

УДК 62-711

К. т. н. А. Б. РАССАМАКИН, Е. В. БЫКОВ, к. т. н. С. М. ХАЙРНАСОВ, к. т. н. Б. М. РАССАМАКИН

Украина, НТУУ «Киевский политехнический институт»

E-mail: sergey.khairnasov@gmail.com

ТЕПЛОВЫЕ РЕЖИМЫ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ СВЕТОДИОДНОГО СВЕТИЛЬНИКА НА ОСНОВЕ ТЕПЛОВОЙ ТРУБЫ

Исследована система охлаждения светодиодного светильника, функционирующая по принципу тепловой трубы. Приведено описание экспериментального стенда, методика и результаты испытаний, проведенных для различного положения светильника при потребляемой электрической мощности 196 Вт. Показано, что рассмотренная система охлаждения обеспечивает заданный температурный режим светодиодов.

Ключевые слова: светодиод, система охлаждения, тепловая труба.

В качестве энергосберегающих светильников сегодня все чаще применяются светодиодные осветительные приборы. Такие приборы являются перспективными, прежде всего, при использовании их в промышленных и общественных объектах, что связано с рядом преимуществ светодиодов — обеспечивая высокую освещенность, они потребляют мало энергии, позволяют получить любой необходимый цвет излучения и, кроме того, имеют продолжительный срок службы. Производители светодиодов сегодня заявляют о 100 000 часов или 11 годах непрерывной их работы. Благодаря отсутствию стеклянной колбы светодиоды очень надежны и механически прочны. Среди прочих положительных качеств светодиодов можно выделить их миниатюрность и безопасность, связанную с работой при низком напряжении и с малым выделением тепла в потоке излучения, т. е. в инфракрасном диапазоне спектра. При этом, однако, доля электрической энергии, идущей на генерирование тепла в $p-n$ -переходе, значительна [1]. Поэтому существует значительное выделение тепла в зоне кристаллов светодиодов.

С появлением мощных (100 Вт и выше) осветительных приборов на основе светодиодов эффективный отвод тепла стал очень важным фактором обеспечения их нормальной работы, т. к. при перегреве снижается световой поток светодиода, ухудшаются световые характеристики и уменьшается срок службы. Основным и определяющим параметром при тепловых расчетах светодиодов является температура $p-n$ -перехода, которая не должна превышать максимально допустимую, выше которой в полупроводнике происходят процессы, ведущие к некорректному функционированию, а в дальнейшем — к преждевременному выходу устройства из строя [2].

В современных осветительных приборах применяются пассивные и активные устройства охлаждения, основанные на методах отвода тепла теплопроводностью и конвекцией.

Пассивные системы охлаждения — металлические радиаторы — обладают такими преимуществами, как простота конструкции, надежность, дешевизна и отсутствие дополнительных энергозатрат. Однако для применения в мощных осветительных приборах на основе светодиодов они непригодны, поскольку требуется слишком большая площадь теплоотвода.

Активные системы охлаждения, основанные на принудительном движении воздуха или теплоносителя в контуре, могут обеспечить необходимый температурный уровень, однако они шумны, малонадежны и к тому же требуют дополнительного оборудования, а значит, их использование значительно повышает первоначальную стоимость устройства и эксплуатационные расходы.

Все это побуждает к поиску альтернативных эффективных систем охлаждения. Проведенные ранее исследования других авторов, в которых сравнивались различные системы охлаждения для радиоэлектронной аппаратуры, свидетельствуют о высокой эффективности применения тепловых труб для отбора теплоты и поддержания теплового режима электронных устройств [3]. Такой подход возможен и для светодиодных осветительных приборов. Например, производитель [4] применяет целый ряд технических решений с использованием тепловых труб для охлаждения светодиодов, по принципу тепловой трубы устроена система охлаждения светодиодного светильника [5]. В настоящей работе исследованы тепловые режимы последней, а также проведено ее сравнение с конструкци-



Рис. 1. Внешний вид светильника с системой охлаждения

ей на основе радиаторного профиля, имеющего идентичную геометрию и площадь поверхности.

Рассматриваемая система охлаждения представляет собой оребренный полый цилиндр высотой 230 мм, диаметром 170 мм, изготовленный из алюминиевого сплава 6060. В нижней части конструкции установлены светодиоды (7 кластеров по 3 светодиода), как это показано на **рис. 1**. Потребляемая светильником электрическая мощность составляет 196 Вт, выделяемая тепловая мощность — 147 Вт. Температура поверхности монтажа светодиодов не должна превышать 90°C при температуре окружающей среды до 35°C.

Система охлаждения работает как «паровая камера»: ее герметичный корпус заполнен теплоносителем, который находится в парожидкостном состоянии, и перенос теплоты происходит благодаря непрерывному внутреннему испарительно-конденсационному циклу. То есть, паровая камера представляет собой так называемый сверхпроводник тепла, обеспечивая мгновенную передачу теплоты от зоны подвода в зону охлаждения и почти равномерное распределение температуры по поверхности камеры [6].

Для проведения исследований была собрана экспериментальная установка, принципиальная схема которой изображена на **рис. 2**. Значения температуры фиксировались медь-константановыми термопарами с интервалом 6 секунд и передавались с помощью аналогово-

цифрового преобразователя к компьютеру. Общая электрическая мощность, подаваемая на светильник, измерялась с помощью ваттметра.

Во время проведения опытов температура окружающей среды составляла $21 \pm 0,5^\circ\text{C}$.

Показанные на **рис. 3** датчики ДТ1 и ДТ2 измеряют температуру в точках, характеризующих работу тепловой трубы — в зоне конденсации (**ЗК**) и в зоне испарения (**ЗИ**) соответственно. Разность этих показаний определяет максимальный перепад температуры по системе охлаждения. Показания датчика ДТ3 на поверхности кластерной сборки отличались на $5 \pm 0,1^\circ\text{C}$ от показаний датчика ДТ2, что соответствует проведенным расчетам для термического сопротивления кластерной сборки, равного 0,0333 К/Вт.

Исследования проводились для двух положений системы охлаждения: вертикального (зона нагрева снизу) и под углом 45° к горизонту.

Сравнительный анализ тепловых режимов паровой камеры и аналогичного радиаторного профиля при вертикальном положении устройства (**рис. 4, а**) показывает существенную разницу в температуре поверхности монтажа кластерных сборок (зоны испарения) — до 19°C. Такое преимущество паровой камеры обусловлено тем, что ее применение обеспечивает равномерное распределение температуры по поверхности, а значит, и более эффективное отведение теплоты.

При наклонном положении устройства характеристики паровой камеры незначительно ухудшаются: температурный перепад увеличивается и составляет примерно 6°C в начале периода разогрева, возрастая до 7...7,5°C при выходе на стационарный режим работы (**рис. 4, б**). В связи с этим температура на монтажной поверхности увеличивается на 5°C по сравнению с вертикальным положением.

На **рис. 4, а** следует отметить наблюдаемый примерно на 400-й секунде момент «старта» работы тепловой камеры, который характеризуется резким сокращением перепада температуры по высоте (примерно от 6 до 1,5°C), после чего его ве-

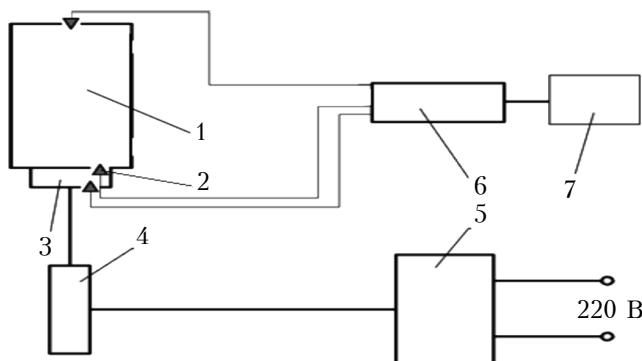


Рис. 2. Схема измерительной установки:
1 — система охлаждения; 2 — датчики температуры (ДТ1 — ДТ3); 3 — сборка светодиодов; 4 — блок питания; 5 — блок подачи и измерения мощности; 6 — аналого-цифровой преобразователь; 7 — компьютер

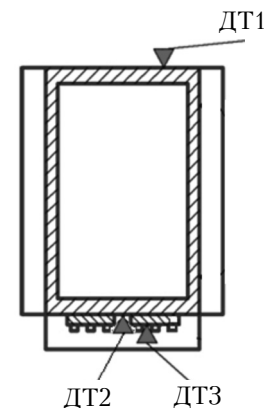


Рис. 3. Схема установки термопар

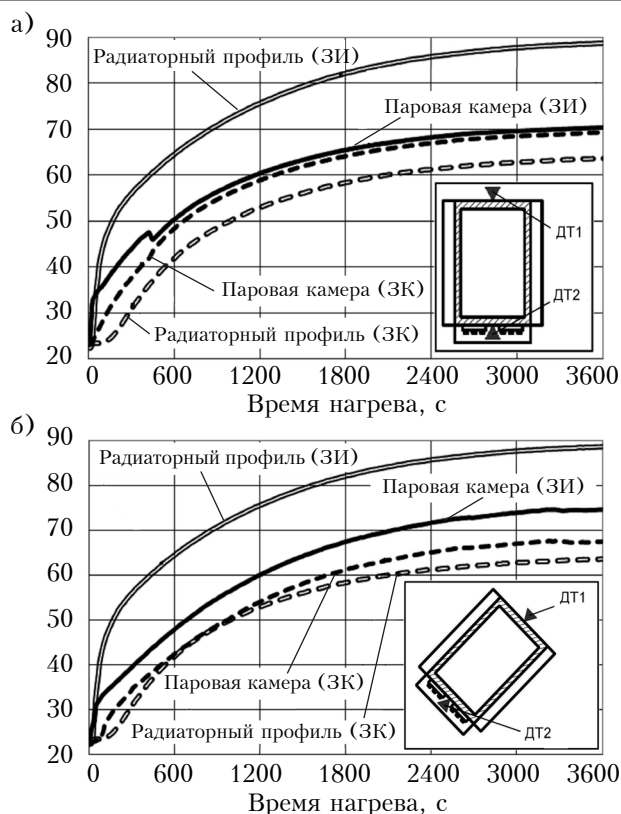


Рис. 4. Температурные режимы паровой камеры и радиаторного профиля при вертикальном размещении устройства (а) и под углом 45° (б)

личина остается почти неизменной. На рис. 4, б такого эффекта не наблюдается, что связано с нехарактерным для паровой камеры наклонным размещением.

Исследования показали, что в стационарном режиме значения температуры поверхностей в зоне конденсации и в зоне испарения составляют, соответственно, 68 и 70°C для паровой камеры в вертикальном положении и 67 и 75°C в наклонном, а для радиаторного профиля — 62 и 89°C. При этом, как было сказано выше, светодиоды расположены на монтажной плате, тепловое сопротивление которой вызывает дополнительный рост температуры еще на 5°C. Это означает, что температура в зоне монтажа светодиода при применении радиаторного профиля составит 94°C при допустимом значении 90°C. Что же касается работы паровой камеры, ее можно считать удовлетворительной — даже в неблагоприятных условиях, при наклонном положении, она обеспечивает охлаждение поверхности монтажа до 80°C, т. е. запас «прочности» составляет около 10°C.

Таким образом, использование системы охлаждения «паровая камера» для обеспечения заданного температурного режима светодиодов имеет существенный потенциал при необходимости повышения общей электрической мощности светильника при постоянных геометрических и весовых характеристиках.

В дальнейшем авторы планируют продолжать исследования, направленные на поиск новых конструкций систем охлаждения, работающих по принципу тепловой трубы, рассчитанных на отвод больших тепловых мощностей от светодиодов.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. http://www.lighting.philips.com/ru_ru/lightcommunity/trends/led/anatomy/heat.wpd
2. Руденко Н. М., Гурба О. В. Аналіз та розрахунок теплового режиму потужних світлодіодів // Вісник НТУУ «КПІ». Серія: Радіотехніка. Радіоапаратобудування. — 2010. — № 41. — С. 115–120. [Rudenko N. M., Gurba O. V. // Visnik NTUU «KPI». Seriya: Radiotekhnika. Radioaparotobuduvannya. 2010. N 41. P. 115]
3. Christopher A. Soule. Heat pipe reliability in high-power applications // Power Electronics Technology. — August 2004. — P. 40–44.
4. http://www.innovatecha.com/2007_LED_Catalog.pdf
5. Пат. 40882 України. Світлодіодний освітлювальний пристрій / В. М. Стожок, О. І. Загуляев. — 2009. — Бюл. № 8. [Pat. 40882 Ukraini. / V. M. Stozhok, O. I. Zagulyayev. 2009. Byul. № 8]
6. Reay D. A., Kew P. A. Heat pipes. — Oxford: Butterworth-Heinemann, 2006.

Дата поступления рукописи
в редакцию 01.08 2013 г.

Rassamakin A. B., Bykov E. V., Khairnasov S. M., Rassamakin B. M. **Heat management of a cooling system based on the heat pipe for LED lighting fixtures.**

Keywords: LED, cooling system, heat pipe.

The authors have investigated a LED lamp cooling system that operates on a heat pipe basis. The paper describes the experimental stand, methods and results of the tests carried out for the different positions of the lamp at energy consumption of 196 W. It is shown that the considered cooling system ensures proper temperature of LEDs.

Ukraine, NTUU «KPI».

Рассамакін А. Б., Биков Є. В., Хайрнасов С. М., Рассамакін Б. М. **Теплові режими системи охолодження світлодіодних світильників на основі теплової труби.**

Ключові слова: світлодіод, система охолодження, теплова труба.

Досліджено систему охолодження світлодіодного світильника, що функціонує за принципом теплової труби. Наведено опис експериментального стенду, методика та результати випробувань, проведених для різного положення світильника при спожитій електричній потужності 196 Вт. Показано, що розглянута система охолодження забезпечує належний температурний режим світлодіодів.

Україна, НТУУ «Київський політехнічний інститут».