

**В.Н. Борщев, А.М. Листратенко, И.Т. Тымчук,  
Г.И. Никитский, А.А. Фомин, Л.А. Назаренко<sup>1</sup>,  
В.М. Сорокин<sup>2</sup>, А.В. Рыбалочка<sup>2</sup>, Д.А. Калустова<sup>2</sup>,  
Д.В. Пекур<sup>2</sup>**

## **ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ ОБЪЕМНЫЕ СВЕТОДИОДНЫЕ МОДУЛИ ДЛЯ СВЕРХМОЩНЫХ ЛАМП БЫТОВОГО И ПРОМЫШЛЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ**

Рассматривается возможность использования объёмных светодиодных модулей для сверхмощных ламп бытового и промышленного применения. Показан метод повышения эффективности охлаждения светодиодов и увеличения углов пространственного распределения света путем размещения их на объёмных каркасах. Такой подход дает возможность снизить температуру светодиодов, повысить их светоотдачу, стабильность свечения и долговечность.

**Ключевые слова:** объёмные светодиодные модули, охлаждение, светоотдача, лампы-ретрофиты.

### **1. ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время для бытового и промышленного освещения разработаны лампы-ретрофиты, в которых в качестве излучателей малой и средней мощности применяются многокристальные модули (МСОВ модули) и светодиодные модули на основе технологии поверхностного монтажа (SMD модули).

Модули, как правило, выполняются в виде плоских круглых, кольцевых или многоугольных печатных плат с металлизированным или выполненным на основе теплопроводной керамики основанием с установленными светодиодами, оптические оси которых однонаправлены.

Плоские светодиодные модули (СДМ) устанавливаются в защитной светорассеивающей колбе (диаметром 60–75 мм) в тепловом контакте с примыкающим к плате и вынесенным из колбы в окружающее пространство радиатором охлаждения. В лампах с цоколем E27 электронные системы управления (драйверы) встроены в цокольную часть в отсеке радиатора, который является общим для светодиодного модуля и электронных элементов драйвера.

Такой конструктивно-технологический подход приводит к тому, что при использовании в лампах СДМ со светоотдачей светодиодов 160–170 лм/Вт и сроком их службы 60–100 тыс. часов, светоотдача и срок службы ламп значительно меньше из-за существенных потерь оптического излучения на светорассеивающих элементах, потери мощности на драйверах, а также за счет снижения светоотдачи из-за повышения температуры кристаллов светодиодов (при неэффективной системе охлаждения светодиодов) [1-3]. Больше всего снижение светоотдачи проявляется при создании компактных ламп с мощностью, превышающей 10 Вт при неоптимально выбранных условиях обеспечения нормального теплового режима светодиодного излучателя света.

Решение проблемы повышения эффективности и мощности светодиодных ламп не ограничивается лишь применением новейших эффективных светодиодов, оно включает в себя и разработку схемотехнических и конструктивных решений светодиодных излучателей и непосредственно ламп, позволяющих минимизировать перечисленные недостатки.

Увеличение температуры *p-n* перехода светодиода приводит к снижению светоотдачи и срока службы осветительного прибора в целом.

© В.Н. Борщев, А.М. Листратенко, И.Т. Тымчук, Г.И. Никитский, А.А. Фомин, Л.А. Назаренко<sup>1</sup>,  
В.М. Сорокин<sup>2</sup>, А.В. Рыбалочка<sup>2</sup>, Д.А. Калустова<sup>2</sup>, Д.В. Пекур<sup>2</sup>, 2017

На температуру перехода светодиода влияют три фактора: ток возбуждения, теплоотвод и окружающая температура. Как правило, чем выше ток возбуждения, тем выше температура перехода. Количество тепла, которое может быть отведено, зависит от окружающей температуры и конструкции устройства отвода тепла от светодиода в среду, окружающую световой прибор.

Различают естественные и принудительные системы охлаждения. Естественные системы охлаждения, такие как радиатор (*heat sink*), не потребляют электрическую мощность при охлаждении источника света. Такие системы являются пассивными.

Силовые или принудительные системы охлаждения, такие как вентилятор (*fan*), синтетические струи (*synthetic jet*), пельтье-элементы, потребляют электрическую мощность для того, чтобы отводить тепло, охлаждая источник света. Использование тепловых труб для охлаждения кристаллов приводит к резкому удорожанию светодиодного осветительного прибора. Активное охлаждение необходимо источникам света, мощность которых превышает 50 Вт. При этом, источники активного охлаждения достаточно массивные и дорогостоящие, и срок их службы часто значительно меньше 50 000 ч, требуемых для светодиодов и светодиодных модулей.

Поэтому в правильно сконструированных коммерчески приемлемых светодиодных приборах повышенной мощности стараются применять эффективные радиаторы и другие пассивные теплоотводящие и конвекционные устройства, эффективно удаляющие тепло от светодиодных источников света и рассеивающие его в окружающем пространстве [4].

Производители измеряют световой поток выпускаемых ими светодиодов, используя импульс тока длительностью 15–20 мс при фиксированной температуре перехода, равной 25 °С. Температура перехода светодиода в правильно сконструированном светодиодном световом приборе при нормальной работе с установленными теплоотводящими устройствами обычно находится в диапазоне 60–90 °С или даже может превышать это значение. Так как рабочая температура перехода почти всегда больше 25 °С, то установленные в излучателе светодиоды белого света излучают свет как минимум на 10% меньше, чем указывают их производители, если дополнительно не предоставлены данные для более высоких температур перехода.

Непрерывная работа светодиода при высокой температуре перехода также значительно сокращает полезный срок службы светодиодного светового прибора. При повышении температуры перехода более чем на 10 °С относительно регламентированной температуры оценочное значение его полезного срока службы уменьшается более чем на 50% [5].

Для повышения конкурентоспособности светодиодных ламп-ретрофитов должны выполняться условия соответствия размеров и электрической совместимости ламп с лампами накаливания. Сравнительно малогабаритный корпус ламп накаливания создает ряд проблем в светодиодных лампах-ретрофитах, связанных с отводом тепла, светорассеиванием и светопропусканием. Применяемые в лампах для отвода тепла радиаторы охлаждения громоздки, затрудняют получение требуемого светораспределения лампы (многие типы ламп с плоскими светодиодными модулями не обеспечивают угол рассеивания светового потока более 120–160 градусов на уровне  $I = 0,5I_{\max}$ ). Они требуют в ряде случаев использования дополнительной светорассеивающей оптики, что снижает светоотдачу лампы и повышает ее стоимость.

## **2. НОВЫЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ОБЪЕМНЫХ СВЕТОДИОДНЫХ МОДУЛЕЙ ДЛЯ ЛАМП-РЕТРОФИТОВ**

Одним из путей решения этих проблем является применение в лампах объемных светодиодных модулей. Новые технические решения компактных объемных модулей, разработанных в компании ООО «Светодиодные технологии Украина» (СТУ),

позволили применить их в разработанных в Институте физики полупроводников им. В.Е. Лашкарева НАН Украины (ИФП НАНУ) лампах-ретрофитах мощностью от 10 до 15 Вт и существенно улучшить энергетическую и световую эффективность, а также расширить угол рассеивания светового потока.

В качестве светодиодных источников света были выбраны высокоэффективные МСОВ светодиоды производства компании CREE Inc. (США) типа MHBAWT-0000-000C0D440E, а также нашедшие широкое применение высокоэффективные коммерческие SMD светодиоды компании Seoul Semiconductor (Корея) типа E2-STW8Q14D U0 в корпусе 5630. В излучателях СДМ применялись серийные светодиоды третьего поколения, которые имеют повышенные световые потоки и световую эффективность не менее 160–170 лм/Вт при температуре  $p-n$  перехода  $T_j = 85$  °С.

Держатели-теплоотводы светодиодного излучателя выполнялись в виде единого формообразующего объемного теплопроводного элемента из медной фольги или алюминиевого объемного зеркализированного элемента, основание которого механически удерживают три или более радиатора заданной формы, расположенных на заданном удалении друг от друга и изогнутых под требуемым углом к продольной оси рассеивающей колбы лампы. Сформированные на фронтальных поверхностях теплопроводных отражателей-радиаторов зеркальные покрытия с общим коэффициентом отражения до 98% обеспечивают увеличение световой эффективности светодиодного излучателя в составе светодиодной лампы, а также несколько улучшают условия отвода тепла от светодиодных источников света.

Положительный технический результат достигается за счет увеличения площади отвода тепла от светодиодов кондукцией и излучением в 4–6 раз по сравнению с СДМ плоского типа, а также за счет увеличения световой эффективности излучателя в составе светодиодной лампы из-за дополнительного переотражения в случае использования высокоэффективных зеркализированных отражателей-радиаторов в колбе рассеивателя света. Равномерность распределения светового потока и снижения блескости излучателя лампы обеспечивается за счет разнонаправленной ориентации в пространстве оптических осей светодиодов (рис. 1).

Расположение светоизлучающих полупроводниковых приборов равномерно в тепловом контакте на фронтальной стороне каждого отражателя-радиатора и соединение их в электрическую схему с помощью теплопроводной гибкой медной или алюминиевой коммутирующей платы, приклеенной высокотеплопроводным клеем к радиаторам, обеспечивает возможность дополнительного увеличения светового потока СДМ [6].

В табл. 1 представлены электрические и оптические характеристики разработанных опытных образцов объемных светодиодных модулей мощностью 10 и 15 Вт в конструкциях светодиодных ламп на радиаторе без рассеивателя и драйвера после 60 минут непрерывной работы.

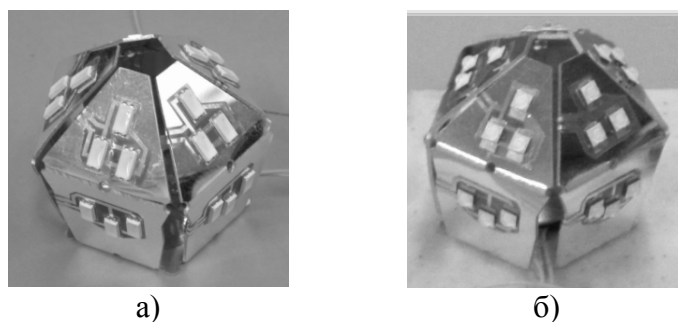


Рис. 1. Экспериментальные образцы объемных зеркализированных светодиодных модулей мощностью 10 Вт (а) и 15 Вт (б).

Таблица 1. Электрические и световые характеристики объемных СДМ мощностью 10 и 15 Вт в лампах на радиаторе без рассеивателя после 60 минут непрерывной работы.

№ п/п	Тип СДМ	$I, A$	$U, V$	$P, W$	Световой поток, лм	Световая эффективность, лм/Вт	ССТ, К	CRI
1	СДМ-10, 10Вт SMD Seoul Sem. Образец №50	0,33	29,4	9,7	1598	165	4288	83
2	СДМ-10-1, 10Вт МСОВ CREE, Образец №71	0,37	24,6	9,1	1532	168	3932	77
3	СДМ-15, 15Вт SMD Seoul Sem. Образец №112	0,33	43,3	14,3	2329	163	4203	84
4	СДМ-15-1, 15Вт МСОВ CREE, Образец №119	0,33	41,5	13,7	2137	156	3900	79

В табл. 2 представлены электрические и оптические характеристики опытных образцов объемных светодиодных модулей мощностью 10 и 15 Вт в конструкциях светодиодных ламп со светорассеивающей колбой типа А95 (без драйвера).

В настоящее время производством ламп-ретрофитов во всем мире занимается множество компаний. Тем не менее, в рейтинге производителей светодиодных ламп для бытового применения в странах СНГ на первых позициях по качеству находятся европейские компании-разработчики, такие как OSRAM и PHILIPS. При этом наилучшие технические характеристики при тестировании стабильно показывают серийно выпускаемые лампы-ретрофиты типа OSRAM LED Superstar Classic A75 E27 мощностью 10 Вт и PHILIPS LED A60 E27 мощностью 9 Вт на основе плоских светодиодных модулей. В табл. 3 представлены основные параметры, характеризующие технический уровень ламп (мощностью от 10 до 15 Вт) этих компаний по состоянию на 2017 г. [7] (в сравнении с параметрами светодиодных ламп, разработанных в ИФП НАНУ совместно с ООО «Светодиодные технологии Украина»). В таблице также показаны характеристики широко применяемых в Украине ламп компаний VIDEX и MAXUS (Китай).

Таблица 2. Электрические и световые характеристики объемных СДМ мощностью 10 и 15 Вт в лампах на радиаторе со светорассеивающей колбой типа А95 после 60 минут непрерывной работы.

№ п/п	Тип СДМ	$I, A$	$U, V$	$P, W$	Световой поток, лм	Световая эффективность, лм/Вт	ССТ, К	CRI
1	СДМ-10, 10Вт SMD Seoul Sem. Образец №50	0,33	29,0	9,6	1285	134	4195	83
2	СДМ-10-1, 10Вт МСОВ CREE, Образец №71	0,37	22,4	8,3	1134	137	3859	77
3	СДМ-15, 15Вт SMD Seoul Sem. Образец №112	0,33	43,6	14,4	1586	110	4071	82
4	СДМ-15-1, 15Вт МСОВ CREE, Образец №119	0,33	40,6	13,4	1428	107	3858	78

Таблица 3. Основные параметры светодиодных ламп-ретрофитов мировых производителей и их сравнение с разработанными образцами (ИФП, СТУ).

№ п/п	Компания	Тип лампы	$P$ , Вт	Световой поток, лм	Световая отдача, лм/Вт	ССТ, К	CRI	Угол рассеивания, град.
1	OSRAM	A75E27	10,2	1103	108	2797	82	123
2	PHILIPS	A60E27	9,3	881	95	2840	83	151
3	ИФП, СТУ	A60E27	9,6	1285	134	4195	83	270
4	OSRAM	A75E27	12,4	1145	92	2800	87	150
5	VIDEX	A60E27	14,1	1507	107	3034	83	150
6	MAXUS	A70E27	15,0	1400	93	3000	80	120
7	ИФП, СТУ	A95E27	14,4	1586	110	4071	82	280

Из анализа данных, представленных в табл. 3, можно сделать вывод, что предложенные авторами технические решения соответствуют мировому уровню, а по некоторым показателям даже его превышают. Инновационные объемные светодиодные модули на основе светодиодов третьего поколения позволили увеличить световой поток в лампах-ретрофитах номинальной мощностью 10 Вт до 1170–1190 лм при светоотдаче 117–119 лм/Вт. При этом максимальная температура СДМ не превышала 52 °С в колбе А60 в рабочем режиме.

В свою очередь, в разработанных лампах-ретрофитах номинальной мощностью 15 Вт световой поток был увеличен до 1390–1442 лм при светоотдаче 93–96 лм/Вт. При этом максимальная температура СДМ не превышала 62 °С в колбе в рабочем режиме. Также был увеличен угол рассеивания света ламп с колбой А60 до 270 градусов для ламп мощностью 10 Вт и до 280 градусов для ламп с колбой А95 мощностью 15 Вт.

Внешний вид разработанных ламп-ретрофитов мощностью 10 и 15 Вт показан на рис. 2.

Анализ представленной выше информации позволяет сделать вывод о том, что дальнейшее повышение мощности (и, как следствие, светового потока) ламп-ретрофитов без существенной потери светоотдачи возможно лишь при решении проблемы оптимального охлаждения светоизлучающих структур и оптимизации их температуры (для нормальной работы светодиодов желательно поддерживать температуру кристаллов на уровне, не превышающем 90–110 °С). Доказательством существенного влияния температуры светоизлучающих структур являются данные таблиц 1 и 2 при сравнении светоотдачи модулей, работающих без светорассеивающих колб и с ними. Так, например, для модулей мощностью 10 Вт уменьшение светоотдачи при работе модуля с колбой составило 18%, а для модулей мощностью 15 Вт – более 31%. Поэтому дальнейшее усовершенствование конструкций СДМ с целью уменьшения рабочей температуры светодиодов позволит увеличить мощность ламп-ретрофитов до 30–40 Вт при неизменном форм-факторе.

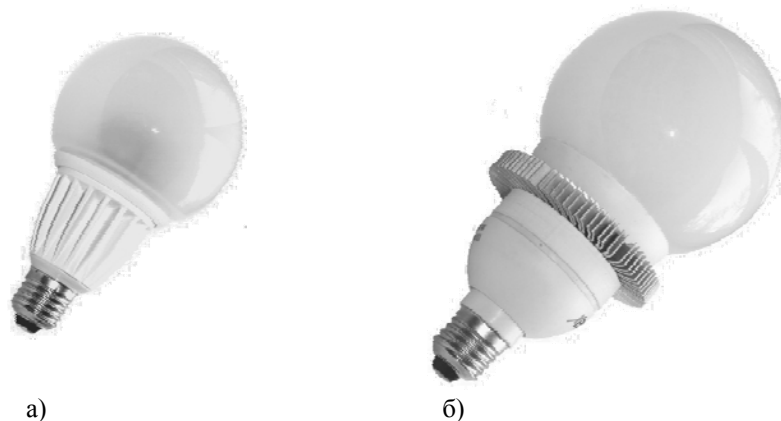


Рис. 2. Внешний вид ламп-ретрофитов мощностью 10 Вт (а) и 15 Вт (б).

### 3. МОЩНЫЕ И СВЕРХМОЩНЫЕ ЛАМПЫ НА ОБЪЕМНЫХ СВЕТОДИОДНЫХ МОДУЛЯХ

На основании полученных результатов авторами было предложено новое техническое решение по созданию улучшенной конструкции мощного объемного светодиодного модуля, а именно: держатель-теплоотвод светодиодного излучателя также выполнялся в виде единого формообразующего объемного теплопроводного светоотражающего зеркализированного элемента. Однако, держатель-теплоотвод механически удерживает несколько отражателей-радиаторов, установленных на опорах на круглом основании держателя-теплоотвода с диаметром не менее 80 мм на расстоянии, обеспечивающем совпадение оптических центров светодиодного излучателя и сферы рассеивающей колбы в лампе. На фронтальных поверхностях опор теплопроводных отражателей-радиаторов, расположенных напротив поверхности светорассеивающей колбы, сформированы теплоизлучающие покрытия со степенью черноты не менее 0,8–0,9.

Разработанная технология позволила улучшить тепловые и оптические параметры СДМ для новых прототипов отечественных сверхмощных ламп с цоколем E27, работающих в диапазоне мощностей от 15 до 30 Вт в колбах с типоразмерами A95 и A105.

Положительный технический результат был обеспечен за счет увеличения площади держателей-теплоотводов для отвода тепла кондукцией (более чем в 2,5–3 раза по сравнению с СДМ плоского типа с диаметром радиатора 80 мм) и дополнительного теплового излучения фронтальной поверхностью опор объемного теплоотвода на внутреннюю поверхность рассеивающей колбы лампы. При этом увеличение световой эффективности светодиодной лампы обеспечивалось за счет дополнительного переотражения зеркализированными отражателями-радиаторами светового излучения. В качестве светодиодных источников света использовались высокоэффективные MCOB светодиоды типа MHBAWT-0000-000C0BD440E производства компании CREE Inc. (США) и высокоэффективные коммерческие SMD светодиоды типа E2-STW8Q14D U0 в корпусе 5630 компании Seoul Semiconductor (Корея). Указанные светодиоды имеют повышенные световые потоки и световую эффективность не менее 160–170 лм/Вт при температуре  $p$ - $n$  перехода  $T_j = 85^\circ\text{C}$ . Кроме того, конструкция мощного СДМ позволяет применить высокоэффективные мощные светодиоды нового поколения компании Seoul Semiconductor (Корея) типа SZ8-Y22-WN-C7-W7 в корпусе размером 2,21×2,21 мм, которые имеют еще более высокие световые потоки и световую эффективность не менее 170–175 лм/Вт при температуре  $p$ - $n$  перехода  $T_j = 85^\circ\text{C}$ .

На рис. 3 представлены образцы усовершенствованных объемных СДМ мощностью 30 и 40 Вт. Для эффективного охлаждения модули устанавливались на специальные радиаторы. Конструкция модуля с радиатором показана на рис. 4.

Для оптимизации процесса конструирования объемных СДМ с различными мощностями и конфигурациями было проведено моделирование динамики изменения температуры светодиодов с момента их включения до момента стабилизации температуры, выявлены установившиеся температуры в разных областях светодиодного модуля, а также проведено сравнение с экспериментальными результатами измерений температур этих же областей, полученными тепловизионным методом (измерительная установка на основе тепловизора FLIR SC305).

При моделировании использовался модуль Simulation программного комплекса САПР Solidworks. Входными данными для моделирования были геометрические размеры, соответствующие экспериментальному образцу (рис. 4), а также справочные параметры используемых материалов. Результаты теоретического и экспериментального исследования температуры особых точек СДМ мощностью 30 Вт представлены в табл. 4.

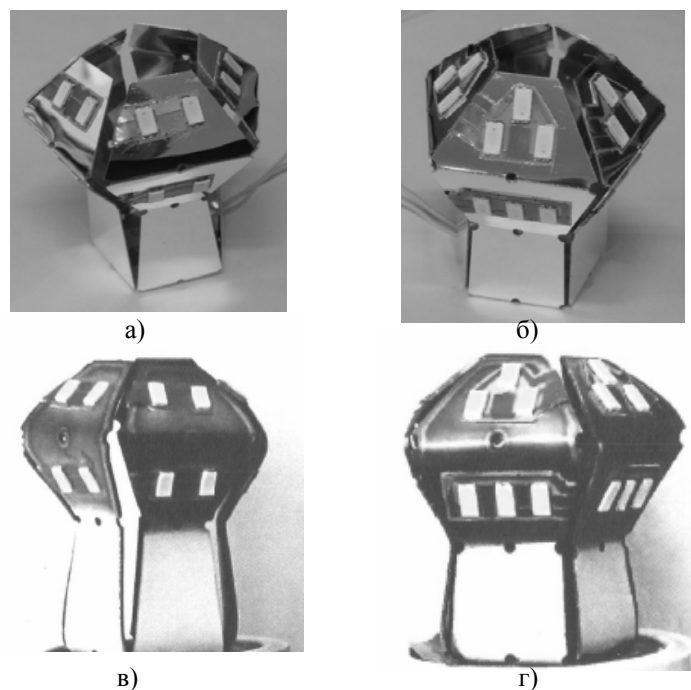


Рис. 3. Экспериментальные образцы объемных зеркализированных светодиодных модулей мощностью 30 Вт (а) и 40 Вт (б) и объемных светодиодных модулей на медном держателе мощностью 30 Вт (в) и 40 Вт (г).

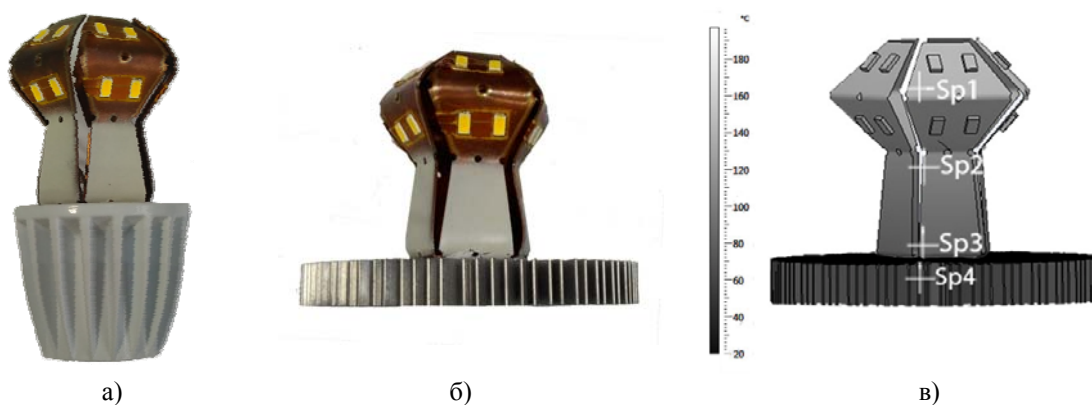


Рис. 4. Внешний вид экспериментальных образцов модулей с радиатором типа 1 (а) и типа 2 (б). Модель объемного СДМ с радиатором типа 2 с обозначенными особыми точками, в которых рассчитывалась установившаяся температура (в).

Таблица 4. Результаты теоретического и экспериментального исследования температуры особых точек СДМ мощностью 30 Вт с радиатором типа 2 (рис. 4б).

Точка	Температура, °С		Погрешность моделирования $\Delta$ , °С	Световой поток $F = 2600$ лм  Световая отдача $\eta = 87$ лм/Вт
	измерение тепловизионным методом	моделирование		
Sp1	97,8	105,1	7,3	
Sp2	88,6	96,2	7,6	
Sp3	79,4	87,3	7,9	
Sp4	62,6	73,3	10,7	

Экспериментальные исследования зависимостей светоотдачи и температуры особой точки Sp1 (точка с максимальной температурой) от электрической мощности модуля типа 2 (рис. 4б), проведенные с целью определения предельных тепловых нагрузок модуля, представлены на рис. 5. Исследования проводились с использованием метрологического оборудования Научно-исследовательской лаборатории «Центр испытаний и диагностики полупроводниковых источников света и осветительных систем на их основе» ИФП НАНУ. Оборудование включало интегрирующую фотометрическую сферу диаметром 1,0 м и высокоточный матричный спектрорадиометр «HAAS-2000» производства компании «EVERFINE», источник питания HAMEG HMP4040, тепловизионную установку на основе тепловизора FLIR SC305. Полученные характеристики позволили определить зависимость светоотдачи модуля от температуры, представленную на рис. 6.

Поскольку температура светоизлучающего элемента существенно влияет на светоотдачу, для анализа возможности дальнейшего увеличения мощности светодиодных ламп для бытового и промышленного применения при сохранении рассмотренной конструкции (форм-фактора) модуля были проведены аналитические исследования светоотдачи и доли мощности, рассеиваемой в виде тепла, для светодиодов Bridgelux (США) типа WL-5W-FD номинальной мощностью 5 Вт при работе светодиодов с потребляемой мощностью 30–40% от номинальной. Результаты исследований представлены в табл. 5 ( $P_{\text{опт}}$  и  $P_{\text{терм}}$  характеризуют мощность светового потока и тепловую мощность светодиода соответственно).

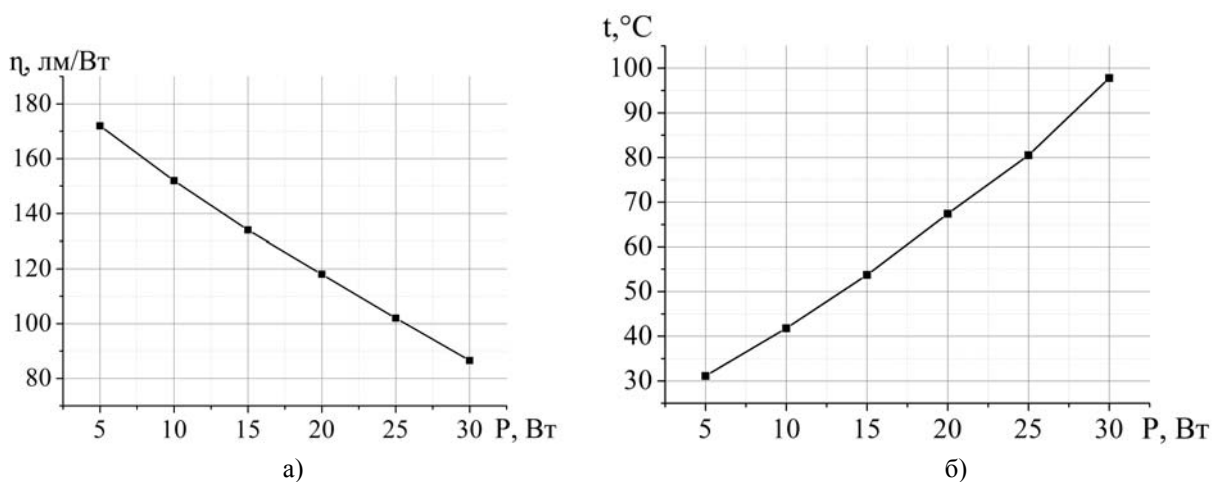


Рис. 5. Зависимости светоотдачи (а) и температуры (б) особой точки Sp1 (точка с максимальной температурой) от электрической мощности модуля типа 2 (рис. 4б).

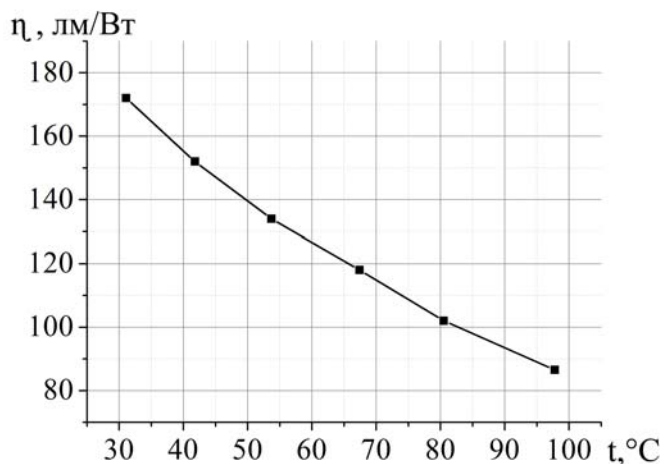


Рис. 6. Зависимость светоотдачи от температуры точки Sp1 для светодиодного модуля типа 2 (рис. 4б).



Таблица 5. Электрические и оптические параметры светодиода Bridgelux (США) типа WL-5W-FD.

$I$ , мА	$U$ , В	$P$ , Вт	$F$ , лм	$\eta$ , лм/Вт	$P_{\text{опт}}$ , Вт	$P_{\text{терм}}$ , Вт
47	5,4	0,2538	52	204	0,152	0,1018
93	5,5	0,5115	100	195	0,294	0,2175
134	5,58	0,74772	140	187	0,415	0,33272
176	5,65	0,9944	180	181	0,538	0,4564
219	5,72	1,25268	220	175	0,658	0,59468
260	5,79	1,5054	254	168	0,769	0,7364
337	5,92	2	321	160	0,969	1,068

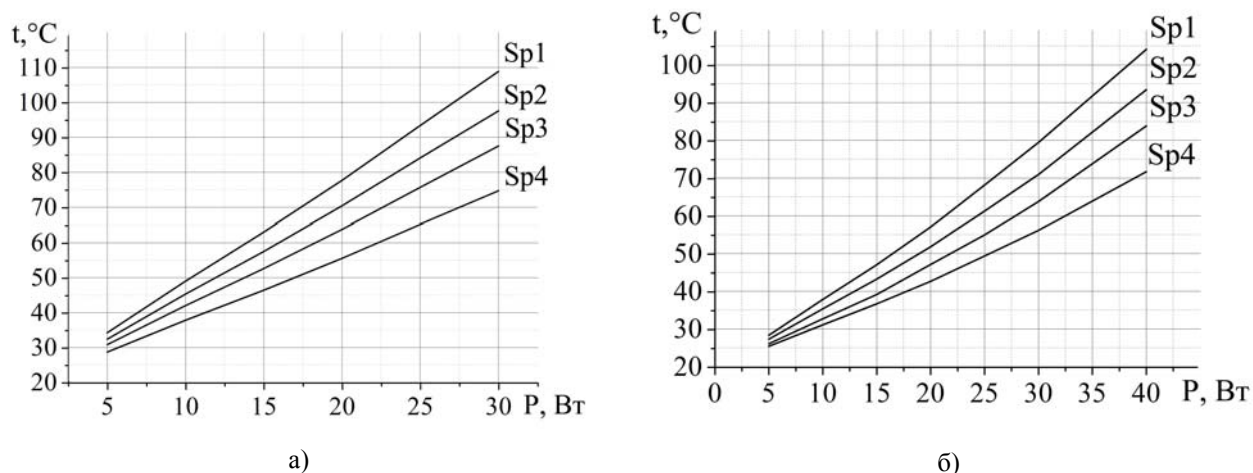


Рис. 7. Аналитические зависимости температуры особых точек модуля (рис. 4в) от мощности, подаваемой на модуль, при использовании (а) светодиодов E2-STW8Q14D U0, работающих на предельной максимальной мощности, и (б) светодиодов WL-5W-FD, работающих на уровне 40% от номинальной.

На основе данных табл. 5 было проведено аналитическое моделирование зависимостей температур особых точек СДМ, состоящего из 20 светодиодов Bridgelux (США) типа WL-5W-FD, от мощности, подаваемой на модуль. Результаты моделирования (рис. 7б) представлены в сравнении с аналогичными результатами для модуля на основе светодиодов E2-STW8Q14D U0 (рис. 7а).

Сравнение приведенных на рис. 7 максимальных температур особых точек двух модулей показывает возможность увеличения мощности модуля до 40 Вт (и вполне реально до 50 Вт) при использовании современных высокоэффективных светодиодов, работающих на половинной мощности. При этом повышается светоотдача и уменьшается тепловая нагрузка на светоизлучающие кристаллы.

По результатам теоретических и экспериментальных исследований получен патент Украины на полезную модель [8] и подана заявка на изобретение Украины [9].

## ВЫВОДЫ

Усовершенствованная конструкция объемных СДМ на основе светодиодов третьего поколения с увеличенной площадью держателей-теплоотводов позволяет увеличить световой поток в экспериментальных лампах-ретрофитах мощностью 15 и 20 Вт до 1545–1800 лм при светоотдаче 103–90 лм/Вт. При этом максимальная температура светодиодов модулей в рабочем режиме не превышает 65 °С в колбе А95.

В свою очередь, в лампах-ретрофитах мощностью 30 Вт при использовании в данной конструкции современных высокоэффективных светодиодов, работающих на уровне 40% от номинальной мощности, световой поток может быть увеличен до 3889 лм при светоотдаче 130 лм/Вт (а в лампах-ретрофитах мощностью 15 и 20 Вт до 2145–2780 лм при светоотдаче 143–139 лм/Вт соответственно). При этом максимальная температура светодиодов модуля не превышает 97 °С в колбе А105 в рабочем режиме. Также существенно увеличивается угол рассеивания света ламп с колбой А95 и А105 (до 290 градусов).

Применение в объемных СДМ мощных светодиодов, работающих не на полную нагрузку, позволяет увеличить светоотдачу лампы, снизить температуру светоизлучающих кристаллов и, как следствие, повысить номинальную мощность лампы до 40–50 Вт. Дальнейшие исследования будут посвящены вопросам увеличения мощности лампы.

Таким образом, выполненная разработка светодиодных объемных модулей и ламп на их основе позволяет обеспечить хорошие конкурентные условия для внедрения в производство отечественными производителями мощных и сверхмощных светодиодных ламп-ретрофитов с цоколем Е27 как бытового, так и промышленного применения.

**V.N. Borschov, A.M. Listratenko, I.T. Tymchuk, G.I. Nikitskiy, A.A. Fomin,  
L.A. Nazarenko, V.M. Sorokin, A.V. Rybalochka, D.A. Kalustova,  
D.V. Pekur**

#### **HIGH-EFFICIENT VOLUMINOUS LED MODULES IN SUPER-HIGH-POWER LAMPS FOR DOMESTIC AND INDUSTRIAL APPLICATIONS**

The possibility of using voluminous light-emitting diode modules in super-high-power lamps for domestic and industrial applications has been considered. A method for increasing the efficiency of cooling the light-emitting diodes and increasing the angles of spatial light distribution by placing them on bulk frames has been shown. This approach makes it possible to reduce the temperature of light-emitting diodes, to increase their light output, stability of glowing and durability.

**Keywords:** voluminous light-emitting diode modules, cooling, light output, retrofit lamp.

1. Борщев В.Н., Листратенко А.М., Тымчук И.Т., Проценко М.А., Никитский Г.И., Фомин А.А., Назаренко Л.А., Сорокин В.М., Рыбалочка А.В., Олейник А.С. Новые конструктивно-технологические решения светодиодных модулей для ламп-ретрофитов. *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*. 2016. №6. С. 3–10.
2. Сорокин В. М. Светодиодное освещение. Проблемы. Решения. Перспективы. *Промислова електроенергетика та електротехніка*. 2014. №5. С. 28–38.
3. Сысун В. Состояние разработок компактных светодиодных излучателей и ламп с удаленным люминофором. *Полупроводниковая светотехника*. 2013. № 6. С. 39–48.
4. Бугров В.Е., Виноградова К.А. *Оптоэлектроника светодиодов: учебное пособие*. СПб: НИУ ИТМО, 2013.
5. Справочник: *Светодиодное освещение*. Philips Solid-State Lighting Solutions, Inc. 2010.
6. Патент на корисну модель № 108776 Україна. МПК (2016.01) F21K 9/00, F21Y 115/10 (2016.01), H01L 33/48 (2010.01), H01L 25/16 (2006.01). Лампа з об'ємним світлодіодним модулем. В.М. Борщов, О.М. Лістратенко, Г.І. Нікітський та ін. Заявка № u2016 01852. Дата подання 26.02.2016. Бюл. №14, 25.07.2016.
7. Сводный тест светодиодных ламп 2016. – Режим доступа: <http://ichip.ru/svodnyjj-test-svetodiodnykh-lamp-2016.html>.

8. Патент на корисну модель № 121797 Україна. МПК (2017.01) H01L 25/16 (2006.01), H01L 33/48 (2010.01), F21K 9/00, F21Y 115/10 (2016.01). Потужна лампа з об'ємним світлодіодним модулем. В.М. Борщов, О.М. Лістратенко, Г.І. Нікітський та ін. Заявка № u2017 07886. Дата подання 27.07.2017. Бюл. №23, 11.12.2017.
9. Заявка на винахід України № a2017 07184, Потужна лампа з об'ємним світлодіодним модулем. Г.І. Нікітський. Дата одержання 07.07.2017.
10. [www.maxus.com.ua/ru/led-lampy-specializirovannye.html](http://www.maxus.com.ua/ru/led-lampy-specializirovannye.html) офіційний сайт (дата звернення 6.11.2017).
11. [www.eurolamp.ua/categories/svetodiodne-lamp-led](http://www.eurolamp.ua/categories/svetodiodne-lamp-led) офіційний сайт (дата звернення 6.11.2017).
12. [www.navigator-light.ru/lamps/led/seriya-lamp-nll-t](http://www.navigator-light.ru/lamps/led/seriya-lamp-nll-t) офіційний сайт (дата звернення 6.11.2017).

ООО «Светодиодные технологии Украина»  
3, Новгородская, оф. 104,  
61145 Харьков, Украина

<sup>1</sup>Харьковский национальный университет  
городского хозяйства им. А.Н. Бекетова  
12, ул. Революции,  
61000 Харьков, Украина

<sup>2</sup>Институт физики полупроводников  
им. В.Е. Лашкарева НАН Украины  
41, проспект Науки,  
03680 Киев, Украина