

# Исследование зависимостей температуры $p$ - $n$ -переходов и световых потоков СД модулей нового поколения от различных параметров<sup>1</sup>

К. Ф. СОКМЕН\*, О. Б. КАПАТАШ

Технический университет Бурсы, Бурса, Турция

\* E-mail: furkan.sokmen@btu.edu.tr

## Аннотация

В статье рассмотрены зависимости температуры  $p$ - $n$ -переходов и световых потоков СД модулей нового поколения от температуры окружающего воздуха и тока при наличии и отсутствии облучения и/или линзы и при различном количестве сквозных отверстий в плате. Для расчётов, осуществлявшихся методом конечных объёмов, использовалось коммерческое программное обеспечение *FlotEFD2019*. Результаты расчётов были подтверждены экспериментально. В результате проведённых расчётов было получено решение, не зависящее от количества элементов. При проведении расчётов учитывалась сила тяжести. Исследования производились применительно к температурам окружающего воздуха 23 и 40 °, облучённостям 0 и 1009 Вт/м<sup>2</sup> и токам 140, 160, 180, 200, 220 и 240 мА, тогда как количество сквозных отверстий принималось равным 101 и 202. Для определения влияния линзы, расположенной на СД модуле, расчёты были проведены как при наличии, так и при отсутствии линзы. В результате было установлено, что увеличение температуры окружающего воздуха и облучённости отрицательно сказывается и на температуре  $p$ - $n$ -перехода, и на световом потоке. Показано, что количество сквозных отверстий оказывает пренебрежимо малое влияние и на температуру  $p$ - $n$ -перехода, и на световой поток. Установлено, что наиболее сильное влияние на световой поток СД модуля оказывают облучение и линзы.

**Ключевые слова:** автомобильная СД лампа, ламинарная естественная конвекция, моделирование переноса излучения методом Монте-Карло, вычислительная гидрогазодинамика, температура  $p$ - $n$ -перехода.

## 1. Введение

В последнее время светодиоды (СД) нашли широкое применение в светотехнике. В зависимости от области применения, СД имеют сроки службы до 100000 ч. Температуры, меньшие чем 110 °С, позволяют обеспечить более эффективное распределение энергии, чем галогенные лампы накаливания с температурой 3000 °С и ксеноновые лампы с температурой 700 °С. Фундаментальные исследования теплового режима работы СД были проведены в [1]. Исследование теплового режима СД было проведено также в [2]. Помимо других исследований [3], направленных на определение температуры  $p$ - $n$ -перехода ( $T_j$ ), предпринимались попытки определить как оптические характеристики, так и сроки службы СД [4]. Ряд статей, посвящённых расчёту и определению  $T_j$ , были опубликованы производителями СД [5–7]. В 2009 г. было проведено исследование влияния температуры окружающего воздуха на СД и их сроки службы [8]. Ещё одно фундаментальное исследование было проведено в 2007 г. авторами работы [9]. В работе [3], целью которой являлось определение  $T_j$  при помощи трёхмерной модели, использовалось моделирование переноса излучения методом Монте-Карло. Метод Монте-Карло использовался и в [10]. В [11] сообщили об увеличении теплопроводности и уменьшении  $T_j$  до 20 °С при увеличении толщины медного покрытия печатных плат. В [12] были проведены исследования влияния на  $T_j$  теплопроводности и термического сопротивления.

В связи с возрастанием спроса, появились мощные СД, предназначенные для использования в небольших объёмах, что затрудняет проектирование тепловых режимов работы СД [13]. Для выявления термических про-

блем, имеющих место в СД, в [14] методом конечных элементов исследовали влияние локальных тепловых точек СД. В [15] был разработан точечный СД модуль (*spot module*), снабжённый устройством распределения тепла. При этом охлаждение осуществлялось за счёт естественной конвекции, а задача размещения СД была решена при помощи устройства распределения тепла с вертикальными рёбрами, расположенными на всех участках цилиндрической трубки [15]. В [16] исследовали влияние углового положения печатной платы на теплопередачу в системах с СД, в которых охлаждение осуществлялось посредством естественной конвекции. В ряде работ исследовались системы охлаждения СД, в которых использовались термоэлектрические охладители. В [17] было проведено сравнение системы с термоэлектрическим охладителем с системой, в которой использовалось устройство распределения тепла и вентилятор. В результате было установлено, что система с термоэлектрическим охладителем оказалась более эффективной при скорости воздуха 3,6 м/с и мощности СД, меньшей чем 35 Вт. При проектировании тепловых режимов работы систем с СД части используются методы вычислительной гидрогазодинамики. В [18], где использовался метод конечных элементов, исследовали изменение распределения температуры при изменении коэффициента теплопередачи применительно к 10 СД, замкнутому объёму за печатной платой и вертикальным рёбрам. Было установлено, что температуру СД можно уменьшить, воспользовавшись вентилятором для увеличения коэффициента конвективной теплоотдачи [18]. В другой работе, в которой использовался метод конечных элементов, исследовалось влияние на тепловой режим количества, ширины и длины рёбер устройства распределения тепла. В [19] тепловые режимы систем с СД исследовались при помощи метода конечных элементов. В литературе также приводятся результаты различных исследований, в которых в системах охлаждения вместо воздуха использовалась жидкость. Жидкостная система охлаждения была разработана в [20], где было показано, что воздушное охлаждение может оказаться недостаточным по сравнению с жидкостным.

<sup>1</sup> Перевод с англ. Е.И. Розовского

В отличие от прочих исследований, в данной работе анализ теплового режима СД модуля проводился с учётом таких переменных, как температура окружающего воздуха, облучённость, ток и количество сквозных отверстий в плате. В работе также рассмотрена связь между температурой  $p-n$ -перехода и световым потоком СД модуля.

## 2. Материалы и метод

### 2.1. Геометрия и модель

В этой работе использовались СД модули нового поколения с тремя СД (рис. 1). Эти модули могут использоваться в любых конструкциях.

Каждый из СД потребляет мощность 0,1 Вт при токе 0,4 А. Одно из устройств управления (УУ) обеспечивает 0,13 А и 1,8 В. Один диод потребляет 0,15 А и работает при 0,7 В. Транзистор работает при 0,3 А и 1,4 В. Геометрическая модель и размеры СД модуля приведены на рис. 2.

### 2.2. Численное моделирование

Температуры электронных компонентов определялись методами вычислительной гидрогазодинамики. Для проведения тепловых расчётов электронной системы охлаждения использовалось программное обеспечение *FLoEFD2019* компании *Mentor Graphics*. *FLoEFD2019* может работать с разными системами автоматизированного проектирования (САПР), но в данной работе использовалась программа *CATIA V5 R19*. Непосредственное включение моделирующих программ в программу САПР *CATIA V5* привело к упрощению расчётов, которые стали очень простыми и быстрыми. Для проведения тепловых расчётов геометрия печатной платы и электронных компонентов была упрощена и импортирована из базы данных САПР. Затем с учётом размеров печатной платы была сформирована область проведения расчётов. Чтобы получить правильные результаты, эта область должна включать все части печатной платы. Затем были выбраны условия и методы проведения расчётов.

После формирования области проведения расчётов были заданы граничные условия. Температура окру-

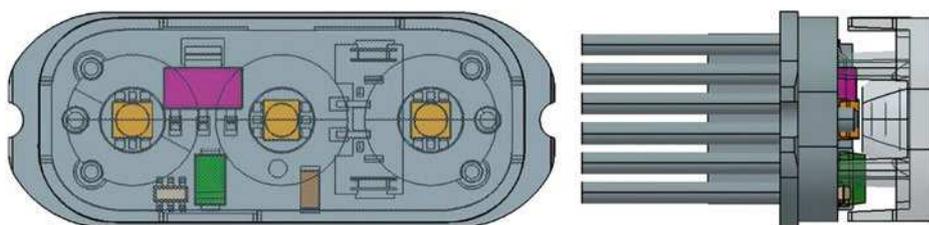


Рис. 1. Геометрия и местоположения СД и электронных устройств

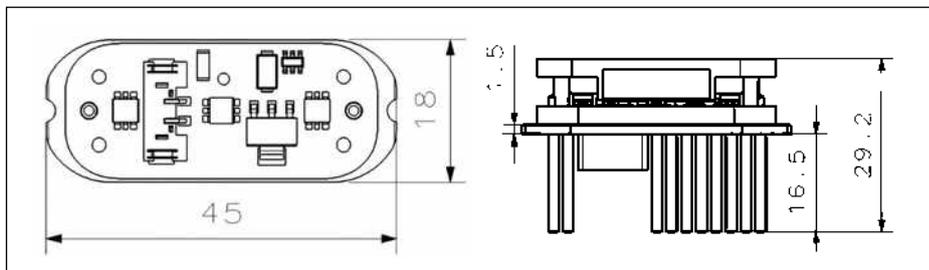


Рис. 2. Размеры СД модуля

жающего воздуха была установлена равной 23 °С, а для проведения расчётов был выбран внешний метод. Были выбраны моделирование переноса излучения методом Монте-Карло и естественная конвекция. В рамках метода Монте-Карло рассматривался перенос фотонов со случайной выборкой. Этот процесс повторялся  $N$  раз, причём  $N$  зависело от максимального количества фотонов, заданного в начале проведения расчётов. Выбор подходящего значения  $N$ , представляющего собой количество случайных выборок, имеет для этого метода большое значение. Кроме того, учитывалась сила тяжести ( $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ), направленная вниз вдоль оси  $z$ . Термодинамические параметры в области проведения расчётов задавались для давления 101325 Па и температуры окружающего воздуха 23 °С. Кроме того, с направления  $x = -0.568562$ ,  $y = 0$  и  $z = -0.8226405$  поступало солнечное излучение, создающее облучённость 1009 Вт/м<sup>2</sup>.

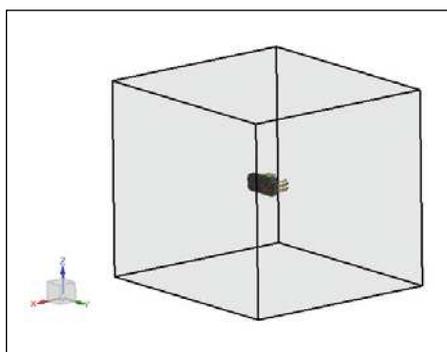


Рис. 3. Моделирование области проведения расчётов и солнечного излучения

Все СД и электронные компоненты были смонтированы на печатной плате *FR4* с двусторонним медным покрытием. Слои меди имели толщину 35 мкм, а общая толщина печатной платы была равна 1,5 мм.

Материалы и электронные компоненты следует выбирать тщательно, с тем, чтобы избежать перегрева. Материалы и электронные компоненты приведены в табл. 1 и на рис. 4.

Были проведены контрольные исследования, позволяющие проверить правильность результатов расчётов. Мощности, которые при проведении этих исследований потреблялись расположенными на печатной плате компонентами, указаны на рис. 5. Все компоненты питались током 140 мА.

Для получения решения, не зависящего от количества элементов, расчёты были проведены при различных количествах элементов, и полученные результаты приведены в табл. 2. Было замечено, что после

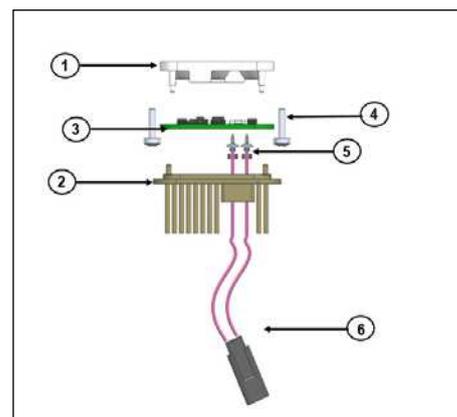


Рис. 4. СД модуль (см. табл. 1)

Компоненты и материалы СД модуля

Номер	Деталь	Материал
1	Линза	
2	Радиатор	
3	Печатная плата	
4	Втулка для сквозного отверстия	Ejot Delta
5	Кабельный зажим	CuZn33
6	Кабель	FLY-R Cable 200 mm

Таблица 2

Количество элементов и температура  $p-n$ -перехода СД

Количество элементов	$T_j$
550986	95,2
687250	98,3
765687	105,4
863547	116,4
954376	117,1
1025468	117

того, как количество элементов превысило некую величину, результаты уже не изменялись, и количество используемых при проведении расчётов элементов определялось исходя из условия, что оно не должно быть меньше, чем 954376.

Программа *FLoEFD* позволяет решить уравнения Навье-Стокса, описывающие сохранение массы, количества движения и энергии в потоке жидкости. Эти уравнения подкрепляются зависимостями, описывающими структуру жидкости, её плотность и вязкость, а также эмпирическими зависимостями для определения теплопроводности. Время, требующееся для формирования распределения температуры, очень невелико, и время передачи тепла от СД и электронных компонентов другим деталям также не очень велико, так что в данной работе предпочтение было отдано стационарному режиму работы. Работа в этом режиме описывается уравнениями сохранения массы, количества движения и энергии [21]. Температура  $p-n$ -перехода ( $T_j$ ) определялась при помощи уравнения (1). Зависимости нормированного светового потока СД производства компании *Samsung*, которые использовались в данном исследовании, от тока и  $T_j$  приведены на рис. 6 и 7.

$$T_j = T_{LED} + P_{LED} \cdot R_{jc}, \quad (1)$$

где  $T_{LED}$  – температура СД,  $P_{LED}$  – мощность СД,  $R_{jc}$  – термическое сопротивление.

Зависимости нормированного светового потока СД от тока и  $T_j$ , которые были взяты из каталогов на СД, были пересчитаны при помощи уравнений (2) – (4) применительно к световому потоку 32,4 лм – максимальному из встречающихся в каталогах световому потоку при 140 мА. Приведённая на рис. 6 зависимость нормированного светового потока СД ( $\alpha$ ) от тока ( $I$ ) описывается формулой (2), а приведённая на рис. 7 зависимость нормированного светового потока СД ( $\beta$ ) от  $T_j$  описывается формулой (3).

$$\alpha = 0,0068 \cdot I + 0,037, \quad (2)$$

$$\beta = -0,0014 \cdot T_j + 1,0237, \quad (3)$$

$$\text{Световой поток} = 32,4 \cdot \beta \cdot \alpha. \quad (4)$$

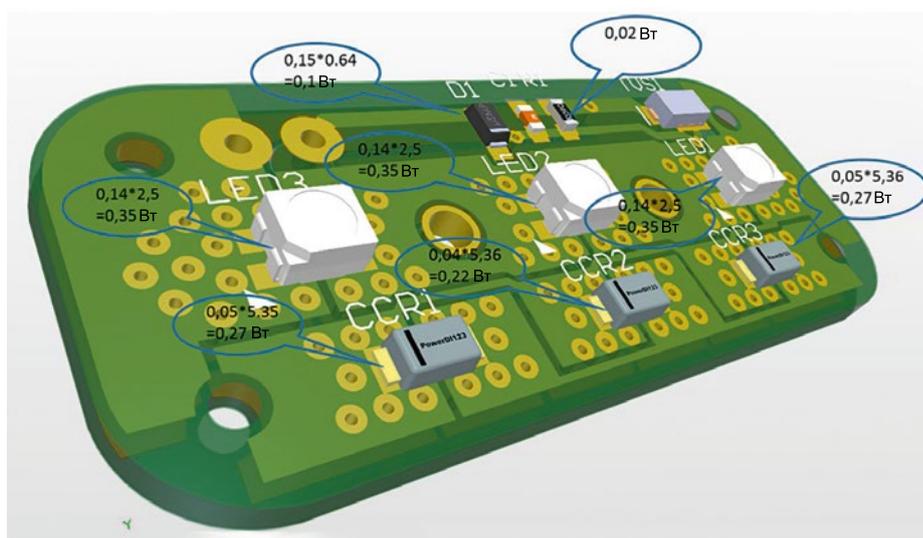


Рис. 5. Мощности всех электронных компонентов

### 2.3. Экспериментальные исследования

Результаты расчётов следовало подтвердить при помощи лабораторных исследований. Испытательное оборудование и его характеристики приведены в табл. 3.

Измерения проводили в помещении с кондиционированием воздуха при контролируемых внешних условиях (рис. 8). Печатная плата помещалась примерно в центре помещения.

Для обеспечения такой же, как и в случае численного моделирования, естественной конвекции, скорость воздуха в помещении поддерживалась на минимальном уровне. Измерения температуры производились при помощи термопар, удовлетворяющих требованиям системы сбора данных компании *National Instruments*. Температуры деталей и электронных компонентов отслеживались при помощи программного обеспечения. Данные, соответствующие стационарному ре-

Таблица 3

## Испытательное оборудование

Оборудование	Торговая марка	Рабочий диапазон	Точность
Климатическая камера	Angelantoni CST 157 2T	-80/+220 °C	+/-0,1 °C
Термометр	APPA-50	-40/204 °C	+/-2,2 °C
Термопары	Стандартные (тип K)		

Рис. 6. Зависимость нормированного светового потока от тока

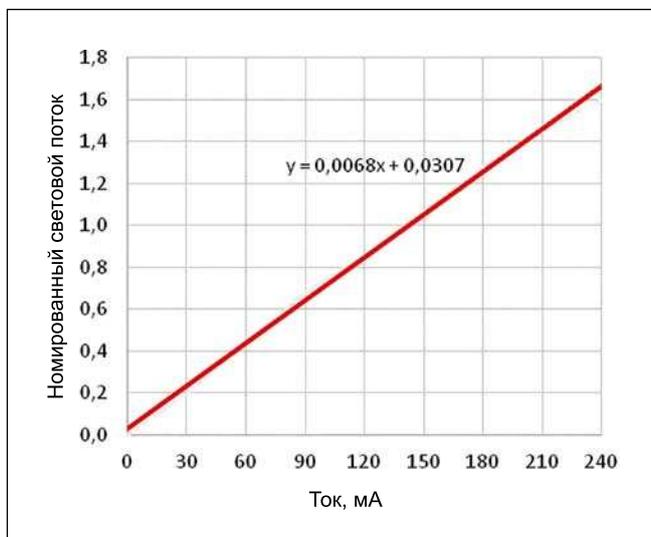
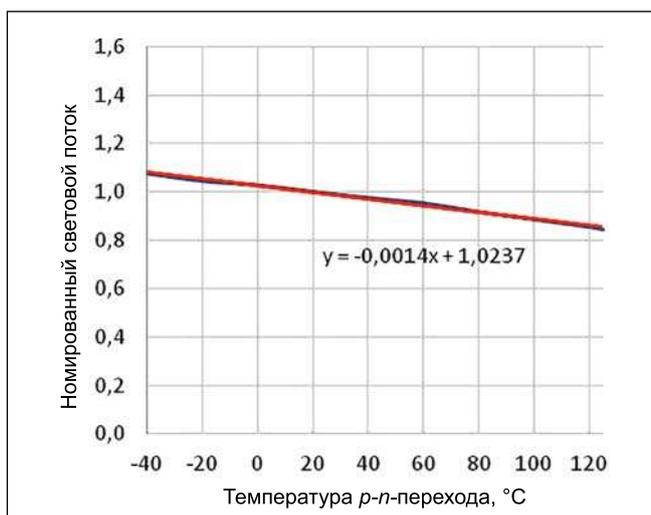
Рис. 7. Зависимость нормированного светового потока от  $T_j$ 

Рис. 8. Климатическая камера



жиму работы, собирались после гарантированного достижения термического равновесия в кондиционируемой части помещения.

Термопары были установлены на четырёх СД модулях, причём две из них размещались на линзах, одна термопара размещалась на рёбрах, а одна – на печатной плате (рис. 9).

Результаты измерений, которые проводились трижды, приведены на рис. 10. Было установлено, что температура СД достигает своего максимума за короткое время, а затем остаётся неизменной. Как оказалось, заметное на рис. 10 уменьшение температуры в период между 09:07 и 09:36 было связано с уменьшением тока. Затем температура оставалась неизменной, не считая очень небольших колебаний. Поэтому при проведении расчётов рассматривался стационарный режим работы. Зависимости от времени не рассматривались. Сравнение результатов измерений и расчётов проведено в табл. 4.

После подтверждения правильности расчётов, расчёты были проведены применительно к СД PLCC4 компании Samsung.

### 3. Результаты и обсуждение

После подтверждения правильности расчётов, были выполнены ещё 7 расчётов, которые перечислены в табл. 5, и было рассмотрено влияние на  $T_j$  таких параметров, как температура окружающего воздуха, облучённость, количество сквозных отверстий в плате, линза и ток СД. Полученные результаты показали, что так как допустимый предел температуры всех электронных компонентов, кроме СД, равен 150 °C, то согласно полученным результатам их температуры опасности не представляют.

Полученные в результате расчётов максимальные значения  $T_j$  приведены в табл. 6.

В результате расчётов характеристик семи СД модулей нового поколения, проведённых в данной работе, было установлено, что значения  $T_j$  оказались ниже предельно допустимой температуры p-n-перехода. Расчёты, проведённые применительно к току 0,14 А, температуре окружающего воздуха ( $T_a$ ) 23 и 40 °C и двум погодным условиям (при наличии и отсутствие облучения) (Расчёт 1 и Расчёт 2), показали, что увеличение  $T_a$

Сравнение результатов измерений и расчётов

СД модуль	СН10*, °С	СН11*, °С	СН12*, °С	СН13*, °С
1-е измерение	38,44	36,85	61,30	61,18
2-е измерение	38,26	37,73	62,59	62,07
3-е измерение	38,70	37,53	62,85	61,92
Расчёт	38,25	36,46	63,16	62,20

\* СН10 – СН13 – каналы измерительного прибора, к которым подключены соответствующие термопары.

Таблица 5

Условия, при которых проводились расчёты

Samsung PLCC4	$T_a$ , °С	Ток, А	Количество сквозных отверстий
Расчёт 1	23 °С	0,14	101
Расчёт 2	40 °С+обл	0,14	101
Расчёт 3	23 °С	0,18	101
Расчёт 4	40 °С+обл	0,18	101
Расчёт 5	23 °С	0,18	202
Расчёт 6 (с линзой)	40 °С+обл	0,18	202
Расчёт 7 (с линзой)	23 °С	0,18	202

Таблица 6

Результаты расчётов

Samsung PLCC4	$T_j$ , °С	Световой поток, лм
Расчёт 1	87,1	28,7
Расчёт 2	114,55	27,5
Расчёт 3	102,86	35,8
Расчёт 4	129,54	34,2
Расчёт 5	102,64	35,8
Расчёт 6 (с линзой)	121	34,7
Расчёт 7 (с линзой)	94,74	36,2

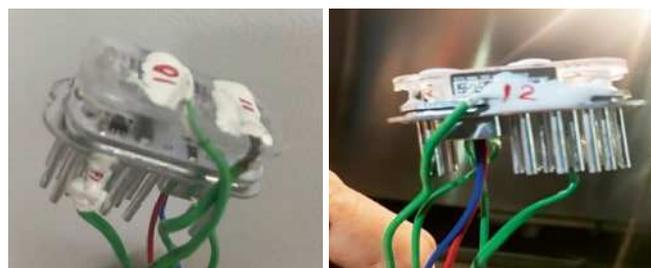


Рис. 9. Точки измерения

и добавление облучения привели к увеличению  $T_j$  на 27,45 °С и уменьшению светового потока на 1,2 лм.

Расчёты, проведённые при одних и тех же условиях окружающего воздуха, показали, что при большем токе СД, увеличенном для увеличения светового потока, увеличение  $T_a$  и добавление облучения (Расчёт 3 и Расчёт 4) привели к увеличению  $T_j$  на 26,68 °С и уменьшению светового потока на 1,6 лм. Для того, чтобы выявить влияние облучения на  $T_j$ , влияние температуры окружающего воздуха было исключено из изменения  $T_j$ :

$$T_{j(2-1)} = (T_{j \text{ Расчёт 2}} - T_{j \text{ Расчёт 1}}) - 17 \text{ °С}, \quad (5)$$

$$T_{j(4-3)} = (T_{j \text{ Расчёт 4}} - T_{j \text{ Расчёт 3}}) - 17 \text{ °С}. \quad (6)$$

После того, как равное 17 °С увеличение температуры окружающего воздуха было вычтено из разности  $T_j$  (см. вышеприведённые уравнения), были получены изменения  $T_j$ , равные, соответственно, 10,45 и 9,68 °С. И можно предположить, что эти полученные изменения температуры обусловлены наличием облучения. Расчёты показали, что облучение привело к увеличению температуры на 10 °С, то есть  $T_j$  возрасла на 36–38 %. А так как увеличение  $T_j$  приводит к уменьшению светового потока (см. рис. 7), то и при одних, и при других условиях окружающей среды наличие облучения привело к уменьшению светового потока на 1,2 и 1,6 лм соответственно. С точки зрения освещения, это нежелательный эффект. Увеличение количества сквозных отверстий в плате с 101 до 202 (Расчёт 5, проведённый применительно к  $T_a = 23 \text{ °С}$  и току 0,18 А) привело к уменьшению  $T_j$ . Хотя Расчёт 5 проводился применительно к вдвое большему, чем при Расчёте 3, количеству сквозных отверстий в плате, сравнение полученных результатов показало, что  $T_j$  уменьшилась всего на 0,22 °С, так что увеличение количества сквозных отверстий повлияло на  $T_j$  незначительно, и можно предположить, что это обусловлено маленькими размерами печатной платы. Значения светового потока, полученные в результате Расчётов 3 и 5, оказались одинаковыми. Поэтому при сравнении результатов расчётов влияние количества сквозных отверстий не учитывалось. Результаты расчётов 5 и 7, которые проводились применительно к одним и тем же условиям

( $T_a = 23 \text{ °С}$  и ток 0,18 А) при наличии и отсутствии линзы, что позволило исследовать влияние линзы на световой поток, показали, что добавление линзы привело к уменьшению  $T_j$  на 0,4 °С, что, в свою очередь, привело к уве-

личению светового потока на 1,5 лм. При сравнении результатов Расчётов 4 и 6, которые проводились применительно к  $T_a = 40 \text{ °С}$  при наличии облучения, было установлено, что добавление линзы привело к уменьшению  $T_j$

Рис. 10. Результаты измерений

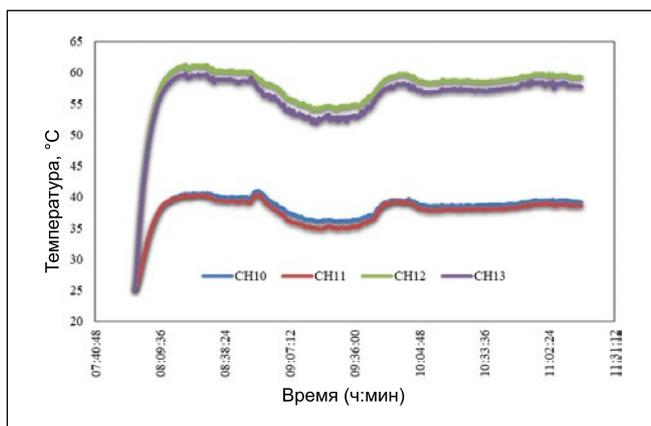


Рис. 11. Зависимости  $T_j$  и светового потока от тока при 23 °С (без линзы)

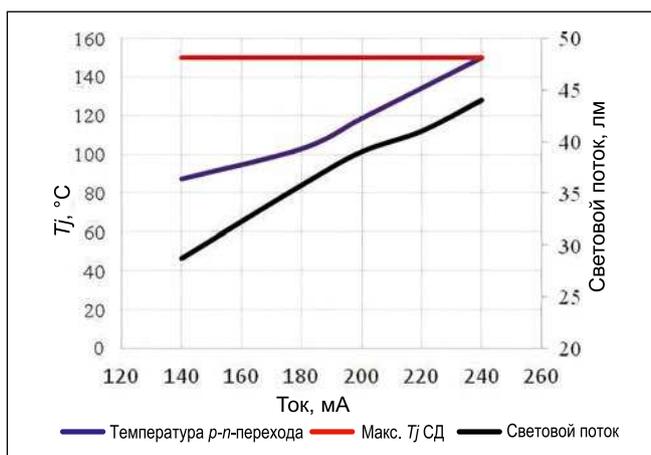


Рис. 12. Зависимости  $T_j$  и светового потока от тока при 40 °С и наличии облучения (без линзы)

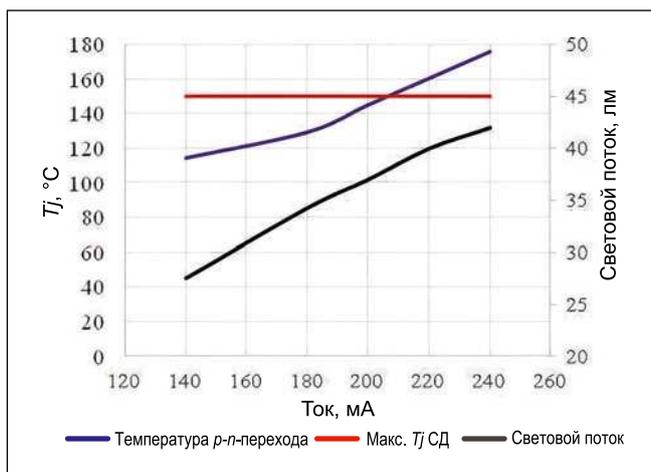
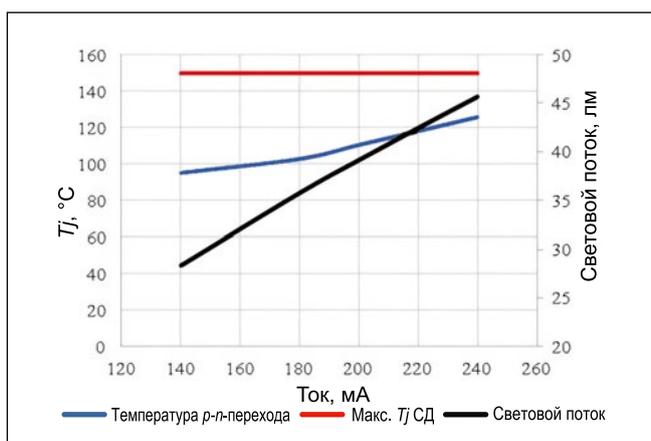


Рис. 13. Зависимости  $T_j$  и светового потока от тока при 23 °С (с линзой)



на 8,54 °С, что, в свою очередь, привело к увеличению светового потока на 0,5 лм. Сравнение результатов Расчётов 5 и 6 показало, что  $T_j$  увеличилась на 18,36 °С, что включает в себя увеличение  $T_a$  на 17 °С и воздействие облучения. Расчёты показали, что это увеличение  $T_j$  привело к уменьшению светового потока на 1,1 лм. Учитывая, что из равного 18,36 °С увеличения  $T_j$  17 °С приходится на увеличение температуры окружающего воздуха, получаем, что на облучение и линзы приходится 1,36 °С. Было установлено, что использование линз привело к существенному уменьшению влияния облучения. В данной работе было показано, что связанное с улучшением теплопередачи уменьшение обусловленного облучением роста температуры приводит к увеличению светового потока. Однако так как увеличение температуры окружающего воздуха приводит к увеличению  $T_j$ , то оно приводит и к уменьшению светового потока. Для расширения области, охватываемой проводимыми исследованиями, был проведён анализ влияния увеличения тока от 0,14 до 0,24 А, целью которого было получение максимального светового потока СД (рис. 6). Расчёты проводились применительно к температуре окружающего воздуха 23 и 40 °С, наличию и отсутствию облучения и наличию и отсутствию линзы. Полученные результаты приведены на рис. 11–14.

Влияние линзы очевидно при сравнении рис. 11 и рис. 13. То, превышено ли предельно допустимое значение  $T_j$  при наилучшем световом потоке, получаемом при 240 мА и отсутствии линзы, можно определить при помощи рис. 11. В этом случае СД модуль работает неудовлетворительно, так как  $T_j$  оказалась выше предельно допустимой. Согласно результатам расчётов, проведённых при наличии линзы (рис. 13), при 240 мА  $T_j$  оказалась ниже предельно допустимой, и наибольшее значение светового потока равно 44 лм.

Это же имело место при температуре окружающего воздуха 40 °С и наличии облучения: как видно на рис. 12, при отсутствии линзы предельно допустимое значение  $T_j$  было превышено после достижения током значения 200 мА, тогда как при наличии линзы это не наблюдалось (рис. 14). Было установлено, что в случае СД модуля с линзой  $T_j$  была ниже предельно

допустимой даже при 240 мА, а соответствующий световой поток оказался равным 46 лм, и модуль удовлетворительно работал в этих условиях. При равной 40 °С температуре окружающего воздуха и наличии облучения предельно допустимое значение  $T_j$  оказалось превышенным после достижения током значения, ненамного превышающего 200 мА, а при равной 23 °С температуре окружающего воздуха и отсутствии облучения предельно допустимое значение  $T_j$  оказалось превышенным только при токе 240 мА (рис. 11, 12).

Было установлено, что у СД модулей с линзами предельное значение  $T_j$  не было превышено даже при токе 240 мА при всех внешних условиях, так что в этом случае СД модули можно использовать для освещения. Как следует из рис. 13 и 14, модули с линзами могут работать и при тех, и при других внешних условиях.

Для того, чтобы понять, как наличие линзы сказывается на воздействии облучения, расчёты были проведены при температуре окружающего воздуха 23 °С и при наличии и отсутствии линзы. Полученные результаты приведены на рис. 15 и 16.

Было установлено, что при отсутствии линзы и наличии облучения предельно допустимое значение  $T_j$  было превышено после достижения током значения 200 мА (рис. 15), тогда как из рис. 16 следует, что при тех же внешних условиях и наличии линзы  $T_j$  была ниже предельно допустимой даже при 240 мА, а соответствующий световой поток оказался равным 44 лм.

#### 4. Заключение

В данной работе показано, что для того, чтобы СД модули нового поколения имели приведённые в каталогах характеристики, следует обеспечить хорошие внешние условия их работы. Особо значимое влияние на световой поток оказывает облучение. Было установлено, что облучение приводит к увеличению на 10 °С температуры  $p$ - $n$ -перехода использовавшегося в данной работе СД модуля, которая могла превысить своё предельно допустимое значение. Было установлено, что при наличии линзы облучение приводит к увеличению  $T_j$  всего на 2–2,5 °С, что не мешает использовать СД модуль для освещения. Полученные результаты подтвердили, что использование

Рис. 14. Зависимости  $T_j$  и светового потока от тока при 40 °С и наличии облучения (с линзой)

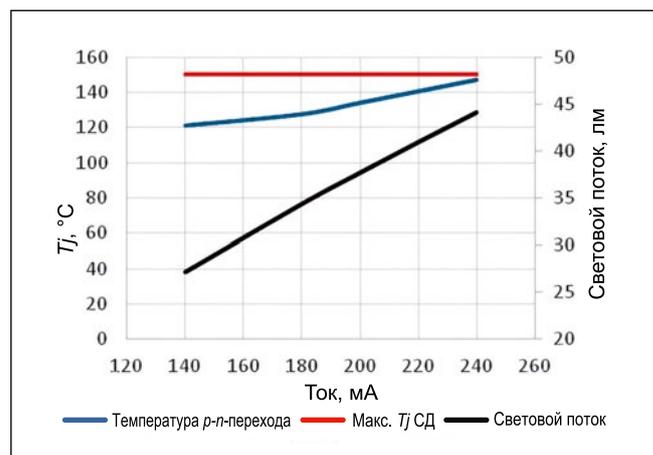


Рис. 15. Зависимости  $T_j$  и светового потока от тока при 23 °С и наличии облучения (без линзы)

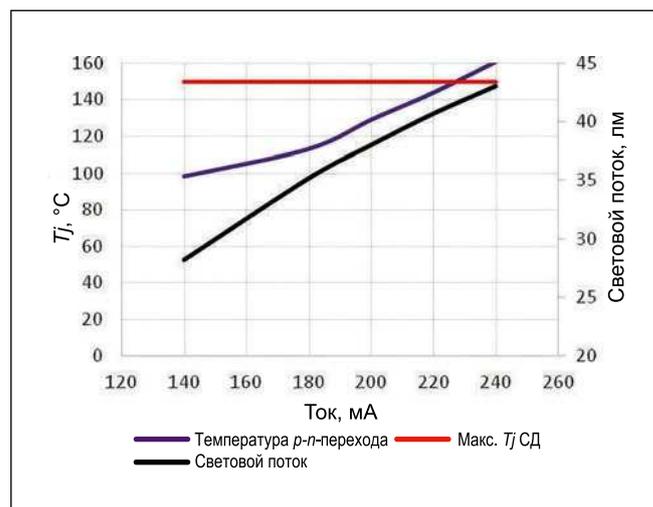
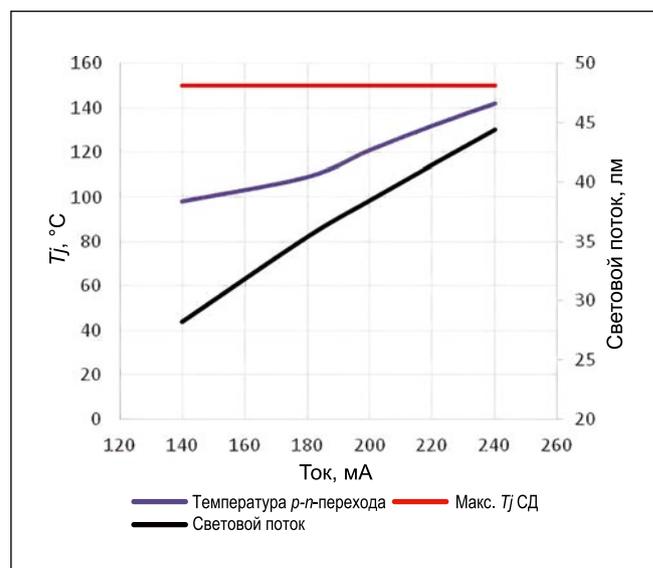


Рис. 16. Зависимости  $T_j$  и светового потока от тока при 23 °С и наличии облучения (с линзой)



линз непосредственно влияет на срок службы СД модуля и возможность использования его для освещения. Эти же результаты показали, что СД модули следует размещать там, где последствия облучения сводятся к минимуму, и что линзы необходимо использовать. Результаты работы должны быть тщательно проанализированы,

что позволит обеспечить требуемые характеристики СД модулей нового поколения. Проведённые исследования показали, что программные средства вычислительной гидрогазодинамики следует широко использовать для определения рабочих характеристик СД модулей при разных внешних условиях и для исключения рисков.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rosenberg, E., Fidje, A., Espegren, K.A., Stiller, C., Svensson, A.M., Møller-Holst, S. Market penetration analysis of hydrogen vehicles in Norwegian passenger transport towards 2050 // Int. Journal of Hydrogen Energy. – 2010. – Vol. 35, No. 14. – P. 7267–7279. doi:10.1016/j.ijhydene.2010.04.153
2. Poppe, A., Lasance, C.J.M. On the standardization of thermal characterization of LEDs. // Annual IEEE Semiconductor Thermal Measurement Management Symposium 2009, (2), 151–158. doi:10.1109/STHERM.2009.4810757
3. Kikuchi, K., Hamashiam, Y., Kobayashi Y. Prediction of LED junction temperatures with CFD for headlamp application // In: ISAL Symposium Proceeding, 2005.
4. Senawiratne, J., Zhao, W., Detchprohm, T., et al. Junction temperature analysis in green light emitting diode dies on sapphire and GaN substrates // Physica status solidi (c). – 2008. – Vol. 5, No. 6. – P. 2247–2249. doi:10.1002/pssc.200778648
5. Weber, R. Calculating an LED's Junction Temperature, 2015.
6. Application Guide. 2010.
7. Thermal Management of SMT LED Application Note, 2014.
8. Bider, C. Effect of thermal environment on LED light emission and lifetime // LED Prof Rev. – 2009. – May/June.
9. Bielecki, J., Jwania, A.S., Khatib, F.E., Poorman, T. Thermal Considerations for LED Components in an Automotive Lamp // 23<sup>rd</sup> IEEE SEMI-THERM Symp., 2007.
10. Rubenstein, R.Y., Kroese, D.P. Simulation and the Monte Carlo method, 2011.
11. Vora, A.K., Vijaykumar, P. Basic Thermal Guidelines for using PowerPSoC ®, 2009, (001), P. 1–12.
12. Sheu, G.-J. The heat dissipation performance of LED applied a MHP, 2005, 5941, 594113–594118. doi:10.1117/12.616355
13. Cheng, J.-H., Liu, C.-K., Chao, Y.-L., Tain, R.-M. Cooling performance of silicon-based thermoelectric device on high power LED // In: ICT 2005. 24<sup>th</sup> International Conference on Thermoelectrics, 2005. IEEE; 2005, 53–56. doi:10.1109/ICT.2005.1519885
14. Arik, M., Becker, C.A., Weaver, S.E., Petroski, J. Thermal management of LEDs: package to system // 3<sup>rd</sup> Int. Conf. Solid State Light, 2004, 5187 (July 2014), 64. doi:10.1117/12.512731
15. Petroski, J. Understanding longitudinal fin heat sink orientation sensitivity for Light Emitting Diode (LED) lighting applications // In: Advances in Electronic Packaging, 2003.

16. Yung, K.C., Liem, H., Choy, H.S., Lun, W.K. Thermal performance of high brightness LED array package on PCB // International Communications in Heat and Mass Transfer, 2010. doi:10.1016/j.icheatmasstransfer.2010.07.023

17. Zhong, D., Qin, H., Wang, C., Xiao, Z. Thermal performance of heatsink and thermoelectric cooler packaging designs in LED // In: Proc. of 11<sup>th</sup> Int. Conf. on Electronic Packaging Technology and High Density Packaging, ICEPT-HDP 2010, 2010. doi:10.1109/ICEPT.2010.5582819

18. Cheng, H.H., Huang, D.S., Lin, M.T. Heat dissipation design and analysis of high power LED array using the finite element method // Microelectron Reliab, 2012. doi:10.1016/j.microrel.2011.05.009

19. Weng, C.J. Advanced thermal enhancement and management of LED packages // Int. Communications in Heat and Mass Transfer, 2009. doi:10.1016/j.icheatmasstransfer.2008.11.015

20. Lai, Y., Cordero, N., Barthel, F., et al. Liquid cooling of bright LEDs for automotive applications // Applied Thermal Engineering, 2009. doi:10.1016/j.applthermaleng.2008.06.023

21. Raypah, M.E., Dheepan, M.K., Devarajan, M., Sulaiman, F. Investigation on thermal characterization of low power SMD LED mounted on different substrate packages // Applied Thermal Engineering, 2016. doi:10.1016/j.applthermaleng.2016.02.092



**Кемаль Фуркан  
Сокмен (Kemal  
Furkan Sokmen),**

Ph.D. Доцент Технического университета Бурсы, Турция. Область научных интересов: теплопередача, вычислительная механика

жидкости и газа, электронные системы охлаждения и тепловой комфорт



**Осман Бедреттин  
Караташ (Osman  
Bedrettin Karatas),**

М. Сс. Научный сотрудник Технического университета Бурсы, Турция. Область научных интересов: теплопередача, механика

жидкости и газа и электронные системы охлаждения

## Рост рынка профессиональных светильников в 2019 г.

В начале июня было опубликовано исследование рынка профессиональных светильников в 2019 г., проведенное компанией «Лайтинг Бизнес Консалтинг». По их оценкам, рынок профессиональных светильников в 2019 году показал прирост на 11,9 % в количественном выражении, достигнув уровня более 71,3 млн шт., и на 12,3 % в стоимостном, составив 63,9 млрд руб. При этом основной прирост рынка пришелся на III–IV кварталы 2019 года в первую очередь за счёт увеличения импорта светильников. Первый квартал 2019 г. напротив, показал сокращение объема импорта в стоимостном и количественном выражениях при сравнении показателей 2019 г. с аналогичным периодом 2018 г.

Увеличение импорта профессиональных светильников в стоимостном выражении в 2019 г. по отношению к 2018 г. составило 8,78 млрд руб.

Наибольшую динамику роста показали такие сегменты как:

- административно-офисное освещение (+3,03 млрд руб.),
- торговое освещение (+1,51 млрд руб.),
- ЖКХ (+0,97 млрд руб.).

По типам источников света, в 2019 г. доля СД светильников в общем объеме выросла на 4,7 пунктов в количестве, на 3,0 пункта в стоимости. При этом доля традиционных светильников составила 8,7 % в количественном и 7,8 % в стоимостном объеме. Таким образом, за 3 года доля традиционных светильников на рынке уменьшилась в 2 раза.

www.lbconsulting.ru  
03.06.2020

## Новый перовскитный диод является одновременно источником и приёмником света

Разработка устройств, способных как генерировать, так и обнаруживать свет, могла бы позволить разрабатывать более компактные и интеллектуальные оптические и оптоэлектронные системы.

Учёные из Университета Линчепинга в Швеции вместе с коллегами из КНР представили небольшое устройство, которое сможет упростить эту задачу. Оно одновременно является и оптическим излучателем и приёмником излучения. «Это очень важно для миниатюризации оптоэлектронных систем», – отмечает ведущий автор исследования Фэн Гао.

Осенью 2018 г. исследователи обнаружили подходящий для этого перовскит и разработали перовскитный светодиод с КПД 21 % – это один из лучших показателей в мире. Его можно использовать одновременно в качестве источника и приёмника света.

Этот крошечный блок, который может принимать и подавать оптические сигналы, позволяет упрощать и уменьшать современные оптические системы. Его также можно интегрировать с традиционными электронными схемами.

hightech.fm/  
11.04.2020