

41891

ISSN 1729-6501

# ВЕСТНИК

Воронежского  
государственного технического  
университета

Том 8, № 8, 2012



## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В РАДИАТОРАХ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ МОЩНЫХ СВЕТОДИОДОВ

А.Н. Рязанов, И.Ю. Бутусов, С.В. Кузубов, А.В. Кортунов

В статье изучаются условия использования радиаторов различных профилей для охлаждения мощных светодиодов. Проведено компьютерное моделирование теплообменных процессов и экспериментальное изучение тепловых режимов радиатора в сборке со светодиодами. Установлена корреляция результатов моделирования и эксперимента

Ключевые слова: моделирование, мощные светодиоды, охлаждение, радиатор

В настоящее время повысился интерес к созданию источников света на основе твердотельных светодиодов. Световая эффективность полупроводниковых излучателей уже достигла 100 люмен на ватт. Вместе с тем, стремление к дальнейшему повышению светового потока неизбежно приводит к увеличению прямого тока через кристалл полупроводника, и как следствие, увеличению тепловыделения. Данные исследований свидетельствуют о том, что примерно 65~85 % электроэнергии при работе светодиода уходит в тепло. При неправильном тепловом расчете устройства излишек тепла повышает температуру излучающей области гетероперехода, что приводит к уменьшению оптического выхода и ограничивает срок службы светодиода. Кроме этого полимер, из которого изготовлен корпус светодиода, нельзя нагревать выше определенного предела, поскольку его деформация может привести к обрыву токоподводящих контактов. Понятно, что температура кристалла, находящегося внутри полимерного корпуса, не должна превышать допустимого значения во время работы светильника. Если не принять мер по отводу излишнего тепла, то все вышеперечисленные эффекты обеспечат выход устройства из строя [1].

Как правило, для отвода тепла применяются радиаторы, изготовленные в основном из алюминия и его сплавов (силумин, дюраль и т.д.).

Моделирование распределения тепла в объеме радиатора необходимо с целью выбора профиля радиатора, его оптимальных габаритов и расположения светодиодов, при которых рабочая температура излучающих областей гетеропереходов не будет превышать установленные заводом-производителем пределы. Моделирование распределения тепла в радиаторе для

определённого набора светодиодов позволяет оценить тепловое сопротивление между гетеропереходом и окружающей средой [2]. Моделирование распределения тепла и определение температуры светодиода проводится в данной работе с использованием приложения Flow Simulation программы SolidWorks2010. Анализ полученных результатов позволяет на этапе проектирования определить оптимальные параметры профиля радиатора.

Измерения и моделирование распределения температуры и её изменение со временем работы после включения светодиодов были проведены для нескольких конструкций светильников.

Изучались два типа радиаторов (рис. 1 и 2). Радиаторы с таким профилем обладают рядом преимуществ для конструирования на его основе системы охлаждения: во-первых, производитель гарантирует высокую степень плоскостности рабочей поверхности; во-вторых, поверхность отполирована с высокой степенью гладкости (~0,65 мкм); в-третьих, производитель не накладывает ограничений на варьирование размеров и формы радиатора.

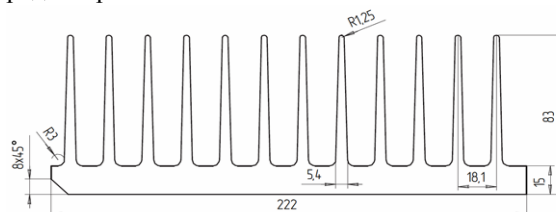


Рис. 1. Профиль радиатора №1

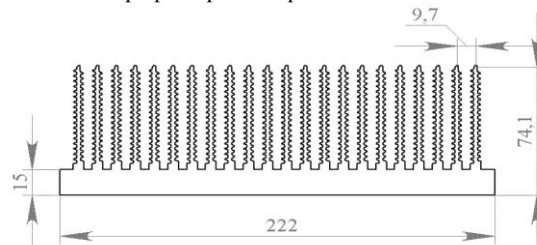


Рис. 2. Профиль радиатора №2

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 содержит 12

Рязанов Андрей Николаевич – ВГУИТ, канд. техн. 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  
 Кортунов Артур Вадимович – ВГУИТ, ассистент, e-mail: arturnew@mail.ru

ребер, профиль 2 – 22 ребра. Кроме того, площадь всей поверхности радиатора №2 увеличена ещё и за счёт рифленной 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. В качестве критерия эффективности радиатора выбрана его максимальная температура при рассеянии мощности источника 50 Вт, 100 Вт и 190 Вт.

Источниками тепловой энергии послужили модели используемых мощных светодиодов. Такое усложнение модели позволило не только исследовать тепловую модель конструкции с целью выбора эффективного радиатора, но и научиться рассчитывать с высокой точностью температуру гетеропереходов рабочих областей светодиодов реального светильника. На рис. 3 изображены типичные светодиоды с потребляемой электрической мощностью 15, 50 и 100 Вт (производитель - ЗАО «Светлана-Оптоэлектроника» г. Санкт-Петербург: L1-L6 – SLV06P15-F1000-D5 мощностью по 15 Вт и светодиод L7 – SLV08P100-F11000-D5 мощностью 100 Вт) [3-5].

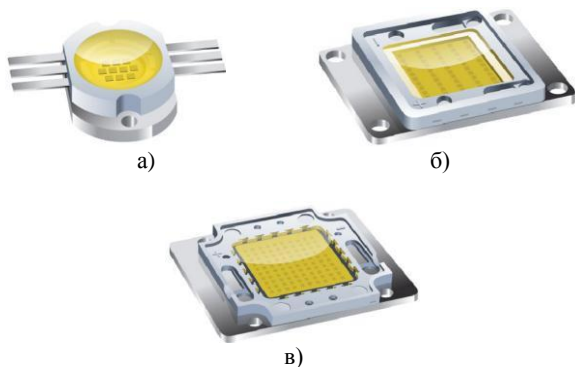


Рис.3. Светодиоды: а) 15 Вт; б) 50 Вт, в) 100 Вт

Изучаемые модели представляют собой сборку из радиатора и светодиодов. На рис. 4 изображена модель радиатора с одним светодиодом мощностью 100 Вт и шестью светодиодами по 15 Вт (суммарная мощность – 190 Вт).

Общие условия моделирования для всех конструкций: материал радиатора – алюминиевый сплав АД31 ГОСТ 4784-97, лицевая поверхность, на которой размещаются светодиоды, – зеркальная, тепловым излучением пренебрегается; окружающая среда – воздух, стандартная температура среды – 20 °С, скорость перемещения среды – 0 м/с, атмосферное давление 101325 Па.

Моделирование проведено с варьированием расположения светодиодов на радиаторе. Один из вариантов приведен ниже (рис. 5-7). На этих рисунках приводится изображение эпюр

распределения температуры на рабочей поверхности радиатора №1 при его вертикальном расположении, как на рис. 5. Максимальная температура 85,5 °С зафиксирована под 100 Вт светодиодом.

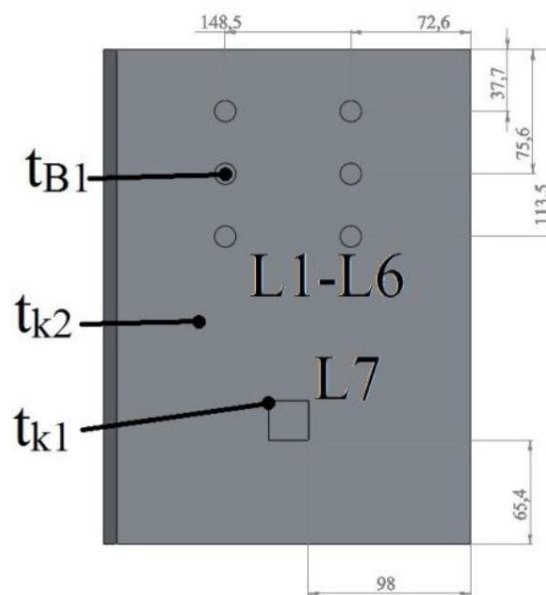


Рис. 4. Модель радиатора с мощностью рассеяния 190 Вт

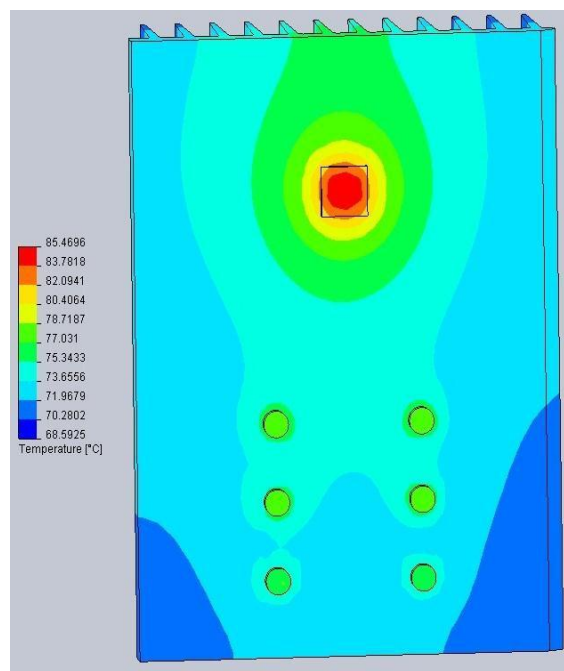


Рис. 5. Изображение цветowych эпюр распределения температуры рабочей поверхности радиатора №1 (общая мощность 190 Вт)

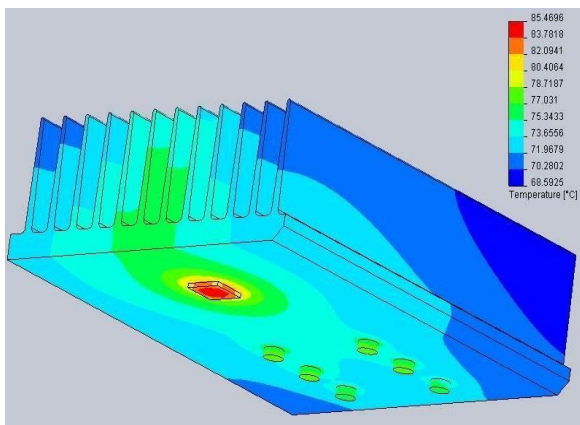


Рис. 6. 3D изображение цветовой эпюры распределения температуры радиатора №1 (общая мощность 190 Вт)

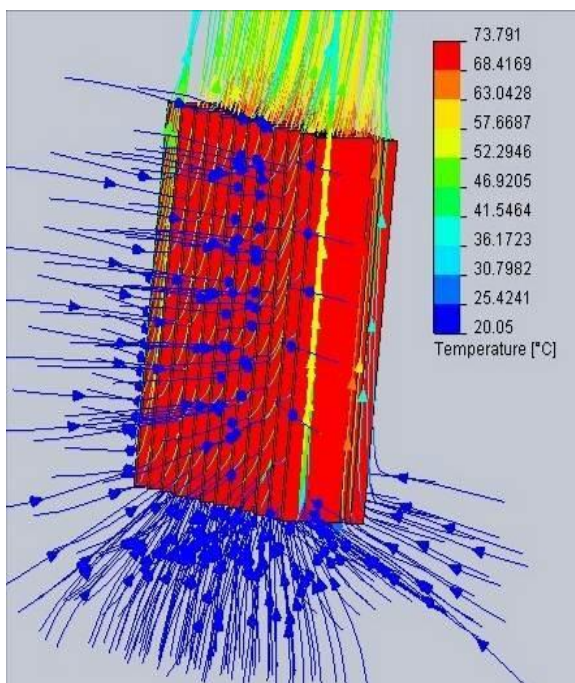


Рис. 7. Изображение 3D модели конвекционных потоков воздуха радиатора №1 (общая мощность 190 Вт)

Одна рабочая поверхность радиатора №2 представлена на рис. 8.

Установлено, что для этого радиатора максимальная температура под 100 Вт светодиодом 93,5 °С, что на 8 градусов больше, чем в случае использования радиатора №1.

Кроме этого были проведены модельные тепловые расчёты (рис. 9) максимальных температур радиатора, используемого в экспериментах, в двух пространственных положениях: 1) рабочая поверхность радиатора расположена горизонтально лицом вверх; 2) рабочая поверхность радиатора расположена вертикально. В первом, и во втором случаях ребра радиатора расположены вертикально. Подводимая тепловая

мощность постоянна и равномерно распределена по поверхности.

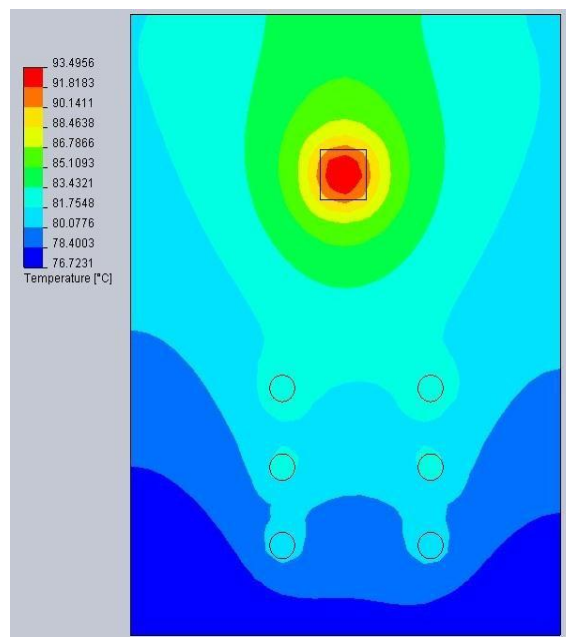
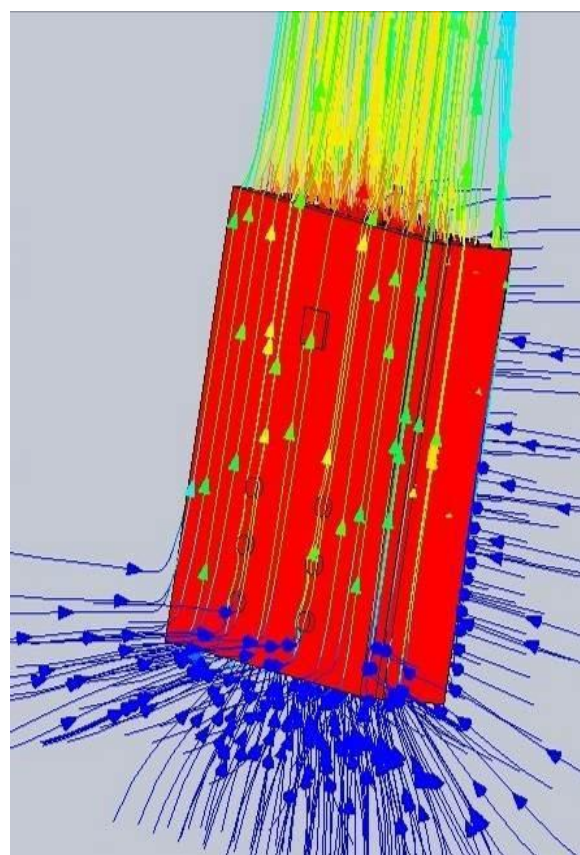
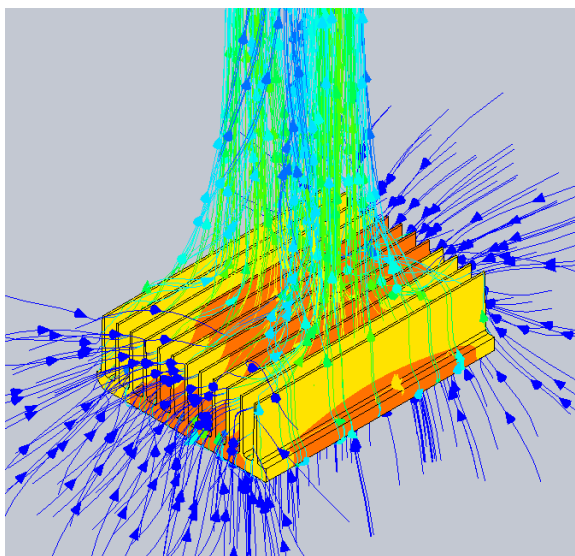


Рис. 8. Изображение цветовой эпюры распределения температуры рабочей поверхности радиатора №2 при вертикальном расположении с приложенной мощностью 190 Вт



a)





б)

Рис. 9. Два способа расположения радиатора: а) рабочая плоскость радиатора расположена вертикально; б) рабочая плоскость радиатора расположена горизонтально

Максимальная температура в первом случае 85,5 °С, во втором – 85,9 °С, разность составляет менее одного градуса. Таким образом, можно заключить, что для радиатора данного профиля ориентация в пространстве не имеет принципиального значения, что подтверждает целесообразность использования радиатора этого типа для охлаждения мощных светодиодов.

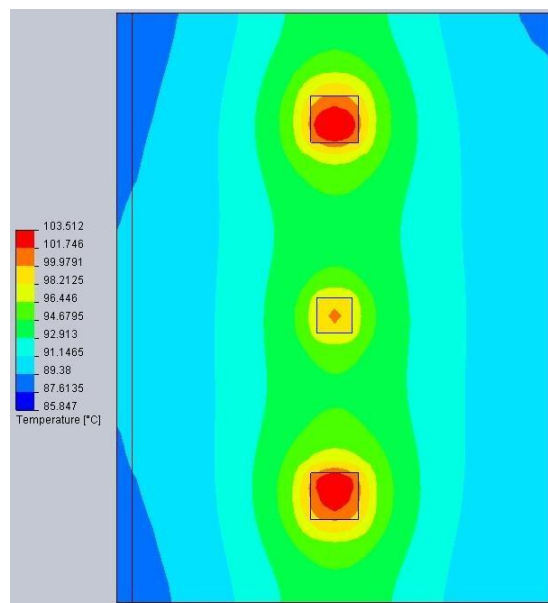
Проектируемый улично-дорожный светильник должен стабильно работать в широком диапазоне температур окружающей среды (вплоть до 25 °С в тёплую безветренную летнюю ночь). В связи с этим был проведен ряд тепловых расчетов, в которых устанавливалась взаимосвязь между температурами радиатора и окружающей среды ( $T_{окр}$ ) (рис. 10). Всего было произведено четыре расчета, в котором использовалась модель радиатора №1 300x222 мм<sup>2</sup> и при приложенной общей мощности 250 Вт (два светодиода по 100 Вт и один 50 Вт). Результаты расчетов зависимости максимальной температуры радиатора от температуры окружающей среды сведены в таблицу 1.

Таблица 1

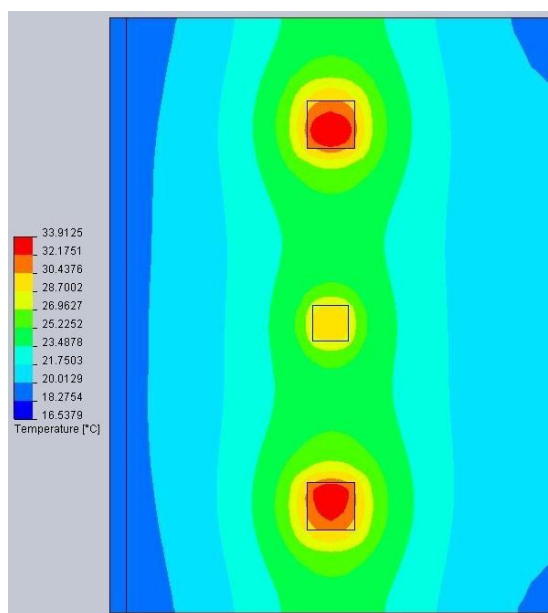
Температура окружающей среды, °С	Температура радиатора, °С
- 40	33,9
0	76,1
20	97,9
25	103,5

Таким образом, можно сделать вывод, что даже при температуре окружающей среды 25 °С максимальная температура радиатора меньше предельной температуры (125 °С) работы

гетероперехода светодиода, установленной заводом-изготовителем.



а)

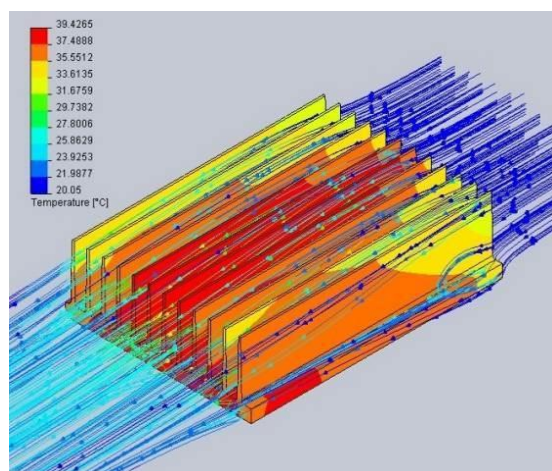


б)

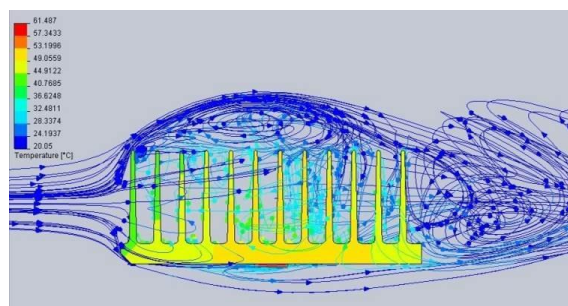
Рис. 10. Изображение цветowych эппюр радиатора 300x222 мм<sup>2</sup>, P=250 Вт в: а)  $T_{окр} = 25$  °С; б)  $T_{окр} = -40$  °С

Движение воздушных масс (ветер) увеличивает эффективность отвода тепла от радиатора. Но важно принимать во внимание направление скорости ветра по отношению к рёбрам радиатора. В расчетах изучалась зависимость температуры радиатора, как от скорости ветра, так и от его направления. В расчётах использовали два значения для скорости ветра: 2 м/с и 6 м/с, направление ветра: 1) вдоль рёбер, 2) поперёк рёбер (рис. 11, табл. 2).

Приложенная общая мощность 300 Вт (3 светодиода по 100 Вт).



а)



б)

Рис. 11. Изображение цветowych эпюр радиатора 300x222 мм<sup>2</sup> при направлении ветра: а) вдоль ребер; б) поперек ребер

Таблица 2

Скорость ветра, м/с	Температура радиатора, °С	
	вдоль ребер	поперек ребер
2	74,5	93,0
6	51,9	61,5

Результаты показывают, что ветер даже скоростью 2 м/с снижает максимальную температуру радиатора в зависимости от направления на 17 и 35 °С, соответственно.

Также был произведен расчет эффективности радиатора 300x222 мм<sup>2</sup> с профилем №2. В процессе моделирования были заданы следующие условия: скорость ветра 6 м/с, направление вдоль ребер радиатора. Максимальная температура такого радиатора 42,5 °С, что на 9,4 градуса меньше, чем температура радиатора с профилем №1. Следовательно, радиатор с рифлеными ребрами и малым межреберным расстоянием эффективнее

использовать только в случае активного охлаждения (ветер или вентилятор).

Для подтверждения результатов моделирования были проведены экспериментальные исследования на радиаторе с профилем №1. Для конструкции с потребляемой мощностью  $P=190$  Вт включается вся линейка светодиодов L1-L7 (рис.4).

Результаты измерений приведены в таблице №3, в которой  $t_{k1}$  – температура корпуса 100 Вт светодиода L7,  $t_{k2}$  – температура радиатора между светодиодами L7 и L1-L6.

Таблица 3

№	$\tau$ , мин	$t_{k1}$ , °С	$t_{k2}$ , °С
1	0	17	17
2	1	29	18
3	2	30	20
4	3	32	21
5	5	36	25
6	10	46	34
7	20	54	43
8	30	61	50
9	45	66	55
10	60	68	58
11	120	71	61

На рис.12 представлен график зависимости измеренных температур от времени работы светодиодов.

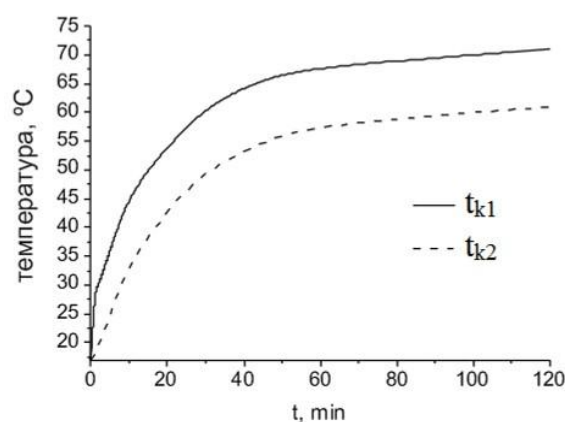


Рис. 12. График зависимости температуры  $t_{k1}$ ,  $t_{k2}$  от времени работы светодиодов

С помощью тепловизора были получены изображения распределения тепла по поверхности радиатора с указанием температуры нагрева каждого светодиода (рис. 13).

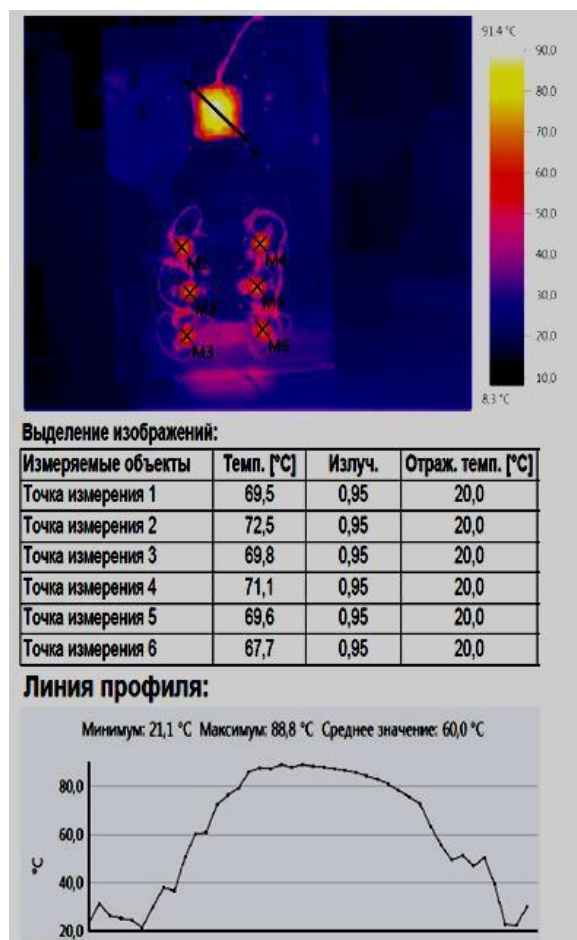


Рис. 13. Тепловизионное изображение радиатора №1 с шестью светодиодами по 15 Вт и одним 100 Вт и линия температурного профиля

Согласно тепловизионному исследованию, температура гетероперехода светодиода с 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 гетероперехода 100 Вт светодиода составляет 85,5 °С, а значения температур 15 Вт светодиодов находятся в диапазоне 75 – 78 °С.

Таким образом, наблюдается хорошее соответствие тепловых режимов, полученных экспериментально и при моделировании. Это позволит не проводить экспериментальные измерения различных вариантов размещения светодиодов на радиаторе, а также варьировать тип радиатора и светодиодов. В дальнейшем, по результатам только моделирования можно выбрать оптимальную конструкцию светильника.

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. Ноэль Лотар. Охлаждение и регулирование температурных режимов светодиодов. // Полупроводниковая светотехника. 2010. №3. С. 13-15.
2. Андреас Поль. Особенности расчета систем отвода тепла при использовании светодиодов в корпусах PLCC. // Полупроводниковая светотехника. 2010. №5. С. 54-57.
3. SVETLED. SVL06P15-FX-XX-A130. datasheet.
4. SVETLED. SVL07P50-FX-XX-A140. datasheet.
5. SVETLED. SVL08P100-FX-XX. datasheet.

Воронежский государственный университет инженерных технологий

## MODELING OF THERMAL PROCESSES IN THE RADIATOR FOR COOLING HIGH-POWER LED

A.N. Ryazanov, I.J. Butusov, S.V. Kuzubov, A.V. Kortunov

In this paper we study the conditions for the use of different profiles radiator for cooling high power LEDs. Computer modeling of heat transfer processes and experimental study of thermal conditions in the real radiator assembly with LEDs. Showed the correlation between simulation results and experiment. Confirmed the adequacy of using a computer model

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