

Рязанов Андрей | [phys@vsuet.ru](mailto:phys@vsuet.ru) | Кузубов Сергей | Безрядин Николай |  
Котов Геннадий | [arturnew@mail.ru](mailto:arturnew@mail.ru) | Кортуннов Артур

## Осветительный прибор на основе мощных светодиодов

Интерес к созданию осветительных приборов на основе светодиодов продолжает расти. Световая эффективность полупроводниковых излучателей уже превысила 100 лм/Вт. Вместе с тем, стремление к дальнейшему повышению светового потока неизбежно приводит к увеличению прямого тока через кристалл полупроводника, и как следствие, увеличению тепловыделения. При неправильном тепловом расчете устройства светильника излишек тепла повышает температуру излучающей области гетероперехода, что приводит к уменьшению оптического выхода и ограничивает срок службы светодиода и осветительного прибора в целом. Развитие производства мощных светодиодов с улучшенными характеристиками имеет более высокие темпы по сравнению с решением технических задач, связанных с применением таких светодиодов. Усовершенствование световых приборов идет по многим направлениям, в частности, по пути повышения эффективности систем охлаждения, что в принципе должно позволить использовать в световых приборах мощные (до 100 Вт) светодиоды [1].

Из анализа современного состояния разработок световых приборов на основе светодиодов и систем охлаждения для отвода тепла от рабочей области гетероперехода можно выделить несколько принципиальных решений для повышения надежности и долговечности светодиодных световых приборов повышенной мощности. Так, используются:

- термоэлектрические холодильники;
- термоэлектрические генераторы;
- фотоэлектрические эффекты;
- комбинированные системы охлаждения;
- высокоэффективные радиаторы.

В рамках этих подходов были проведены исследования, результаты которых представлены в данной работе.

Применение элементов Пельтье в системе охлаждения мощных светодиодов оказалось малоэффективным: включение элемента в режиме термоэлектрического холодильника незначительно снижает температуру под светодиодом (менее чем на 8 °С), но значительно увеличивает потребление электроэнергии светодиодной конструкции светильника в целом. Известно, что в элементе

Пельтье используется эффект, заключающийся в охлаждении одной из областей контакта двух материалов при переносе электрических зарядов через контакт с повышением их энергии за счет отбора тепла от одной из областей контакта. Это и обуславливает необходимость пропускания значительного по величине электрического тока через контакт. В принципе, этот же термоэлемент можно использовать в качестве термоэлектрической батареи (ТЭБ), если не запитывать его от внешнего источника, а только подогревать одну из областей контакта. В этом случае реализуется эффект Зеебека, заключающийся в появлении электродвижущей силы, которой достаточно для подключения маломощного светодиода с отводом энергии в виде квантов света с соответствующей используемому светодиоду частотой. Такое использование элемента Пельтье в качестве ТЭБ с подключенным к ней светодиодом позволяет снизить температуру под светодиодом примерно на 2–4 °С, что также не является существенным при разработке систем охлаждения светодиодных светильников повышенной мощности. Отметим только, что в этом случае нет дополнительных затрат электроэнергии, и, возможно, существуют ТЭБ с большей энергоэффективностью, что может позволить использовать их как дополнительный резервный механизм отвода тепла.

Перспективным направлением в решении задач охлаждения мощных светодиодов является использование фотоэлементов для преобразования энергии ИК-излучения в электрическую, сопровождающегося отводом тепла от светодиода. Для реализации этой идеи необходимо использование фотоэлементов на основе полупроводников с узкой запрещенной зоной (таких, как InAs и InSb). Однако существующие в настоящее время ИК-преобразователи имеют низкий КПД, что также не обеспечивает эффективность такой системы охлаждения.

Значительных успехов в области разработки систем охлаждения достигли компании, использующие активные способы поддержания рабочей температуры светодиодов — такие, как комбинация радиатора и вентилятора. Например, компания Sipro производит радиатор с «блокирующим кольцом» с установленным радиальным вентилятором [2]. Однако

в этом подходе появляются дополнительные затраты электроэнергии, и возникает задача повышения надежности электромеханических устройств.

Результаты патентного поиска [3–7] приводят к выводу, что построение светодиодной лампы возможно без дополнительных конструктивных элементов, обсуждаемых выше, и, в частности, без дополнительных затрат электроэнергии. В связи с этим было проведено моделирование распределения тепла в объеме радиаторов с целью выбора профиля, его оптимальных габаритов и расположения светодиодов, при которых рабочая температура излучающих областей гетеропереходов не будет превышать установленные производителем пределы. Моделирование распределения тепла и определение температуры светодиода проводилось с использованием приложения Flow Simulation программы SolidWorks 2010. Анализ полученных результатов позволяет уже на этапе проектирования определить оптимальные параметры профиля радиатора.

Измерения и моделирование распределения температуры и ее изменение со временем работы после включения светодиодов были проведены для нескольких конструкций светильников. Изучались два типа радиаторов (рис. 1).

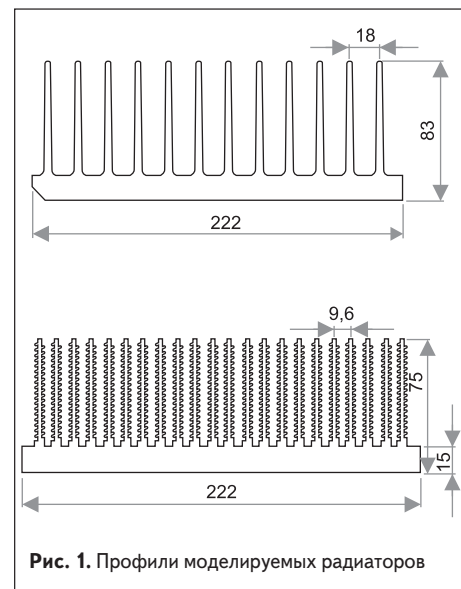
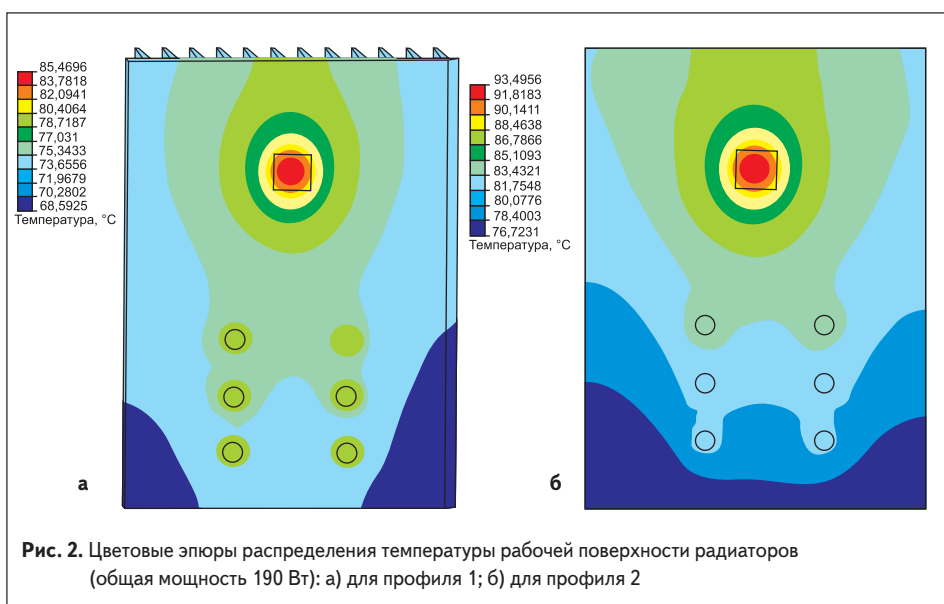


Рис. 1. Профили моделируемых радиаторов



Ширина каждого профиля 222 мм, высота первого 83 мм, второго — 75 мм. Существенные отличия профилей заключаются в форме их ребер и расстояниях между ними. Профиль 1 (рис. 1а) содержит 12 ребер, профиль 2 (рис. 1б) — 22 ребра. Кроме того, площадь всей поверхности второго радиатора увеличена еще и за счет рифленой поверхности каждого ребра. Для выбора профиля радиатора при решении таких задач были созданы их компьютерные модели. Линейные размеры радиаторов совпадают: ширина каждого 222 мм, длина — 300 мм, материал каждого — алюминиевый сплав АД31 ГОСТ 4784-97, физические свойства которого содержатся в базе

материалов программы SolidWorks. Источниками тепловой энергии послужили модели используемых мощных светодиодов производства ЗАО «Светлана-Оптоэлектроника» (Санкт-Петербург): SLV06P15-F1000-D5 мощностью 15 Вт, SLV07P50-F4000-D5 мощностью 50 Вт и SLV08P100-F11000-D5 мощностью 100 Вт [8-10].

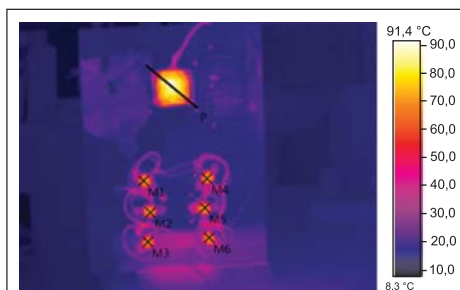
С целью подтверждения результатов моделирования были проведены экспериментальные исследования на радиаторе с профилем 1. Для конструкции с потребляемой мощностью  $P = 190$  Вт включается вся линейка светодиодов.

Согласно тепловизионному исследованию, температура излучающей поверхности светодиода мощностью 100 Вт составляет +88 °С, а значения температур светодиодов с мощностью 15 Вт лежат в диапазоне +67,7...+72,5 °С. В результате моделирования теплообменного процесса были получены следующие результаты: температура 100-Вт светодиода составляет +85,5 °С, а значения температур 15 Вт светодиодов находятся в диапазоне +75...+78 °С (рис. 2, 3).

С учетом результатов моделирования были проведены исследования температурных режимов работы мощных светодиодов, размещенных на радиаторе, и был разработан современный мощный светильник Lamp1,

отвечающий основным технико-экономическим требованиям, предъявляемым к светодиодному световому прибору (рис. 4).

Светильник характеризуется повышенным световым потоком, отличается надежностью, долговечностью, энергоэффективностью и предназначен для освещения улиц, дорог, площадей, транспортных туннелей, развязок и освещения железнодорожных станций (табл.). Большинство светильников, производимых отечественными и зарубежными фирмами, оснащены светодиодными матрицами, включающими в себя множество 1-Вт светодиодов (до 100 шт.), соединенных в одну электрическую цепь. Улично-дорожный светильник Lamp1 содержит только три мощных светодиода, производимых ЗАО «Светлана-Оптоэлектроника», закрепленных на цельнометаллическом корпусе. Корпус исполняет роль теплоотвода и имеет низкое тепловое сопротивление. Для достижения требований по освещенности дорог категории «А» были использованы два светодиода SVL08P100 мощностью 112 Вт и один светодиод SVL07P50 мощностью 54,88 Вт с эффективностью более 90 лм/Вт и цветовой температурой 4500 К. Суммарный световой поток составляет 26 000 лм. Светильник дополнен отражателем из формованного листового анодированного алюминия и закрыт закаленным плоским силикатным стеклом. Источники питания светодиодов вынесены наружу, изолированы от корпуса светильника и не создают тепловую нагрузку на радиатор. Светильник оснащен интеллектуальной системой управления источниками питания, которая способствует минимизации энергозатрат на освещение. Так, в зависимости от внешней освещенности светильник может быть включен лишь на некоторую часть от максимальной интенсивности. В целях защиты от аварийного перегрева светодиодов светильник оснащен функцией отключения одного из светодиодов на время, пока температура не снизится до рабочей, после чего светильник автоматически возвращается в нормальный режим работы. Интеллектуальная система может быть запрограммирована на определенный график работы с возможностью частичного снижения потребляемой мощности в зависи-

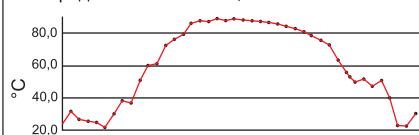


Выделение изображений:

Измеряемые объекты	Темп. [°C]
Точка измерения 1	69,5
Точка измерения 2	72,5
Точка измерения 3	69,8
Точка измерения 4	71,1
Точка измерения 5	69,6
Точка измерения 6	67,7

Линия профиля:

Минимум: 21,1 °С Максимум: 88,8 °С  
Среднее значение: 60,0 °С



**Рис. 3.** Тепловизионное изображение радиатора 1 с шестью светодиодами по 15 Вт и одним 100-Вт и линия температурного профиля



**Рис. 4.** Светильник Lamp1

Т а б л и ц а . Параметры светильника Lamp1

Напряжение питания, В	90-305 AC 127-431 DC
Потребляемая мощность, Вт	300
Световой поток, лм	26 000
Время выхода на рабочий режим, с	1
Диапазон рабочих температур, °С	-40...+60
Срок службы светодиодов	Снижение светоотдачи до 70 % через 50 000 ч
Степень защиты	IP 65
Вид климатического исполнения	УХЛ1
Цветовая температура, К	4500
Свет	холодный белый
Габариты, мм	300×394×158

мости от календарной даты и времени суток. Светильник Lamp1 не требует технического обслуживания, имеет долгий срок службы (снижение интенсивности свечения после 50 000 ч — менее чем на 30%), подходит для применения в различных условиях.

Преимущество использования Lamp1 по сравнению с LED-светильниками других производителей:

- Достигнуто снижение энергопотребления за счет использования трех мощных светодиодов с высокой светоотдачей (>90 лм/Вт).
- Увеличенный световой поток (>26 000 лм) позволяет использовать светильник для освещения дорог категории «А».
- Значительное упрощение электрической схемы подключения трех светодиодов (вместо ~100 шт. в других светильниках) исключает появление бракованных изделий на этапе сборки.

- Теплоизоляция драйверов питания от корпуса светильника уменьшает его массо-габаритные показатели.
- Интеллектуальная система управления снижает энергозатраты и защищает светильник от аварийного выхода из строя, увеличивая срок его службы.
- Металлический отражатель и стеклянный колпак не уменьшают световой поток в отличие от поликарбоната, который тускнеет со временем.
- Присутствует возможность изменения комплектации светильника на этапе оформления заказа.

Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Исследование и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2007–2013 гг.» по гос. контракту № 16.516.11.6098 от 08.07.2011 г.

## Литература

1. Ноэль Л. Охлаждение и регулирование температурных режимов светодиодов // Полупроводниковая светотехника. 2010. № 3.
2. Шевырева А. Sunon представляет решение для охлаждения мощных светодиодов // Компоненты и технологии. 2009. № 8.
3. Пат. 114509 (РФ) МПК F21S13/10 Светильник уличный светодиодный / П. В. Разин, В. В. Петров // № 2011140045/07; заявл. 30.09.2011; опубл. 27.03.2012.
4. Пат. 108122 (РФ) МПК F21S13/00 Светильник светодиодный / С. Н. Сунеев, А. Н. Сунеев, В. В. Лупарев // № 2011116078/07; заявл. 22.04.2011; опубл. 10.09.2011.
5. Пат. 105968 (РФ) МПК F21V1/00 Светодиодный светильник (варианты) / А. С. Сафронов // № 2011106266/07; заявл. 14.02.2011; опубл. 27.06.2011.
6. Пат. 102749 (РФ) МПК F21S13/12 Светильник / А. Г. Младенец, А. Г. Балабанов, Р. Р. Шаймухаметов // № 2010115495/28; заявл. 20.04.2010; опубл. 10.03.2011.
7. Пат. 2431772 (РФ) МПК F21S8/00, F21V15/06, F21V17/06, F21S9/02 Светильник с открытой архитектурой / А. В. Кулиш, И. А. Лаптев, В. А. Зорин и др. // № 2010133252/07; заявл. 09.08.2010; опубл. 20.10.2011.
8. SVETLED. SVL06P15-FX-XX-A130. Datasheet.
9. SVETLED. SVL07P50-FX-XX-A140. Datasheet.
10. SVETLED. SVL08P100-FX-XX. Datasheet.