желто-красной области спектра. Индекс цветопередачи (Color Rendering Index — CRI) таких источников света около 20. Свет от этих ламп не отражается от поверхностей зеленого и синего цветов, поэтому те кажутся черными. По сравнению с ДНаТ даже у светодиодов с голубоватым или зеленоватым оттенком качество цветопередачи существенно выше: индекс CRI не менее 60–70. Это вполне удовлетворительное значение, при нем человек может различать большинство цветов. У светодиодов теплых оттенков (Warm White) CRI еще выше (около 80), а у специально изготовленных светодиодов он может достигать значения 90–95. Особенно важен этот параметр для таких сфер применения, как торговля и выставочные залы. Например, из-за недостатка интенсивности в красной области на прилавке

мясные продукты будут выглядеть бледными и темными, что недопустимо с точки зрения их привлекательности. Ну, а о необходимости правильной передачи цветов в картинной галерее понятно и без каких-либо дополнительных пояснений.

Привередливые пользователи, заботящиеся об имидже своего помещения, должны обращать пристальное внимание на однородность светильника. Технология производства пока не позволяет изготавливать белые светодиоды строго одного оттенка. Однотонность обеспечивается сортировкой перед упаковкой уже готовых светодиодов. Во время сортировки светодиоды делятся на группы, каждая из которых характеризуется определенным оттенком. Наличие большого ассортимента оттенков, даже расфасованных в разную тару, вынуждает производителей собирать партии светильников из светодиодов различных цветовых групп. При отдельной оценке таких светильников наблюдатель, как правило, никаких различий не обнаружит. Однако массив таких светотехнических приборов, размещенных рядом, начинает казаться «разноцветным». На качество общего освещения (например, в цеху или административном помещении) эта небольшая цветовая разница не оказывает никакого влияния. Однако в случае декоративного освещения или подсветки специального объекта, формирующего представление

о компании, подобная «разнотональность» недопустима.

Выводы

В заключение хотелось бы еще раз отметить те ключевые моменты, на которые следует обращать внимание при приобретении светодиодных светильников для вашего проекта:

1. Световой поток, потребляемая мощность и светоотдача должны быть указаны именно для светильника, а не для светодиодов, входящих в него.
2. Диаграмма направленности излучения должна соответствовать предполагаемой расстановке светильников. Наилучший выбор поможет сделать специалист по расчету освещенности.
3. Срок службы должен быть подтвержден не только маркой светодиодов, но и обязательствами изготовителя светильника.
4. Светильник следует устанавливать и эксплуатировать в строгом соответствии с рекомендациями изготовителя, обращая особое внимание на обеспечение необходимого теплового режима работы светового прибора. Это убережет его от преждевременного старения.
5. Цвет излучения и цветопередача должны отвечать требованиям проекта. С другой стороны, излишние требования к ним могут привести к снижению энергоэффективности системы освещения.