

Игорь Елисеев

# Оптика компании LEDiL

для светодиодных матриц

**В подавляющем большинстве случаев светодиодные матрицы находят применение в тех изделиях, где требуется формирование пучка света определенной формы, то есть возникает необходимость использования вторичной оптики. В данной статье читателю предлагается обзор продукции компании LEDiL, предназначенной для использования с мощными светодиодными матрицами. В том числе будет представлено новое уникальное решение компании — силиконовая линза для светодиодных матриц.**

Разработчики светодиодных систем освещения все чаще приходят к выводу, что наиболее оптимальным решением в случае мощных источников света будет использование светодиодных матриц на базе технологии COB (Chip On Board) вместо дискретных светодиодов. До недавнего времени подобные матрицы не пользовались большим спросом среди производителей светодиодных светильников, главным образом по причине их относительно высокой стоимости и низкой светоотдачи. Сейчас, с развитием технологий, стоимость светодиодных матриц снизилась до приемлемого уровня, а их эффективность приблизилась к показателям лучших образцов мощных однокристалльных светодиодов. Благодаря этому, а также принимая во внимание, что использование светодиодных матриц значительно сокращает

сроки и стоимость разработки, упрощает конструкцию изделия и зачастую снижает его себестоимость, интерес к подобным источникам света значительно вырос.

## Рефлекторы

Наиболее распространенным способом формирования диаграммы пространственного распределения силы света при использовании светодиодной матрицы является применение рефлекторов. Ассортимент рефлекторов, выпускаемых компанией LEDiL, слишком велик для того, чтобы сделать обзор этого вида продукции в рамках одной статьи. Поэтому ограничимся сериями рефлекторов, предназначенных для использования с наиболее распространенным в нашей стране семейством светодиодных матриц CXA компании Cree.

Краткие характеристики серий рефлекторов, используемых со светодиодными матрицами CXA, приведены в таблице 1.

Как правило, рефлекторы изготавливают из поликарбоната, который после отливки металлизуют в вакуумной камере и затем покрывают защитным лаком. Рефлекторы подобной конструкции обладают достаточно хорошей отражательной способностью (обычно в пределах 80–90%), устойчивы к воздействию ультрафиолета и могут работать в широком диапазоне температур окружающей среды (–40...+130 °С). Характерный вид рефлектора данной конструкции приведен на рис. 1.

Механическое крепление рефлекторов осуществляется, как правило, двумя основными способами — с помощью клея или с применением специального держателя. Обычно та или иная серия рефлекторов рассчитана на какой-либо один способ крепления. Так, например, серии BARBARA, BRIDGET и BROOKE предназначены для крепления на клей, а LENA и LENINA — на держатель. Исключением служит серия MIRELLA,

Таблица 1. Характеристики рефлекторов для светодиодных матриц семейства CXA (CREE)

Серия рефлектора	Серия светодиода	Диаметр, мм	Высота, мм	Углы, град.	Крепление
BARBARA	CXA2011	70	44,7	17, 40, 60, 75	Клей
BRIDGET	CXA15	22,6	12,8	38, 46, 60	Клей
BROOKE	CXA2011	45	20,2	31, 47	Клей, винты
LENA	CXA15	111	39,6–41,7	a/c*	Держатель
	CXA2011		38,2–88,6	11, 19, 42, a/c*	
	CXA25		39,9–88,9	13, 20, 21, 44, a/c*	
LENINA	CXA15	74	46,95–49	14, 16, 22, 24, 40, 43	Держатель
	CXA2011		46,95–49,05	16, 20, 28, 33, 50, 52, 72	
	CXA25		47,3–49,4	22, 23, 33, 35, 51, 52, 70	
MIRELLA	CXA1304	49,9	23,9–24	12, 15, 20, 26, 37, 43	Клей
			24,8–25,7	12, 15, 20, 23, 26, 37, 43	Держатель
	CXA15		23,9–24	16, 20, 28, 34, 42, 50	Клей
			25,1–25,7	18, 19, 21, 27, 30, 32, 41, 46, 47	Держатель
	CXA1816		23,9–24	23, 26, 34, 39, 52	Клей

Примечание: \* — асимметричная диаграмма



Рис. 1. Рефлектор из металлизированного поликарбоната

для которой предусмотрены оба способа крепления. При заказе рефлекторов данной серии следует обращать внимание на название — позиции, поставляемые в комплекте с держателями, снабжены суффиксом PF. Например, рефлектор MIRELLA-50-S-PF поставляется в комплекте с держателем, а MIRELLA-50-S предназначен для установки на клей. Хотя оба рефлектора в сущности представляют собой одно и то же устройство, их оптические характеристики все же различаются (хоть и незначительно). Так, у MIRELLA-50-S со светодиодной матрицей типа CXA15 видимый угол составляет  $16^\circ$ , а у MIRELLA-50-S-PF —  $18^\circ$ .

Следует также упомянуть о том, что существуют варианты поставки рефлекторов в комплекте с дополнительными линзами (в терминологии LEDiL — sublens). Эта линза, кроме того, что служит добавочным оптическим элементом, выполняет также функцию защиты от внешних воздействий. Всего есть три вида линз. Тип линзы находит отражение в названии позиции: прозрачная линза обозначается буквами CL (Clear lens), диффузная — DL (Diffused lens), а смесительная линза (Mixing lens) отображается в наименовании изделия символами RZ. Назначение первых двух линз очевидно — формирование диаграммы пространственного распределения силы света необходимой формы. Диффузная линза, как следует из ее названия, дополнительно рассеивает пучок света. Последняя (смесительная линза) находит применение в RGB-системах и служит для качественного смешения различных цветов (устраняет цветные ореолы на краях пятна засветки). На рис. 2 показано в сравнении, как выглядит пятно засветки в случае использования смесительной линзы и без нее.

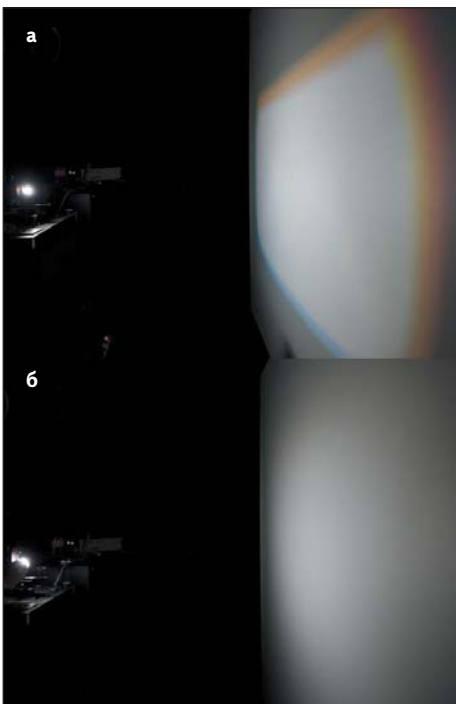


Рис. 2. а) без смесительной линзы;  
б) с использованием смесительной линзы

Продолжая разговор о системе обозначений рефлекторов компании LEDiL, следует упомянуть о символах, которые входят в наименования изделий и характеризуют ширину диаграммы пространственного распределения силы света. Всего этих символов три: S (Spot) — служит для обозначения узкой диаграммы (от единиц до примерно двух десятков градусов), M (Medium) — обозначает диаграмму средней ширины (ориентировочно  $20\text{--}40^\circ$ ) и W (Wide) — характеризует широкую диаграмму (свыше  $40^\circ$ ). Для иллюстрации сказанного рассмотрим пример обозначения MIRELLA-50-S-DL-PF. Эта маркировка говорит о том, что речь идет о рефлекторе серии MIRELLA диаметром 50 мм с узкой диаграммой и в комплекте с диффузной линзой и держателем. Рефлекторы одного типа, но предназначенные для использования с разными типами светодиодных матриц, отличаются артикулами. Так, например, рефлектор MIRELLA-50-S-PF с артикулом CN13127 предназначен для использования с матрицами CXA1304, а тот же MIRELLA-50-S-PF, но с артикулом CN13764, используется с матрицами типа CXA15.

Недавно компания LEDiL начала производство рефлекторов другого типа. В новых изделиях используется пластик с высокой отражательной способностью, благодаря чему отпала необходимость в металлизации отражающей поверхности. Материал, используемый для производства этих рефлекторов, представляет собой разновидность поликарбоната чистого белого цвета. Новый материал, именуемый в английской терминологии как Hureg-Reflective polycarbonate или, сокращенно, H-R PC, кроме высокой отражательной способности (95% и выше), обладает рядом замечательных свойств. Прежде всего, необходимо отметить высокую степень сопротивляемости данного материала к воздействию ультрафиолета. Степень изменения оптических свойств пластика под воздействием внешних условий характеризуется так называемым «индексом желтизны» (Yellowness Index, или YI), который определяет степень изменения цвета материала от идеально белого к желтому и задается неким числом, вычисляемым на основе спектрометрических данных (чем больше это число, тем больше «желтизна»). На рис. 3 приведена зависимость индекса YI от времени (в часах) для материала H-R PC по сравнению с другими разновидностями поликарбоната. Другая важная

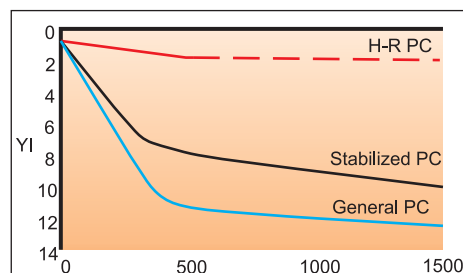


Рис. 3. Зависимость индекса YI от времени (в часах) для материала H-R PC в сравнении с другими разновидностями поликарбоната

особенность данного материала — высокая степень сопротивляемости воспламенению. Степень воспламеняемости для пластика определяется стандартом UL 94. В соответствии с данным стандартом поликарбонат типа H-R PC характеризуется классом V-0, который гарантирует, что горение образца в вертикальном положении прекратится не позднее, чем через 10 с после удаления источника тепла (огня). По спецификации стандарта UL 94 это один из самых высоких классов сопротивления воспламенению, что допускает применение материала H-R PC с источниками света, отличающимися высоким тепловыделением в процессе работы, в том числе и со светодиодными матрицами. И, наконец, последним, но не менее привлекательным, свойством поликарбоната H-R PC является его способность создавать рассеянный отраженный свет, мягкий и равномерный, как после диффузного рассеивателя.

Рефлекторы из пластика с высокой отражающей способностью имеют в обозначении символ X (например, LENINA-XW или LENA-X-WAS). Характерный внешний вид подобного рефлектора приведен на рис. 4.

Вопреки расхожему мнению, рефлекторы для светодиодов бывают не только строго круглой формы с идеально симметричными оптическими показателями. Компания LEDiL выпускает также рефлекторы с асимметричной диаграммой направленности. Они могут применяться в области уличного освещения или в архитектурной подсветке. Рефлекторы с асимметричной диаграммой для светодиодов семейства CXA компании Cree присутствуют в серии LENA. Асимметричность диаграммы отображается в названии рефлекторов серии LENA символами AS (например LENA-WAS). На рис. 5 изображен характерный представитель семейства асимметричных рефлекторов —



Рис. 4. Рефлектор из поликарбоната с высокой отражающей способностью (H-R PC)

Таблица 2. Нормативы освещенности согласно СНиП 23-05-95

Категория объекта по освещению	Улицы, дороги и площади	Интенсивность движения транспорта, ед/ч	Средняя яркость покрытия, кд/м <sup>2</sup>	Средняя освещенность покрытия, лк	Минимальная яркость покрытия к средней	Минимальная яркость к максимальной
А	Магистральные дороги, магистральные улицы общегородского значения	>3000	1,6	20	Не менее 0,35	Не менее 0,6
		1000-3000	1,2	20		
		500-1000	0,8	15		
Б	Магистральные улицы районного значения	>2000	1,0	15	Не менее 0,25	Не менее 0,4
		1000-2000	0,8	15		
		500-1000	0,6	10		
		<500	0,4	10		
В	Улицы и дороги местного значения	500	0,4	6	Не менее 0,25	Не менее 0,4
		500	0,3	4		
		Одиночные а/м	0,2	4		

рефлектор LENA-X-WAS из поликарбоната с высокой отражательной способностью.

Наиболее интересным для нас является вопрос, способна ли простая система из рефлектора и светодиодной матрицы в каких-то случаях заменить собой светильник на дискретных светодиодах и линзах. Для ответа на этот вопрос проведем небольшое исследование. Возьмем для изучения один из наиболее сложных, с точки зрения характеристик освещенности, объект —



Рис. 5. Рефлектор LENA-X-WAS

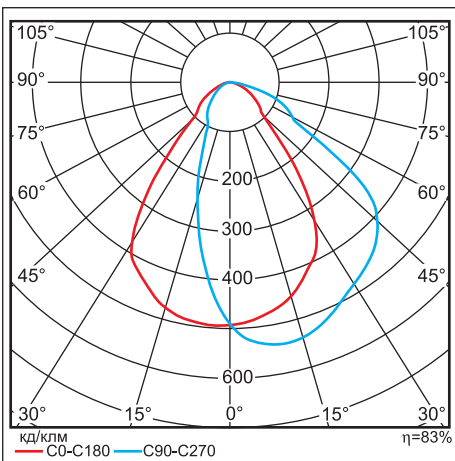


Рис. 6. Относительная диаграмма пространственного распределения силы света

автомобильную трассу. Попробуем определить, во-первых, способен ли рефлектор создать достаточно равномерную засветку полотна дороги в соответствии с параметрами, определенными в нормативных документах, и, во-вторых, сможет ли светодиодная матрица обеспечить необходимый, заданный теми же нормативами, уровень освещенности. В светильниках, предназначенных для освещения дорог, чаще всего используют линзы с несимметричной диаграммой. Поэтому возьмем для исследования один из асимметричных рефлекторов, например LENA-X-WAS (рис. 5). Диаграмма пространственного распределения силы света данного рефлектора приведена на рис. 6.

Для начала вспомним, какие требования предъявляются к освещению автомобильных дорог. Они изложены в нормативном документе СНиП 23-05-95. Данный документ нормирует среднюю яркость и освещенность дорожного покрытия для дорог разных категорий при различной интенсивности движения, а также отношение минимальной яркости покрытия к среднему и максимальному значениям. Эти величины приведены в таблице 2.

Выберем для тестирования светодиодную матрицу CXA2540 на цветовую температуру 5000 К из группы с максимальным световым потоком (группа W4).

Для проведения расчетов необходимо определить величину светового потока, который может обеспечить светильник на базе выбранной нами светодиодной матрицы CXA2540 с рефлектором LENA-X-WAS. Максимальный рабочий ток для CXA2540 равен 2100 мА, световой поток на токе биннинга (1100 мА) при температуре перехода +85 °С составляет 5225 лм. Зададим рабочий ток матрицы в районе 90% от максимального — 1900 мА, а рабочую температуру в точке пайке равной +50 °С. Тогда, с помощью программы PCT-калькулятор, получаем световой поток светодиодной матрицы 7780 лм. С учетом того, что эффективность (КПД) рефлектора LENA-X-WAS составляет 82%, получаем световой поток на выходе светильника  $7780 \times 0,82 = 6380$  лм.

Далее выберем для тестирования двухполосную дорогу шириной 7 м и воспользуемся программой DIALux для расчета освещенности дорожного покрытия. Поэкспериментировав с различными вариантами расположения светильников и высоты точки подвеса, находим, что достаточно хорошие результаты получаются при следующих условиях:

- расположение опор в шахматном порядке, по обеим сторонам дороги;
  - расстояние между опорами 15 м;
  - угол наклона консоли 15°;
  - высота точки подвеса 8 м;
  - расстояние от центра светильника до края проезжей части (вылет) 1,35 м.
- При данных условиях расчет в программе DIALux дает следующие результаты:
- средняя яркость покрытия 1,2 кд/м<sup>2</sup>;
  - средняя освещенность покрытия 31 лк;
  - отношение минимальной яркости покрытия к средней 0,69;
  - отношение минимальной яркости покрытия к максимальной 0,86.

Как видим, при данных условиях получается очень хорошая равномерность освещенности, значительно превышающая нормативную. Средняя освещенность покрытия также превышает максимальное значение, определенное в нормативном акте. А по параметру «Средняя яркость покрытия» данная схема освещения подходит для дорог категории А с интенсивностью движения 1000–3000 единиц автотранспорта в час. На рис. 7 приведена освещенность участка дороги между опорами в градациях серого цвета, а на рис. 8 — освещенность дороги в условных цветах.

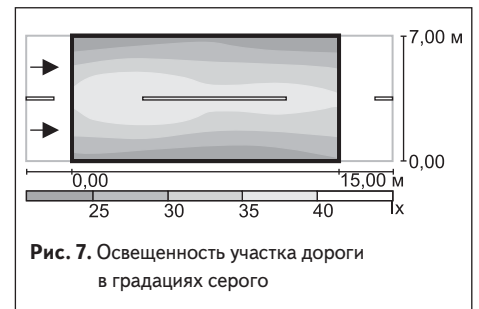


Рис. 7. Освещенность участка дороги в градациях серого

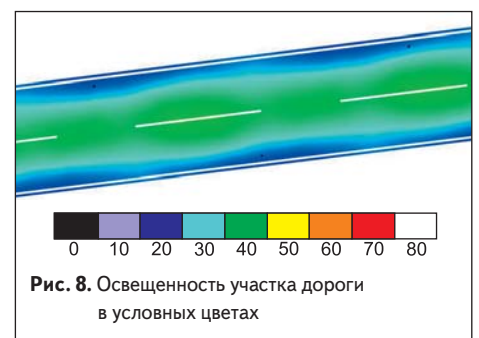


Рис. 8. Освещенность участка дороги в условных цветах

Можно и дальше экспериментировать с положением светильников, добиваясь улучшения результатов. Но мы не ставили себе целью получить идеальный результат. Данный теоретический опыт поставлен с одной целью — проиллюстрировать возможность применения рефлекторов со светодиодными матрицами в системах освещения и показать, что применение даже подобной простой схемы построения светильника позволит решить такую относительно сложную задачу, как освещение автомобильных дорог, и при этом в полном соответствии с нормативами.

Но вернемся к основной теме нашего повествования и рассмотрим другой оптический элемент, предназначенный для использования со светодиодными матрицами, — линзу Френеля.

## Линзы Френеля

Линзы Френеля, формирующие узкий пучок мягкого света с красивыми растушеванными границами, давно и успешно применяются в системах освещения. Достаточно вспомнить светильники, используемые в кинопроизводстве (так называемый «голливудский» свет). Но в полупроводниковой светотехнике такие линзы встречаются не часто. Это связано в первую очередь с чисто технологическими сложностями производства. Как известно, линза Френеля состоит из отдельных, примыкающих друг к другу концентрических колец небольшой толщины, которые в сечении имеют форму призм. Понятно, что для производства таких линз требуется высокоточное оборудование. В пресс-релизе, посвященном выпуску новых линз Френеля серии HELENA, компания LEDiL особо подчеркивает, что это стало возможным благодаря применению прецизионного инструментария с точностью до сотых долей миллиметра. Вторая причина, по которой линзы Френеля не получили широкого распространения именно в полупроводниковой светотехнике, связана с тем, что для применяемых в большинстве случаев относительно маломощных (по сравнению со светодиодными матрицами) светодиодов лучше использовать обычные линзы из полиметилметакрилата (PMMA) — они, как правило, намного компактнее и дешевле. Но для мощных светодиодных матриц линзы из PMMA не годятся (о чем будет сказано далее). Поэтому в данном случае применение линз Френеля становится оправданным.

По сравнению с рефлекторами у линз Френеля есть одно существенное преимущество — малая высота, что позволяет создавать достаточно компактные системы освещения. Так, например, высота линзы серии HELENA всего 11 мм, а рас-



Рис. 9. Позиционирование линзы серии HELENA относительно светодиодной матрицы



Рис. 10. Линза HELENA-A

стояние от установочной поверхности линзы до плоскости основания светодиодной матрицы составляет 10,43 мм. В целом высота системы получается чуть больше 20 мм (рис. 9). Кроме того, в системах с такими линзами отпадает необходимость в использовании защитного стекла: сама линза может выполнять эту функцию (что, в свою очередь, снижает общую величину оптических потерь).

В настоящее время компания LEDiL производит два типа линз серии HELENA для светодиодных матриц — HELENA-A и HELENA-B (рис. 10, 11). Обе линзы имеют диаметр 72,8 мм. Высота HELENA-A — ровно 11 мм, а у HELENA-B — 11,1 мм. Обе линзы предназначены для работы в диапазоне температур  $-40 \dots +100 \text{ }^\circ\text{C}$ , что позволяет использовать их в системах наружного освещения. Разница между двумя типами линз — только в структуре наружной поверхности. Это обусловлено некоторыми особенностями практического использования той или иной оптики. Линзы типа HELENA-A имеют идеально гладкую наружную поверхность. Такая конструкция обеспечивает максимальную интенсивность излучения в направлении оптической оси. Но при этом, из-за принципиальных особенностей, свойственных



Рис. 11. Линза HELENA-B

линзам Френеля, не исключена возможность появления цветных ореолов на освещаемой поверхности (вследствие хроматической аберрации). Этого недостатка лишена линза типа HELENA-B, имеющая рифленую наружную поверхность в виде концентрических колец полусферической формы в сечении (этим и обусловлена небольшая разница в высоте между HELENA-A и HELENA-B). HELENA-B создает мягкое рассеянное освещение, ее диаграмма направленности имеет более гладкую округлую форму. Но за счет особенностей конструкции диаграмма направленности у нее несколько шире, а пик излучения в направлении центральной оси немного меньше по сравнению с линзой HELENA-A.

Углы излучения линз серии HELENA зависят от типа используемой светодиодной матрицы. Линза HELENA-A при использовании со светодиодными матрицами семейства CXH имеет следующие углы половинной яркости:

- CXH15 —  $12,5^\circ$ ;
- CXH25 —  $26^\circ$ .

Кривая силы света для HELENA-A со светодиодной матрицей типа CXH15 показана на рис. 12. Подобные линзы, с узкой диаграммой направленности, найдут применение в различного рода прожекторах и системах акцентного освещения. Следует помнить, что в тех приложениях, где качество света играет серьезную роль (кинопроизводство, фотография, архитектурно-декоративное освещение и т. д.), лучше использовать линзы HELENA-B.

Здесь уместно проиллюстрировать наше утверждение о том, что с помощью линз серии HELENA возможно создание более компактной конструкции светильника, нежели с использованием рефлекторов. Возьмем, к примеру, матрицу типа CXH15. Для начала отметим, что при использовании рефлектора в принципе невозможно получить столь малый угол, как с линзой HELENA-A ( $12,5^\circ$ ). Согласно таблице 1, ближайший по величине угол для матрицы CXH15 дает рефлектор серии LENINA ( $14^\circ$ ). Возьмем этот рефлектор для сравнения: высота — 47 мм, диаметр — 74 мм. У системы с линзой HELENA высота будет 20 мм, а диаметр — 72,8 мм. Разница по высоте получается достаточно заметная — 27 мм.

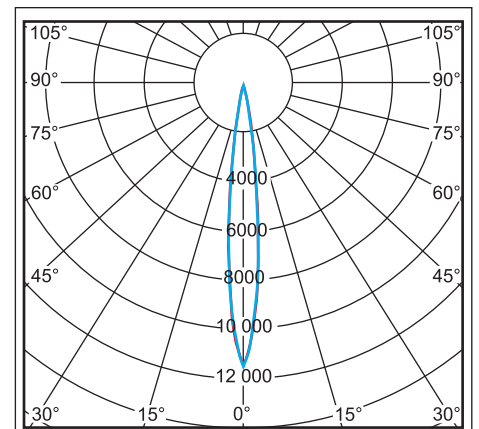


Рис. 12. Кривая силы света для линзы HELENA-A с матрицей типа CXH15

Общий недостаток линз Френеля и, частично, рефлекторов заключается в том, что с ними невозможно получить диаграмму пространственного распределения силы света достаточно сложной или, точнее сказать, произвольной формы. Такая задача под силу только линзам. Но, как будет показано ниже, стандартные линзы из PMMA не предназначены для работы с мощными светодиодными матрицами. Компания LEDiL сумела решить эту проблему, создав новейшее инновационное решение — силиконовую линзу.

### Силиконовые линзы

Прежде чем начинать разговор о силиконовых линзах, рассмотрим вопрос о том, почему стандартные линзы из PMMA не подходят для использования с мощными светодиодными матрицами, хотя они успешно «сотрудничают» с обычными, однокристальными светодиодами. Тут все дело в мощности. Мощность или энергия излучения (как световая, так и тепловая) у светодиодных матриц намного выше, чем у однокристальных светодиодов. При этом главную опасность для линзы представляет не нагрев светодиодной матрицы, каким бы очевидным это ни казалось, а именно энергия светового потока. Нагрев светодиодной матрицы можно контролировать с помощью охлаждающей системы, а от энергии света защиты нет. Коэффициент прозрачности полиметилметакрилата (PMMA) составляет 92%. А это значит, что остальные 8% светового потока превращаются в тепло. В результате нагрева линза расширяется, причем неравномерно, что приводит к появлению внутренних напряжений. А это, в свою очередь, может вызвать появление трещин и, в конечном итоге, разрушение линзы. Еще одну опасность представляет загрязнение поверхности линзы. Любая соринка на поверхности может разогреться энергией светового потока до такой степени, что расплавит материал линзы.

До сих пор единственной альтернативой использования оптики из PMMA в мощных осветительных системах было применение линз из боросиликатного стекла. Хотя такие линзы обладают хорошими оптическими свойствами и не боятся нагрева, им все же свойственен ряд недостатков, которые ограничивают их применение. Основной недостаток — высокая стоимость. Для литья стеклянных линз требуется дорогое оборудование, а кроме того, для получения хороших оптических свойств

необходима полировка поверхности — весьма дорогостоящая операция.

Специалистам компании LEDiL удалось найти материал, который лишен недостатков, свойственных PMMA, и не требует дорогостоящих технологических операций: это оптически прозрачный силикон. Коэффициент преломления и прозрачность оптического силикона точно такие же, как у PMMA. Но, в отличие от PMMA, силикон очень пластичный материал и не боится внутренних напряжений. Кроме того, силикон стоек к воздействию температур. Данный материал проявляет прекрасные эксплуатационные свойства в диапазоне температур от  $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$  (на более низких температурах в компании LEDiL его просто не тестировали) до  $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Технология литья из силикона не представляет сложностей, поверхность линз после отливки не требует дополнительной обработки (полировки). Оптический силикон химически инертен и электростатически нейтрален, что препятствует налипанию пыли и грязи на поверхность линзы. Следует также отметить высокую стойкость оптического силикона к воздействию ультрафиолета. И, наконец, механические свойства силикона позволяют использовать его в качестве внешнего защитного материала, что позволяет обойтись в светильниках без защитного стекла и герметизирующих прокладок.

В настоящее время компания LEDiL выпускает две серии линз из оптического силикона, предназначенных для использования со светодиодными матрицами, — STELLA и SAGA.

STELLA-A (рис. 13) с артикулом FN13323 предназначена для работы со светодиодными матрицами типа CXA15 и CXA25. Линза имеет диаметр 90 мм и высоту 22 мм. STELLA-A демонстрирует высокую оптическую эффективность — 93%, что еще раз подтверждает превосходные оптические свойства силикона. Диаграмма направленности этой линзы — асимметричная, кривые силы света при использовании со светодиодной матрицей типа CXA25 приведены на рис. 14. Как видно из приведенной диаграммы, линза STELLA-A имеет очень широкий угол половинной яркости в плоскости X ( $0-180^{\circ}$ ) — около  $150^{\circ}$ , и примерно  $70^{\circ}$  в перпендикулярной плоскости со смещением оптической оси по отношению к геометрической порядка  $15^{\circ}$ . Вполне

очевидно, что линза с подобной диаграммой найдет применение в светильниках для освещения дорог. Посмотрим, какие результаты получатся при освещении той же дороги, как и в опыте с рефлекторами, при использовании той же светодиодной матрицы (CXA2540), но теперь с линзой типа STELLA-A. Возьмем то же значение светового потока на выходе светодиодной матрицы — 7780 лм. Но теперь у нас оптика с более высокой эффективностью, следовательно, световой поток светильника также будет выше —  $7780 \times 0,93 = 7235$  лм. Зададим такое же, как в предыдущем опыте, расстояние между опорами — 15 м, и тот же угол наклона консоли —  $15^{\circ}$ . Протестировав несколько вариантов по высоте подвеса светильников и расстоянию от края дороги, выберем такой из них, при котором параметры освещенности будут удовлетворять нормативам для того же класса дороги, как и в опыте с рефлекторами. В итоге получаем следующие исходные данные:

- расположение опор с одной стороны дороги;
- расстояние между опорами 15 м;
- угол наклона консоли  $15^{\circ}$ ;
- высота точки подвеса 7,3 м;
- расстояние от центра светильника до края проезжей части (вылет) 0,8 м.

При этих условиях расчет в программе DIALux дает следующие результаты:

- средняя яркость покрытия —  $1,23\text{ кд/м}^2$ ;
- средняя освещенность покрытия 20 лк;
- отношение минимальной яркости покрытия к средней — 0,58;
- отношение минимальной яркости покрытия к максимальной — 0,92.

Визуальное представление данных результатов приведено на рис. 15 (в градациях серого) и рис. 16 (в условных цветах).

Как видим, результаты также соответствуют нормативам для дорог категории А с интенсив-



Рис. 13. Силиконовая линза STELLA-A

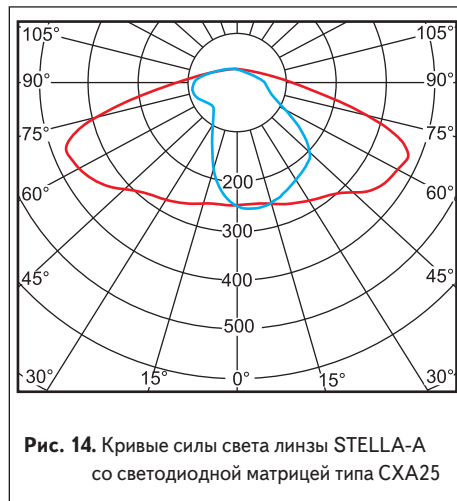


Рис. 14. Кривые силы света линзы STELLA-A со светодиодной матрицей типа CXA25

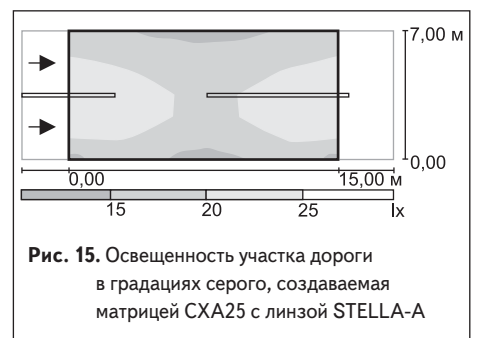


Рис. 15. Освещенность участка дороги в градациях серого, создаваемая матрицей CXA25 с линзой STELLA-A

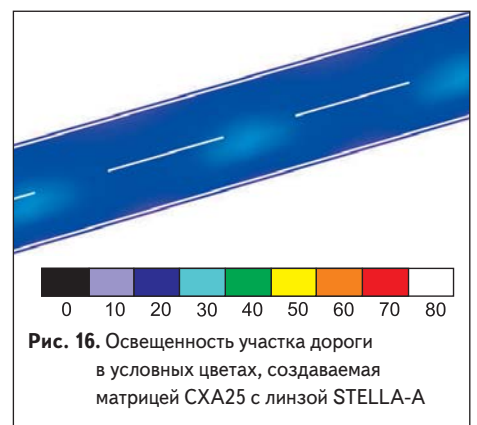


Рис. 16. Освещенность участка дороги в условных цветах, создаваемая матрицей CXA25 с линзой STELLA-A

ностью движения 1000–3000 машин в час. При этом параметры средней яркости и освещенности покрытия в точности соответствуют нормативам (в случае с рефлекторами средняя освещенность превышала норму в 1,5 раза), а равномерность освещенности значительно лучше нормы. И самое важное — это то, что нам удалось добиться подобных результатов, расположив светильники с одной стороны дороги при том же расстоянии между опорами (напомним, что в опыте с рефлекторами светильники располагались по обеим сторонам). То есть общее количество светильников сократилось ровно в два раза.

Вывод напрашивается сам собой: решение на силиконовых линзах получается в два раза экономичнее (в смысле экономии электроэнергии) и несравненно дешевле (при расчете экономического эффекта следует также учитывать стоимость осветительных опор). Мы сравнили данное решение с решением на рефлекторах по одной простой причине — до появления силиконовых линз другой оптики с похожими характеристиками для светодиодных матриц (кроме рефлекторов) просто не существовало. Скорее всего, именно это обстоятельство служило сдерживающим фактором, ограничивающим применение светодиодных матриц в уличном освещении. Хотя, как показано выше, система на светодиодной матрице с рефлектором и дает вполне приемлемые результаты, все же светильники на дискретных светодиодах с линзами выигрывали сравнение. Сейчас, с появлением силиконовых линз, уже ничто не сдерживает применение светодиодных матриц в области освещения дорог и улиц.

Как отмечалось выше, новый класс оптики на базе оптического силикона включает еще одну серию, предназначенную для работы со светодиодными матрицами, — SAGA. Оптика серии SAGA представляет собой комбинацию из силиконовой линзы и рефлектора из пластика с высокой отражающей способностью (рис. 17). Данная комбинация, наряду с высокой эффективностью (92%) при малых габаритных размерах (диаметр 50 мм, а высота всего 12 мм), позволяет получить симметричную диаграмму с достаточно широким углом свечения. Величина



Рис. 17. Оптика серии SAGA

угла половинной яркости зависит от типа применяемой светодиодной матрицы:

- CXA1304 — 70°;
- CXA1816 — 63°;
- CXA15 — 64°.

На рис. 18 приведены кривые силы света для оптики SAGA со светодиодной матрицей CXA1816.

Оптика с подобными характеристиками широко используется в системах общего освещения. В частности, SAGA отлично подходит для популярной категории встраиваемых потолочных светильников типа «даунлайт» (Downlight) диаметром 50 мм (судя по размерам оптики, именно для этой цели она и создавалась). Благодаря свойствам оптического силикона, о которых говорилось выше, при использовании оптики SAGA можно обойтись без защитного стекла, что значительно снизит потери света (обычно на защитном стекле теряется порядка 15% светового потока) и тем самым позволит повысить общую эффективность светодиодного светильника. С учетом сказанного и принимая во внимание широкий температурный диапазон силиконовых линз, область применения оптики серии SAGA значительно расширяется — от закрытых помещений (стандартная область применения «даунлайтов») до наружного освещения.

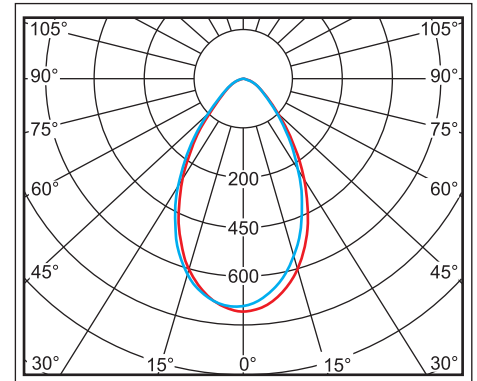


Рис. 18. Кривые силы света для оптики серии SAGA со светодиодной матрицей CXA1816

Единственное ограничение связано с типом применяемых светодиодных матриц. Оптика SAGA предназначена для использования с матрицами небольшого размера, а следовательно, и относительно небольшой мощности.

Мы рассмотрели в этой статье три типа оптики LEDiL для светодиодных матриц — рефлекторы, линзы Френеля и силиконовые линзы. После прочтения статьи у читателя наверняка возникнет вопрос, что же все-таки следует применять в том или ином случае. Однозначно ответить невозможно, все зависит от конкретного применения и требований, предъявляемых к светильнику. Можно дать лишь некоторые общие рекомендации. Для освещения дорог и улиц, как выяснилось, лучше всего подходят силиконовые линзы STELLA-A. Если требуется создать прожектор или светильник для акцентного освещения, предпочтение следует отдать линзам Френеля серии HELENA. А для общего освещения лучше всего подходит оптика SAGA (в случае небольших мощностей) или рефлектор (для светодиодных матриц большой мощности). В целом, можно сделать вывод: у компании LEDiL найдется подходящая оптика практически для всех возможных случаев применения светодиодных матриц. ●