

Влияние внешних факторов на параметры светодиодных ламп, измеряемые в процессе их испытаний

А. Л. Гурский¹⁾, М. Ю. Дерябина¹⁾, Н. В. Машедо²⁾

¹⁾Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, e-mail: gurskii@bsuir.by

²⁾ОАО «Испытания и сертификация бытовой и промышленной продукции «БЕЛЛИС», Минск, Беларусь, e-mail: mikalai@bellis.by

Приводятся данные о влиянии внешних факторов: подводимой электрической мощности, температуры и влажности окружающей среды – на результаты измерений зависимостей светового потока, перегрева активной области, коррелированной цветовой температуры светодиодных ламп в процессе их стендовых испытаний в течение 10000 часов. Показано, что наибольшее влияние на результаты измерений светового потока оказывают флуктуации подводимой электрической мощности, а изменение влажности влияет на величину перегрева излучателей.

Ключевые слова: светодиодные лампы; деградация; температура; влажность; электрическая мощность; световой поток; коррелированная цветовая температура; старение.

Influence of external factors on the parameters of LED lamps measured in the process of their testing

A. L. Gurskii¹⁾, M. Ju. Deryabina¹⁾, M. V. Masheda²⁾

¹⁾Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus, e-mail: gurskii@bsuir.by

²⁾JSC «Testing and certification of home appliances and industrial products «BELLIS», Minsk, Belarus, e-mail: mikalai@bellis.by

The data about impact of the external factors: input electrical power, ambient temperature and humidity on the results of measurements of dependencies of luminous flux, overheat of active region, correlated color temperature of LED lamps during their bench tests with duration of 10000 hours are presented. It is shown that the most significant influence on the results of measurements is caused by fluctuations of input electrical power, and the humidity influences on the value of overheat of radiators.

Keywords: LED lamps; degradation; temperature; humidity; electrical power; luminous flux; correlated color temperature; aging.

Введение

В связи с широким распространением светодиодных ламп как источников света актуальны вопросы оценки их надежности, в частности, прогнозирования ресурса. Существующие методики основаны, как правило, на измерениях зависимостей полного светового потока (*total luminous flux*, *TLF*) от времени с последующей экстраполяцией этой зависимости в область больших времен [1–4]. Для более точного прогнозирования, однако, требуются, во-первых, достаточно точные измерения величины TLF. Желателен также учет других величин, в частности, колориметрических, что даст более полное представление о процессах, проходящих в диодных гетероструктурах и люминофорах излучателей ламп, и соответственно уве-

личит точность прогнозирования. В ранее выполненных работах [5–9] не рассматривалось влияние внешних факторов на точность измерений. Данная работа посвящена изучению влияния внешних факторов на параметры светодиодных ламп в процессе их стендовых испытаний.

1. Методика эксперимента

В качестве экспериментальных образцов использовалась выборка из 20 коммерческих светодиодных ламп. Производителем были заявлены следующие их параметры: электрическая мощность 9 Вт; цветовая температура 4000 К; световой поток 900 лм при питании от сети переменного тока 220–240 В и потребляемом токе 80 мА. Образцы выдерживались в режиме непрерывного горения в течение 10000 часов с контролем их параметров через каждые 500 часов. Измерения спектральных (координаты цветности, цветовая температура, спектры излучения) и энергетических (световой поток) характеристик светодиодных ламп проводились по методикам, соответствующим требованиям действующих нормативных документов [10–15] и позволяющим применять для всех измерений один комплект аппаратуры.

В основу метода положено применение интегрирующей сферы. Метод реализован на базе следующего оборудования:

- лабораторный источник питания *Extech 6720* (коэффициент гармоник (THD) $\leq 0,5\%$, погрешность установки напряжения $\pm 0,5\%$; погрешность установки частоты $\pm 0,02\%$; нестабильность напряжения питания $\leq 0,5\%$);
- анализатор мощности *Yokogawa WT210* (погрешность измерения напряжения, мощности, силы тока, коэффициента мощности $\pm 0,1\%$);
- регистратор температуры *Yokogawa XL122* с термопарой типа *K* (погрешность измерения температуры $\pm 1\text{ }^\circ\text{C}$);
- комплект оборудования фирмы *Bentham Instruments Ltd*, куда входят
 - фотометрическая сфера *IS 1800* $\varnothing 1,8\text{ м}$;
 - эталонный источник излучения *TSRF-1800-250W* с длиной волны излучения 350–800 нм;
 - двойной монохроматор-спектрометр *IDR 300* (разрешающая способность 0,3 нм, погрешность установки длины волны $\pm 0,1\text{ нм}$);
 - датчик светового потока *DH400 VL* (спектральный диапазон 380–780 лм, линейность $< 0,2\%$, фотопическое несоответствие $< 3\%$, погрешность углового распределения в апертуре $< 1,5\%$).

Элементы измерительной установки своевременно подвергались калибровке и использовались при измерениях параметров выборки испытуемых и контрольных образцов ламп в течение всего периода испытаний. Отличительной особенностью метода измерений является обязательный предварительный прогрев образцов в течение не менее 30 мин. для стабилизации их параметров перед проведением измерений. Дополнительно осуществлялся прямой контроль температуры на поверхности светодиодов ламп с помощью тепловизора *Testo 868* при снятом защитном рассеивателе лампы. В качестве внешних влияющих факторов анализировались подводимая к лампе электрическая мощность, измеряемая с помощью вышеописанного оборудования, а также температура и влажность окружающей

среды, определяемые средствами мониторинга, применяемыми в испытательной лаборатории.

2. Результаты и их обсуждение

На рис. 1 приведены зависимости полного светового потока и коррелированной цветовой температуры (ССТ) для выборки испытуемых ламп от времени, а на рис. 2 – зависимости среднего по выборке значения ССТ и температуры поверхности диодных излучателей для выборки из трех ламп от времени. Отметим, что в ходе испытаний два образца (№ 7 и № 19) вышли из строя после 2000 и 9000 часов наработки соответственно (катастрофический отказ).

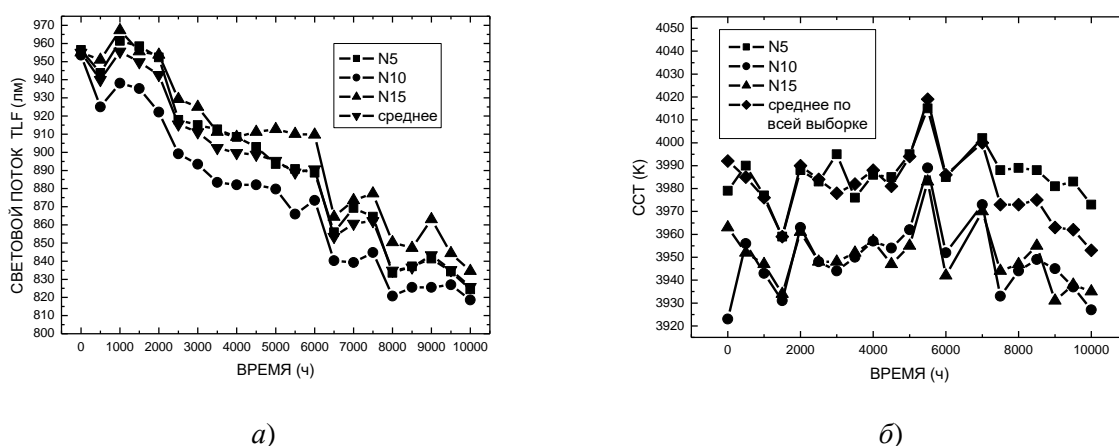


Рис. 1. Зависимости полного светового потока TLF (а) и коррелированной цветовой температуры ССТ (б) для трех образцов из выборки от времени наработки в интервале 0–10000 часов

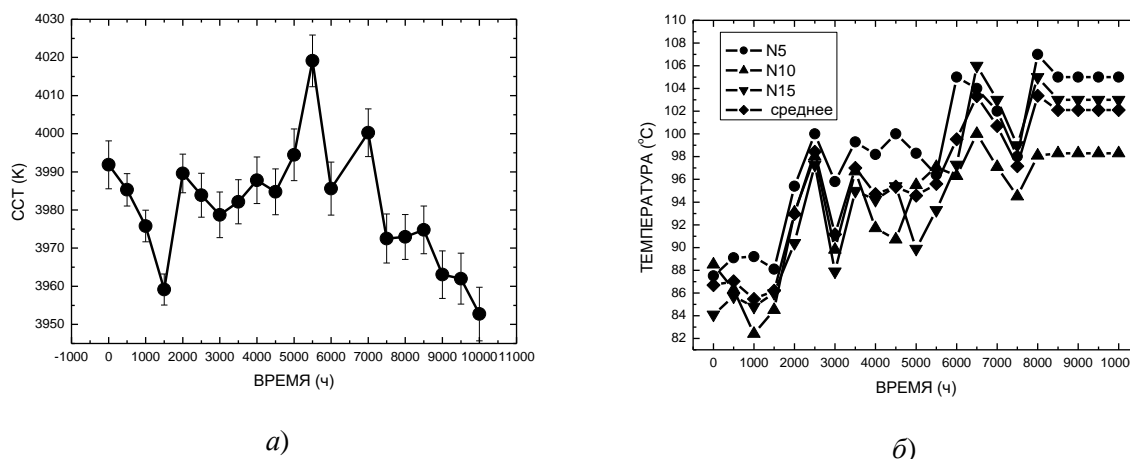


Рис. 2. Зависимость среднего по выборке значения ССТ (а) и температуры поверхности трех образцов (б) от времени наработки

Обращает на себя внимание немонотонный в общем случае характер зависимостей и наличие довольно больших выбросов на них. Эти выбросы нельзя объяснить погрешностью измерений, поскольку величины выборочных стандартных отклонений среднего арифметического по данным измерений 20 образцов получают-

ся меньше наблюдаемых выбросов (это видно на рис. 2, а). Видно также, что характер зависимостей примерно одинаков для разных образцов (рис. 1), что заставляет предположить одновременное воздействие внешних факторов на все образцы как в процессе измерений, так и во время непрерывной наработки между контрольными точками.

Из большого количества влияющих факторов в ходе эксперимента контролировались подводимая электрическая мощность, температура и влажность окружающей среды. Величины этих параметров в контрольных точках показаны на рис. 3.

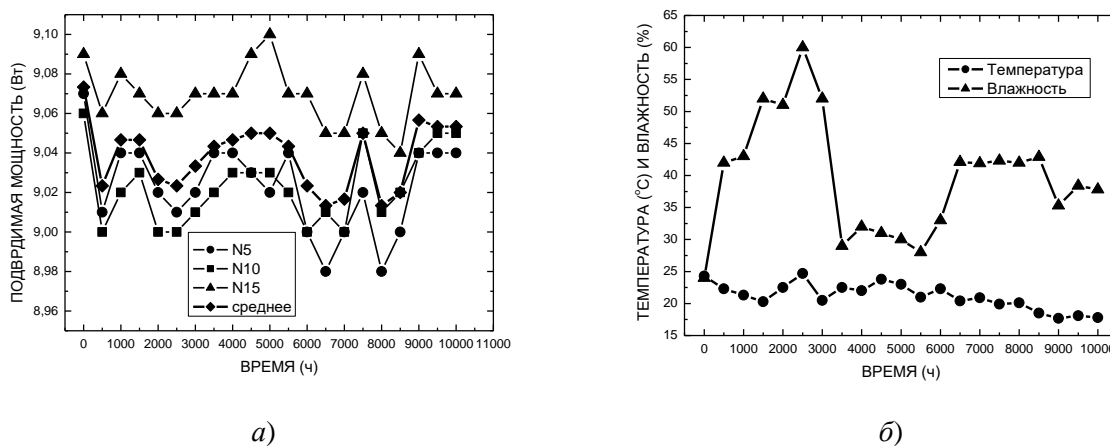


Рис. 3. Зависимости подводимой мощности для трех образцов (а), температуры и влажности окружающей среды (б) от времени в контрольных точках испытаний

Для выявления наличия корреляции между зависимостями, показанными на рис. 3, и данными измерений (рис. 1 и рис. 2) усредненная кривая зависимости TLF от времени сначала аппроксимировалась линейной зависимостью (она хорошо подходит для данных рис. 1, а). Далее вычислялись отклонения значений в экспериментальных точках от этой зависимости и результат сопоставлялся с отклонениями среднего по выборке значения подводимой электрической мощности в контрольных точках. Результат показан на рис. 4, а. Для наглядности значения отклонения подводимой мощности умножены на коэффициент 5000.

На графиках наблюдается корреляция между отклонениями подводимой мощности и выбросами на графике зависимости ССТ от времени. При этом значение коэффициента корреляции для всего временного интервала относительно невелико (0,58), но возрастает до 0,88 в области больших времен (рис. 4, а). Таким образом, относительные отклонения подводимой мощности, составлявшие при использовании стабилизаторов величину, не превышающую $\pm 5\%$, вызывают значительные флуктуации измеряемых значений величины светового потока.

Графики коррелированной цветовой температуры не имеют какой-либо существенной корреляции с рассматриваемыми внешними факторами.

Что касается зависимости температуры светодиодов от времени, то удобнее рассмотреть значение разности между этой температурой и температурой окружающей среды, т. е. величину перегрева диода (рис. 4, б).

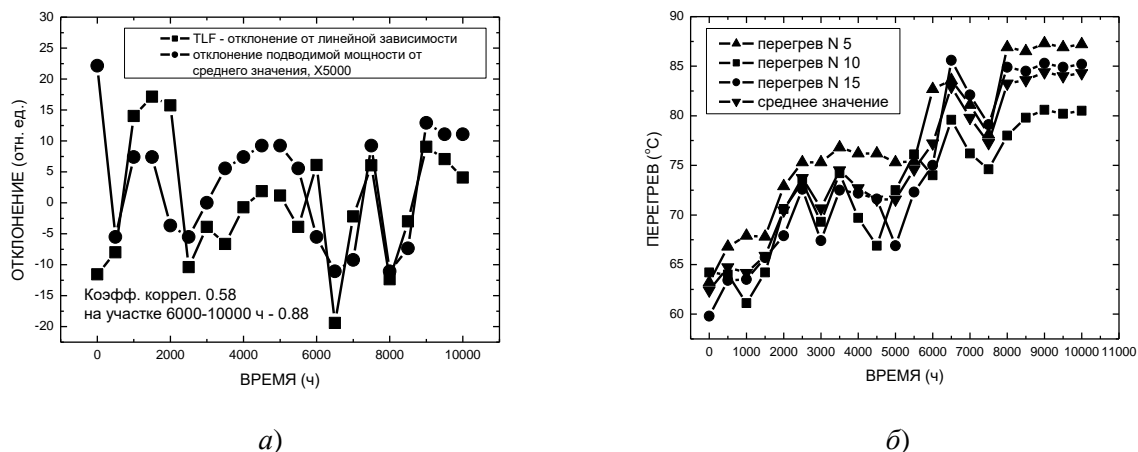


Рис. 4. Временные зависимости отклонений подводимой мощности от среднего значения и величины отклонения светового потока от графика линейной аппроксимации (а) и зависимости перегрева светодиодов от времени (б)

В результате сравнения данных (4, б и рис. 3, б) установлено, что величина перегрева диодов имеет участки довольно быстрого роста (в районе 2000 и 6000 часов наработки), коррелирующие с периодами повышения влажности окружающей среды. Между этими участками наблюдается относительная стабилизация величины перегрева (почти горизонтальные участки графиков).

С учетом того, что конструкция исследуемых ламп не является герметичной, можно предположить, что наблюдаемое явление вызвано окислительными процессами, происходящими при повышенной влажности и вызывающими необратимое повышение теплового сопротивления между корпусами светодиодов и теплоотводом. Одним из таких процессов может быть, например, увеличение толщины слоя оксида алюминия как на поверхности корпуса диода, так и теплоотводящей пластины. Для выяснения механизмов протекающих процессов требуются дополнительные исследования.

Заключение

В результате проведенных исследований в ходе стендовых испытаний выборки светодиодных ламп выявлена корреляция между выбросами на графике зависимости полного светового потока от времени и флуктуациями подводимой электрической мощности. Для повышения точности измерений значения полного светового потока необходимо более точно стабилизировать электрическую мощность, подводимую к светодиодным лампам в процессе измерения их параметров. Обнаружена также корреляция между скачками перегрева светодиодных структур и сезонными повышениями влажности окружающей среды. Повышение величины перегрева светодиодов может быть вызвано, например, активацией окислительных процессов в алюминиевых пластинах теплоотводов и корпусов диодов при повышенной влажности, вызывающих необратимое повышение теплового сопротивления между корпусами светодиодов и теплоотводом.

Библиографические ссылки

1. Advances in Reliability Testing and Standards Development for LED Packages and Systems / C. Qian [et al.] // Solid State Lighting Reliability. Part 2: Components to Systems. Solid State Lighting Technology and Application Series, Vol. 3. Ed. W. D. van Driel, X. Fan, G. Q. Zhang. - Cham: Springer. 2018. P. 76–114.
2. Light emitting diodes reliability review / M.-H. Chang [et al.] // Microelectronics Reliability. 2012. Vol. 52. P. 762–782.
3. Meneghesso G. Recent results on the degradation of white LEDs for lighting / G. Meneghesso, M. Meneghini, E. Zanoni // J. Phys. D: Appl. Phys. 2010. Vol. 43. P. 354007–354018.
4. IES TM-21-11. Projecting long term lumen maintenance of LED light sources [Текст] – Illuminating Engineering Society, 2011
5. Гурский А. Л., Машедо Н. В. Взаимосвязь между колориметрическими и спектральными параметрами светодиодных ламп белого свечения // ЖПС. 2020. Т. 87, № 6. С. 997–1004.
6. Гурский, А. Л., Машедо Н. В. Роль эффекта перегрева активной области в процессах старения светодиодов белого свечения // Материалы и структуры современной электроники: матер. IX Междунар. науч. конф., Минск, 14-16 окт. 2020 г. / Белорус. гос. ун-т; редкол.: В. Б. Оджаев (гл. ред.) [и др.]. – Минск: БГУ, 2020. – С. 39–45.
7. Gurskii A. L., Masheda M. V. Color and spectral characteristics of white light emitting diodes and their variations during aging // Doklady BGUIR. 2019. № 7 (125) P. 39–45.
8. Гурский А. Л., Машедо Н. В. Усовершенствование методов прогнозирования ресурса светодиодных ламп по результатам регистрации светового потока в ходе испытаний // Квантовая электроника: материалы XIII Междунар. науч.-техн. конференции, Минск, 22–26 ноября 2021 г. / БГУ, НИИ прикладных физических проблем им. А. Н. Севченко БГУ, Ин-т физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований ; [редкол.: М. М. Кугейко (отв. ред.), А. А. Афоненко, А. В. Баркова]. Минск: БГУ, 2021. С. 259–262.
9. Гурский А. Л., Машедо Н. В. Колориметрические характеристики произвольной выборки светодиодных излучателей на белорусском рынке // Стандартизация. 2017. № 3. С. 57–63.
10. СТБ ИЕС 62612-2016. Лампы со светоизлучающими диодами со встроенным пускорегулирующим аппаратом для общего освещения с напряжением питания свыше 50 В. Требования к рабочим характеристикам [Текст] – Введ. 2017–06–01: Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь.
11. ГОСТ ИЕС 62717-2017. Модули со светоизлучающими диодами для общего освещения. Требования к эксплуатационным характеристикам [Текст] – Введ. 2018–07–01: Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь.
12. ГОСТ ИЕС 62722-2-1-2017. Светильники. Часть 2-1. Частные требования к характеристикам для светильников со светодиодными модулями [Текст] – Введ. 2020–06–01: Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь.
13. IES LM-80-15. Approved method: measuring luminous flux and color maintenance of LED packages, arrays and modules [Текст] – Illuminating Engineering Society, 2015.
14. ГОСТ EN 13032-4-2017. Свет и освещение. Измерение и представление фотометрических данных ламп и светильников. Часть 4. Светодиодные лампы, модули и светильники [Текст] – Введ. 2018–07–01: Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь.
15. ИЕС/TS 62861:2017. Руководство по испытаниям на надежность основных компонентов светодиодных источников света и светодиодных светильников [Текст] – Введ. 2017–03–03: Международная электротехническая комиссия.