

Особенности разработки светодиодного светильника

При проектировании любого светового прибора (СП) перед разработчиком неизбежно возникает вопрос о выборе его основных параметров. Поскольку СП разрабатывается для целей освещения, то основными будут являться светотехнические параметры, такие как световой поток, кривая силы света (КСС), коррелированная цветовая температура (КЦТ) и др. В то же время в процессе эксплуатации СП ни в коем случае не должен пострадать человек, то есть изделие должно быть безопасно (подразумеваются электрическая, тепловая и механическая безопасность). Поскольку светильник — электрическое устройство, он не должен приводить к сбою в работе другого электрооборудования, и наоборот — это регламентируется правилами электромагнитной совместимости (ЭМС).

При разработке все перечисленные параметры и требования должны быть определены на основании предполагаемой сферы применения светового прибора и действующей нормативной документации. При этом, выбирая светотехнические параметры, необходимо будет решить так называемую обратную задачу. Обратная задача в данном случае подразумевает, что, основываясь на обеспечении нормативных светотехнических показателей, требуется определить вид кривой силы света (КСС), величину светового потока, расположение и количество СП. Зачастую решение такой задачи либо отсутствует, либо крайне затруднительно, и приходится переходить к решению прямой задачи. В этом случае выполняется расчет нормируемых показателей, удовлетворяющих нормативным требованиям при некоторых вы-

бранных параметрах осветительной установки, и затем, неоднократным перебором, находят их оптимальные значения.

Нормируемые показатели для различных видов освещения указаны в своде правил [1]. Прежде всего, это:

- минимальная освещенность рабочей поверхности;
- неравномерность освещенности;
- показатель ослепленности или дискомфорта;
- коэффициент пульсаций освещенности;
- цилиндрическая освещенность;
- средняя яркость;
- общая и продольная равномерность распределения яркости.

Последние два показателя применяются в основном для рекламного, архитектурно-декоративного освещения и освещения улиц и дорог.

Оптимальный выбор светотехнических характеристик светодиодного светильника, особенно в случае, если требуемое распределение света отличается от светораспределения светодиода, довольно трудоемко. Поэтому часто при проектировании светодиодного светильника выбирают более простой путь — отталкиваются от параметров уже существующих светильников, меняя только источник света и внешний вид светильника. В большинстве случаев это оправданно, но могут возникнуть ситуации, когда такое копирование окажется неоптимальным.

На что следует обращать внимание, проектируя светодиодный светильник?

Основные светотехнические параметры

Поскольку задачей светильника является перераспределение света внутри некоторого достаточно большого телесного угла, то важным параметром выступает тип КСС.

Типы кривых силы света светильников определены в [2] ([3]), и в зависимости от назначения СП следует выбирать наиболее оптимальный тип КСС для разрабатываемого изделия (рис. 1). Для производственных помещений рекомендуется тип КСС К, Г или Д (зависит от высоты подвеса светильника; чем выше — тем уже). Для освещения помещений с небольшой высотой потолков, например офисов, выбирается тип КСС Г или Д. Наиболее сложный тип КСС требуется для освещения улиц и автострад: в одной плоскости Л или Ш, а в другой плоскости — К или Г. Чтобы сформировать в этом случае правильный вид КСС, зачастую приходится в одном СП применять комбинацию из нескольких типов линз.

В упоминавшемся выше своде правил [1] говорится, что при искусственном освещении нужно использовать наиболее экономичные источники света с наибольшей световой отдачей и наибольшим сроком службы. Поэтому, при прочих равных условиях, информативным и важным показателем СП становится световая отдача, которая связывает световой поток с потребляемой мощностью. Требования к световой отдаче светодиодного СП для внутреннего освещения в зависимости от его назначения, класса светораспределения, наличия или отсутствия элементов вторичной оптики указаны во вступившем в действие с 01.07.2012 нормативном документе [3] (таблица 1). Для световых приборов наружного утилитарного освещения, в соответствии с указанным документом, световая отдача должна быть не менее 65 лм/Вт.

Указанный нормативный документ определяет еще один параметр светодиодного светильника — коэффициент световой отдачи, то есть отношение световой отдачи осветительного прибора к световой отдаче используемых в нем светодиодов одного типа в номинальном режиме. Этот параметр аналогичен параметру

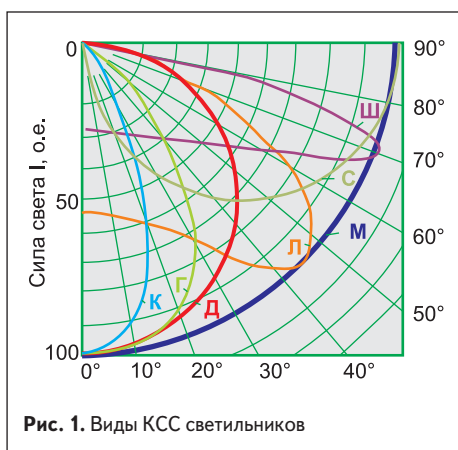


Рис. 1. Виды КСС светильников

Таблица 1. Световая отдача светильников внутреннего освещения

Область применения	Класс светораспределения	Световая отдача, лм/Вт, не менее, для светильников			
		С рассеивателем		Со вторичной оптикой	Без оптических и экранирующих элементов
		Призматическим	Матированным		
Помещения общественных зданий	П	65	55	60	-
	Н	60	50		
	Р				
Помещения производственных зданий	П	65	55	65	70
	Н, В	60	50	60	65
	Р				

КПД светильника, выполненного на традиционных источниках света. Значение коэффициента световой отдачи для светильников внутреннего и наружного освещения должно быть не ниже 60%.

Известно, что в светодиодном светильнике существуют неизбежные потери светового потока, связанные с нагревом кристалла светодиода (10–18%); в элементах вторичной оптики (8–12%); в защитном стекле (8–15%). Все это ведет к снижению световой отдачи осветительного прибора по отношению к световой отдаче используемых в нем светодиодов. На такое снижение оказывают влияние также и потери в источнике питания (10–15%).

В определении коэффициента световой отдачи по [3] участвует такое понятие, как номинальный режим работы светодиода (в данном случае следует считать режим биннинга светодиода). Тогда нужно будет учесть и дополнительные потери (до 10–20%), связанные с работой светодиода на повышенном токе (не выше допустимого максимального значения), если таковой режим предусматривается. В этом случае, учитывая все возникающие потери, обеспечить требуемое значение коэффициента световой отдачи будет крайне сложно.

В связи с этим важной задачей разработчика является грамотный выбор компонентов, режима их работы и общей конструкции СП с тем, чтобы суммарные потери в световой отдаче не превысили 40%.

В настоящее время некоторые производители светодиодов осуществляют биннинг своей продукции при температуре кристалла +85 °С, например, так поступает компания CREE для серий светодиодов ХТ-Е, ХВ-Д и др. Это позволяет уже не учитывать потери светового потока, связанные с нагревом кристалла (номинальный и рабочий режим будут близки) и несколько облегчает разработчику выполнение требования по коэффициенту световой отдачи.

Светодиодный светильник, как правило, обладает эффектом снижения светового потока после включения до тех пор, пока не наступит тепловое равновесие. Этот эффект напрямую связан с потерями, возникающими при нагреве кристалла светодиода в процессе работы. Падение светового потока, в соответствии с указанным нормативным документом, регламентировано и должно быть не более 15% ко времени его стабилизации.

Действующий свод правил [1] определяет коррелированную цветовую температуру только для светильников внутреннего освещения в диапазоне 2400–6800 К и не определяет ее значение для светильников наружного освещения. Вступающий в действие ГОСТ [3] определяет диапазон КЦТ для любых светодиодных светильников (внутреннего и наружного освещения) 2580–7040 К. Допустимые координаты цветности используемых светодиодов должны лежать в границах, совпадающих с границами известного ранее стандарта ANSI C78.377А. В настоящее время многие производители светодиодов приводят биннинг своей

продукции в соответствии с требованиями ANSI C78.377А. Например, компания Cree в свое время была первой среди тех, кто стал выпускать продукцию в соответствии с условиями указанного стандарта. Поэтому среди продукции компаний, перешедших на биннинг по стандарту ANSI, будет достаточно легко подобрать светодиоды с нужными координатами цветности, удовлетворяющими требованиям нового стандарта.

Для освещения помещений с повышенными требованиями к цветоразличию (швейное производство, подбор красок для печати и др.) требуются СП с нормированным параметром по индексу цветопередачи (CRI, R_a). Рекомендуемые значения индекса цветопередачи источников света в зависимости от характеристик зрительной работы, а также цветовые температуры и уровни освещенности можно найти в приложении 3 свода правил [1]. По указанным рекомендациям нужно будет подобрать светодиоды, обладающие требуемым значением индекса цветопередачи.

Для внутреннего освещения в зависимости от характера выполняемой работы, согласно указанному выше своду правил, нормируется очень важный показатель — коэффициент пульсаций освещенности (K_p). Этот параметр напрямую связан с качеством питающего светодиода тока, а следовательно, источника питания (ИП) светильника. Светодиод — прибор практически безынерционный, и любая нестабильность тока (пульсации) в ИП на выходе светильника оказывается нестабильностью (пульсацией) светового потока, а следовательно, и освещенности. Со значением коэффициента пульсаций освещенности есть интересный нюанс. Свод правил [1] регламентирует значение коэффициента пульсаций не более 10% в помещениях с установленными дисплеями (самая жесткая норма). Есть другой действующий документ [4], в котором этот же параметр ограничивается величиной не более 5%. Этот нюанс нужно учитывать при разработке светильника для освещения помещений с установленными мониторами (офисы). В таких помещениях следует руководствоваться более жесткой нормой коэффициента пульсаций — не более 5%. Тогда, вне зависимости от того, по какому документу будет сдаваться освещение помещения, требуемая норма по коэффициенту пульсаций всегда будет выполнена. Обеспечить коэффициент пульсаций на таком достаточно низком уровне можно правильным выбором ИП либо применяя схему подключения светильников на разные фазы трехфазной сети. При выборе ИП с низким уровнем пульсаций тока сложность заключается в том, что этот параметр явно не указывается в технической документации, кроме того, он зависит от параметров нагрузки, в частности от крутизны ВАХ светодиодов. При подключении различных светодиодов в различном количестве к ИП, первоначально имеющему некоторый заметный уровень пульсаций, на выходе будет получен различный коэффициент пульсаций освещенности.

Основные требования безопасности

Поскольку первичным источником питания является сеть 380/220 В 50 Гц, то требования по электробезопасности изделия в обязательном порядке должны быть соблюдены.

Практически любой светодиодный светильник имеет в своем составе светодиодный модуль — сборку из двух или более светодиодов с полным набором электрических, оптических, механических и тепловых компонентов без устройства управления [3]. Требования к разработке подобного модуля с точки зрения обеспечения безопасности указаны в документе [5]. Требования по безопасности светильников приведены в нормативном документе [6]. Дополнительные частные требования к светильникам внутреннего и наружного освещения можно найти в документах [7, 8] соответственно.

Наиболее важный аспект по безопасности — это электробезопасность изделия. В соответствии с [6] светильники подразделяются на четыре класса по защите от поражения электрическим током.

В светильниках, выполненных по нулевому классу электробезопасности (применяется только для обычных светильников), защита от поражения электрическим током обеспечивается основной изоляцией, и защитное заземление не предусматривается. Функцию защиты от повреждения основной изоляции выполняет внешняя оболочка. Испытательное напряжение установлено 1,44 кВ.

В светильниках, выполненных по I классу электробезопасности, защита от поражения электрическим током обеспечивается основной изоляцией и дополнительным защитным заземлением. В этом случае изоляция светильника испытывается при подведении к нему испытательного напряжения 1,44 кВ, а светильник к сети подключается трехжильным кабелем.

В светильниках, выполненных по II классу электробезопасности, защита от поражения электрическим током обеспечивается основной и дополнительной или усиленной изоляцией. В этом случае испытательное напряжение имеет величину 3,6 кВ, а светильник допускается подключать к сети двухпроводным кабелем.

В светильниках, выполненных по III классу электробезопасности, защита от поражения электрическим током обеспечивается применением безопасного сверхнизкого напряжения питания и в нем не возникает напряжение, превышающее 50 В переменного тока. Испытательное напряжение для этого класса светильников установлено 0,5 кВ.

Светильники наружного и внутреннего освещения выполняются, как правило, по I или II классу защиты от поражения электрическим током. Поскольку к первичной сети подключается ИП осветительного прибора, то обеспечение электробезопасности в первую очередь лежит именно на нем.

Исходя из того, по какому классу электробезопасности разрабатывается светильник, следует при выборе ИП обращать внимание на такой его параметр, как электрическая проч-

ность изоляции вход-выход и/или вход-корпус, и, применяя те или иные конструктивные решения, не ухудшить в конечном изделии значение этого параметра.

Возможно также применение источников питания и без гальванической развязки (гальванически связанных с сетью). В этом случае выполнить требования по электробезопасности может оказаться более сложно, но возможно, если светодиоды устанавливаются на алюминиевую печатную плату с электрической прочностью изоляции более 1,44 кВ. Гальванически развязанные ИП, выполненные по I или II классу, как правило, оказываются предпочтительней с точки зрения более простой конструкции светильника по сравнению с источниками, имеющими гальваническую связь.

Основные требования по ЭМС

Требования электромагнитной совместимости светильников регламентируются нормативными документами [9–12].

Любое электрическое осветительное оборудование при работе может создавать различные радиопомехи, распространяющиеся по эфиру и проводам питания, которые могут привести к сбою в работе другого оборудования. Чтобы уменьшить влияние друг на друга работающих устройств, необходимо, чтобы создаваемые ими уровни помех не превышали определенной величины. Допустимые уровни радиопомех в различных частотных диапазонах определены в [9].

С другой стороны, на работающее осветительное оборудование могут действовать различные помехи:

- электростатические разряды;
- радиочастотные электромагнитные поля;
- магнитное поле промышленной частоты;
- наносекундные импульсные помехи;
- микросекундные импульсные помехи большой энергии;
- провалы, прерывания и выбросы напряжения электропитания.

Поведение осветительного оборудования при воздействии на него перечисленных помех и уровень помех регламентируется [10]. Данный документ определяет критерии качества функционирования оборудования:

- А — воздействие помехи не должно приводить к изменению силы света.
- В — в период действия помехи возможно любое изменение силы света, но через время, не превышающее 1 мин., сила света должна восстановиться.
- С — в период действия помехи и после нее возможно любое изменение силы света, но не более чем через 30 мин. сила света должна восстановиться.

По воздействию различных помех определено, как должен вести себя светильник в том или ином случае. Например, для светильника с электронным преобразователем (а это практически все светильники, имеющие в своем составе электронный ИП) допускаются критерии качества функционирования, указанные в таблице 2.

Таблица 2. Критерии качества функционирования СП

Помеха	Уровень помехи	Класс функционирования
Электростатические разряды	4/8 кВ	В
Радиочастотные электромагнитные поля	3 В/м, 0,08–1 ГГц	А
Магнитное поле промышленной частоты	3 А/м, 50 Гц	А
Наносекундные импульсные помехи	0,5/1 кВ, 5/50 нс	В
Микросекундные импульсные помехи большой энергии	0,5/1 кВ, 1/50 мкс	С
Провалы, прерывания и выбросы напряжения электропитания		С/В

Документ, регламентирующий взаимодействие любого устройства с первичной питающей сетью, — [11]. Он определяет уровень гармонических составляющих тока, кратных основной частоте (50 Гц), которые могут возникнуть в сети вследствие подключения к ней электронного устройства. В соответствии с этим документом все оборудование делится на четыре класса: «А», «В», «С», «D».

Класс «С» — это осветительное оборудование. Граница разделения по эмиссии гармонических составляющих в приборах этого класса определяется потребляемой активной мощностью и составляет 25 Вт. Для приборов с потреблением менее 25 Вт требования на эмиссию гармонических составляющих менее жесткие, чем на приборы с потребляемой мощностью более 25 Вт (рис. 2а, б). С документом [11] тесно связано понятие коррекции коэффициента мощности (ККМ, PFC). В осветительных устройствах малой мощности (5–25 Вт), с учетом постановления правительства ([13]), коррекция коэффициента мощности должна быть не менее 0,7. Указанное значение относительно невелико и может быть обеспечено пассив-

ным способом. В осветительных устройствах с потребляемой мощностью более 25 Вт, как правило, требуется коррекция с применением активных элементов (PFC-контроллера), обеспечивающих значение коэффициента мощности не ниже 0,9. Однако, поскольку рассматриваемый документ определяет амплитуду каждой гармоники, а не ККМ, может случиться, что при значении ККМ более 0,9 устройство, тем не менее, не выдержит испытания по данному документу. Это может случиться, если коррекция мощности выполнена, например, по диодно-конденсаторной схеме. С другой стороны, если коррекция мощности выполнена с использованием активной схемы, то значение 0,9 и более обеспечит и выполнение требований по рассматриваемому документу.

Нормативный документ [12] определяет дозы фликера (кратковременные и длительные), вызываемые подключением к электросети какого-либо устройства. Фликер — это ощущение неустойчивости зрительного восприятия, вызванное световым источником, яркость или спектральный состав которого меняются при изменении напряжения питания. Любое

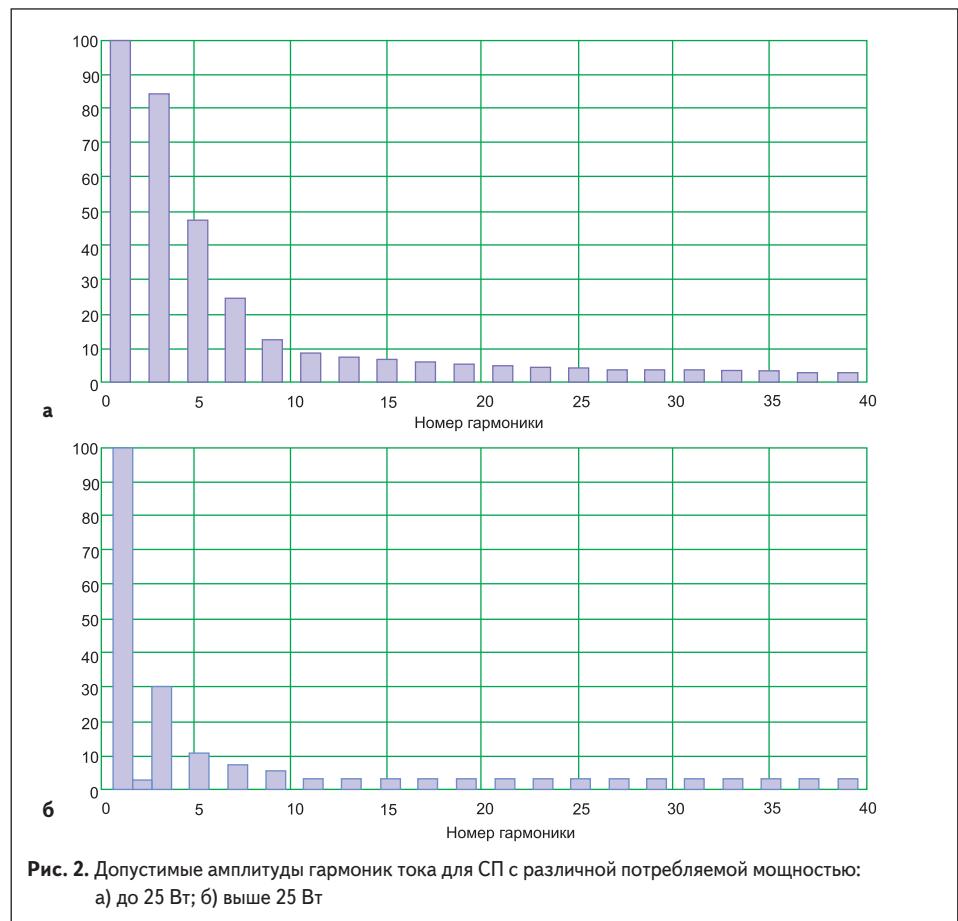


Рис. 2. Допустимые амплитуды гармоник тока для СП с различной потребляемой мощностью: а) до 25 Вт; б) выше 25 Вт

устройство, подключаемое к сети, особенно с большим потреблением энергии, вызывает в сети помеху, которая может воздействовать на подключенный к этой же сети световой прибор, вызывая изменение его яркости и цветности. Возникновение данного эффекта и степень его подавления напрямую связаны с ИП устройства.

В соответствии с [12] фликер определяют для осветительных приборов только тех видов, которые с большой вероятностью его вызывают, например для оборудования, применяемого при освещении дискотек, или автоматически регулируемого светового оборудования (автоматически диммируемый светильник). Во всех остальных случаях на этот параметр светильники не проверяются. Под указанный документ могут попасть диммируемые светильники наружного освещения.

Условия эксплуатации светильника

Светильники, особенно для наружного освещения, эксплуатируются в наиболее жестких условиях. Они должны сохранять работоспособность в широком температурном диапазоне при непосредственном воздействии различных атмосферных осадков, твердых частиц (пыли) и УФ-излучения солнца.

Диапазон рабочей температуры в зависимости от варианта исполнения изделия определяется по ГОСТ [14] с изменениями от 28.05.1999. На территории России, согласно указанному документу, имеются области умеренного и холодного климата. Поэтому, чтобы разработанные светильники наружного освещения могли без ограничения применяться по всей территории России, они должны иметь исполнение УХЛ1(1.1). В этом случае рабочий температурный диапазон будет составлять $-60...+40^{\circ}\text{C}$, а предельный рабочий — $-70...+45^{\circ}\text{C}$. В рабочем диапазоне изделие обязано работать с сохранением своих параметров, а в предельном должно сохранять работоспособность, но номинальные параметры могут выходить за рамки допустимых. Диапазон температуры, соответствующий исполнению УХЛ1(1.1), является очень широким, и реализация изделия, полностью соответствующая указанному исполнению, может оказаться слишком дорогостоящей.

В уже упоминавшемся в начале данной статьи документе [3] говорится, что светодиодный светильник для наружного освещения должен испытываться в диапазоне температур окружающей среды $-40...+40^{\circ}\text{C}$. Это примерно соответствует умеренному климату У1(1.1) по [14]. Получается, что новый стандарт ограничивает применение светодиодных светильников территорией, куда входит европейская часть России и южная часть Сибири, где, по большому счету, и сосредоточено основное население страны.

Конечно, изготовить светодиодный светильник по исполнению УХЛ1(1.1), когда на светодиоды и на готовые источники питания гарантируется нижнее значение температуры не менее -40°C , довольно сложно. Требуется, как минимум, проводить испытание каждого выпускаемого

изделия на возможность работы при -60°C , что удорожает и усложняет производство.

Устойчивость изделия от проникновения влаги и твердых частиц определяется классом защиты IP в соответствии с [15].

Для электрических изделий, таких как ИП светильника и светодиодный модуль, эксплуатируемых на открытом воздухе, желательна степень защиты не ниже IP65/66, с обязательными защитными мерами от воздействия влаги, образующейся внутри изделия при прохождении «точки росы» в момент изменения температуры окружающей среды (лакирование или заливка компаундом или герметизация с осушенным газом).

Примеры расчета светильников

Перейдем непосредственно к выбору параметров светильника, его компонентов и выполним некоторые расчеты. Рассмотрим два вида светильников: внутреннего (для освещения производственных, складских и торговых площадей) и наружного применения (для освещения дорог и улиц).

Выбор рабочей точки светодиода всегда является компромиссом между световой отдачей и световым потоком. Первоначальный этап затрат на приобретение светильника, по сути, выражается в том, сколько потребитель заплатит за 1 лм светового потока. Часто именно так и бывает: все желают иметь больше света за меньшие деньги. Но стоимостью люмена экономическая эффективность не заканчивается. Светильник должен правильно распределять свет и обладать, по возможности, наибольшей световой отдачей. Тем самым повышается коэффициент использования светового потока, а значит — снижается его значение, которым должен обладать светильник для достижения нормируемых показателей, и уменьшаются затраты на потребляемую электроэнергию. Дополнительно происходит экономия на материалах (снижается стоимость радиатора-корпуса), требуется ИП меньшей мощности и сокращается количество элементов вторичной оптики.

На сегодня средние значения эффективности светодиодных светильников (с учетом нагрева светодиодов, потерь в защитных стеклах и в источнике питания) лежат в пределах 70–85 лм/Вт для светильников с применением вторичной оптики, и 80–95 лм/Вт — без оптики, что вполне удовлетворяет требованиям вступающего в действие [3]. В целом, приемлемая световая отдача светодиода сохраняется при его использовании на токах вплоть до 50–70 % от значения максимального рабочего тока. Превышение этого предела нежелательно вследствие существенного снижения эффективности и срока службы светодиода из-за

возможного ухудшения теплового режима его работы.

Выбор самого источника света сегодня может вызывать некоторые затруднения и требует анализа. Зачастую, при правильном использовании светодиодов, стоимость светового потока первоначально дорогих приборов оказывается ниже, чем более дешевых (важно, что это правило соблюдается для светодиодов одной серии). При использовании в светильнике элементов вторичной оптики (при условии, что используются одиночные линзы) это различие только усиливается.

Пример 1. Промышленный светильник для высокого подвеса

Рассмотрим промышленный светильник для высокого подвеса на примере освещения условного складского помещения с размерами $50 \times 50 \times 15$ м. Зададимся средней освещенностью 100 лк, коэффициентом запаса 1,5 и высотой установки светильников 14 м. Исходить будем из значения светового потока существующих промышленных светильников с лампой ДРЛ250, который составляет 9000–10000 лм (наиболее простой подход при разработке светодиодного светильника). При расчете воспользуемся очень удобной программой «PCT-калькулятор», которая доступна на сайте <http://www.compel.ru/> в разделе «Разработчику», подраздел «Калькуляторы».

В качестве источника света выберем светодиоды компании Cree (таблица 3) как одни из наиболее эффективных и недорогих в данном сегменте:

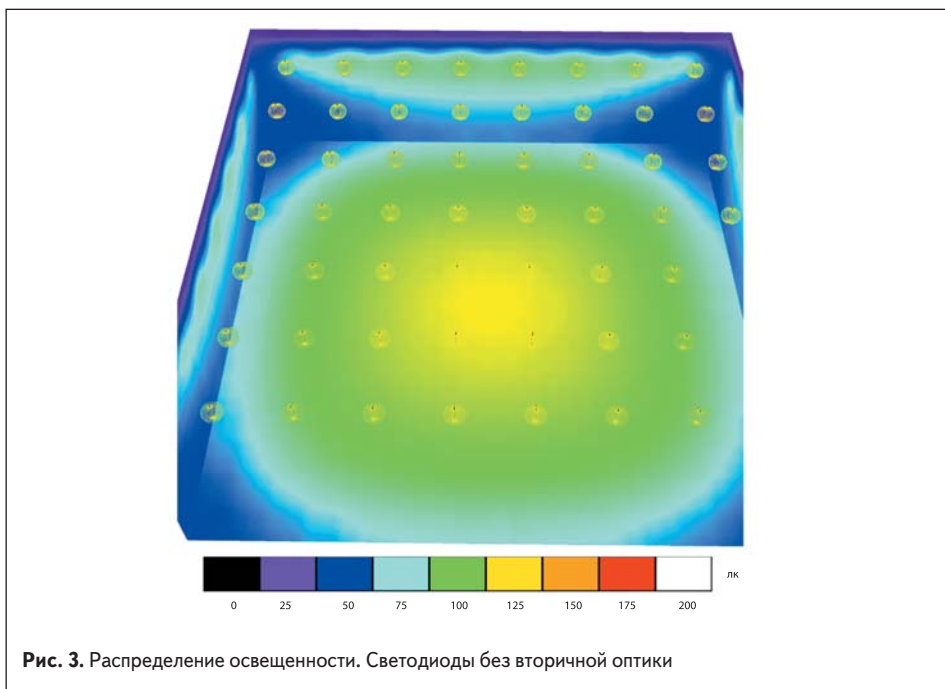
- XTEAWT-00-0000-00000GD2 (4000–5000 К, 130 лм, ориентировочная стоимость 36 руб.);
- XTEAWT-00-0000-00000HD2 (4000–5000 К, 139 лм, ориентировочная стоимость 45,5 руб.);
- XMLAWT-00-0000-0000T6053 (5000–6800 К, 280 лм, ориентировочная стоимость 124 руб.).

Для достижения указанного светового потока без использования элементов вторичной оптики предпочтительнее будет применить 44 светодиода XTEAWT-00-0000-00000GD2 на токе 0,7 А, при этом световая отдача светильника составит 88 лм/Вт (при расчете учитывались: КПД источника питания 0,9; потери в защитном стекле 10%; температура *p-n*-перехода $+85^{\circ}\text{C}$). Либо можно применить 32 светодиода XTEAWT-00-0000-00000HD2 на токе 1 А. Данное решение оказывается выгоднее по стоимости, но с несколько меньшей эффективностью — 82 лм/Вт. При использовании в светильнике блочной оптики предпочтительнее использовать эти же серии светодиодов в количестве 50 и 36 шт. со световой отдачей светильников 79 и 74 лм/Вт соответственно.

При использовании в светильнике одиночных оптических элементов следует обратить внимание на светодиод XMLAWT-00-0000-0000T6053.

Таблица 3. Применяемые светодиоды и световая отдача светильника

Светодиод	Ток, А	Световая отдача светильника, лм/Вт		
		Без оптики	С оптикой	
			Одиночная	Блочная
XTEAWT-00-0000-00000GD2	0,7	88	79	79
XTEAWT-00-0000-00000HD2	1	82	74	74
XMLAWT-00-0000-0000T6053	2	-	72	-



Светодиодов потребуется 20 шт. на токе 2 А, при этом световой поток светильника составит 9700 лм, а световая отдача — 72 лм/Вт. Данное решение (с учетом стоимости линз) может оказаться даже ниже по стоимости.

Рассчитаем, используя программу DIALux (<http://www.dialux.com>), какое количество светильников без применения и с применением вторичной оптики потребуется по нашему условию задачи.

Для достижения средней освещенности 100 лк от системы общего освещения при применении в светильниках светодиодов без оптики (косинусная диаграмма распределения) потребуется установка 56 светильников с общим световым потоком 510 клм (световой поток каждого 9100 лм). Распределение освещенности в псевдоцветах приведено на рис. 3.

Попробуем внести изменение в светораспределение применением оптики. Английская компания Carclo недавно представила новые отражатели, специально разработанные для использования в светильниках высокого подвеса с углами половинной яркости 60° и 80°. Это одиночные и блочные (на четыре светодиода) отражатели; в зависимости от модели возможно крепление приклеиванием, винтом или специальными клипсами. На рис. 4 приведен внешний вид блочного отражателя 12529 на 60° и его кривая силы света, а также КСС отражателя 12526 на 80°.

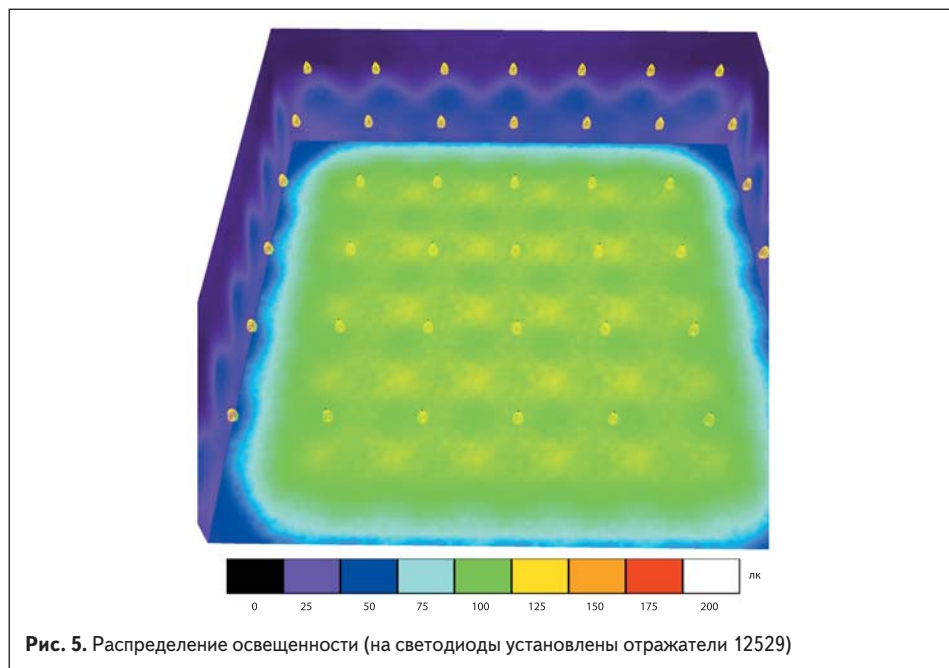
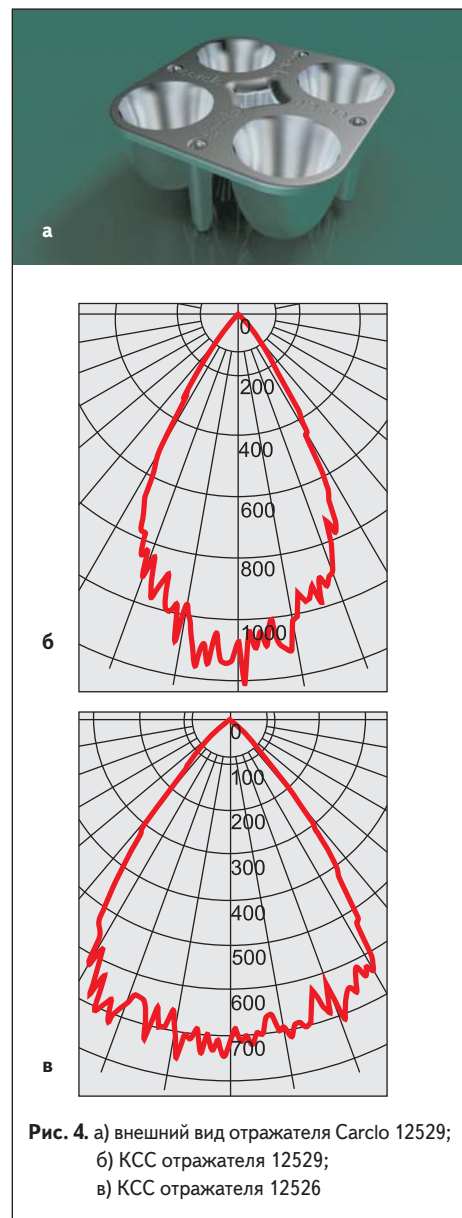
Установка отражателя 12529 снижает необходимое количество светильников до 42 шт. (рис. 5). При этом средняя освещенность становится немного выше — 105 лк, а суммарный световой поток светильников снижается до 382 клм, то есть на 25%. Даже учитывая снижение световой отдачи светильника примерно на 10%, общее энергопотребление снизится, как и суммарная стоимость необходимых осветительных приборов.

Второй отражатель на 80° в данной установке покажет меньшую эффективность по причине большего угла, однако окажется более предпо-

читителен при меньшей высоте подвеса. При снижении высоты подвеса до 10 м и менее будут снижаться равномерность распределения освещенности и эффективность применения оптики, поэтому в таких применениях ее наличие будет не всегда оправданно.

Пример 2. Светильник для освещения улиц и дорог

Теперь перейдем к рассмотрению уличного светильника. На сегодня освещение дорог и улиц городских поселений производится согласно действующему своду правил, который устанавливает классификацию улично-дорожной сети и значения нормируемых параметров. Следуя ему, освещение проезжей части дорог и площадей городских поселений со стандартной геометрией проектируется исходя из норм средней яркости



дорожных покрытий, слепящего действия и общей и продольной равномерности распределения яркости. Также в этом документе указывается ряд исключений, когда нормируемым значением выступает средняя горизонтальная освещенность и равномерность ее распределения.

Посмотрим, какими параметрами должен обладать светильник для освещения, например, дороги класса Б1. Для такой дороги нормируемые параметры должны иметь следующие значения:

- средняя яркость L_{cp} не менее 1,2 кд/м²;



Рис. 6. Внешний вид уличных блочных линз Ledil:
а) STRADA-2X2-A-T C12419;
б) STRADA-2X2-DNW C12360;
в) STRADA-2X2-DWC C12362

Таблица 4. Обеспечиваемые значения нормируемых параметров.

Тип линзы	Средняя яркость L_{cp} , кд/м ²	Общая равномерность распределения яркости $L_{мин}/L_{cp}$	Продольная равномерность распределения яркости $L_{мин}/L_{макс}$	Пороговое приращение яркости, %	Световой поток светильника, лм
STRADA-2X2-A-T C12419 XT-E	1,20	0,6	0,5	3	13000
STRADA-2X2-DWC C12362 XM-L	1,20	0,7	0,7	11	13200

- общая равномерность распределения яркости $L_{мин}/L_{cp}$ не менее 0,4;
- продольная равномерность распределения яркости $L_{мин}/L_{макс}$ не менее 0,6;
- средняя освещенность E_{cp} не менее 20 лк;
- равномерность распределения освещенности $E_{мин}/E_{cp}$ не менее 0,35.

Сколько-нибудь эффективное решение данной задачи невозможно без применения оптических элементов — в силу специфических особенностей освещаемого объекта: он является протяженным в одном направлении. Нормируемым количественным параметром в данном случае является яркость покрытия, и это оказывает свое влияние на КСС, которой должен обладать светильник. Поэтому предпринимавшиеся ранее попытки делать уличные светильники с собственной кривой светодиода по принципу «чтобы сильнее светило» потерпели фиаско. Применение светодиодов с первичной оптикой, обеспечивающей широкую КСС в поперечной плоскости, также не является панацеей из-за сложности (и часто невозможности) формирования таким методом кривой, приближающейся к оптимальной.

В последнее время в ассортименте оптических элементов для уличных светильников наблюдается тенденция по переходу от одиночных линз к блочным. Этому способствует несколько причин, основные из которых — существенное снижение стоимости оптического элемента в пересчете на один светодиод и возможность отказа от защитного стекла, функции которого возьмет на себя блочная линза, покрывающая светодиоды. Таким образом, стоимость светильника может быть снижена за счет уменьшения количества светодиодов вследствие исключения искажений КСС (повышается коэффициент использования светового потока) и потерь на защитном стекле, которые могут составлять 15% и более, меньшей стоимости вторичной оптики и подводимой электрической мощности. Один из лидеров данного направления, финская компания Ledil, не так давно представила линзы сразу трех типов для различных возможных применений — Strada-2X2 (рис. 6).

Светораспределение этих линз имеет асимметрию в продольной плоскости, поэтому его восприятие по кривым силам света затрудни-

тельно, и их изображение приводиться здесь не будет. Эти линзы совместимы с большинством современных популярных типов светодиодов, однако замена типа светодиода влечет за собой изменение светораспределения; при этом осветительная установка будет требовать поверочного расчета. Надо отдать должное производителю, что при использовании с большинством совместимых светодиодов приводятся измеренные фотометрические данные.

Выполним расчет со следующими начальными условиями:

- класс дороги — Б1;
- ширина — четыре полосы по 3,75 м;
- тип покрытия — шероховатый асфальтобетон;
- схема расположения светильников — двухрядная прямоугольная;
- высота установки светильника — около 12 м;
- шаг — 35 м;
- проекция светильника на проезжую часть на расстоянии 1 м от края;
- светильник расположен параллельно относительно плоскости дороги;
- коэффициент запаса 1,5.

Для такого типа установки наилучшие результаты покажут линзы STRADA-2X2-A-T C12419 и STRADA-2X2-DWC C12362 совместно со светодиодами XT-E и XM-L соответственно, однако более предпочтительным будет первый вариант по причине меньшей стоимости, несмотря на то, что светодиодов XT-E, а значит, и линз, понадобится больше, но эта разница, скорее всего, окажется перекрытой разницей в стоимости светодиодов. Кроме того, во втором случае присутствует некоторое излишнее слепящее действие.

Изолинии распределения яркости дорожного покрытия, обеспечиваемого линзой STRADA-2X2-A-T C12419, установленной на светодиод XT-E, приведены на рис. 7.

При использовании в светильнике плоского защитного стекла погрешность расчета будет довольно высока из-за искажения КСС линзы, и его следует повторить, взяв измеренную кривую светильника.

В качестве источника света могут быть применены светодиоды Cree XTEAWT-00-

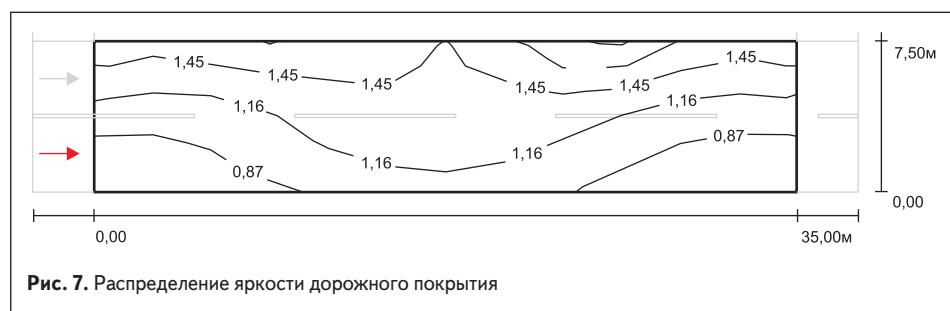


Рис. 7. Распределение яркости дорожного покрытия

0000-000000GD2 на токе 0,7 А или ХТЕАWT-00-0000-000000HD2 на токе 1 А, т. к. они обладают хорошей эффективностью и низкой стоимостью светового потока. Учитывая потери в оптике в общем на уровне 10%, в защитном стекле 15%, нагрев *p-n*-перехода до +85 °С, КПД источника питания 0,9, получаем, что для достижения светового потока 13 000 лм в светильнике должно быть применено 72 светодиода ХТЕАWT-00-0000-000000GD2 на токе 0,7 А при эффективности светильника 75 лм/Вт либо 52 светодиода ХТЕАWT-00-0000-000000HD2 на токе 1 А при эффективности светильника 70 лм/Вт (световая отдача несколько ниже, как и стоимость решения).

Аналогичным образом могут быть подобраны наиболее подходящие оптические элементы и светодиоды для освещения шестиполосной дороги. При использовании аналогичных линз световой поток светильника должен составлять как минимум порядка 19 000–20 000 лм — для удовлетворения требований, предъявляемых к дороге класса Б1. В некоторых случаях светильники могут создавать излишнее слепящее действие, которое можно снизить конструкцией корпуса.

Также стоит коснуться вопроса о питании светильника. ИП должен соответствовать приведенным ранее требованиям, предъявляемым к источникам питания световых приборов, иметь соответствующие электрические параметры, климатическое исполнение и класс защиты от воздействия окружающей среды. В качестве наиболее подходящих можно упомянуть таких производителей, как Inventronics и Mean Well. Оба выпускают широкий спектр высококачественной продукции. Главное отличие проявится в типе электрического соединения светодиодов: ИП Inventronics позволят соединить большое количество светодиодов в одну последовательную цепочку, ИП Mean Well ограничивают максимальное значение выходного напряжения уровнем 54 В, поэтому соединение светодиодов нужно делать последовательно-параллельным.

Чтобы разрабатываемый осветительный прибор выдержал требуемые сертификационные испытания, был конкурентоспособным на рынке и в то же время не вводил потребителя в заблуждение непонятно как полученными фантастическими параметрами, к его проектированию и расчету нужно подходить достаточно серьезно. Проектируя осветительный прибор, разработчику необходимо ориентироваться в достаточно большом многообразии различной нормативной документации, хорошо знать номенклатуру выпускаемых компонентов и грамотно ими пользоваться.

Литература

1. СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение». <http://www.niiot.ru/doc/bank00/doc116/doc.htm>
2. ГОСТ 17677-82 «Светильники. Общие технические условия». <http://vsegost.com/Catalog/39/39457.shtml>
3. ГОСТ Р 54350-2011 «Приборы осветительные. Светотехнические требования и методы испытаний». <http://vsegost.com/Catalog/50/50894.shtml>
4. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы». <http://niiot.ru/doc/bank00/doc055/doc.htm>
5. ГОСТ Р МЭК 62031-2009 «Модули светоизлучающих диодов для общего освещения. Требования безопасности». <http://www.gosthelp.ru/gost/gost48419.html>
6. ГОСТ Р МЭК 60598-1-2003 «Светильники. Часть 1. Общие требования и методы испытаний». <http://vsegost.com/Catalog/60/6034.shtml>
7. ГОСТ Р МЭК 60598-2-2-99 «Светильники. Часть 2. Раздел 2. Частные требования. Светильники встраиваемые» <http://vsegost.com/Catalog/87/8778.shtml>
8. ГОСТ Р МЭК 60598-2-3-99 «Светильники. Часть 2. Раздел 3. Частные требования. Светильники для освещения улиц и дорог».

9. ГОСТ Р 51318.15-99 «Радиопомехи промышленных от электрического светового и аналогичного оборудования. Нормы и методы испытаний». <http://vsegost.com/Catalog/18/18610.shtml>
10. ГОСТ Р 51514-99 «Совместимость технических средств электромагнитная. Помехоустойчивость светового оборудования общего назначения. Требования и методы испытаний». <http://vsegost.com/Catalog/27/27554.shtml>
11. ГОСТ Р 51317.3.2-2006 «Эмиссия гармонических составляющих тока техническими средствами с потребляемым током не более 16 А (в одной фазе). Нормы и методы испытаний». <http://vsegost.com/Catalog/67/6777.shtml>
12. ГОСТ Р 51317.3.3-2008 «Совместимость технических средств электромагнитная. Ограничение изменений напряжения, колебаний напряжения и фликера в низковольтных системах электроснабжения общего назначения. Технические средства с потребляемым током не более 16 А (в одной фазе), подключаемые к электрической сети при несоблюдении определенных условий подключения. Нормы и методы испытаний». <http://vsegost.com/Catalog/47/47929.shtml>
13. Постановление Правительства РФ от 20 июля 2011 г. № 602 г. Москва «Об утверждении требований к осветительным устройствам и электрическим лампам, используемым в цепях переменного тока в целях освещения». <http://www.energosovet.ru/npb1517.html>
14. ГОСТ 15150-69 «Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды». <http://vsegost.com/Catalog/18/1837.shtml>
15. ГОСТ 14254-96 «Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (IP)». <http://vsegost.com/Catalog/13/1387.shtml>