

41891

ISSN 1729-6501

ВЕСТНИК

Воронежского
государственного технического
университета

Том 8, № 8, 2012

ТЕПЛОВЫЕ УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ МОЩНЫХ СВЕТОДИОДОВ

Г.И.Котов, И.Ю. Бутусов, С.В. Кузубов, А.В. Кортунюв

В статье изучаются температурные режимы работы мощных светодиодов для использования в различных типах светоизлучающих устройств. Показано, что использование термоэлектрических батарей для охлаждения мощных светодиодов не очень эффективно. Наиболее существенный вклад в охлаждение светодиодов достигается при увеличении размеров радиатора. Результаты этого исследования необходимы для последующего математического моделирования и построения систем управления режимами работы светоизлучающих систем

Ключевые слова: мощные светодиоды, охлаждение, радиатор

Всё большую актуальность приобретает задача, связанная с минимизацией энергопотребления. Только на освещение во всем мире расходуется порядка 30–35% всей вырабатываемой электроэнергии, при этом в мегаполисах – в 1,5–2 раза больше. Известно, что современные «белые» светодиоды – источники света нового поколения – во много раз превосходят лампы накаливания и люминесцентные источники с точки зрения экономии электроэнергии. Развивается рынок мощных светодиодов, ориентированных на освещение.

Надежность и выходные характеристики светодиодов тесно связаны с температурой рабочей области р-п- или гетеро-перехода, что делает тепловой расчёт и выбор системы охлаждения весьма ответственным этапом проектирования светодиодных систем. В отличие от традиционных источников света, светодиоды не излучают тепло, а переводят его в направлении от р-п-перехода к расположенному на корпусе светодиода теплоотводу (обычно электрический вывод светодиода или специальная металлическая пластина) [1].

Эксплуатация при высокой температуре перехода резко сокращает срок службы светодиода, ведет к деградации его излучательной способности. В связи с этим, при проектировании осветительной системы на базе мощных светодиодов необходимо предусмотреть эффективную систему теплоотвода, позволяющую поддерживать температуру перехода в заданных пределах (60..70 °С на теплоотводящем основании и ~100 °С на кристалле светодиода).

В том числе, система кристалл – корпус светодиода – теплоотвод может быть дополнена «тепловым насосом» - элементом Пельтье, устанавливаемым между корпусом светодиода и теплоотводом [2].

В рамках федеральной целевой программы «Исследование и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2007-2013 годы» по гос. контракту № 16.516.11.6098 от 08.07.2011 г. были проведены исследования температурных режимов работы мощных светодиодов.

Измерения динамики изменения распределения температуры были проведены для нескольких конструкций светоизлучающих устройств. Одновременно оценивалась их светоотдача.

Измерения температуры осуществлялись двумя способами:

Контактным способом с помощью термодпары типа «К» (хромель-копель) с погрешностью измерения $\Delta t_k = 2^\circ\text{C}$ прибором М838. Все температуры, измеренные контактным способом, имеют индекс «к» (t_k).

Бесконтактным способом пирометром АКПП-9304 с погрешностью измерения $\Delta t_B = 2^\circ\text{C}$. Все температуры, измеренные бесконтактным способом, имеют индекс «В» (t_B).

Тепловое состояние устройства оценивалось также по изображению, полученному с помощью тепловизора TESTO 880-3. Все температуры, определенные таким образом, имеют индекс «Т» (t_T).

Динамика изменения светоотдачи светодиода оценивалась по освещенности, измеренной на заданном расстоянии от светодиода d , прибором С.Е.М. ДТ-1308 с относительной погрешностью измерений $\pm 5\%$.

Во всех случаях при креплении светодиодов на металлическом основании радиатора для уменьшения теплового сопротивления корпус светодиода-теплоотвод использовалась паста КПТ-8.

Были предприняты меры по защите светодиодов от воздействия статического электричества при монтаже и дальнейших исследованиях. Перед монтажом на теплоотвод токовые выводы светодиода шунтировались резисторами номиналом 30 кОм 0,125 Вт. Шунтирование выводов светодиодов проводилось при заземленном нагревательном элементе паяльника, экспериментатор, проводящий

Котов Геннадий Иванович – ВГУИТ, канд. физ.-мат. наук, доцент, e-mail: phys@vsuet.ru

Бутусов Игорь Юрьевич – ВГУИТ, канд. техн. наук, доцент, e-mail: phys@vsuet.ru

Кузубов Сергей Вячеславович – ВГУИТ, канд. физ.-мат. наук, доцент, e-mail: phys@vsuet.ru

Кортунюв Артур Вадимович – ВГУИТ, ассистент, e-mail: artunew@mail.ru

шунтирование также был заземлен токопроводящим браслетом.

Для пробной оценки динамики изменения температуры измерения проводились со светодиодом типа SLV07P50-F4000-D5 минимальной мощности 50 Вт. При этом использовались различные варианты конструкций радиаторов, в том числе с использованием термоэлектрической батареи из элементов Пельтье TEC1-12706.

Конструкция №1 (рис. 1) не включала термобатарею, на рисунке показан радиатор (R) из оксидированного черненого алюминия размером 152*130 мм. С высотой 16 ребер по 18 мм с закрепленным на нем светодиодом (L). На рисунке отмечены места измерения температуры. Расстояния до датчика освещенности $d=0.75$ м. Результаты измерений сведены в табл. 1. Ток через светодиод стабилизирован на уровне $I_L=2.1$ А.

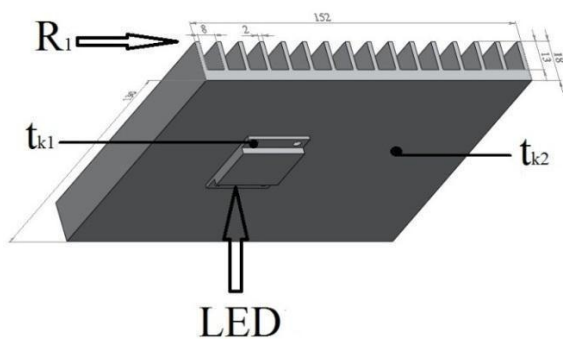


Рис. 1. Конструкция №1

Таблица 1

№	τ , мин	t_{k1} , °C	t_{k2} , °C	E , клк
1	0	19	19	2,60
2	0,5	39	23	2,58
3	2	48	29	2,55
4	4	61	44	2,50
5	8	65	55	2,48
6	10	73	59	2,45
7	15	79	66	2,43
8	30	79	72	2,40
9	60	79	72	2,39

№ – номер измерения, τ – время, прошедшее после включения светодиода, E – освещенность.

Конструкция №2 использовалась для исследования влияния термоэлектрической батареи на изменение температуры (рис. 2). Она получена модификацией тепловой схемы конструкции №1 – около светодиода (L) через термоэлектрическую батарею (ТВ) подстыкован дополнительный теплоотвод R2 (алюминиевый радиатор 50,5*45,3 см с 5 ребрами высотой 59,1 см). Токи были стабилизированы и составляли через светодиод $I_L=2.1$ А, через термобатарею $I_{ТВ}=2.1$ А, и измерялись

падения напряжения на светодиоде U_L и на термобатарею $U_{ТВ}$. Результаты в табл. 2.

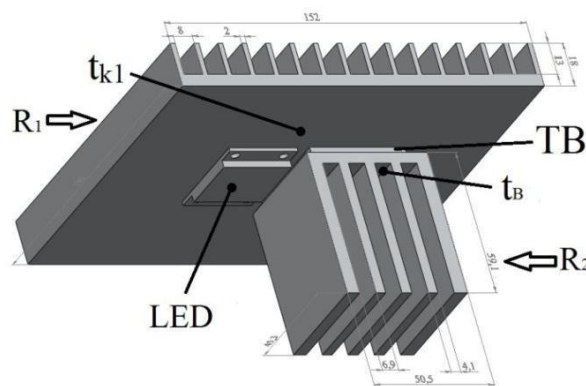


Рис. 2. Конструкция №2

Таблица 2

№	τ , мин	$U_{ТВ}$, В	U_L , В	E , клк	t_{k1} , °C	t_{B2} , °C
1	0	6,2	23	2,26	20	20
2	1	7,3	22,9	2,22	29	62
3	5	8,7	22,7	2,18	42	64
4	10	9,5	22,6	2,13	50	109
5	15	9,9	22,5	2,09	63	106
6	20	10,1	22,4	2,08	71	109
7	30	10,2	22,4	2,07	74	103
8	50	10,4	22,4	2,07	78	105
9	80	10,4	22,4	2,07	78	103

Были проведены подобные измерения при отключенной термобатарею ($U_{ТВ}$ – напряжение холостого хода термобатареи, используемой как термогенератор). Из графика представленного на рис. 3, видно, что использование термобатареи для данной конструкции не является эффективным методом охлаждения светодиода.

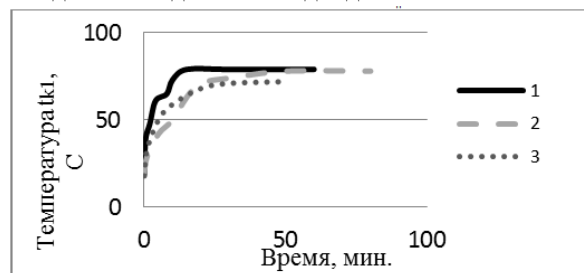


Рис. 3 График зависимость температуры t_{k1} от времени: 1- конструкция №1, 2- конструкция №2 с включённой ТВ, 3 – конструкция №2 с отключённой ТВ

Конструкции №3, 4, собранные из 2-х одинаковых радиаторов, термобатареи и светодиода мощностью 50 Вт, отличаются лишь включением термобатареи в тепловую схему. Схематично общий вид конструкций представлен на рис. 4. На рис. 5 а, б представлены варианты компоновки термобатареи ТВ (между основным и дополнительным

радиатором и между светодиодом и основным радиатором).

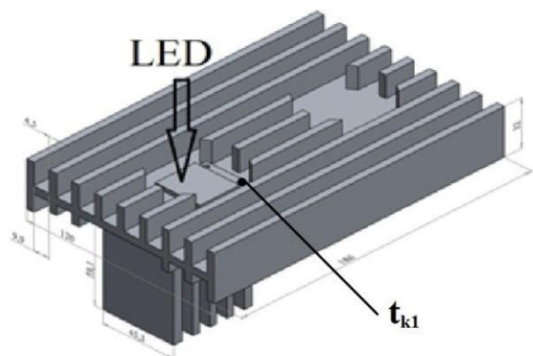


Рис. 4. Конструкции №3, 4

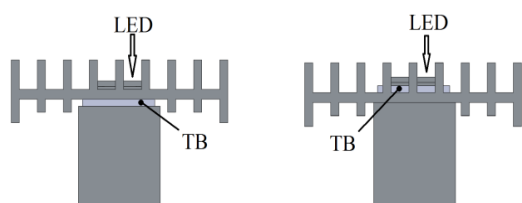


Рис.5. Варианты расположения термобатареи ТВ. а) между основным и дополнительным радиатором (конструкция №3); б) между светодиодом и основным радиатором (конструкция №4)

Динамика изменения температуры и светимости аналогична процессам в конструкции 2. Ток через светодиод $I_L=2,45$ А. Установившиеся температурные режимы: $t_k=70^\circ\text{C}$ для конструкции 3 при включенной термобатареи $P_{ТВ} = 5$ Вт и для неё же $t_k=74^\circ\text{C}$ при выключенной термобатареи ($U_{ТВ}= 0,83$ В – напряжение холостого хода). Дальнейшее увеличение мощности, подаваемой на термоэлектрическую батарею, не приводит к уменьшению температуры t_k .

Таблица 3

№	τ , мин	E , клк	t_k , $^\circ\text{C}$
1	0	4,85	17
2	1	4,78	29
3	2	4,75	32
4	3	4,73	36
5	5	4,7	41
6	10	4,62	51
7	15	4,57	58
8	20	4,53	63
9	30	4,5	67
10	45	4,48	69
11	60	4,48	70
12	90	4,48	70
13	120	4,48	70

Конструкция 4 неэффективна. Температура t_k корпуса светодиода $t_k \sim 90^\circ\text{C}$ при включенной

термобатареи и для неё же $t_k > 100^\circ\text{C}$ при выключенной термобатареи.

В дальнейшем измерения проводились на радиаторе, использование которого предполагается в действующем макете светильника. Радиатор из материала АД31 ГОСТ4784-97 длиной 300 мм, профиль радиатора представлен на рис. 6. Исследовались температурные режимы трех конструктивных вариантов, отличающиеся потребляемой мощностью: 100 Вт, 90 Вт, 190 Вт. Для этого использовались светодиоды L1-L6 – SLV06P15-F1000-D5 мощностью по 15 Вт и светодиод L7 – SLV08P100-F11000-D5 мощностью 100 Вт.

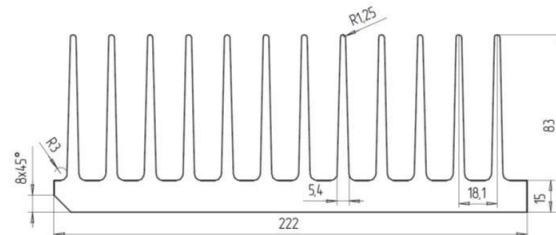


Рис. 6. Профиль радиатора

Расположение светодиодов для варианта 190 Вт приведено на рис. 7.

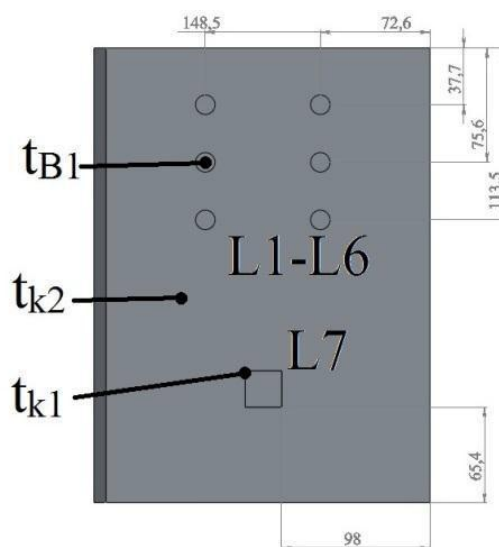


Рис. 7. Расположение светодиодов

Первые два варианта отличаются отсутствием либо L1-L6 (для потребляемой мощности 100 Вт), либо L7 (для 90 Вт). Измерения динамики изменения температуры проводились отдельно для всех трех вариантов включения светодиодов. Температура корпуса L7 – t_{k1} , температура между L7 и L1-L6 – t_{k2} , температура корпуса L6 – t_{B1} , температура непосредственно под корпусом L7 – t_{k3} . Расстояние до датчика освещенности $d=0.5$ м.

Для конструкции с потребляемой мощностью $P=90$ Вт (включаются только светодиоды L1-L6, результаты приведены в табл. 4).

Таблица 4

№	τ , мин	E , клк	t_{B1} , °C	t_{k2} , °C
1	0	7,68	19	19
2	1	7,64	43	21
3	2	7,62	45	22
4	3	7,61	49	23
5	5	7,59	50	25
6	10	7,53	50	28
7	17	7,47	51	32
8	20	7,44	51	33
9	29	7,41	51	36
10	45	7,36	51	39
11	72	7,33	52	41
12	90	7,31	54	42
13	120	7,31	55	42

Для конструкции с потребляемой мощностью $P=100$ Вт (включается только светодиод L7, результаты приведены в табл. 5)

Таблица 5

№	τ , мин	E , клк	t_{k1} , °C	t_{k2} , °C
1	0	12,19	19	19
2	1	12,04	32	20
3	2	12,01	34	21
4	3	12	35	22
5	5	11,95	37	24
6	10	11,85	41	28
7	15	11,76	45	31
8	20	11,7	48	35
9	30	11,59	51	38
10	45	11,49	55	42
11	61	11,42	58	44
12	97	11,41	59	45
13	120	11,41	60	46

Для конструкции с потребляемой мощностью $P=190$ Вт (включается вся линейка светодиодов LI-

L7) на рис.8 представлен график зависимости температуры t_{k2} от времени работы светодиодов.

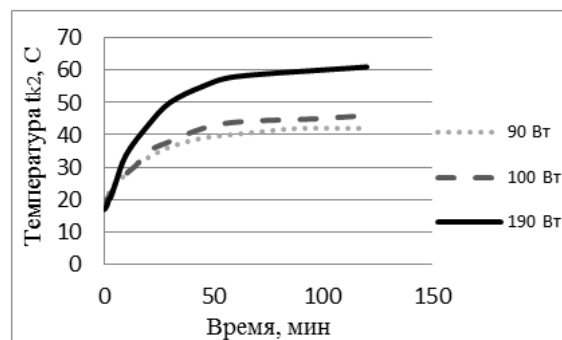


Рис. 8. График зависимости температуры t_{k2} от времени работы светодиодов

Таким образом, из исследования тепловых условий эксплуатации мощных светодиодов следует, что использование термобатарей для охлаждения светодиодов является неэффективным методом. Более существенные результаты достигаются при увеличении размеров и качества используемого радиатора. Как видно из рис. 8 при использовании радиатора из материала АД31 длиной 300 мм, даже при увеличении мощности светодиодов до 190 Вт, температура радиатора была в районе 60 °C. Данная температура почти на 20 °C ниже, чем при использовании радиатора из оксидированного черненого алюминия размером 152*130 мм для 50 Вт светодиода (рис. 3).

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

Литература

1. Нозль Лотар. Охлаждение и регулирование температурных режимов светодиодов. // Полупроводниковая светотехника. 2010. №3. С. 13-15.
2. Аракелов Г.А., Ершова Л.Б., Громов Г.Г. О некоторых особенностях оптимизации режимов электропитания термоэлектрических охладителей в составе фотоприёмников. // Прикладная физика. 2007. №3. С.73-77.

Воронежский государственный университет инженерных технологий

THE THERMAL CONDITIONS OF OPERATION OF HIGH-POWER LEDs

G.I. Kotov, I.J. Butusov, S.V. Kuzubov, A.V. Kortunov

In this paper we study the temperature regimes of power LEDs for use in various types of light-emitting devices. It is shown that the use of thermoelectric coolingbatteries for high-power LEDs are not very effective. The most significant contribution to LED cooling is achieved by increasing the size of the radiator. The results of this study is needed for the subsequent mathematical modeling and control systems operating modes of light-emitting systems

Key words: high-power LEDs, cooling, heat sink

