

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ РАССЕЙВАЕМОЙ МОЩНОСТИ СВЕТОДИОДНЫМ МОДУЛЕМ

Т. Н. Савкова¹, А. И. Кравченко², Е. Н. Подденежный³,
Ю. Н. Колесник¹, А. А. Бойко²

*Кафедра «Электроснабжение», sa_ta@mail.ru (1); кафедра «Физика», (2);
Научно-исследовательская лаборатория технической керамики
и наноматериалов (3), УО «Гомельский государственный
технический университет им. П. О. Сухого»,
г. Гомель, Республика Беларусь*

Ключевые слова: калориметр; рассеиваемая мощность; светодиод; энергетическая эффективность.

Аннотация: Разработан способ определения средней рассеиваемой мощности светодиодным модулем с помощью калориметра. Представлены результаты измерений для светодиодного модуля ARPL-50W White 6000K, которые нашли подтверждение при измерении средней мощности светового излучения с использованием калиброванного спектрорадиометрического комплекса.

Основная проблема при создании светодиодных осветительных установок с высоким световым потоком заключается в эффективности преобразования электрической энергии в оптическое излучение. Увеличение рабочего тока в целях повышения яркости светодиодной лампы приводит к увеличению тепловыделения и повышению температуры активной области светодиодной структуры. Перегрев светодиодов уменьшает световую отдачу, ограничивает максимальную оптическую мощность, снижает срок службы. Поэтому анализ рабочего теплового режима [1, 2] и световой отдачи светодиодных структур требует детального изучения.

На сегодняшний день определение средней рассеиваемой мощности производят косвенным способом по измерению средней мощности светового излучения с использованием калиброванного спектрорадиометрического комплекса с интегрирующей сферой. Световое излучение исследуемого светодиода (СД) направляют в интегрирующую сферу и сравнивают с излучением эталонной лампы. Далее через световод из оптического волокна излучение подают в спектрорадиометр, цифровой измеритель мощности и персональный компьютер. Результаты измерений обрабатывают с помощью программных комплексов на персональном компьютере [3]. Для осуществления таких измерений необходимо использовать дорогостоящее и сложное измерительное оборудование. В процессе измерений не учитывают изменение температуры, что существенно влияет на погрешность измерений.

Авторами работы [4] создана математическая модель теплового режима светодиодов и светодиодных ламп, позволяющая исследовать зависимость теплового сопротивления и теплоемкости от температуры кристалла и подложки светодиода. Однако при оценке тепловой мощности светодиодов применяют метод калибровки измерительной камеры в стационарном режиме, полагая, что значение свето-

вой мощности, излучаемой светодиодом, равно нулю. Пренебрегая значением световой энергии, точность определения теплового сопротивления, тепловой и световой мощности СД очень низкая.

Цель данной работы – разработка способа определения средней рассеиваемой мощности светодиодным модулем, повышение достоверности полученного результата при значительном удешевлении предлагаемого способа.

Способ измерения средней рассеиваемой мощности светодиодным модулем заключается в том, что в калориметр с отверстием для вывода излучения устанавливают СД, подключенный к блоку питания. Измеряют температуру элементов калориметра, СД и окружающей среды, а затем по результатам измерений вычисляют среднюю рассеиваемую мощность P_p :

$$P_p = (Q_1 + Q_2 + Q_3) / t, \quad (1)$$

где Q_1 – тепловая энергия, отдаваемая поверхностью СД, Дж; Q_2 – тепловая энергия, которая расходуется на нагрев элементов калориметра и подложки СД, Дж; Q_3 – тепловая энергия, отдаваемая внешней поверхностью калориметра вследствие конвекции, Дж; t – время измерения, с.

Особенность предлагаемого способа заключается в разделении тепловой и световой энергий излучения светодиодов с помощью калориметра (рис. 1) [5].

В корпус 1 калориметра, изготовленного из плотного теплоизолирующего водонепроницаемого материала – пеноплекса, устанавливают радиатор 3 в виде алюминиевого блока цилиндрической формы с закрепленным СД 4 и свободное пространство полости заполняют жидкостью 2 со свойствами диэлектрика с большой удельной теплоемкостью – дистиллированной водой.

Съемную крышку 5 калориметра закрепляют так, чтобы излучающая поверхность 7 СД 4 полностью совпадала с технологическим отверстием для вывода энергии светового и теплового излучения. С помощью микроконтроллера, управляемого персональным компьютером, устанавливают и поддерживают через блок

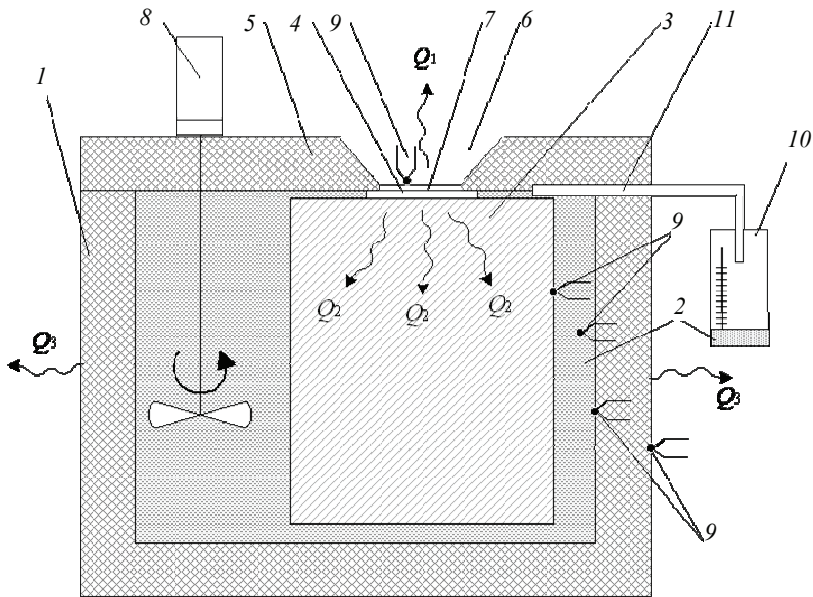


Рис. 1. Калориметр, для измерения средней рассеиваемой мощности СД:
 1 – корпус калориметра; 2 – жидкость; 3 – радиатор; 4 – СД; 5 – съемная крышка;
 6 – технологическое отверстие для вывода энергии светового излучения СД;
 7 – излучающая поверхность СД; 8 – мешалка; 9 – термодатчики;
 10 – мерный закрытый сосуд; 11 – патрубков

питания постоянную потребляемую СД 4 мощность и одновременно измеряли температуру всех элементов калориметра и СД: температуру корпуса 1 калориметра, радиатора 3, жидкости 2, а также окружающей среды в течение времени проведения измерений. С увеличением температуры объем жидкости увеличивался, излишки удалялись из калориметра с помощью патрубка 11 и собирались в мерном закрытом сосуде 10, что позволяло поддерживать постоянный уровень жидкости в калориметре и точнее учитывать тепловыделение.

Количество теплоты, отдаваемое поверхностью СД складывается, из излучаемой энергии и уносимой конвекционным потоком

$$Q_1 = Q_{\text{и}} + Q_{\text{к}}. \quad (2)$$

Так как, температура поверхности СД устанавливалась практически мгновенно, то энергию теплового излучения поверхности определяли на основании закона Стефана–Больцмана по формуле [3]

$$Q_{\text{и}} = \alpha_1 \sigma T_A^4 s_1 t, \quad (3)$$

где α_1 – коэффициент черноты поверхности СД; σ – постоянная закона Стефана–Больцмана; s_1 – площадь излучающей поверхности СД, м²; T_A – температура на поверхности СД, К; t – время проведения опыта, с.

Для расчета количества теплоты, обусловленного конвекцией с поверхности СД, использовали формулу Ньютона, в которой тепловой поток считается пропорциональным разности температур между теплоносителем и окружающей средой [6]

$$Q_{\text{к}} = \gamma (T_A - T_0) s_1 t, \quad (4)$$

где γ – коэффициент теплоотдачи; T_0 – температура окружающей среды, °С.

Количество тепла Q_2 , которое расходуется на нагрев радиатора, крепежа, медной подложки СД, жидкости и пеноплекса, рассчитывали по формуле

$$Q_2 = c_{\text{Al}} m_{\text{р}} \Delta T_{\text{р}} + c_{\text{Fe}} m_{\text{Fe}} \Delta T_{\text{Fe}} + c_{\text{Cu}} m_{\text{Cu}} \Delta T_{\text{Cu}} + c_{\text{ж}} m_{\text{ж}} \Delta T_{\text{ж}} + c_{\text{п}} m_{\text{п}} \Delta T_{\text{п}}, \quad (5)$$

где c_{Al} , c_{Fe} , c_{Cu} , $c_{\text{ж}}$, $c_{\text{п}}$ – удельная теплоемкость алюминиевого радиатора, железа (крепежа), подложки СД (медь), жидкости и пеноплекса соответственно, Дж/(кг·К); $m_{\text{р}}$, m_{Fe} , m_{Cu} , $m_{\text{ж}}$, $m_{\text{п}}$ – масса радиатора, крепежа, подложки СД, жидкости и пеноплекса соответственно, г; $\Delta T_{\text{р, Fe, Cu, ж}} = (T_2 - T_1)$ – разность температур элементов калориметра (T_1 – начальная температура, T_2 – конечная температура, $\Delta T_{\text{п}} = (T_{\text{ср}} - T_1)$ – приращение температуры пеноплекса (корпуса калориметра), $T_{\text{ср}}$ – средняя температура пеноплекса в конце измерений).

Энергию, отдаваемую внешней поверхностью калориметра в окружающую среду вследствие конвекции Q_3 определяли по формуле

$$Q_3 = \gamma (T_F - T_0) s_2 t, \quad (6)$$

где s_2 – площадь внешней поверхности пеноплекса; T_F – температура на внешней поверхности калориметра, которая рассчитывается по формуле

$$T_F = \int_0^t (T_0 + kt) dt = T_0 t + \frac{k t^2}{2}; \quad (7)$$

k – коэффициент нарастания температуры внешней поверхности калориметра.

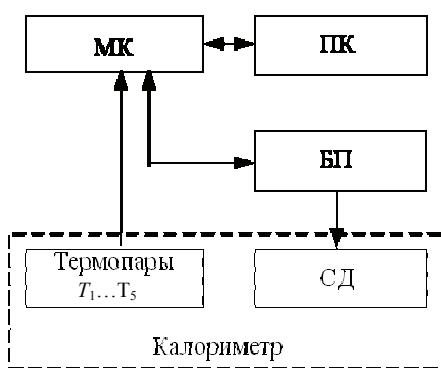


Рис. 2. Блок-схема экспериментальной установки для измерения средней рассеиваемой мощности СД:
 МК – микроконтроллер; БП – блок питания; СД – светодиод;
 ПК – персональный компьютер

технической терминологии – энергетическая отдача излучения).

Вычисления средней рассеиваемой мощности светодиодным модулем ARPL-50W White 6000K, измеренной с использованием калориметра, показали, что тепловая энергия, выделяемая СД поверхностью в течение двух часов Q_1 , составляет 16219,6 Дж, энергия, переданная СД элементам калориметра и подложке Q_2 , – 233245,1 Дж, а энергия, отдаваемая внешней поверхностью калориметра в окружающую среду Q_3 , – порядка 1464,0 Дж, что в сумме составляет 250928,7 Дж, а величина средней рассеиваемой мощности составляет 34,9 Вт, что равно 70 % от потребляемой мощности. Таким образом, средняя мощность светового излучения СД составляет 15,2 Вт, а энергетическая эффективность – порядка 30 % при 5%-й погрешности измерений.

Результаты вычислений средней рассеиваемой мощности для данного светодиодного модуля нашли свое подтверждение при измерении средней мощности светового излучения с использованием калиброванного спектрометрического комплекса с интегрирующей сферой DTF-320-201 (рис. 3).

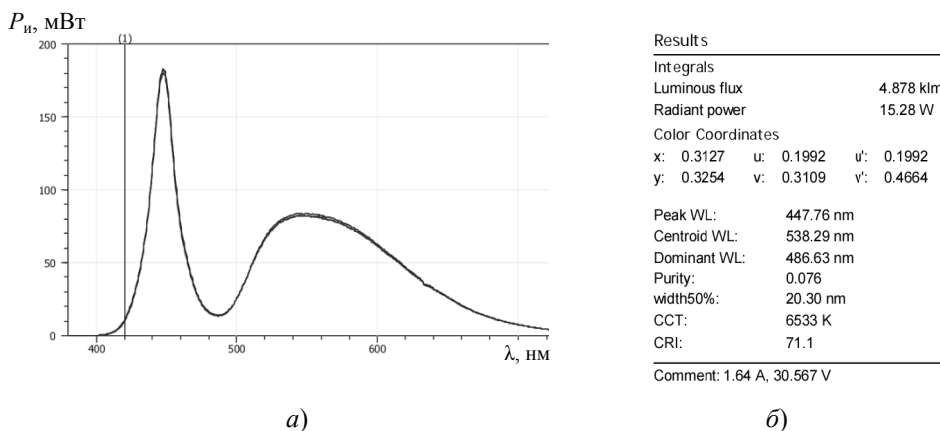


Рис. 3. Спектральный состав излучения ARPL-50W White 6000K (а) и результаты измерений (б)

Разработан новый способ определения средней рассеиваемой мощности СД с использованием калориметра, в котором происходит разделение тепловой и световой энергии излучения мощных светодиодов. Данный способ может быть использован для контроля качества светодиодов, а также при проектировании осветительных устройств на их основе.

Список литературы

1. Николаев, Д. Светодиодные светильники: ваш первый опыт / Д. Николаев, С. Щеглов, А. Феопентов // Полупроводниковая светотехника. – 2009. – № 1. – С. 37 – 41.
2. Никифоров, С. Температура в жизни и работе светодиодов / С. Никифоров // Компоненты и технологии. – 2005. – № 9. – С. 140 – 146.
3. Пат. 2261418 Российская Федерация, МПК G 01 K 17/00. Калориметр / Маргулис М. А. ; заявитель и патентообладатель Государственное унитарное предприятие «Акустический институт им. академика Н. Н. Андреева». – № 2002113684/28 ; заявл. 27.05.2002 ; опубл. 27.09.2005, Бюл. № 27. – 6 с.
4. Энергетические характеристики светодиодов и светодиодных ламп / А. В. Пуговкин [и др.] // Докл. Томск. гос. университета систем управления и радиоэлектроники. – 2011. – № 2(24), Ч. 2. – С. 164 – 168.
5. Пат. 10562 Республика Беларусь, МПК G01K 17/06, H 01L21/67. Калориметр / Т. Н. Савкова, А. И. Кравченко ; заявитель и патентообладатель Гомель. гос. техн. университет им. П.О. Сухого. – № 20140268 ; заявлен 21.07.2014 ; опубл. 17.11.2014.
6. Болгарский, А. В. Термодинамика и теплопередача : учеб. для вузов / А. В. Болгарский, Г. А. Мухачев, В. К. Щукин. – М. : Высш. шк., 1975. – 495 с.

The Determination of Average Dissipation Power for LED Module

T. N. Savkova¹, A. I. Kravchanko², E. N. Poddenezhny³, Yu. N. Kolesnik¹, A. A. Boiko²

*Department “Power Supply”, sa_ta@mail.ru (1); Department “Physics” (2);
Scientific research laboratory of technical ceramics and nanomaterials (3)
The Sukhoi State Technical University of Gomel, Belarus*

Keywords: calorimeter; dissipation power; energy efficiency; LED.

Abstract: Method for determination of average dissipation power for LED module using a calorimeter is proposed and the measurement results are presented for the LED module ARPL-50W White 6000K, which were confirmed when measuring the average power of light using a calibrated complex spectroradiometer.

References

1. Nikolaev D., Shcheglov S., Feopentov A. *Poluprovodnikovaya svetotekhnika*, 2009, no. 1, pp. 37-41.
2. Nikiforov S. *Komponenty i tekhnologii*, 2005, no. 9, pp. 140-146.
3. Margulis M.A., State Unitary Enterprise “Acoustic Institute named after Academician N.N. Andreev”, *Kalorimetr* (Calorimeter), Russian Federation, 1994, Pat. 2261418, 6 p.

4. Pugovkin A.V., Steppe V.S., Antonova A.Y., Jeremic M.E. *Doklady Tomskogo gosudarstvennogo universiteta sistem upravleniya i radioelektroniki* (Reports of the Tomsk State University of Control Systems and Radio Electronics), Tomsk, 2011, no. 2 (24), part 2, pp. 164-168.

5. Savkova T.N., Kravchenko A.I., Sukhoi P.O. State Technical University of Gomel, *Kalorimetr* (Calorimeter), Republic of Belarus, 2014, Pat. 10562.

6. Bolgarskii, A.V., Mukhachev G.A., Shchukin V.K. *Termodinamika i teplopereдача : ucheb. dlya vuzov* (Thermodynamics and heat transfer: a textbook for high schools), M.: Vyssh. shk., 1975, 495 p.

Bestimmung der mittleren zerstreuten Leistung vom LED-Modul

Zusammenfassung: Es ist ein Verfahren zum Bestimmen der Durchschnittsverlustleistung vom LED-Modul zur Kalorimetrie erarbeitet. Es sind die Ergebnisse der Messungen für das LED-Modul ARPL-50W Weiß 6000K, die bei der Messung der durchschnittlichen Leistung des Lichts unter Verwendung eines kalibrierten spektrometrischen Komplex bestätigt wurden, angeführt.

Détermination de la puissance moyenne diffusée par un module DEL

Résumé : Est élaboré un moyen de la définition de la puissance moyenne diffusée par un module DEL à l'aide du calorimètre. Sont présentés les résultats des mesures pour le module DEL ARPL-50W White 6000K, qui ont trouvé sa confirmation lors de la mesure de la puissance moyenne du rayonnement de la lumière avec l'utilisation du complexe spectroradiométrique.

Авторы: *Савкова Татьяна Николаевна* – аспирант кафедры «Электроснабжение»; *Кравченко Александр Ильич* – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Физика»; *Подденежный Евгений Николаевич* – доктор химических наук, главный научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории технической керамики и наноматериалов; *Колесник Юрий Николаевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроснабжение», директор института повышения квалификации и переподготовки кадров; *Бойко Андрей Андреевич* – доктор технических наук, доцент кафедры «Физика», проректор по научной работе, УО «Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого», г. Гомель, Республика Беларусь.

Рецензент: *Дмитриев Олег Сергеевич* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Физика», ФГБОУ ВПО «ГГТУ».
