

СВЕТОДИОДНАЯ ОПТИКА КОМПАНИИ LEDIL

OPTIC MODULES OF LEDIL

В статье приведены основные технические характеристики оптических компонентов компании Ledil.

Abstract – The main characteristics of optic modules are considered in this article.

В. Охрименко

V. Okhrimenko



ВВЕДЕНИЕ

Финская компания Ledil – одна из компаний, специализирующихся на выпуске оптических компонентов. Многообразие выпускаемой продукции позволяет найти вариант, наиболее полно удовлетворяющий требования заказчиков [1-3]. Кроме того, компания предоставляет файлы в формате IES (Illuminating Engineering Society – Общество проектирования осветительных приборов), которые могут быть полезны в случае работы с бесплатным программным обеспечением (ПО) "Dialux", позволяющим моделировать освещенность помещения при использовании комплекта линз в процессе проектировании систем освещения.

Оптические компоненты (линзы и рефлекторы) предназначены для того, чтобы сформировать пространственное распределение (по сути, диаграмму направленности) светового потока источников света для решения конкретных задач освещения.

Важная характеристика диаграммы направленности – ширина телесного угла, в пределах которого интенсивность излучения составляет не менее половины значения, измеренного в направлении ее максимума. Этот параметр обычно обозначают как "ширина диаграммы направленности" или "угол половинной яркости" (Full Width at Half Maximum – FWHM). Форма диаграммы направленности определяет, какая часть общего светового потока заключена внутри упомянутого телесного угла. Степень прозрачности линз характери-

зуют таким параметром, как "пропускная способность" или КПД (η), обозначающим прошедшую через линзу часть светового потока. В табл. 1 приведены примеры обозначения некоторых простейших диаграмм направленности в зависимости от ширины светового пучка (луча).

Таблица 1. Обозначение диаграмм направленности

Обозначение диаграммы направленности	Ширина, $\pm$ град.
RS (real spot – узкая)	4
SS (smooth spot – узкая сглаженная)	7
D (diffuser – рассеивающая)	10
M (medium – средней ширины)	15
W (wide – широкая)	25
WW (extra wide – очень широкая)	30
O (oval – овальная)	5×20 *
REC (rectangular – прямоугольная)	20×10 *
* во взаимно перпендикулярных плоскостях	

Выпускаемые компанией Ledil оптические линзы предназначены для использования совместно со светодиодами разных производителей (Cree, Nichia, OSRAM и др.) Их высокое качество обеспечивается, в первую очередь, благодаря тому, что материалом для изготовления линз служит полиметилметакрилат (PMMA), отличающийся высокой прозрачностью, водостойкостью, устойчивостью к воздействию высокой температуры (до 105 °C) и ультрафиолетового излучения, а также щелочных и солевых растворов. Преимуществом этого материала является то, что спектр проходя-

щего через его светового потока остается неизменным.

По конструктивному исполнению различают круглые и прямоугольные линзы, а также линзы специальной формы. Особенностью прямоугольных линз является возможность их установки вплотную друг к другу без зазоров, что важно при их использовании в системах наружного освещения. Выпускаются линзы как для одного, так и для нескольких (от 3 до 8) светодиодов.

Формирование заданного светового потока – сложная задача, требующая определенных знаний, навыков, опыта, времени и пр. Поэтому всегда предпочтительнее использовать продукцию компаний, специализирующихся на разработке и производстве оптических компонентов для светодиодов. В последнее время в ассортименте оптических элементов для светодиодных светильников, в том числе и для уличных, наметилась тенденция к переходу от одиночных линз к блочным. Основные причины – это существенное снижение стоимости линз в пересчете на один светодиод, а также отказ от использования защитного стекла, функции которого выполняет в этом случае блочная линза. Поэтому цена светильника может быть снижена. Кроме того, при отказе от защитного стекла исключаются искажения и снижаются потери светового потока, а также увеличивается коэффициент использования.

КРИВЫЕ СИЛЫ СВЕТА

В технической документации на светодиоды приводится их энергетическая характеристика, т.е. значение создаваемого светового потока, что вполне объяснимо. Этот параметр характеризует излучение, которое распространяется от источника по всем направлениям. Однако зачастую важнее знать не полный световой поток, а тот поток, который распространяется в определенном направлении или падает на определенную поверхность. Автомобильные фары должны обеспечить большой световой поток в сравнительно узком телесном угле. При освещении письменного стола интересует поток, приходящийся на вполне конкретную поверхность (например, тетрадь или книгу). Поэтому в светотехнике кроме светового потока (Φ) широко применяются и другие физиче-

ские величины – это сила света (I), освещенность (E) и яркость (L).

Распределение излучения реального источника в окружающем пространстве, как правило, неравномерно. Поэтому полный световой поток не является исчерпывающей характеристикой источника, если неизвестно распределение излучения по разным направлениям окружающего пространства. Чтобы характеризовать распределения светового потока пользуются таким понятием как пространственная плотность светового потока в разных направлениях окружающего пространства. Пространственную плотность светового потока, которая определяется как отношение светового потока к телесному углу (в пределах которого он равномерно распределен и с вершиной в точке расположения источника), называют силой света.

Т.е. сила света (I) – отношение светового потока (Φ), распространяющегося внутри телесного угла (Ω), к этому углу. Единица измерения силы света в Международной системе единиц (СИ) – кандела (1 кд = 1 лм/ср), что соответствует световому потоку 1 лм, равномерно распределенному внутри телесного угла 1 стерадиан (ср.). Телесный угол – часть пространства, заключенного внутри конической поверхности.

$$I = \Phi / \Omega.$$

Освещенность (E) – отношение светового потока (Φ), падающего на поверхность, к площади этой поверхности (S). Единица измерения освещенности в СИ – люкс (1 лк = 1 лм/м²).

$$E = \Phi / S.$$

Освещенность – это количество светового потока, падающего на единицу площади поверхности или другими словами плотность светового потока на освещаемой поверхности.

Приведенные формулы определяют среднюю силу света и среднюю освещенность. Они будут тем ближе к истинным, чем равномернее световой поток и чем меньше значения Ω и S .

Освещенность поверхности от точечного источника света подчиняется закону квадрата расстояния и в общем случае определяется как:

$$E = I \cos \alpha / d^2;$$

где I – сила света в направлении освещаемой точки на поверхности, d – расстояние от источника, α – угол, между направлением лучей света и нормалью к освещаемой поверхности. В соответствии с приведенным выражением освещенность поверхности существенно снижается при удалении от точечного источника света, (рис. 1).

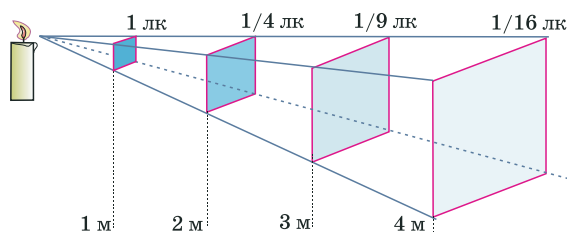


Рис. 1. Зависимость уровня освещенности от расстояния до источника света

Более объективная фотометрическая характеристика, на которую непосредственно реагирует человеческий глаз, – это яркость. Яркость (L) – это поверхностная плотность силы света в заданном направлении:

$$L = I/S.$$

Освещенность, создаваемая источниками света разных размеров, но с равными световыми потоками на одинаковом расстоянии от них, будет одинакова. Однако, чем меньше размер источника, тем ярче он будет казаться наблюдателю, т.к. сила света, испускаемая с единицы площади поверхности источника, будет больше. Единица измерения яркости – кд/м² (это яркость поверхности, с каждого квадратного метра которой излучается сила света 1 кд в направлении перпендикулярном этой поверхности).

Очевидно, что при использовании одного и того же источника, можно добиться разной силы света и освещенности. Если направить весь световой поток или большую его часть внутрь малого телесного угла, то в этом направлении можно получить большую силу света в определенном направлении, как, например, в прожекторе или автомобильной фаре. Если сконцентрировать благодаря отражателям или линзам даже сравнительно небольшой световой поток на малой площади, то можно достигнуть большой освещенности этой поверхности.

Оптическая система светильника, в том числе и светодиодного, представляет собой отражающую и/или преломляющую оптическую систему, формирующую распределение светового потока в окружающем пространстве. Это одна из важных составляющих светильника. Как правило, светильники снабжены разнообразными оптическими системами разного назначения. Чтобы выбрать оптимальный вариант оптической системы для конкретного приложения следует принимать во внимание много характеристик. Это эффективность, внешний вид, конструктивные особенности и многие другие. Однако правильный выбор кривых силы света оптической системы – первостепенная задача. Именно эта характеристика важна для создания требуемой пространственной освещенности объекта.

Кривые силы света (КСС) – диаграммы распределения силы света (I), представленные в полярных или декартовых системах координат. Как правило КСС, приводимые в документации производителей, – это графическое изображение распределения светового потока в пространстве, которое представляется в виде графиков:

$$I = f(a) \text{ и } I = f(b),$$

где, a и b – углы распространения светового потока, соответственно в продольной и поперечной плоскостях. Например, чем больше кривые напоминают овал, вытянутый вдоль оптической оси источника, тем выше освещенность в центре светового пятна.

В подавляющем большинстве случаев производители линз на диаграмме приводят значения силы света в единицах кд, причем для источника со световым потоком 1000 лм. На диаграммах, представленных в полярных координатах, даны кривые силы света в двух перпендикулярных плоскостях, проходящих через оптическую ось системы и, обозначаемых на диаграмме C0-C180 и C90-C270 (рис. 2). Если кривые симметричные, то зачастую диаграмма дается только для одной плоскости. КСС приводятся также в декартовых координатах. В этом случае по оси абсцисс откладываются углы в одной из плоскостей, по оси ординат значения силы света (рис. 3). Для систем, формирующих узконаправленное распределе-

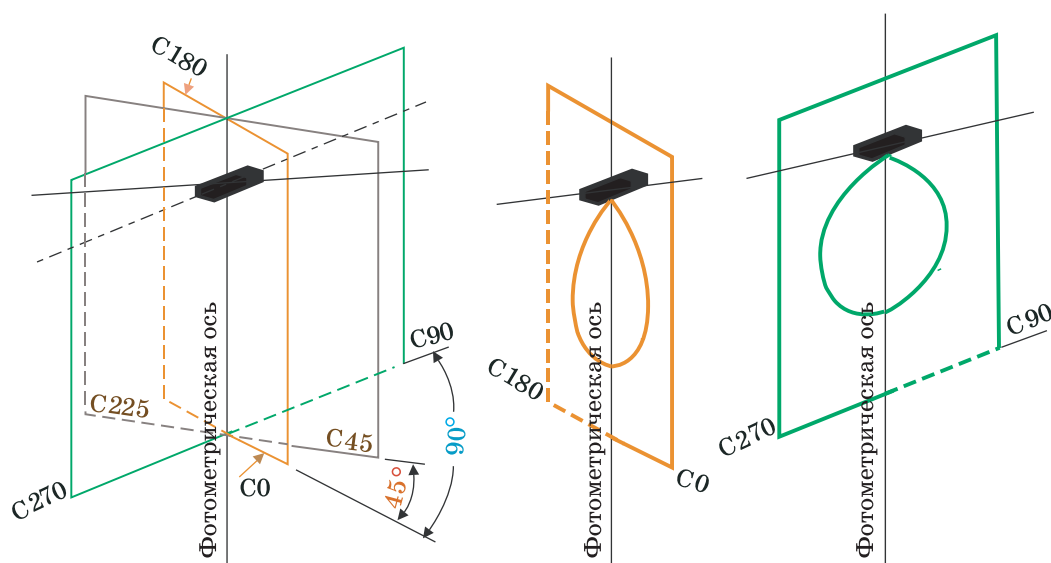


Рис. 2. КСС в полярной системе координат

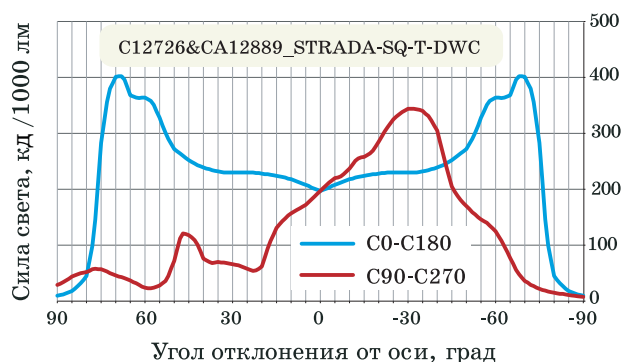


Рис. 3. КСС в декартовой системе координат

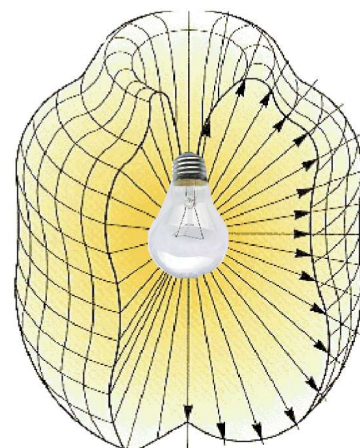


Рис. 4. Полная диаграмма распределение светового потока в пространстве

ние светового потока (например, в прожекторе), нагляднее пользоваться диаграммой, представленной в декартовой системе.

Нельзя не отметить, что диаграммы, приведенные только для двух взаимно перпендикулярных плоскостей (как это принято в документации производителей), дают лишь общее представление о пространственной форме распределения светового потока. Строго говоря, как для симметричных кривых, так и для несимметричных невозможно определить освещенность объекта с большой достоверностью, и в этом случае только использование прототипа светильника дает гарантию получить результат максимально приближенный к реальной картине. В противном случае необходимо построить КСС для значительно большего количества плоскостей (рис. 4). При наличии файлов в формате .ies для моделирования освещенности объекта можно использовать соответствующее программное обеспечение.

Одной из важнейших характеристик светильников и, безусловно, линз являются кривые силы света. Во многих случаях светильники разрабатываются не для одного конкретного приложения, а для типового и массового использования и от того, как распределяется в пространстве световой поток, зависит их назначение.

Существует ряд стандартных (рис. 5) симметричных типов КСС (концентрированная, косинусная, синусная, равномерная и др.), описание которых можно найти в соответ-

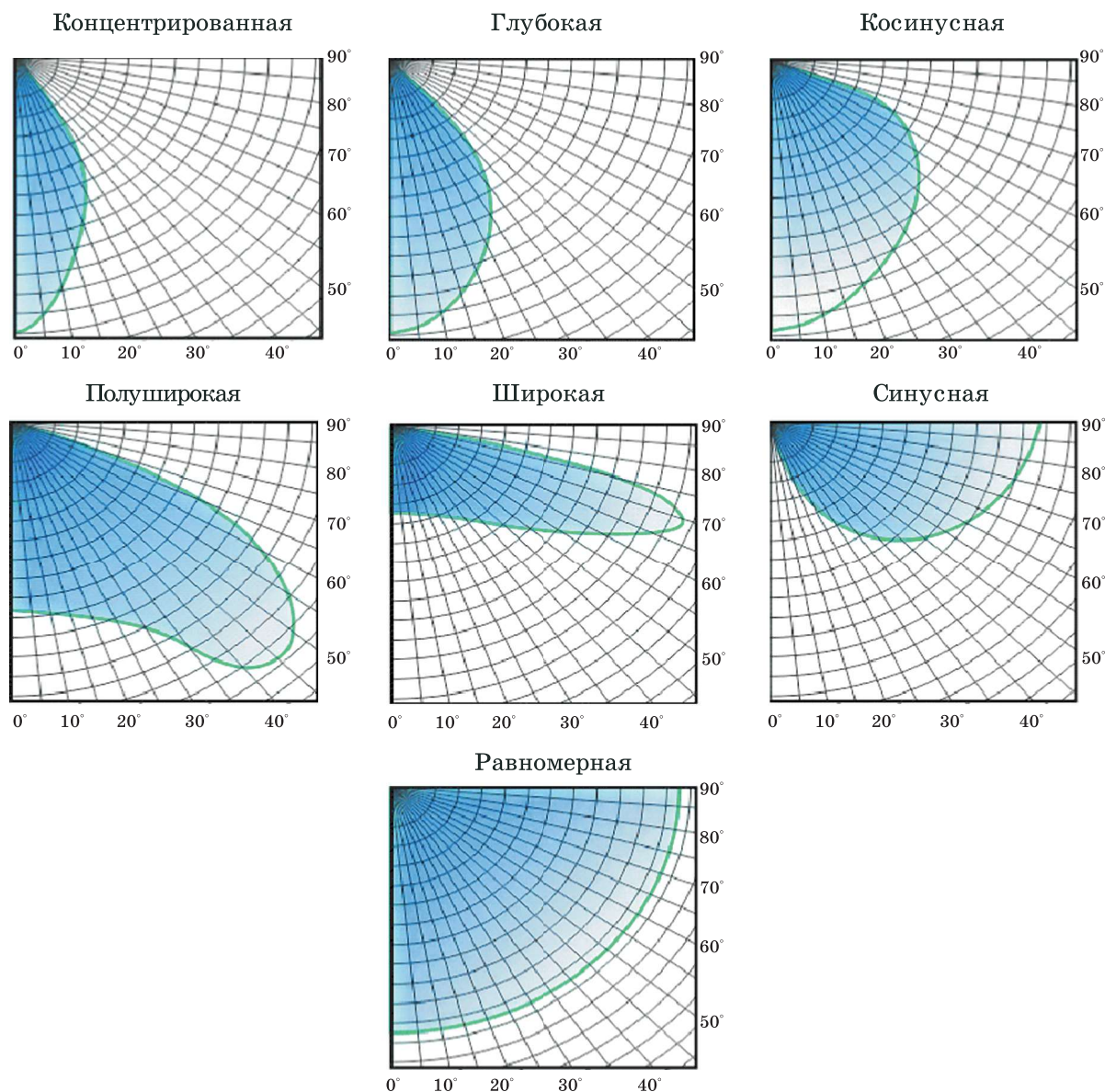


Рис. 5. Стандартные симметричные КСС

ствующих национальных стандартах.

Зачастую для формирования пространственного светового потока в светодиодных светильниках применяются оптические системы, формирующие стандартные кривые силы света, или разрабатываются специальные конструкции светильников.

В наружном освещении и для освещения производственных помещений применяют светильники с косинусной и полуширокой кривой силы света. Для общего освещения офисов в основном применяются светильники прямого и рассеянного света с косинусной кривой. Для подсветки выделенных архитектурных зон и деталей интерьера следует использовать

светильники прямого света с концентрированной кривой силы света. Чтобы создать "приглушенное" освещение (например, в холле здания или офиса) применяются светильники отраженного света с синусной кривой.

Однако далеко не всегда при использовании стандартных КСС можно создать желаемую освещенность объекта.

Кроме того, неверно полагать, что каждая из выпускаемых серий линз имеет только свою, достаточно ограниченную область применения. Как правило, можно лишь говорить о возможных сферах применения. Линзы можно использовать в любых приложениях исходя из их основных характеристик, и в первую

очередь, исходя из кривых силы света.

СВЕТОДИОДНАЯ ОПТИКА КОМПАНИИ LEDIL

Линзы Florence-1R предназначены для использования в светильниках с высотой подвеса примерно 4 м для создания освещения в проходах между стеллажами, для равномерного освещения вертикальных стен и для одностороннего освещения стеллажей на складах и в магазинах. Наборы линейных линз Florence-1R (Florence-1R-Z90/Z60/ZT25 и др.) предназначены для применения с полуваттными и одноваттными светодиодными модулями, расположенными в ряд. Габаритные размеры линз Florence-1R, состоящих из трех секций, – 286×19.5×7 мм. Предусмотрены места для размещения разъемов и каналы для проводов питания, что дает возможность разместить коннекторы на печатной плате со светодиодами и избавиться от операции пайки при сборке светильника. Линзы Florence-1R позволяют создавать разные линейные системы внутреннего освещения с широким выбором световых диаграмм.

На складах со стеллажами, как правило, освещают проезды, проходы и пространство между стеллажами. Чтобы сформировать световой поток в нужном направлении, применяют светодиодные светильники с овальной диаграммой, что позволяет равномерно осветить пространство, при этом расстояние между светильниками можно увеличить и тем самым сократить их число.

В крупных складских комплексах при использовании погрузчиков возникает дополнительное требование к освещению – снижение габаритной яркости. Водители складских погрузчиков при складировании упакованных товаров на верхние стеллажи вынуждены часто смотреть вверх и при этом они не должны испытывать стресс от ярких точечных источников света, что может быть причиной аварийности и приводить к снижению производительности труда. Для решения этой проблемы в светильниках используют большое количество малогабаритных полуваттных светодиодов, которые распределяют световой поток по значительной поверхности светильника. Что-

бы при большой высоте подвеса светильников "свет не терялся под потолком", следует использовать вторичную оптику, что гарантирует достаточную освещенность пола.

Линзы типа Florence-3R (Florence-Z60/Z90/ZT25) имеют габаритные размеры 286×61×8.5 мм и предназначены для применения в светильниках, размещаемых на высоте от 3.5 до 7 м.

Линзы Florence ориентированы на использование со светодиодами разных производителей, в том числе и со светодиодами Cree XH-B. На рис. 6 приведены диаграммы КСС для блочных линз Florence-Z60/Z90/ZT25. Эти линзы предназначены для светильников, размещаемых на складах, в супермаркетах и офисах. На рис. 7 приведен пример освещения стеллажей с использованием блочных линз Florence-ZT25. Оптическая асимметричная система содержит 6 светильников, которые установлены с интервалом 3.8 м. Высота подвеса 3.5 м, ширина прохода 3 м. Световой поток светильника

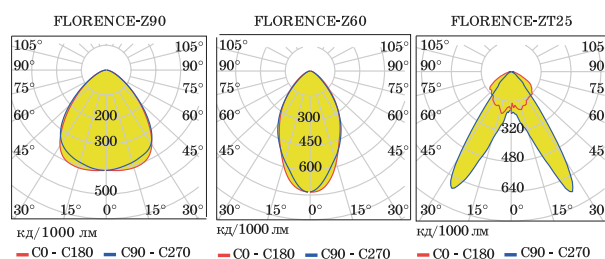


Рис. 6. Диаграммы КСС для блочных линз Florence-Z60/Z90/ZT25

Семейство блочных линз Florence ориентировано на применение в складских светильниках, а также при освещении производственных и офисных помещений.

Уличное освещение – одна из сфер применения светодиодных светильников. Уличный светильник должен обеспечить весьма специфическое пространственное распределение

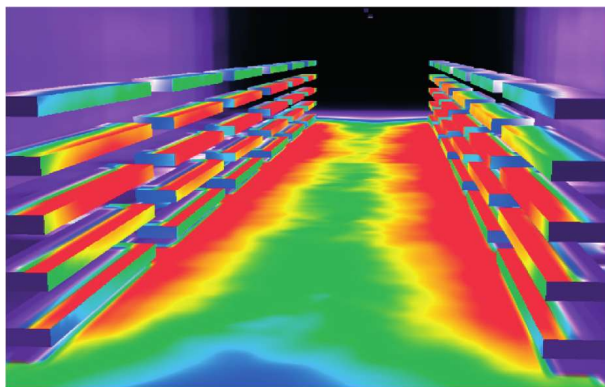


Рис. 7. Пример освещения стеллажей с использованием линз Florence-ZT25

силы света. Одна из задач, которую следует решить при создании светильника, – это выбрать оптические компоненты, которые будут обеспечивать определенную диаграмму направленности, гарантированную для выбранных светодиодов. Кроме того, необходимо учитывать конструктивные особенности оптических элементов (линз), т.к. они оказывают значительное влияние на конструкцию светильника. Форма и размеры линз определяют порядок размещения светодиодов на печатной плате, а также габаритные размеры и внешний вид светильника, который зависит и от устойчивости выбранных оптических компонентов к воздействию окружающей среды (во многих случаях можно отказаться от использования защитного стекла). Необходимо также предусмотреть возможность модернизации светильника посредством простой замены оптических элементов для получения иной диаграммы КСС. И, конечно, стоимость, которая во многом зависит от стоимости оптических компонентов и технологических особенностей их использования. Учет всех перечисленных, а также не упомянутых факторов, которые следует принимать во внимание при проектировании светодиодных светильников, – нетривиальная проблема. Одна из важнейших характеристик светильников и линз – кривые силы света. Собственно, диаграмма направленности и должна гарантировать необходимую пространственную освещенность объекта, в данном случае – улицу и пешеходных переходов.

Компания Ledil предлагает как отдельные,

так и модульные линзы, ориентированные на применение в светильниках для уличного освещения.

Модульные линзы унифицированы, т.е. имеют фиксированные размеры и совместимы по форме, числу оптических элементов, их взаимному расположению и точкам крепления. Это дает возможность при замене линз корректировать диаграмму направленности без каких-либо конструктивных изменений светильника. Например, модульные линзы формата 2×2 используются в серии линз для уличного освещения Strada-2×2 (Street lighting), в серии НВ-2×2 (т.н. светильниках высокого подвеса – High Bay) и др. Особенность модульных линз – стойкость к воздействию окружающей среды, что позволяет отказаться от использования защитного стекла, которое, кроме того, что вносит существенные потери может искажать диаграмму направленности.

Ассортимент компонентов модульной оптики, компании Ledil для уличного освещения включает линзы как с асимметричными, так и с симметричными кривыми силы света. КСС уличных светильников определяются их назначением, способом освещения, типом используемых осветительных опор и пр. Некоторые варианты дорожного освещения приведены на рис. 8, типы опор, традиционно применяемые при освещении автострад и улиц, а также характерные диаграммы кривых силы света, – на рис. 9. Вполне очевидно, что в зависимости от типа опор необходимо использовать светильники с симметричными или асимметричными КСС.

В продукции компании Ledil, предназначенной для применения в уличных светильниках, наиболее широко представлены модульные и одиночные линзы серии Strada и Stradella. Они ориентированы на использование совместно со светодиодами компании Cree XLamp серий XP, XT, XML и др. Оптическая эффективность этих линз составляет 92...94%. Серия одиночных линз Strada включает следующие типы линз: Strada-A, -B2, -C, C2, -D -IP, -K, -S, -SQ, -T.

В качестве примера модульных можно привести линзы типа C15021_Strada-2X2-SCL. Это квадратные линзы, изготовленные из прозрачного органического стекла и ориенти-

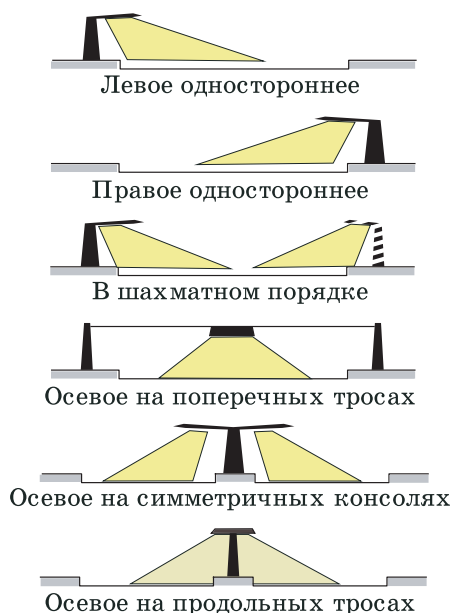


Рис. 8. Варианты дорожного освещения

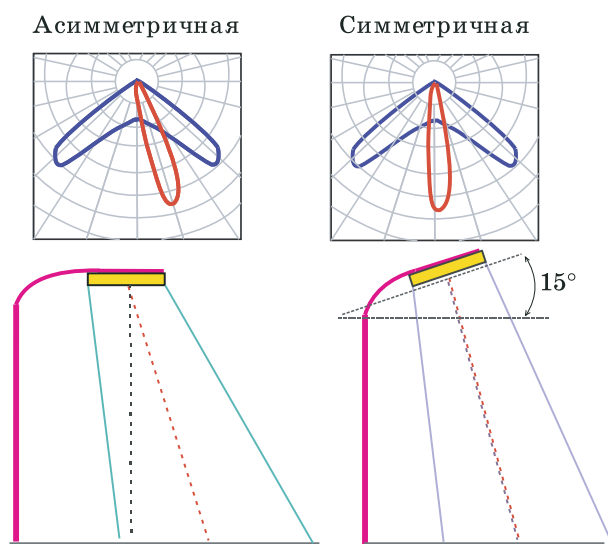


Рис. 9. Характерные диаграммы КСС для осветительных опор разного типа

рованные на использование со светодиодами типа XB-H, XHP35 HD, XP-L, XT-E, XP-G2, LUXEON 5258 или аналогичными. Оптическая эффективность до 94%. Габаритные размеры 50×50×7.8 мм.

Модульные линзы Strada-2×2 modules рассчитаны на использование нескольких светодиодов. Эти линзы могут состоять из элементов как с одинаковыми, так и с различными оптическими характеристиками. Особенность некоторых линз серии Strada – асимметричная диаграмма направленности, что позволяет формировать на поверхности световое пятно в виде полосы с оптимальным для улиц и дорог освещением. Линзы серии Strada можно компоновать друг с другом. Например, для получения желаемой диаграммы направленности потребитель может использовать в одном и том же светильнике разные линзы, как одиночные, так и модульные.

В сравнение с серией Strada линзы Stradella имеют меньшую стоимость, а номенклатура выпускаемых линз этой серии ограничена. Использование линз серии Stradella позволяет сократить затраты на производство светодиодных светильников для освещения улиц, цехов, подъездов, производственных помещений и т.п. без потери качества. Эти линзы предназначены для использования со светодиодами средней мощности, имеющих типоразмер 3030 или 5050. Параметры линз серии Stradella даны в табл. 2, их внешний вид приведен на рис. 10.

Пользуясь диаграммами КСС только для двух взаимно перпендикулярных плоскостей и не имея соответствующего опыта, крайне сложно представить распределение светового пятна на поверхности. В [1] можно найти примеры светового пятна (рис. 11),

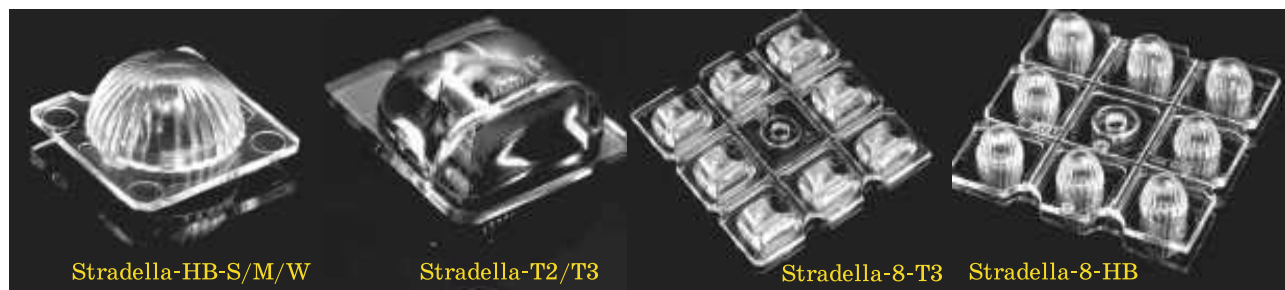


Рис. 10. Линзы серии Stradella

Таблица 2. Параметры линз Stradella

Тип	Вид диаграммы	Число светодиодов	Габаритные размеры, мм	η , %	Кд/лм
STRADELLA-9-AT	Асимметричная	9	49.5×49.5×6.3	92	0.46
STRADELLA-8-T2		8	49.5×49.5×5.7	94	0.75
STRADELLA-T2		1	13.9×13.9×4.96		0.77
STRADELLA-8-T3		8	49.5×49.5×5.7		0.7
STRADELLA-T3		1	13.9×13.9×4.96		
STRADELLA-8-VSM	Очень широкая	8	49.5×49.5×5.5		0.42
STRADELLA-16-HB-S	Узкая	16	49.5×49.5×7.5	—	—
STRADELLA-16-HB-M	Средняя		49.5×49.5×5.7	—	—
STRADELLA-16-HB-W	Широкая		49.5×49.5×7.12	—	—
STRADELLA-8-HB-S	Узкая	8	49.5×49.5×7.5	90	1.75
STRADELLA-8-HB-M	Средняя		49.5×49.5×5.7	92	0.70
STRADELLA-8-HB-W	Широкая		49.5×49.5×7.12	94	0.46
STRADELLA-HB-S	Узкая	1	13.9×13.9×7.5	—	—
STRADELLA-HB-M	Средняя	1	13.9×13.9×5.7	—	—
STRADELLA-HB-W	Широкая	1	13.9×13.9×7.12	—	—

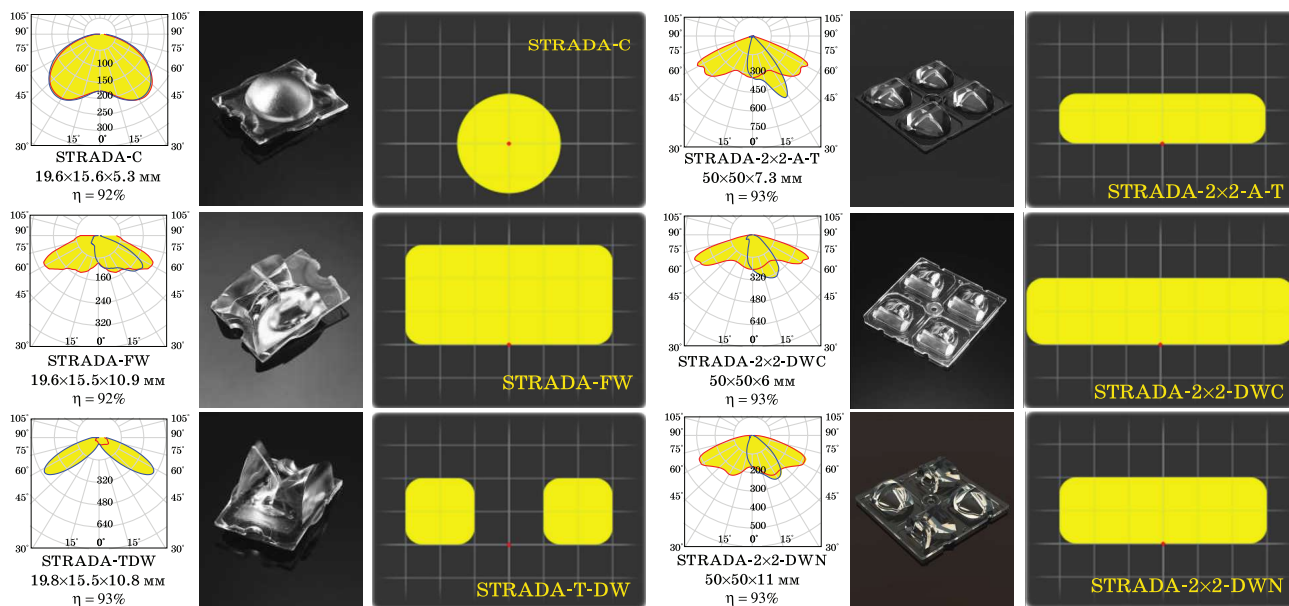


Рис. 11. Примеры светового пятна при использовании линз серии Strada

при освещении поверхности с использованием светодиодов и некоторых типов линз серии Strada. И хотя в примерах приведена несколько упрощенная информация, она крайне важна для неискушенных потребителей и может существенно помочь разработчику осветительных устройств при первоначальном выборе оптических компонентов. На рис. 12 приведены примеры светового пятна в случае комбинированного использования линз [1].

Модульные линзы Strada-2×2-PX [3] ориентированы на использование при освещении пешеходных переходов с осветительных опор, расположенных на противоположных сторонах автомобильных магистралей с правосторонним движением (яркие лучи света не должны слепить водителей транспорта). Схема освещения пешеходного перехода и кривые силы света для линз Strada-2×2-PX приведены на рис. 13 [3].

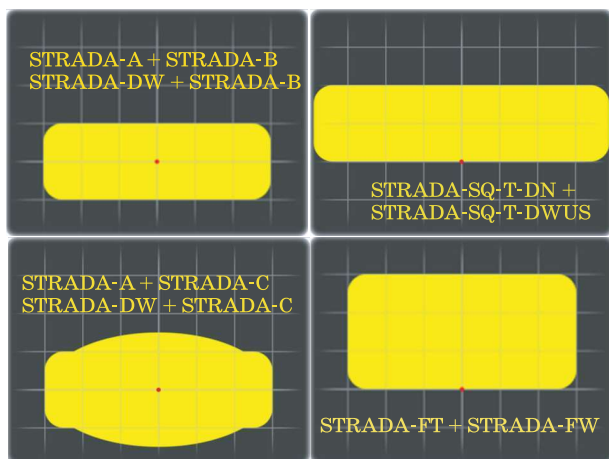


Рис. 12. Примеры светового пятна при комбинированном использовании линз серии Strada

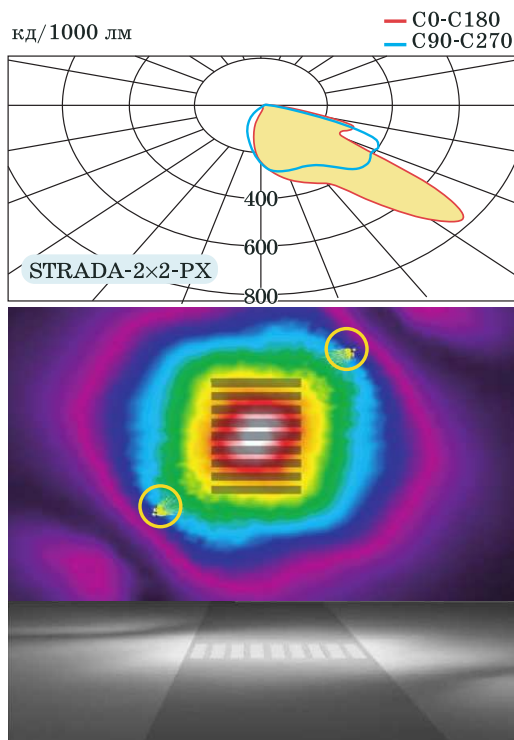


Рис. 13. Схема освещения пешеходного перехода и кривые силы света линзы Strada-2x2-PX

Модульные линзы Strada-2x2-FN можно использовать при освещении пешеходного перехода с одной опоры на улицах с малой интенсивностью движения.

Если требуется сравнительно узконаправленный световой пучок, например, при освещении автострад в туннелях, можно использовать модульные линзы типа Strada-2x2-TF (рис. 14).

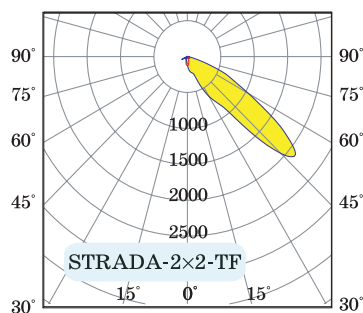


Рис. 14. КСС модульных линз Strada-2x2-TF

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время благодаря ряду несомненных преимуществ светодиодные светильники можно встретить в офисных, торговых и складских помещениях, промышленных и жилых зданиях, архитектурной и наружной подсветке, при освещении автострад, улиц и пр. Немаловажный параметр, который следует принимать во внимание при выборе типа светодиодного светильника, – кривые силы света.

Снижение энергопотребления за счет применения светодиодных светильников – это всего лишь один из возможных методов. В темное время суток на улицах с малой интенсивностью движения поддерживать яркое освещение при отсутствии движения крайне неэкономично. Существенно сэкономить энергопотребление можно, если включать освещение избирательно, т.е. при приближении автотранспорта или пешехода (рис. 15). Пустая улица может быть освещена на минимальном уровне (всего 10...15%).

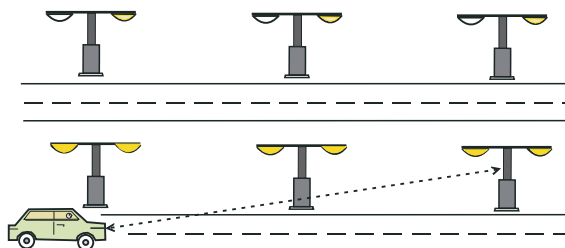


Рис. 15. Вариант умного освещения улицы

Компания Geolux (Хорватия) разработала радарные датчики, которые могут быть размещены на существующих уличных осветитель-

ных опорах [4]. Датчики фиксируют передвижение пешеходов на расстоянии до 150, а автотранспорта – до 300 м. Интенсивность освещения увеличивается или уменьшается, соответственно по мере приближения или удаления объекта.

Компания продемонстрировала возможности данной концепции, реализовав умное освещение на улице длиной 300 м с уличными светильниками, расположенными на расстоянии 30 м друг от друга. Специалисты компании утверждают, что использование этой технологии может сократить энергопотребление уличного освещения на 80%.

Дополнительную информацию о продукции компании Ledil можно получить в сети Интернет по адресу: www.ledil.com или в фирме VD MAIS – официальном дистрибьюторе компании Ledil.

ЛИТЕРАТУРА

1. STRADA lens guide (ledil.com).
2. LEDiL's standard LED optics offer both: Range & Precision (ledil.com).
3. STRADA-2X2-PX. Safety by lighting where it's needed (ledil.com).
4. www.geolux-radars.com.



ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ

■ ПРОИЗВОДСТВО

VD MAIS – крупнейший поставщик печатных плат на рынке Украины

7 аргументов в пользу печатных плат, поставляемых VD MAIS:

- принцип "все из одних рук"
- стабильное положение фирмы на рынке печатных плат
- высокая квалификация специалистов
- выбор проверенных фирм-изготовителей в зависимости от специфики заказа
- техническое сопровождение проекта при SMD-монтаже
- минимизация цен за счет объединения заказов
- сертификация систем экологического менеджмента и менеджмента качества фирмы согласно требованиям стандартов ISO 14001:2004 и ISO 9001:2008, и ISO/TS 16949:2009
- предоставление документации по выходному контролю печатных плат



VD MAIS
PCB Professionally

тел.: (044) 220-0101, (057) 719-6718, (0562) 319-128, (062) 385-4947, (032) 245-5478,
(095) 274-6897, (048) 734-1954, info@vdmals.ua, www.vdmals.ua