

# Легче пуха, ярче солнца

Светильник с активным охлаждением

**Владимир Смолянский,**  
vsmolyanskij@yandex.ru  
**Сакен Юсупов,**  
saken.jusupov@ledil.com

*В рамках этой статьи рассматривается новый подход, который позволяет создавать 100-Ваттные светильники весом менее 2 кг.*

**Б**урные геополитические изменения в мире на наших глазах изменяют изначальный сценарий глобализации в мировом экономическом спектакле. Заокеанский Карабас-Барабас запутался в долгах и неурядицах, а актеры глобального кукольного театра не хотят бесплатно играть роли, которые были ранее им предписаны (Греция – «дом отдыха у моря», Россия – «бензоколонка», Китай – «место для фабрик с вредным производством» и т. д.). Ветер перемен рассеивает гламурный туман потребительского благополучия, и над миром сгущаются штормовые тучи экономических проблем. Экономические потрясения уже привели к девальвации валют многих стран. Кроме того, за последний год вдвое упал курс российского рубля. В светотехнической отрасли это привело к удорожанию импортных комплектующих, сложностям с перекредитованием предприятий и сумятице в текущей операционной работе. Но, с другой стороны, девальвация национальной валюты устранила с рынка импортных конкурентов и расчистила его для локальных производителей, многие из которых стали серьезно планировать даже экспортную экспансию в другие страны.

В мире технологий освещения тоже бурлят перемены – быстро сменяются поколения светодиодов, которые предоставляют все больше возможностей для экономии энергии при не меньшем качестве света. Новые качества источников света стимулируют развитие остальных компонентов светодиодных светильников, появляется

новая оптика, расширяются возможности управления драйверами питания, ассортимент применяемых разъемов. Однако такой важный и дорогой элемент конструкции светильника как радиатор пока существенно не изменился. Да, в последние годы ведущие производители светодиодных светильников серьезно инвестировали в оборудование для литья алюминия. Им удалось значительно улучшить внешний дизайн светильников, а некоторым – повысить эффективность конвекционного отвода тепла радиаторов на 10–20%. Но радиатор так и остался большой и тяжелой «железкой». Его доля в себестоимости светильника составляет 25–30%, что заставляет искать способы того, как сэкономить не в ущерб качеству.

Появление новых светодиодов MHD, XHP70 от Cree и оптики LEDIL для них открыло возможность для создания небольших светильников с мощным световым потоком. Однако для комплексного решения этой задачи необходимо было отвести тепло от светодиодов малогабаритным радиатором. Как правило, 100-Вт светодиодный светильник имеет в своем составе пассивный радиатор и весит более 5 кг. Для того чтобы значительно сократить вес радиатора и эффективно отвести тепло, специалисты компании «ИК-Технологии» применили радиатор с активным охлаждением (вентилятором).

Все разработчики светильников знают, что подобные вентиляторы установлены во всех настольных компьютерах, но боятся переносить эти технологии в светильник, который должен годами эксплуатироваться на улице. Выживет ли «нежный» вентилятор в условиях зимних морозов и летней жары, уличной пыли и ветровых вибраций? Ответ – да, выживет, достаточно лишь вспомнить другой наглядный пример использования вентиляторов, охлаждающих радиаторы автомобилей. Условия работы

вентилятора под капотом авто гораздо жестче, чем в корпусе уличного светильника. Пыль, жидкая соленая грязь, тряска, капли масла, постоянное термоциклирование, а диапазон рабочей температуры составляет –40...125°. И никто из автомобилистов не жалуется на частые поломки вентилятора для охлаждения радиатора. Следовательно, грамотно разработанная система активного охлаждения может надежно эксплуатироваться в жестких условиях.

Для практического использования нового подхода компания «ИК-Технологии» разработала систему активного охлаждения (см. рис. 1), механизм (см. рис. 2) и компоновку (см. рис. 3) светильника с активным охлаждением.

Для активного охлаждения использовался вентилятор. Вентиляторы для активного охлаждения отличаются видами, конструкцией, размерами, производительностью, уровнем IP, уровнем шума, частотой, напряжением питания и т. д. Эту продукцию выпускает ряд известных фирм, например ebm-papst, Orion, Sanyo, Delta, Sunon, Evercool и т. д. Вентиляторы, значительно усовершенствованные за последние годы, достигли впечатляющих характеристик по надежности и долговечности, уровню защиты от влияния окружающей среды (IP54–IP68), разнообразию номенклатуры. При выборе вентилятора следует учитывать величину тепловой энергии, отводимой от светодиодов при помощи воздушного потока, величину тепловой энергии, которая конвективно отводится внешними частями радиатора (примерно 10–15%), и часть энергии, излучаемой светодиодами (25–30%).

Кроме того, следует учитывать напряжение питания, стойкость к условиям внешней среды (IP), геометрические характеристики вентилятора, уровень шума, режим питания, сопоставить положение рабочей точки на кривой CFM с уровнем ди-



Рис. 1. Система активного охлаждения



Рис. 2. Механизм вентилятора



Рис. 3. Компонновка

Таблица 1. Примеры некоторых подходящих вентиляторов

Производитель, тип, ресурс	Вид подшипника	Размер, Д×Ш×В, мм	Питание	Производительность, CFM	Давление, мм (H <sub>2</sub> O)	IP	Диапазон температур, °С	Уровень шума, дБ
Sanyo-Denken SWP06448H401P 60 тыс. ч [17]	Качения	60×60×25	48 В (1,92 Вт)	18,7	0,16	68	-20...70	28
Orion OD6025 48H 60 тыс. ч [11]	Качения	60×60×25	48 В (3,4 Вт)	28	0,24	55	-10...70	30
Sunon, MA2062-HLV 60 тыс. ч [13] (4,4 Вт)	Магнитный (Vapo)	60×60×25	220-240 В AC	-10...70	30	-	-10...70	-
Sunon HA60251V4-000-999 60 тыс. ч [12]	Магнитный (Vapo)	60×60×25	12 В	13,8	0,04	-	-10...70	13,8

намической нагрузки, определяемой конструкцией воздушных каналов радиатора.

Примеры некоторых подходящих вентиляторов приведены в таблице 1. Из представленных в ней моделей вентиляторы компаний Sanyo-Denken и Orion – самые устойчивые к пыли и влаге, а самые тихие – вентиляторы компании Sunon.

### РАСЧЕТ И МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИАТОРОВ АКТИВНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

При расчете активного охлаждения следует выбрать характеристики охлаждающей системы, обеспечивающие заданную температуру перехода светодиода  $T_j$ .

В рабочей точке системы охлаждения можно определить скорость потока охлаждающего воздуха, давление на выходе вентилятора (на входе охлаждающего канала), вычислить массу протекающего в единицу времени воздуха, измерить разность температур входящего и выходящего воздуха. Эта задача решается расчетом и проверяется моделированием.

При расчете и моделировании следует учитывать, что в светильнике в тепло превращается та часть энергии, которая не излучается в виде све-

та (около 70% потребляемой энергии), а часть энергии от светильника (примерно 10–15%) будет по-прежнему рассеиваться во внешней среде путем конвекции и инфракрасного излучения открытых элементов конструкции.

При расчете характеристик активного охлаждения требуется увязать возможности вентилятора и динамическую нагрузку, оказываемую охлаждающим объектом. Возможности вентилятора определяются его рабочей характеристикой (см. рис. 4), связывающей производительность вентилятора CFM с разностью давлений  $P$  между его выходом и входом, а динамическая нагрузка характеризуется также

разностью давлений на входе и выходе. Пересечение графика рабочей характеристики вентилятора и графика динамической нагрузки определяют рабочую точку системы охлаждения.

Количество выносимого воздухом тепла  $Q$  для выбранного вентилятора зависит от производительности вентилятора  $CFM$ , разности давлений на выходе и входе вентилятора  $P$ , разности температур на входе вентилятора и выходе радиатора:

$$Q = CFM (P) \cdot m_g \cdot c_g \cdot (T_{вых} - T_{вх}), (1)$$

где  $Q$  – количество тепла, Дж;  $CFM (P)$  – производительность кон-

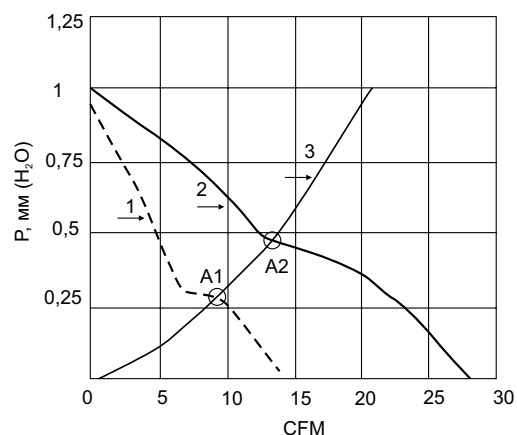


Рис. 4. Рабочая характеристика вентилятора и линия динамической нагрузки

кретного вентилятора,  $\text{дм}^3/\text{мин}$ ;  $P$  – перепад давления между входом и выходом воздуха;  $m_0$  – удельная плотность воздуха =  $1,2047 \text{ г}/\text{дм}^3$  при нормальном атмосферном давлении и  $t = 20^\circ\text{C}$ ;  $c_0$  – теплоемкость воздуха =  $1,005\text{--}1,03, \text{ Дж}/(\text{г}\cdot\text{K})$ ;  $T_{\text{вых}}$ ,  $T_{\text{вх}}$  – установившиеся значения температуры воздуха на выходе и входе.

При расчетах и разработке полезно изготовить модель воздушных каналов, близкую к конструкции проектируемого радиатора, на которой можно проверить положение рабочей точки на графике производительности вентилятора, а также соответствующие значения давления на входе и выходе воздухопроводной конструкции.

## АЛЮМООКСИДНЫЕ ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ

Алюминиевая печатная плата – важный элемент конструкции светильника, который первым отводит тепло от светодиодов. Характеристики алюминиевой платы во многом определяют теплотехнический расчет всего светильника. Платы с наилучшей теплопроводностью в России выпускает компания «Русалокс». Она выпускает печатные платы с высокой теплопроводностью на основе *алюмооксидной изоляции* с теплопроводностью около  $10 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{K})$  и толщиной изолирующего слоя  $20\text{--}100 \text{ мкм}$ . (В обычных алюминиевых печатных платах этот показатель в настоящее время соответствует  $2\text{--}4 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{K})$ , а толщина



**Рис. 5. Плата 2x2-MX со светодиодами XHP70 на радиаторе светильника с активным охлаждением**

изоляция ( $50\text{--}150 \text{ мкм}$ ) связана с необходимым пробивным напряжением изоляционного слоя).

Именно такие платы были использованы при конструировании светильника с активным охлаждением (см. рис. 5).

Площадь теплового контакта светодиода:  $0,38 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ . Толщина изолирующего слоя:  $76 \text{ мкм}$  ( $76 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ ). При теплопроводности  $10 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{K})$  тепловое сопротивление изолирующего слоя составит примерно  $0,2^\circ\text{C}/\text{Вт}$ . Тепловое сопротивление светодиода [6] составляет  $0,9^\circ\text{C}/\text{Вт}$ .

Сумма тепловых сопротивлений светодиода и печатной платы равна  $1,1^\circ\text{C}$ .

Тепловой поток через светодиод в режиме  $1,8 \text{ А}$  составляет  $23 \text{ Вт}$ ,  $0,7 = 16 \text{ Вт}$  (коэффициент  $0,7$  учитывает, что примерно  $30\%$  теплового потока представляет световое излучение).

Разность температур между подложкой печатной платы и переходом светодиода составит:

$$1,1^\circ\text{C}/\text{Вт} \cdot 16 \text{ Вт} = 17,16^\circ\text{C}.$$

Если бы использовалась печатная плата с теплопроводностью  $2 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{K})$ , как в образцах со стандартным материалом алюминиевых печатных плат T112, то разность температур составила бы  $0,9^\circ\text{C}/\text{Вт}$  ( $10:2$ )  $\cdot 0,2^\circ\text{C}/\text{Вт} \cdot 16 \text{ Вт} = 30,4^\circ\text{C}$ . Таким образом, в случае стандартного материала температура перехода светодиода повышена до  $13^\circ\text{C}$ , из-за чего уменьшается долговечность светильника. Этот пример показывает то преимущество, которое обеспечивает алюмооксидная технология печатных плат компании «Русалокс».

## НОВЫЕ СВЕТОДИОДЫ CREE

Развитие светодиодов для освещения идет путем увеличения не только их светоотдачи, но и светимости (плотности светового потока на единицу площади источника света), поскольку чем меньше источник света, тем дешевле оптическая система светильника с его использованием.

Следуя этой тенденции, компания Cree создала принципиально новый класс светодиодов – XHP (eXtreme High Power). Краткий обзор новой линейки светодиодов представлен в таблице 2.

Таблица 2. Основные параметры новой линейки светодиодов XHP от Cree

	MHB-A	MHD-E	MHD-G	XHP35	XHP50	XHP70		
Размер, мм	5×5	7×7		3,5×3,5	5×5	7×7		
Модификации	9 В	9 В	18 В	12 В	6 В	6 В		
	18 В	18 В	36 В		12 В	12 В		
	36 В	36 В						
Максимальный ток, А	0,7 (9 В)	1,4 (9 В)	1,0 (18 В)	1,05 (12В)	3,0 (6 В)	4,8 (6 В)		
	0,35 (18 В)	0,7 (18 В)	0,5 (36 В)		1,5 (12 В)	2,4 (12 В)		
	0,175 (36 В)	0,35 (36 В)						
Максимальная мощность, Вт	7	13	19	12	19	32		
Максимальный световой поток	830	1 807	2 545	1 528	2 546	4 022		
CRI	Цветовая температура, К							
	2700...3500	4000...6500	2700...3500	4000...5000	5000...6500	2600...3700	3700...5000	5000...8300
	70	+	+	+	+	+	+	+
	80	+	+	+	+	+	+	+
	85							
90	+	+	+	+	+			

Применение новых светодиодов MHD и XHP в конструкции светильника позволило сократить количество источников света и линз, уменьшить размер печатной платы, уменьшить вес светильника до 1,9 кг. Все это в целом заметно снизило себестоимость светильника.

### ВТОРИЧНАЯ ОПТИКА ДЛЯ НОВЫХ СВЕТОДИОДОВ (LEDIL)

Вторичная оптика необходима, чтобы направить свет источника в требуемом направлении, осветить то, что нужно, и защитить глаза от прямого слепящего света светильника. Кроме того, оптика может герметично защищать светодиодную плату от внешней среды. Оптика должна быть конструктивно удобной в эксплуатации и экономить человеко-часы при серийной сборке светильников. Все эти качества удалось объединить в одном решении компании LEDIL, которая создала семейства линзовых модулей Strada-2x2MX и HB-2x2MX для работы со сверхмощными светодиодами MHD и XHP70 от Cree. На рисунке 6 представлена линза HB-2x2MX на радиаторе светильника с активным охлаждением.

Линзы, выпускаемые компанией LEDIL в настоящее время, и их КСС представлены на рисунках 7–9.

В ближайшее время ассортимент таких линз с различными КСС значительно расширится.

Габариты линз Strada-2x2MX и HB-2x2MX: 90×90×15 мм; в комплект входит силиконовая прокладка, герметично защищающая светодиоды и плату от внешних воздействий.

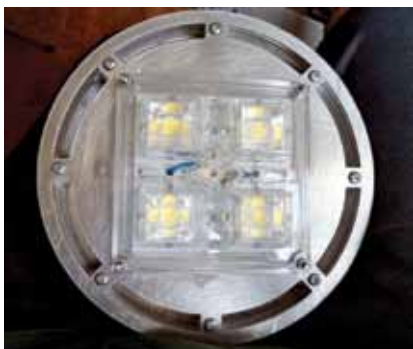


Рис. 6. Линза HB-2x2MX-W на радиаторе светильника с активным охлаждением

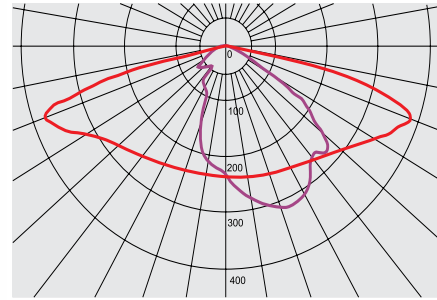


Рис. 7. Линза CS14632\_STRADA-2X2MX-DWC (для освещения автодорог) и ее КСС

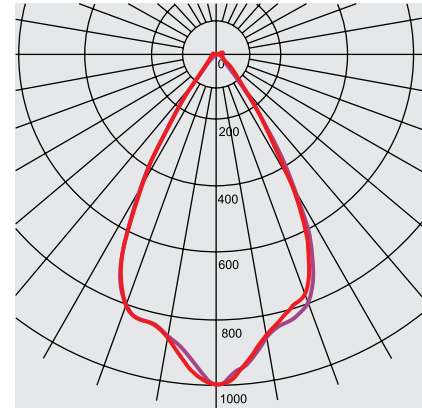
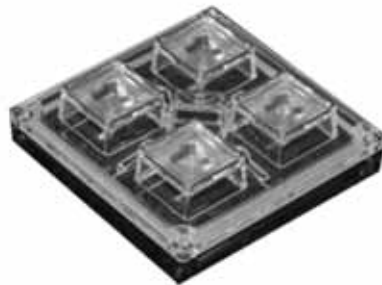


Рис. 8. Линза CS14713\_HB-2X2MX-W (для промышленных светильников) и ее КСС

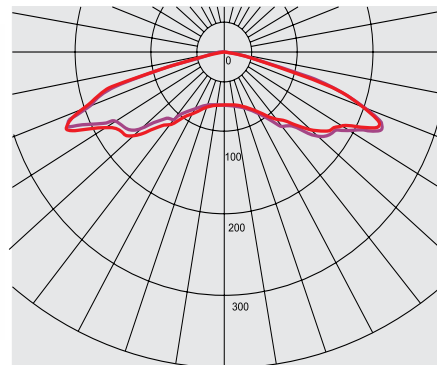


Рис. 9. Линза CS14764\_STRADA-2X2MX-VSM (для освещения площадей) и ее КСС

Компания Cree допускает нагрев кристаллов новых светодиодов до 105°, что позволяет увеличить рабочую температуру радиатора, не уменьшая ресурс работы светодиода. Увеличение рабочей температуры радиатора позволит сэкономить на его габаритах, но потребует использования оптики из материалов, стойких к высокой температуре. Для таких экстремальных применений компания LEDIL готовит к выпуску линзу FN14825\_STRADA-2X2MX-SI-DWC из оптического силикона.

### БЛОК ПИТАНИЯ

В одной из модификаций светильника использовались блоки пи-

тания питерской компании «Аргос» (см. рис. 10–11), что позволило установить компактный источник питания в корпус самого светильника и охлаждать его активно штатным вентилятором. В блоках питания выделяется 5–15% энергии, потребляемой светильниками. Активное охлаждение блока питания позволяет на 20–30% повысить полезную отдаваемую мощность, сохранив его параметры неизменными.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Для проверки высказанных положений и расчетов были изготовлены экспериментальные образцы све-



Рис. 10. Блок питания на 60 Вт компании «Аргос»

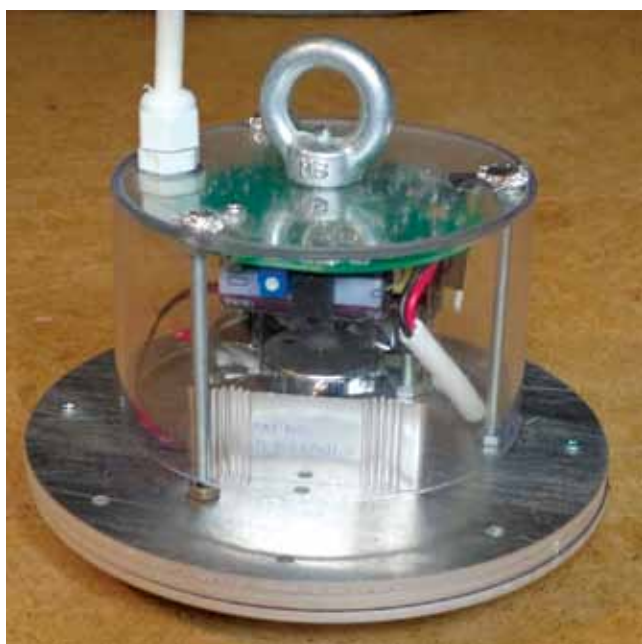


Рис. 11. Блок питания на 50 Вт в оболочке светильника



Рис. 12. Экспериментальный образец 100-Вт прожектора с активным охлаждением и внешним блоком питания. Вес светильника – 1,9 кг

тильников с активным охлаждением (см. рис. 12), в которых использовались следующие компоненты и режимы:

- 4 шт. последовательно включенных светодиодов XHP70 от Cree группы N4;

- вторичная оптика Strada-2x2MX-DWC с КПД = 94% (Ledil);
- печатные платы с алюмооксидной изоляцией (Rusalex);
- блоки питания с выходным напряжением до 52 В/100 Вт, выходной ток: 1,8 А (Trivitec);

- вентиляторы OD6025–48Н, IP55 (Orion).

**Светильники испытывались при следующих режимах:**

- ток светодиодов: 1,8 А;
- потребляемая мощность блоком питания: 100 Вт;
- температура окружающей среды: 23°C;
- время испытания до установления теплового равновесия: 70 мин.

**Полученные результаты:**

- температура радиатора: 43–45°C;
- температура печатной платы: 44–48°C;
- температура радиатора со стороны вентилятора: 33–38°C;
- температура входящего воздуха: 30–32°C;
- температура выходящего воздуха: 32°C;
- температура горячей точки на линзе вторичной оптики: 55–60°C.

**На основании экспериментальных результатов и расчетов получены следующие оценки:**

- температура перехода светодиодов: 55–60°C;
- расход воздуха: 1,5–2 л/с (3–4 CFM); перепад давления между входом и выходом воздушного канала: 3–4 мм (H<sub>2</sub>O);
- световой поток без учета вторичной оптики: 11200 лм; с учетом – 10500 лм;
- эффективность без учета КПД блока питания: 125 лм/Вт; с учетом оптики – 117 лм/Вт; с учетом оптики и КПД блока питания мощности: 105 лм/Вт.

## ВЫВОДЫ

Китайская пословица гласит: «Человек, который почувствовал ветер перемен, должен строить ветряную мельницу, а не щит от ветра». В статье представлен технически интересный подход к созданию инновационной «ветряной мельницы», способной извлечь прибыль из ветра перемен. Подробные технические данные об описанной разработке представлены в [1].

## ССЫЛКИ

1. Активное охлаждение в светодиодных прожекторах//www.startbase.ru/projects/792/view.