

УДК 536.621.1+628.95+535.24

## ИЗМЕРЕНИЕ ЭНЕРГИИ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ МОЩНОГО СВЕТОДИОДНОГО МОДУЛЯ

Т. Н. САВКОВА, А. И. КРАВЧЕНКО

Учреждение образования «Гомельский государственный  
технический университет имени П. О. Сухого»,  
Республика Беларусь

### Введение

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

### Основная часть

Измерение энергии тепловых потерь (тепловых потерь) проводилось косвенным методом с помощью калориметра-интегратора (калориметра). Исследования проводились на коммерчески доступных светодиодных модулях белого света с потребляемой мощностью 50 Вт, на медной подложке (размером 40 × 45 мм) которых располагались 5 рядов светодиодных ячеек по 10 штук в каждом. Блок-схема экспериментальной установки определения тепловых потерь светодиодного модуля (СДМ) представлена на рис. 1.

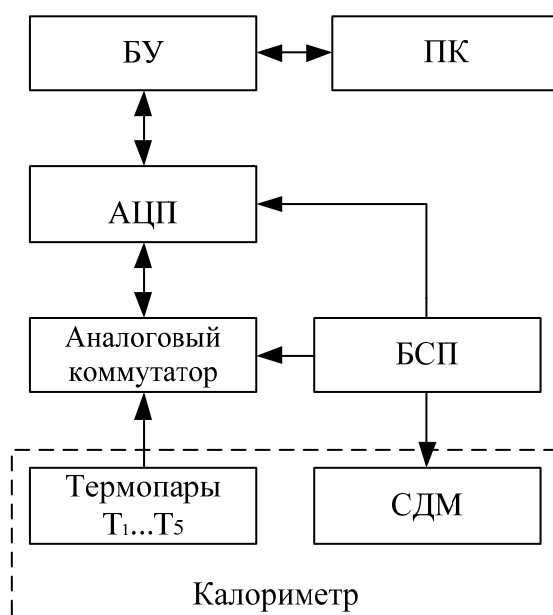


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки для измерения энергии тепловых потерь СДМ: БУ – блок управления; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; БСП – блок стабилизированного питания; ПК – персональный компьютер

Основным элементом калориметрической системы является цилиндр из алюминия с выемкой для нагревателя – СДМ, помещенный в теплоизолированный корпус из плотного пеноплекса (рис. 2).

Пространство между пенопластом и блоком заполнялось дистиллированной водой. Излучение СДМ выводилось через отверстие в крышке калориметра за его пределы. Измерение температуры проводилось термопарами, установленными в различных точках калориметра, в том числе на стенке алюминиевого цилиндра и подложке СДМ, а также на излучающей поверхности СДМ и на некотором расстоянии от нее. Напряжение с термопар через аналоговый коммутатор поступало на АЦП и ПК. Блок стабилизированного питания позволял поддерживать постоянную мощность электрического тока, подводимого к СДМ. На начальном этапе все элементы калориметра были с одинаковой начальной температурой. Измерения проводились через равные промежутки времени в течение 2 ч.

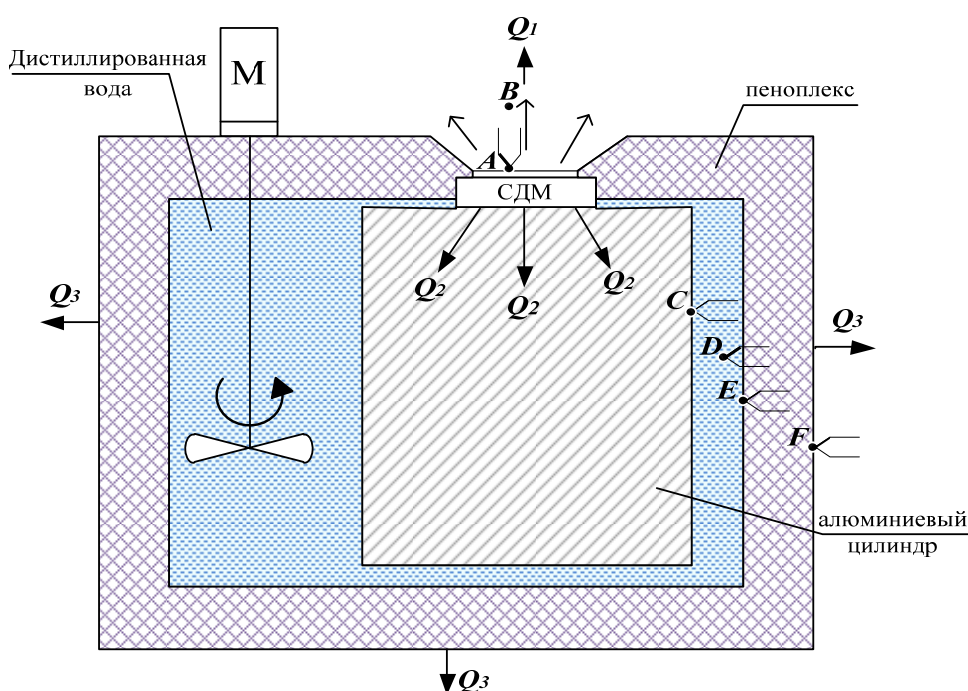


Рис. 2. Массивный калориметр-интегратор для измерения энергии тепловых потерь, выделяющейся при работе СДМ

Тепловая энергия, выделяемая светодиодным модулем, определялась суммой тепловых энергий: энергии испускаемой с поверхности СДМ, энергии, полученной калориметром, а также отданной калориметром в окружающую среду, т. е.

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3. \tag{1}$$

Тепловая энергия, отдаваемая поверхностью СДМ, складывалась из излучаемой энергии и уносимой конвекционным потоком:

$$Q_1 = Q_{и} + Q_{к}. \tag{2}$$

Так как температура поверхности СДМ устанавливалась практически мгновенно, то энергию теплового излучения поверхности можно определить на основании закона Стефана–Больцмана по формуле [3]:

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

где  $\alpha$  – коэффициент черноты поверхности СДМ;  $\sigma$  – постоянная закона Стефана–Больцмана;  $s_1$  – площадь излучающей поверхности СДМ;  $T_A$  – температура на поверхности СДМ в точке  $A$ ;  $t$  – время проведения опыта.

Для расчета тепловой энергии, обусловленной конвекцией с поверхности СДМ, мы воспользовались законом Ньютона, в котором тепловой поток считается пропорциональным разности температур между теплоносителем и окружающей средой [3]:

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

где  $\gamma$  – коэффициент теплоотдачи;  $T_0$  – температура окружающей среды.

Тепловая энергия  $Q_2$ , которая пошла на нагрев алюминиевого цилиндра, крепежа, медной подложки СДМ, дистиллированной воды и пеноплекса:

$$Q_2 = c_{ал} \cdot m_{ал} \cdot \Delta T_{ал} + c_{ж} \cdot m_{ж} \cdot \Delta T_{ж} + c_{м} \cdot m_{м} \cdot \Delta T_{м} + c_{в} \cdot m_{в} \cdot \Delta T_{в} + c_{п} \cdot m_{п} \cdot \Delta T_{п}, \quad (5)$$

где  $c_{ал}$  – удельная теплоемкость алюминия;  $m_{ал}$  – масса алюминиевого цилиндра;  $c_{ж}$  – удельная теплоемкость железа (крепежа);  $m_{ж}$  – масса крепежа;  $c_{м}$  – удельная теплоемкость подложки СДМ (медь);  $m_{м}$  – масса подложки СДМ;  $c_{в}$  – среднее значение удельной теплоемкости дистиллированной воды;  $m_{в}$  – масса воды;  $c_{п}$  – удельная теплоемкость пеноплекса;  $m_{п}$  – масса пеноплекса;  $\Delta T = (T_2 - T_1)$ , где  $T_1$  и  $T_2$  – начальная и конечная температура элементов калориметра;  $\Delta T_n$  – определялась как разность средней температуры пеноплекса  $\left(\frac{T_E + T_F}{2}\right)$  и начальной.

В расчете  $Q_2$  не учитывалась зависимость теплоемкости и плотности воды от температуры, а также тепловая энергия от мешалки (в виду их незначительности).

Тепловые потери с поверхности калориметра  $Q_3$  определялись конвекционным потоком (тепловое излучение незначительно) по формуле

$$Q_3 = \gamma(T_{F\text{cp}} - T_0)s_2 \cdot t, \quad (6)$$

где  $s_2$  – площадь внешней поверхности пеноплекса;  $T_{F\text{cp}}$  – средняя температура на поверхности пеноплекса в точке  $F$ .

Результаты вычислений, выполненных на основании ряда измерений по формулам (1)–(6) представлены в таблице.

**Результаты вычисления средней энергии тепловых потерь СДМ 50Вт, измеренных с помощью массивного калориметра-интегратора**

Обозначение	Среднее значение тепловой энергии за 2,1 ч, Дж	Средняя мощность тепловых потерь $P$ , Вт	Средняя мощность в % от подводимой мощности к СДМ 50Вт
$Q_{1\text{cp}}$	17571,24	2,25	4,50
$Q_{2\text{cp}}$	252682,1	32,39	64,79
$Q_{3\text{cp}}$	1586	0,20	0,40
$Q_{\text{cp}}$	271839,34	34,85	69,70

В результате измерений было установлено, что средняя мощность тепловых потерь СДМ составила порядка 70 % от измеряемой мощности при 5 % погрешности измерений.

Измерение средней мощности теплового излучения нашло свое подтверждение при измерениях средней мощности светового излучения с использованием калиброванного спектрометрического комплекса с интегрирующей сферой DTF-320-201.

Структурная схема спектрометрического комплекса изображена на рис. 3. Световое излучение исследуемого СДМ направлялось в интегрирующую сферу, где сравнивалось с излучением эталонной лампы Osram Sylvania 1000Вт, 120В. Далее через световод из оптического волокна излучение попадало в ПЗС – спектрометр, цифровой измеритель мощности и ПК.

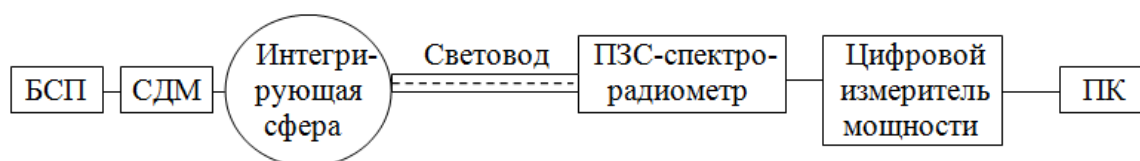


Рис. 3. Структурная схема спектрометрического комплекса

Результаты измерений были обработаны с помощью программы Spectral Analysis и представлены на рис. 4. Энергетическая эффективность для данного СДМ составила порядка 30 % (~15 Вт).

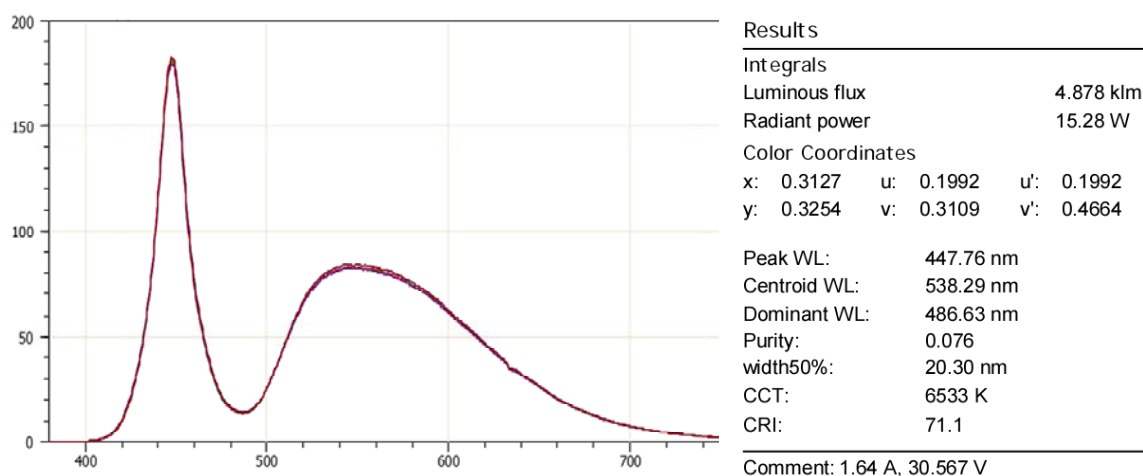


Рис. 4. Абсолютный спектральный состав излучения СДМ 50Вт

Эффективность преобразования электрической энергии в свет в СДМ видна из диаграммы (рис. 5), показывающей сравнительный баланс энергии. Для повышения качества светодиодных источников света, как нам представляется необходимо использовать светодиоды малой единичной мощности с минимальными тепловыми потерями.



Рис. 5. Баланс энергии СДМ 50Вт

### Заключение

Таким образом, предложенный метод измерений энергии тепловых потерь с использованием массивного калориметра-интегратора позволяет с достаточной точностью определять мощность тепловых потерь мощного СДМ. Результаты измерений и расчетов подтверждаются измерениями мощности светового излучения.

### Литература

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. Болгарский, А. В. Термодинамика и теплопередача : учеб. для вузов / А. В. Болгарский, Г. А. Мухачев, В. К. Щукин. – М. : Высш. шк., 1975. – 495 с.

Получено 02.07.2013 г.