

Проектирование с использованием теплового моделирования промышленных светильников с бескорпусными СД¹

С. АТЕС, М.Б. ЮРТСЕВЕН, С. ОНАЙГИЛ

Стамбульский технический университет, Стамбул, Турция
E-mails: smete@itu.edu.tr; byurtseven@itu.edu.tr; onaygil@itu.edu.tr

Аннотация

По мере усовершенствования техники возрастает и световая отдача бескорпусных светодиодов с монтируемыми на печатной плате кристаллами (технология *Chip-on-Board*) (далее – бескорпусные СД). В данной работе, начиная со стадии проектирования, рассмотрено применение бескорпусных СД в светильниках с большой высотой подвеса, предназначенных для освещения промышленных предприятий, которое можно считать относительно энергоёмкой областью применения. Для производственного помещения в качестве опорных были выбраны светильники с однокристалльными СД, способные обеспечить требуемое качество освещения. Были проведены измерения фотометрических характеристик выбранных бескорпусных СД, после чего было рассчитано их количество, обеспечивающее такой же, как и у опорных светильников, световой поток. При помощи программы *CAD* был смоделирован опытный образец светильника с бескорпусными СД и ребристым пластинчатым радиатором, после чего были произведены расчёты теплового режима его работы. Затем этот опытный образец был изготовлен и испытан. Расхождения между результатами испытаний и теплового моделирования не превышали 7 %, что говорит о достоверности расчётов. Данное исследование служит примером последовательных действий, которые следует выполнять при создании светильников с бескорпусными СД. Кроме того, оно призвано продемонстрировать возможность использования бескорпусных СД в энергоёмких областях применения.

Ключевые слова: бескорпусные светодиоды, *Chip-on-Board* СД, тепловое моделирование, экспериментальное исследование.

1. Введение

В настоящее время светодиоды (СД) конкурируют с традиционными источниками света во многих областях применения благодаря таким своим достоинствам, как высокая световая отдача, большой прогнозируемый срок службы и многообразие оттенков белого света. С другой стороны, мощные СД источники света преобразуют в оптическое излучение только часть потребляемой ими мощности, тогда как оставшаяся мощность рассеивается в виде тепла [1–4]. Если эту тепловую энергию не отводить, то будет иметь место увеличение температуры изделия, что отрицательно сказывается на таких характеристиках СД, как световой поток, световая отдача и КПД [5]. Срок службы СД также зависит от температуры [6]. Было проведено множество исследований активных и пассивных сис-

тем охлаждения, призванных уменьшить вредное воздействие тепла на СД [7–11]. На рынке предпочтительными являются пассивные системы охлаждения, что обусловлено такими их достоинствами, как простота изготовления, отсутствие потребности в техническом обслуживании, отсутствие подвижных деталей и энергопотребления, низкая стоимость и простота конструкции. Наиболее популярными пассивными системами охлаждения, которые используются производителями светильников, являются различные металлические рёбра.

При наличии подходящей системы охлаждения, мощные СД обеспечивают экономию электроэнергии, особенно в энергоёмких областях применения. К этим областям применения относится и светильники с большой высотой подвеса, предназначенные для освещения промышленных предприятий (далее – промышленные светильники). Как правило, эти светильники содержат большое количество однокристалльных мощных СД. В то же время, в промышленных светильниках уже начали применять бескорпусные СД с монтируемыми на печатной плате кристаллами (технология *Chip-on-Board*) (далее – бескорпусные СД), световые отдачи которых со дня на день увеличиваются. Кроме того, в последнем случае количество источников света, требующихся для обеспечения заданного значения светового потока, оказывается меньшим, чем при использовании светильников с однокристалльными СД. Это обстоятельство может привлечь внимание к светильникам с бескорпусными СД в связи с присущими им простотой механической конструкции и экономическими преимуществами. С другой стороны, у бескорпусных СД отвод тепла происходит с малой поверхности, что делает необходимым наличие в светильнике системы охлаждения, проектирование которой должно осуществляться с использованием компьютерного моделирования и экспериментальных исследований.

В данной работе подробно описан процесс разработки светильника с бескорпусными СД: выбор используе-

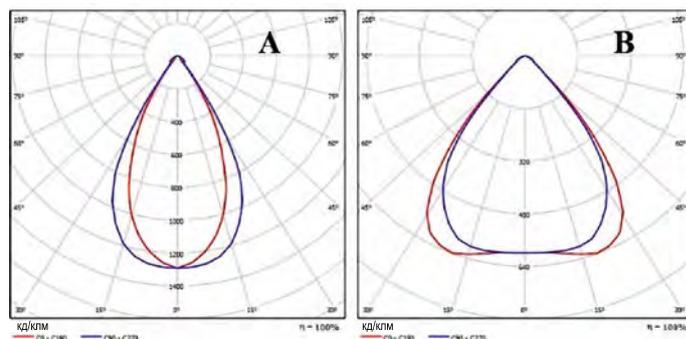


Рис. 1. Кривые силы света опорных промышленных светильников с большой высотой подвеса с однокристалльными СД

¹ Перевод с англ. Е.И. Розовского

Результаты анализа промышленных светильников с большой высотой подвеса с однокристалльными СД

Светильник	Средняя освещённость, лк	Равномерность освещённости	Световой поток светильника, лм	Электрическая мощность, Вт	Световая отдача, лм/Вт	Количество светильников, шт.	Потребляемая энергия, Вт/(м ² ·100 лк)
А	315	0,722	25000	182	137,4	36	0,83
В	303	0,600	25000	200	125	36	0,95

мого в качестве объекта сравнения опорного светильника, выбор и измерение характеристик бескорпусных СД, определение количества бескорпусных СД, компьютерное моделирование тепловых процессов, экспериментальные исследования и подтверждение правильности расчётов. Следует отметить, что значения тепловой энергии были получены экспериментально, а не рассчитаны как некий процент от потребляемой электрической энергии, и при тепловом моделировании использовались именно эти реальные результаты измерений.

2. Опорные светильники, выбор и измерение характеристик бескорпусных СД

Анализ производился применительно к производственному помещению размером 50×50 м с потолком высотой 12 м. Высота рабочей поверхности, пограничная зона (расстояние между стенами и расчётной сеткой), расстояние между рабочей поверхностью и светящейся поверхностью светильника были равны, соответственно, 1, 1,5 и 9 м. Коэффициенты отражения потолка, стен и пола считались равными, соответственно, 70, 50 и 20 %. Коэффициент технического обслуживания считался равным 0,80.

В выбранном производственном помещении следовало обеспечить среднюю освещённость 300 лк и равную 0,60 равномерность освещённости, что соответствует требованиям стандарта *EN12464-1: 2011*, п. 5.8.3, для механического производства [12]. При выборе опорных светильников с однокристалльными СД допустимые отклонения от средней освещённости были приняты равными 5 %. Для проведения расчётов использовалась программа проектирования освещения *DIALux* [13]. Было проанализировано большое количество имеющихся на рынке промышленных светильников с большой высотой подвеса с однокристалльными СД, и в результате в качестве опорных были выбраны два из них, которые обеспечили выполнение вышеупомянутых требований. Кривые силы света выбранных опорных светильников и результаты расчётов приведены на рис. 1 и в табл. 1 соответственно.

Как следует из табл. 1, опорные светильники имеют одинаковые световые потоки, равные 25000 лм. Это значение было выбрано в качестве целевого при разработке промышленного светильника с большой высотой подвеса с бескорпусными СД. Был выбран и приобретён на рынке бескорпусный СД источник света, который был снабжён всей необходимой документацией и имел большой световой поток. Характеристики этого бескорпусного СД при разных значениях питающего тока и разных температурах охлаждаемой платы были измерены при помощи терморегулируемой интегрирующей сферы диаметром 1 м, имеющейся в фото- и радиометрической лаборатории энергети-



Рис. 2. Терморегулируемая интегрирующая сфера и измерительное оборудование

ческого института Стамбульского технического университета [14]. Эта терморегулируемая интегрирующая сфера и вспомогательное оборудование показаны на рис. 2. Измерялись напряжение, ток, световой поток, мощность оптического излучения, коррелированная цветовая температура (КЦТ) и общий индекс цветопередачи (ИЦП). Температура в точке пайки, являющаяся основным параметром при расчёте температуры *p-n*-перехода, измерялась при помощи хромель-алюмелевой термопары. Электрическую мощность, тепловую мощность, КПД и световую отдачу рассчитывали, соответственно, по формулам (1), (2), (3) и (4). Значения характеристик, полученные посредством измерений и расчётов, приведены в табл. 2.

$$\begin{aligned} & \text{Электрическая мощность,} \\ & \text{Вт} = \text{Напряжение, В} \times \text{Ток, А.} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & \text{Тепловая мощность,} \\ & \text{Вт} = \text{Электрическая мощность,} \\ & \text{Вт} - \text{Мощность оптического излучения, Вт.} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\text{КПД, \%} = \frac{\text{Мощность оптического излучения, Вт}}{\text{Электрическая мощность, Вт}} \times 100. \quad (3)$$

$$\begin{aligned} & \text{Световая отдача, лм/Вт} = \\ & = \frac{\text{Световой поток, лм}}{\text{Электрическая мощность, Вт}}. \end{aligned} \quad (4)$$

Как следует из табл. 2, увеличение температуры отрицательно сказывается на световом потоке, световой отдаче, мощности оптического излучения и КПД. Световая отдача и КПД уменьшаются также и при увеличении тока пита-

Значения характеристик, полученные посредством измерений и расчётов

Питающий ток, мА	Характеристика	Температура охлаждаемой платы, °С					
		25	35	45	55	65	75
350	Температура в точке пайки, °С	29,3	38,7	48	57,5	66,7	76,3
	Напряжение, В	33,14	32,98	32,82	32,67	32,53	32,38
	Ток, А	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
	Световой поток, лм	1963	1940	1916	1891	1865	1837
	Мощность оптического излучения, Вт	5,81	5,75	5,69	5,62	5,55	5,48
	КЦТ, К	3859	3868	3881	3893	3908	3924
	ИЦП	83,6	83,6	83,5	83,5	83,5	83,4
	Электрическая мощность, Вт	11,60	11,54	11,49	11,43	11,38	11,33
	Тепловая мощность, Вт	5,79	5,80	5,80	5,81	5,83	5,86
	КПД, %	0,50	0,50	0,50	0,49	0,49	0,48
	Световая отдача, лм/Вт	169,2	168,1	166,8	165,4	163,8	162,1
700	Температура в точке пайки, °С	35,9	45,2	54,5	64	73,3	82,7
	Напряжение, В	34,39	34,22	34,05	33,89	33,73	33,59
	Ток, А	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
	Световой поток, лм	3695	3648	3598	3547	3492	3436
	Мощность оптического излучения, Вт	10,95	10,82	10,69	10,55	10,4	10,25
	КЦТ, К	3884	3895	3908	3922	3937	3957
	ИЦП	83,2	83,1	83,1	83,1	83,0	82,9
	Электрическая мощность, Вт	24,08	23,95	23,83	23,72	23,61	23,51
	Тепловая мощность, Вт	13,13	13,13	13,14	13,17	13,21	13,26
	КПД, %	0,45	0,45	0,45	0,44	0,44	0,44
	Световая отдача, лм/Вт	153,5	152,3	151,0	149,5	147,9	146,1
1050	Температура в точке пайки, °С	43,4	52,8	62,1	71,3	80,7	89,8
	Напряжение, В	35,40	35,22	35,05	34,88	34,73	34,58
	Ток, А	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
	Световой поток, лм	5236	5161	5082	5002	4918	4825
	Мощность оптического излучения, Вт	15,57	15,35	15,15	14,91	14,68	14,42
	КЦТ, К	3916	3925	3939	3956	3973	3998
	ИЦП	82,8	82,8	82,7	82,7	82,7	82,6
	Электрическая мощность, Вт	37,16	36,98	36,80	36,63	36,47	36,31
	Тепловая мощность, Вт	21,59	21,63	21,65	21,72	21,79	21,89
	КПД, %	0,42	0,42	0,41	0,41	0,40	0,40
	Световая отдача, лм/Вт	140,9	139,6	138,1	136,6	134,9	132,9

Питающий ток, мА	Характеристика	Температура охлаждаемой платы, °С					
		25	35	45	55	65	75
1400	Температура в точке пайки, °С	51,9	60,9	70,3	79,4	88,7	98
	Напряжение, В	36,27	36,09	35,93	35,77	35,62	35,47
	Ток, А	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
	Световой поток, лм	6588	6486	6379	6260	6143	6017
	Мощность оптического излучения, Вт	19,62	19,32	19,03	18,68	18,34	17,98
	КЦТ, К	3948	3962	3979	3996	4018	4043
	ИЦП	82,5	82,5	82,4	82,4	82,3	82,3
	Электрическая мощность, Вт	50,78	50,53	50,30	50,08	49,86	49,65
	Тепловая мощность, Вт	31,16	31,21	31,27	31,40	31,52	31,67
	КПД, %	0,39	0,38	0,38	0,37	0,37	0,36
	Световая отдача, лм/Вт	129,7	128,4	126,8	125,0	123,2	121,2

ния. КЦТ и ИЦП тоже зависят от температуры и тока питания. Учитывая отрицательное влияние больших токов питания на характеристики СД, ток питания был выбран равным 1050 мА, что обеспечило большую световую отдачу и одновременно позволило получить изделие, экономически эффективное с точки зрения количества бескорпусных СД. Если принять во внимание потери оптического излучения и КПД устройства управления, то световая отдача будет меньше измеренных значений световойдачи бескорпусного СД.

Желательное значение температуры в точке пайки было выбрано равным 60 °С, что позволяло избежать отрицательного влияния высокой температуры на характеристики бескорпусных СД и, в то же время, не требовало применения очень крупногабаритных радиаторов. Посредством интерполяции значений светового потока, измеренных при 52,8 и 62,1 °С, было получено, что при токе 1050 мА и температуре в точке пайки 60 °С световой поток будет равен 5100 лм. Затем, при помощи уравнения (5) было рассчитано количество СД в светильнике с бескорпусными СД (исходные данные для проведения расчётов: световой поток опорного светильника – 25000 лм, коэффициент отражения имеющихся на рынке отра-

жателей – примерно 85 %, световой поток бескорпусного СД, измеренный при токе питания 1050 мА и температуре в точке пайки 60 °С, – 5100 лм), которое оказалось равным 5,8, так что количество бескорпусных СД было выбрано равным 6:

$$\begin{aligned} \text{Количество бескорпусных СД, шт.} &= \\ &= \frac{25000 \text{ лм}}{5100 \text{ лм} \cdot 0,85} = 5,8. \end{aligned} \quad (5)$$

3. Тепловое моделирование и экспериментальные исследования

3.1. Тепловое моделирование

В данной работе для проведения теплового моделирования использовалась коммерческая программа для моделирования с применением методов вычислительной газодинамики. Имеющий устройство для подвеса ребристый пластинчатый радиатор, который должен обеспечить равную 60 °С температуру в точке пайки, был сконструирован с использованием предварительного теплового моделирования; при этом учитывались производственные возможности. В результате были выбраны следующие размеры базовой пластины радиатора: 290×221×14 мм. Высота радиатора равна 76 мм, толщина ребра составляла 1 мм, а количество рёбер оказалось равным 26. На рис. 3 представлена 3-мерная модель радиатора, на которой показаны смонтированные на радиаторе бескорпусные СД.

При проведении теплового моделирования старались по возможности точно задавать свойства материалов, из которых изготовлены детали, и значения теплового сопротивления. Материалы деталей и их теплопроводности приведены в табл. 3. Для упрощения теплового моделирования, печатная плата считалась состоящей из одного слоя алюминия, а бескорпусной СД считался состоящим из двух слоёв: СД кристалла и его защитного покрытия. Теплопроводности защитного покрытия СД [15], нержа-



Рис. 3. Трёхмерная модель светильника с пластинчатым ребристым радиатором

Теплопроводность материалов, из которых изготовлены детали

Материал	Теплопроводность, Вт/(м·К)
Al 1050 (радиатор)	222
Al 5052 (печатная плата)	140 (при 273 К)
SiC (СД кристалл)	Между 150 и 126,6 (при 293–473 К)
Наружное покрытие СД	0,2
Нержавеющая сталь 304 (устройство для подвеса)	16,2

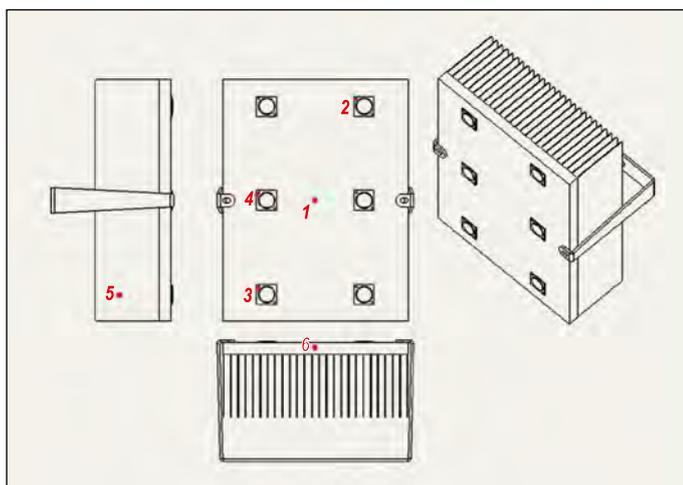


Рис. 4. Точки измерения температуры

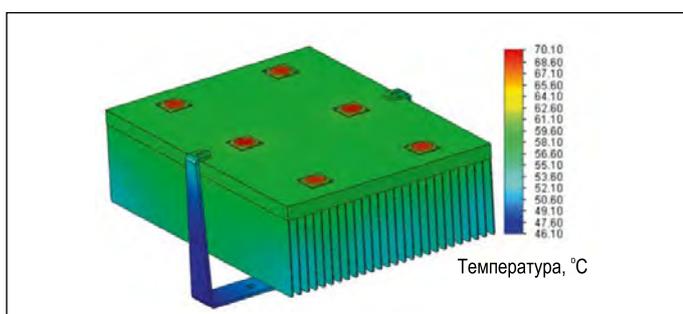


Рис. 5. Рассчитанное распределение температуры

вующей стали 304, из которой изготовлено устройство для подвеса [16], и алюминия 1050, из которого изготовлен радиатор [17], были выбраны равными, соответственно, 0,2, 16,2 и 222 Вт/(м·К).

Тепловое сопротивление теплопроводной пасты между печатной платой и радиатором, равное примерно $0,17 \text{ К}\cdot\text{см}^2/\text{Вт}$, было взято из каталога производителя для наименьшего значения давления ($5 \text{ Н}/\text{см}^2$) [18]. Тепловое сопротивление между устройством для подвеса и радиатором было принято равным $3,3 \text{ К}\cdot\text{см}^2/\text{Вт}$, а тепловое сопротивление между кристаллом СД и печатной платой, оказавшееся равным $0,9 \text{ К}\cdot\text{см}^2/\text{Вт}$, было получено, исходя из приведённого в спецификации на выбранный бескорпусной СД теплового сопротивления между p - n -переходом и точкой пайки. При проведении теплового моделирования температура воздуха считалась равной $24 \text{ }^\circ\text{C}$. Тепловая мощность бескорпусного СД, для 6-ти СД оказавшаяся равной $129,84 \text{ Вт}$, была определена для тока пи-

тания 1050 мА и температуры в точке пайки $60 \text{ }^\circ\text{C}$ на основе данных, приведённых в табл. 2.

Анализ чувствительности к размерам сетки был выполнен с использованием различных конфигураций сетки, которые приведены в табл. 4. Максимальная температура оказалась зависящей от количества элементов сетки. В данной работе использовались результаты, полученные в случае сетки № 4, так как при дальнейшем увеличении количества элементов не наблюдалось сколь-нибудь заметного изменения максимальной температуры.

В тепловой модели были указаны 6 точек измерения температуры (рис. 4). Посредством теплового моделирования были определены равные, соответственно, $59,7$, $59,7$ и $60,4 \text{ }^\circ\text{C}$, значения температуры в точках 2, 3 и 4, соответствующих точкам пайки различных бескорпусных СД. Эти полученные в результате теплового моделирования значения температуры согласуются с равной $60 \text{ }^\circ\text{C}$ температурой в точках пайки, которая использовалась на первой стадии проектирования при определении значений светового потока и тепловой мощности. Рассчитанное распределение температуры приведено на рис. 5.

3.2. Экспериментальные исследования

Опытный образец светильника был изготовлен и испытан в целях проверки правильности методов, использовавшихся при проектировании и тепловом моделировании промышленного светильника с большой высотой подвеса с бескорпусными СД. Вначале из куска алюминия был изготовлен радиатор, у которого была сглажена шероховатость поверхности, на которой должны были монтироваться СД. Были просверлены крепёжные отверстия. Изготовленный радиатор показан на рис. 6.

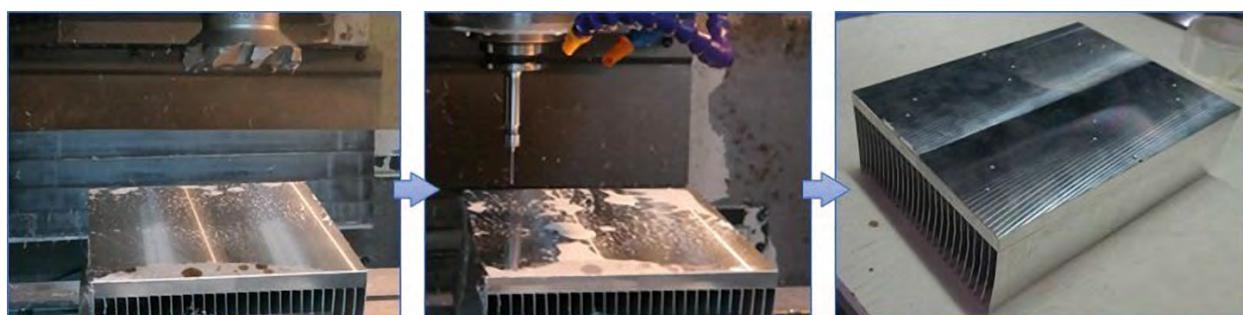


Рис. 6. Изготовленный радиатор

Анализ чувствительности к размерам сетки

Сетка	Количество исходных элементов сетки (<i>solid mesh elements</i>), шт.	Полное количество элементов сетки, шт.	Максимальная температура, °С
1	273705	753648	68,9
2	403717	1188612	69,4
3	520764	1492682	70,0
4	663822	1864318	70,1
5	1170087	3271968	70,1
6	1683470	4615745	70,1

После этого была произведена сборка светильника, которая состояла из следующих этапов (рис. 7):

1. Очистка поверхности изопропиловым спиртом, необходимая в связи с тем, что появляющиеся в процессе изготовления загрязнения поверхности отрицательно сказываются на процессе теплопередачи.

2. Припаивание термопар в точках пайки бескорпусных СД.

3. Нанесение термопасты между печатной платой с бескорпусными СД и радиатором, с тем чтобы улучшить теплопередачу.

4. Монтаж бескорпусных СД на радиаторе.

5. Сборка электрической схемы и закрепление устройства для подвеса светильника.

Изготовленный опытный образец светильника был испытан в лабораторных условиях. Светильник подвешивали таким образом, чтобы он ничего не касался, как это и было при проведении компьютерного теплового моделирования (рис. 8). При проведении измерений, скорость и температура воздуха контролировались измерительными приборами с использованием двух датчиков для изменения температуры воздуха и одного датчика термоанемометра. В процессе измерений температура воздуха составляла 24–24,5 °С, а скорость воздуха не превышала 0,04 м/с. Для того, чтобы можно было сравнить результаты измерений и теплового моделирования, термопары были установлены в показанных на рис. 4 точках опытного образца. Изменение температуры во времени регистрировались при помощи цифрового мультиметра. Датчики и вся измерительная установка в целом показаны на рис. 9.

Измеренные зависимости температуры от времени приведены на рис. 10, из которого следует, что температура

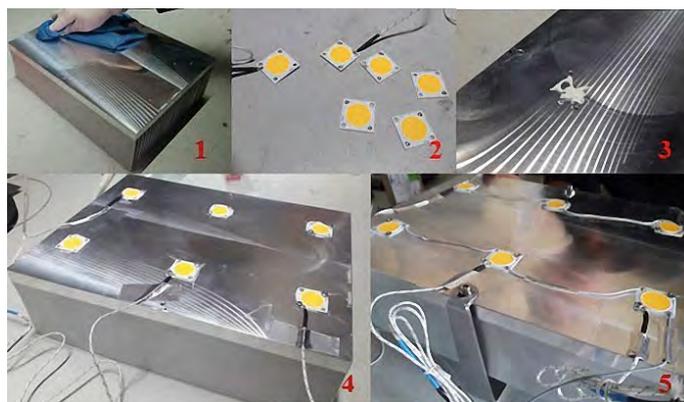


Рис. 7. Этапы сборки опытного образца светильника с бескорпусными СД

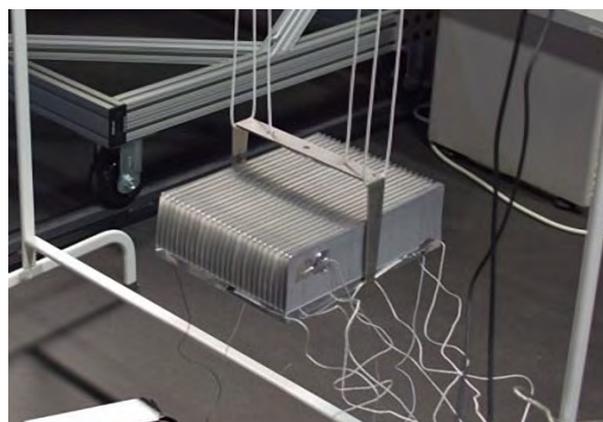


Рис. 8. Подвешенный опытный образец светильника



Рис. 9. Датчики и измерительная установка в целом

Результаты измерений и расчётов

Характеристика	Значение
Полная электрическая мощность, подводимая к устройствам управления, Вт	246
Полная электрическая мощность, подводимая к СД, Вт	218,5
КПД устройств управления, %	88,8
Мощность оптического излучения, Вт	94,8
Световой поток, лм	31200
КЦТ, К	3923
ИЦП	82,42
КПД СД, %	43,4
Световая отдача СД, лм/Вт	142,8
Тепловая мощность, Вт	123,7

со временем возрастает вплоть до наступления термического равновесия. Сравнение наибольших из зарегистрированных разными термопарами значений температуры и соответствующих результатов теплового моделирования будет проведено в разделе 4.

Световой поток, мощность оптического излучения, КЦТ и ИЦП измеряли в интегрирующей сфере диаметром 2 м после достижения опытным образцом термического равновесия (рис. 11). Питание опытного образца осуществлялось при помощи двух отдельных устройств управления, каждое из которых обеспечивало постоянный ток 1050 мА. Напряжения на СД также измеряли для каждой из этих схем по отдельности, а полную электрическую мощность, подводимую к СД устройствами управления, определяли умножением тока на измеренные значения напряжения. КПД устройств управления определяли делением подводимой к СД электрической мощности на электрическую мощность, подводимую к устройствам управления. Кроме того, при помощи уравнений (3), (4) и (2) определяли, соответственно, КПД, световые отдачи и тепловые мощности СД. Результаты измерений и расчётов приведены в табл. 5. Сравнение результатов измерений светильника и измерений характеристик одного бескорпусного СД будет проведено в разделе 4.

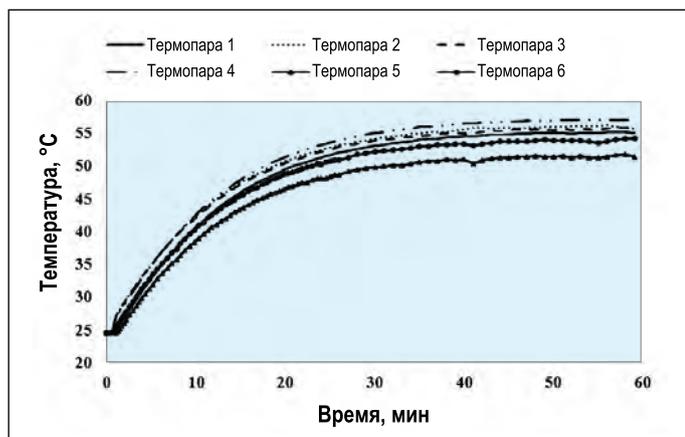


Рис. 10. Зависимости температуры в точках измерения от времени

В данной работе поэтапно описан процесс создания промышленного светильника с большой высотой подвеса с бескорпусными СД. Результаты измерений, произведённых в точках измерения температуры опытного образца светильника, и данные, полученные методом теплового моделирования, приведены в табл. 6. Наибольшее расхождение между результатами теплового моделирования и измерений составило $-6,9\%$, что можно считать приемлемым и говорит о правомочности сделанных допущений и тепловой модели.

Измеренные в начале работы значения характеристик одного бескорпусного СД были распространены на шесть СД. Расхождение между расчётами, произведёнными на основе результатов измерений характеристик бескорпусного СД, и измеренными характеристиками опытного образца светильника приведены в табл. 7. В этом случае приведённые в табл. 6 расхождения между результатами теплового моделирования и результатами измерений можно объяснить различиями между характеристиками одного бескорпусного СД, которые были измерены в начале работы, и характеристиками шести бескорпусных СД, которые были использованы в опытном образце светильника. Кстати, в каталоге производителя характеристики СД приведены с допусками ($\pm 7\%$ для световых потоков выбранных бескорпусных СД).

Полученные результаты говорят о необходимости определения характеристик бескорпусных СД источников света, которые предполагается использовать, в самом начале процесса проектирования. Затем следует осуществить тепловое моделирование, с тем чтобы подтвердить способность системы охлаждения обеспечить требуемые значения температуры. И наконец, достоверность результатов теплового моделирования следует проверить посредством измерения характеристик опытного образца, который должен быть изготовлен перед началом серийного производства. Другой результат данного исследования состоит в том, что при подходящей системе управления тепловыми процессами бескорпусные СД можно использовать в мощных светильниках как альтернативу однокристалльным СД, которые обычно используются в представленных на рынке светильниках. Это позволит сократить как количество СД в светильнике, так и количество конструктивных проблем. С другой стороны, принимая оптические потери равными 15% , опытный образец светильника с бескорпусными СД,

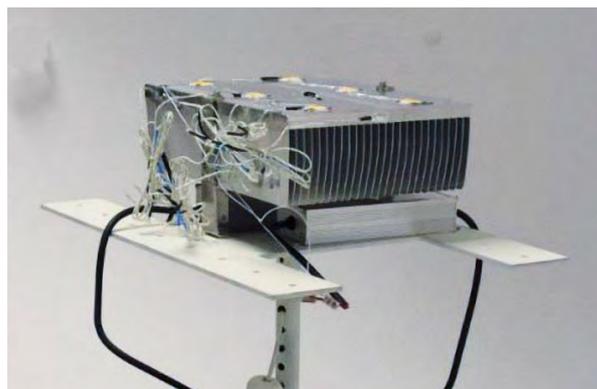


Рис. 11. Измерение характеристик опытного образца светильника в интегрирующей сфере диаметром 2 м

Сравнение значений температуры, определённых экспериментально и в результате теплового моделирования

Номер термопары	Эксперимент, °С	Тепловое моделирование, °С	Расхождение, %
1	55,16	58,47	-6,0
2	56,20	59,67	-6,2
3	55,83	59,66	-6,9
4	57,05	60,37	-5,8
5	51,78	54,63	-5,5
6	54,25	57,52	-6,0

Таблица 7

Сравнение измеренных характеристик опытного образца светильника и результатов расчётов на основе результатов измерений бескорпусных СД

Характеристика	Опытный образец	Расчёты на основе результатов измерений бескорпусных СД	Расхождение, %
Мощность оптического излучения, Вт	94,8	91,2	3,8
Электрическая мощность, Вт	218,5	221	-1,1
Тепловая мощность, Вт	123,7	129,84	-5,0
Световой поток, лм	31200	30600	1,9
КПД СД, %	43,4	41,2	5,1
Световая отдача СД, лм/Вт	142,8	138,4	3,1
КЦТ, К	3923	3936	-0,3
ИЦП	82,42	82,73	-0,4

который был разработан и испытан в рамках данной работы, имеет световую отдачу, равную 108 лм/Вт. Это меньше световых отдач светильников с однокристальными СД, которые в данной работе использовались для сравнения. Однако главная цель данной работы заключалась в подтверждении правильности результатов теплового моделирования посредством сравнения их с результатами измерений характеристик опытного образца промышленного светильника с бескорпусными СД, в основу создания которого были положены результаты измерений характеристик одного бескорпусного СД. Правильность метода, который был использован в данном исследовании, была подтверждена результатами проведённого анализа. Этот метод, начиная с его самого первого этапа, можно использовать и при разработке светильников, преследующей иные цели, такие как увеличение световой отдачи и т.д.

Данная работа финансировалась исследовательским фондом Стамбульского технического университета, проект № 39766.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yung, K.C., Liem, H., Choy, H.S., Lun, W.K. Thermal performance of high brightness LED array package on PCB // Int. Communications in Heat and Mass Transfer.– 2010. – Vol. 37ю – P. 1266–1272.
2. Cheng, T., Luo, X., Huang, S., Liu, S. Thermal analysis and optimization of multiple LED packaging based on a general analyti-

cal solution // Int. Journal of Thermal Sciences.– 2010. – Vol. 49. – P. 196–201.

3. Ye, H., Mihailovic, M., Wong, C.K.Y., van Zeijl, H.W., Gielen, A.W.J., Zhang, G.Q., Sarro, P.M. Two-phase cooling of light emitting diode for higher light output and increased efficiency // Applied Thermal Engineering.– 2013. – Vol. 52. P. 353–359.

4. Deng, X., Luo, Z., Xia, Z., Gong, W., Wang, L. Active-passive combined and closed-loop control for the thermal management of high-power LED based on a dual synthetic jet actuator // Energy Conversion and Management.– 2017. – Vol. 132. – P. 207–212.

5. Yurtseven, M.B., Mete, S., Onaygil, S. The effects of temperature and driving current on the key parameters of commercially available, high-power, white LEDs // Lighting Research & Technology.– 2016. – Vol. 48. – P. 943–965.

6. Bridges, J. Extend the life of LEDs through thermal design – Part I (Magazine), www.ledsmagazine.com/articles/print/volume-12/issue-4/features/developer-forum/extend-the-life-of-leds-through-thermal-design-part-i.html. (2015, accessed 15 February 2018).

7. Lu, X., Hua, T., Liu, M., Cheng, Y. Thermal analysis of loop heat pipe used for high-power LED // Thermochimica Acta.– 2009. – Vol. 493. – P. 25–29.

8. Liu, Y. On Thermal Structure Optimization of a Power LED Lighting // Procedia Engineering.– 2012. – Vol. 29. – P. 2765–2769.

9. Li, J., Ma, B., Wang, R., Han, L. Study on a cooling system based on thermoelectric cooler for thermal management of high-power LEDs // Microelectronics Reliability.– 2011. – Vol. 51. – P. 2210–2215.

10. Deng, Y., Liu, J. A liquid metal cooling system for the thermal management of high power LEDs // Int. Communications in Heat and Mass Transfer.– 2010. – Vol. 37. – P. 788–791.

11. Chen, I.Y., Guo, M., Yang, K., Wang, C. Enhanced cooling for LED lighting using ionic wind // Int. Journal of Heat and Mass Transfer.– 2013. – Vol. 57. – P. 285–291.

12. EN12464–1: 2011. Light and lighting – Lighting of work places – Part 1: Indoor work places.

13. DIALux. <https://www.dial.de/en/dialux/> (accessed 01 April 2018).

14. Energy Institute. <http://www.enerji.itu.edu.tr/en> (accessed 10 April 2018).

15. Kolodeznyi, E.S., Ivukin, I.N., Serebryakova, V.S., Bougrov, V.E., Romanov, A.E. Thermal Analysis of Phosphor Containing Silicone Layer in High Power LEDs // Materials Physics and Mechanics.– 2014. – Vol. 21. – P. 283–287.

16. Matweb – AISI Type 304 Stainless Steel. <http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=mq304a> (accessed 10 April 2018).

17. Righton – Aluminium – 1050 H14. <http://www.righton.co.uk/PDF/Aluminium/Sheet%209010%20White%20-%20693%20Grey%20-%201050%20H14.pdf> (accessed 10 April 2018).

18. Kerafol – Keratherm Thermal Management Solutions. www.kerfol.com/fileadmin/user_upload/Thermalmanagement/downloads/2017/Kerfol_Katalog_Keratherm_FINAL.pdf (accessed 10 April 2018).

«PerfectWhite» COB-светодиоды с регулируемым спектром

Источники света с регулируемым спектром излучения – важная часть человекоцентричного освещения, и именно к ним относятся новые ИС серии «PerfectWhite» компании Luminus, которая дополнила серии ИС «Sensus» и «AccuWhite». Эта целенаправленная разработка превосходит традиционные ИС по качеству света. «PerfectWhite», свет которых очень похож на свет ГЛН (3000 К), получили одобрение светодизайнеров после испытаний, проведённых в рамках выставок «light + building» и «Lightfair». И хотя спектры этих ИС фактически совпадают (компания Luminus удалось заполнить зелёно-голубой (циановый) провал), цветовая точка СД «PerfectWhite» лежит несколько ниже линии чёрного тела, и в результате их свет не имеет свойственных ГЛН зелёно-жёлтого оттенка и наличия ИК и УФ составляющих излучения.



«Именно спектральные характеристики излучения делают ГЛН столь привлекательными, особенно для больниц и музеев, – сказал Том Йори, вице-президент компании Luminus по освещению. – В отличие от других полноспектральных СД, излучающих вредное ближнее УФ излучение, «PerfectWhite» даёт свет, воспринимаемый как свет ГЛН, что обеспечивается заполнением зелёно-голубого (цианового) провала, характерного для привычных СД».

В ряд уникальных по спектру серий COB-СД компании Luminus также входят «AccuWhite» и «Sensus».

Спектр СД «PerfectWhite» рассчитан давать индекс цветопередачи R_a , гарантированно больший 95 при типичном значении 98.

Светодизайнеры и создатели дисплеев постоянно нуждаются в изделиях с высокими R_a и индексами по $TM-30-15$, которые можно было бы использовать в наиболее ответственных случаях внутреннего освещения. При этом СД «AccuWhite» обеспечивают следующие значения индексов по $TM-30-15$: R_f (индекс точности воспроизведения цвета) = 95 и R_g (индекс цветовой гаммы) = 100, достигая при этом световой отдачи до 125 лм/Вт при температуре контрольной точки $T_c = 85^\circ\text{C}$.

А СД «Sensus» ориентированы на потребности предприятий розничной торговли, стимулируя покупателей посредством создания более волнующей, оживлённой и захватывающей атмосферы (когда белый выглядит белее, а хроматические, такие как синий и красный, выглядят ярче и привлекательнее). Спектры излучения этих СД, с коррелированными цветовыми температурами 3000 и 3500 К, обеспечивают высокий индекс цветовой гаммы ($GAI\ BB15$ достигает 20) и цветовую точку, расположенную ниже линии чёрного тела, что позволяет людям более контрастно воспринимать как чистые яркие белые цвета, так и более насыщенные хроматические. И хотя чистый белый свет дают и другие СД, СД «Sensus» делает это, не жертвуя световой отдачей, достигающей 148 лм/Вт при $T_c = 85^\circ\text{C}$.

«Наши три технологии формирования спектра служат основой для дополнительной настройки спектров, в которой особенно нуждается человекоцентричное освещение, – сказал Йори. – Хотя в этой области известно ещё далеко не всё, мы уже работаем с промышленными партнёрами над получением света, который бы обеспечивал прекрасное освещение (чтобы люди могли бы хорошо видеть) и был бы благоприятен для здоровья людей (чтобы они себя прекрасно чувствовали)».

led-professional.com
31.10.2018



Сехер Амес (Seher Ates), М. Сс. (2012 г.). Окончила Технический университет Илдиэ, Турция (2009 г.). Ассистент и аспирант (Ph. D.) Стамбульского технического университета. Область научных интересов: терморегулирование мощных СД, термический анализ систем охлаждения, пассивные методы охлаждения и использование тепловых трубок в осветительных приборах с СД



Мустафа Бекер Юртсевен (Mustafa Berker Yurtseven), М. Сс. (2006 г.), Ph. D. (2017 г.). Окончил Стамбульский университет (2003 г.). Область научных интересов: фотометрические и радиометрические измерения СД, терморегулирование и статистический анализ



Сермин Онайгил (Sermin Onaygil), М. Сс. (1983 г.), Ph. D. (1990 г.), проф. Научный сотрудник Энергетического института Стамбульского технического университета, руководитель отделения по планированию и регулированию потребления энергии. Член-учредитель Турецкой национальной комиссии по освещению, в настоящее время является председателем этой комиссии. Представитель Турции в отделении 4 МКО, в работе

которого принимает активное участие в качестве заместителя руководителя этого отделения. Научные интересы: общее освещение, а также дорожное освещение и освещение тоннелей, автоматизация и обеспечение энергоэффективности