



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2019-124-6-55-61>

Оригинальная статья  
Original paper

УДК 628.981

## ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ И ЦВЕТОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ СВЕТОДИОДНЫХ ЛАМП

ГУРСКИЙ А.Л.<sup>1</sup>, КРЕЙДИЧ А.В.<sup>2</sup>, МАШЕДО Н.В.<sup>3</sup>, НИКОНЕНКО С.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Институт физики НАН Беларуси, Республика Беларусь

<sup>3</sup>ОАО «Испытания и сертификация бытовой и промышленной продукции «БЕЛЛИС», Республика Беларусь

Поступила в редакцию 21 декабря 2018

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2019

**Аннотация.** Приведены результаты исследования пространственного распределения силы света и цветовых характеристик светодиодных ламп различной конструкции. Показано, что измерение углового распределения силы света более точно отражает характеристики излучения светодиодных ламп, чем измеренное значение силы света вдоль направления их механической оси. Установлено, что заявленные производителями цветовые характеристики исследованных светодиодных ламп отличаются от норм, установленных действующими техническими нормативными правовыми актами.

**Ключевые слова:** колориметрия, гониофотометрия, пространственное распределение силы света, светодиодные лампы.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования.** Гурский А.Л., Крейдич А.В., Машедо Н.В., Никоненко С.В. Пространственные и цветовые характеристики излучения светодиодных ламп. Доклады БГУИР. 2019; 6(124): 55-61.

## SPATIAL AND COLOR CHARACTERISTICS OF LED LAMPS EMISSION

GURSKII A.L.<sup>1</sup>, KREIDICH A.V.<sup>2</sup>, MASHEDA M.V.<sup>3</sup>, NIKONENKO S.V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Republic of Belarus

<sup>2</sup>Institute of Physics of NAS of Belarus, Republic of Belarus

<sup>3</sup>OJSC «Testing and Certification of Household and Industrial Products BELLIS», Republic of Belarus

Submitted 21 December 2018

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2019

**Abstract.** The results of investigation of luminous intensity distribution and color quantities of LED lamps of different design are presented. It is demonstrated that measurement of angular luminous intensity distribution is more accurately indicates characteristics of LED lamp emission than measured luminous intensity value alongside its mechanical axis. It is established that color quantities of investigated LED lamps declared by manufacturer are different from values defined by applicable normative documents.

**Keywords:** colorimetry, goniophotometry, light distribution, LED lamps.

**Conflict of interests.** The authors declare no conflict of interests.

**For citation.** Gurskii A.L., Kreidich A.V., Masheda M.V., Nikonenko S.V. Spatial and color characteristics of LED lamps emission. Doklady BGUIR. 2019; 6(124): 55-61.

## Введение

Интенсивное развитие светодиодных технологий обусловило широкое распространение различных светотехнических изделий на основе светоизлучающих диодов (СИД), постепенно вытесняя с рынка не только традиционные лампы накаливания, но и компактные энергосберегающие лампы [1]. В силу этого стали актуальными задачи корректного измерения параметров их излучения и оценки степени его опасности для человека (фотобиологической безопасности). Проблема вызвана тем, что для измерения характеристик СИД и изделий на их основе долгое время применяли фотометрические методы измерений, разработанные в рамках классической фотометрии, когда тела накаливания были основным типом источников излучения. Как следствие, эти методы не учитывают характерных особенностей излучения светодиодов, в частности, их сильные отличия от ламбертовских излучателей. Например, пространственные распределения мощности излучения различных СИД могут иметь значимые отличия, что оказывает влияние на оценку их фотометрических характеристик излучения [2]. СИД-лампы конструктивно являются более сложными изделиями, в которых могут использоваться десятки СИД-чипов. Для обеспечения качества и безопасности в применении СИД-ламп необходимо точно, а главное, корректно измерять их оптические характеристики, что особенно важно при конструировании, производстве и техническом обслуживании светотехнических изделий на основе СИД. Данная работа посвящена исследованию пространственного распределения силы света и цветовых характеристик СИД-ламп различной конструкции.

## Экспериментальные образцы СИД-ламп

Для экспериментальных исследований были отобраны серийно выпускаемые СИД-лампы различной конструкции, которые представлены на рынке в Беларуси: № 1 – LED G45 3,5W E14 4800K (H.E.H.I Co., Ltd); № 2 – GLD-MR16-3-230-GU10-6 (General lighting Co., Ltd); № 3 – SGL5E27 (Industrial CO, Ltd, ); № 4 – GLD-MR16-2-230-GU5.3-6500 (General lighting Co., Ltd); № 5 – G4-3W-220V (Geniled). Основные характеристики ламп, заявленные изготовителями, приведены в табл. 1. Внешний вид отобранных для исследований ламп представлен на рис. 1.

**Таблица 1.** Основные характеристики СИД-ламп

**Table 1.** Main characteristics of LED lamps

№ СИД-ламп	Напряжение питания, В	Потребляемая мощность, Вт	Световой поток, лм	Тип цоколя
1	220	3	210	G4
2	100–240	2	150	GU5.3
3	100–240	3	220	GU10
4	220	3,5	280	E14
5	220–240	5	468	E27

Основные конструктивные особенности ламп следующие: в лампах № 1 – 4 СИД-чипы расположены перпендикулярно механической оси ламп, а в лампе № 5 они расположены вдоль. Рассеиватели ламп № 1 и 3 имеют молочное матовое покрытие. Рассеиватели ламп № 2 и 4 имеют полупрозрачное матовое покрытие. Колба лампы № 5 прозрачная. Лампы так называемого филаментного типа в работе не изучались.



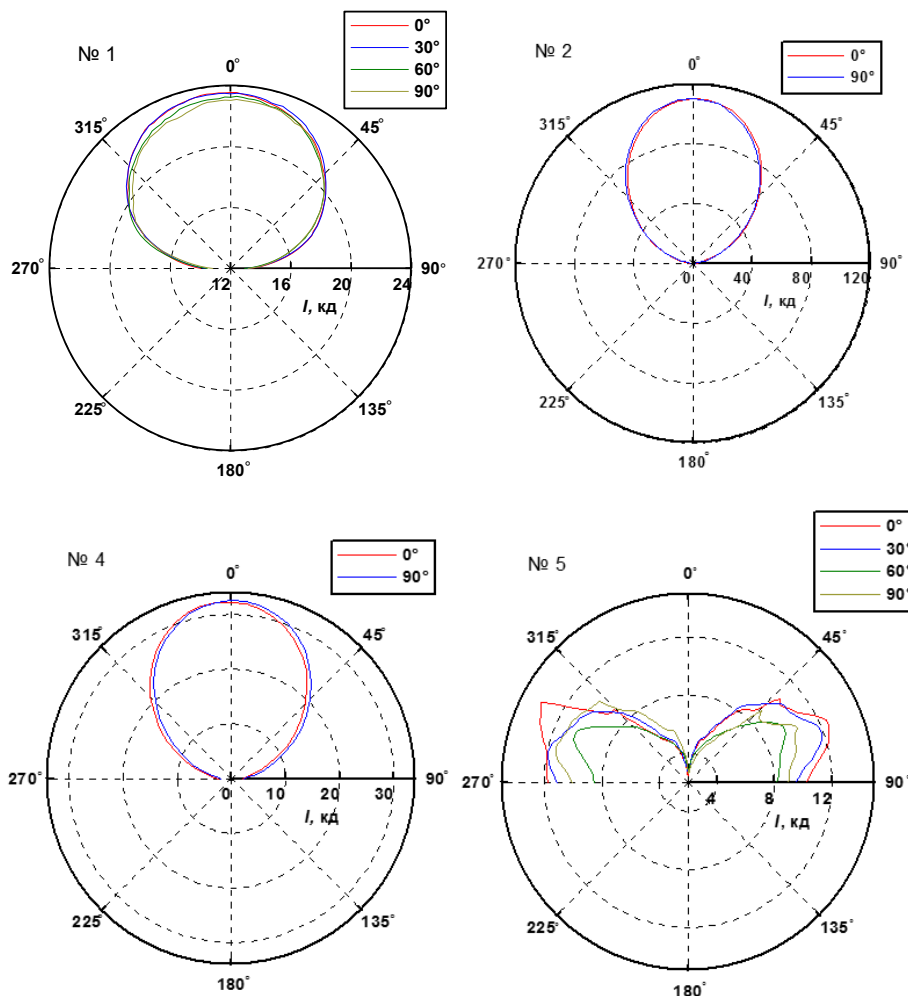
**Рис. 1.** Внешний вид исследуемых светодиодных ламп различной конструкции  
**Fig. 1.** The appearance of the investigated LED lamps of various designs

### Пространственное распределение силы света светодиодных ламп

Измерение пространственного распределения силы света СИД-ламп проводилось на установке «Простор ЛД-СИД» [3]. Установка включает: гониометрическую систему, фотометрический блок, блок системы питания, контроля температуры СИД. Основные метрологические характеристики «Простор ЛД-СИД»: спектральный диапазон измерения мощности излучения от 350 до 1100 нм; диапазон воспроизведения угла поворота от  $-110^\circ$  до  $+110^\circ$ ; относительная расширенная неопределенность ( $k = 2$ ) воспроизведения угла поворота 0,08 %; относительная расширенная неопределенность ( $k = 2$ ) воспроизведения расстояния от источника до входной апертуры приемника 0,04 %; диапазон измерения силы света от 0,01 до 60 кд; относительная суммарная стандартная неопределенность измерений пространственного распределения силы света равна 1,04 %.

При подготовке измерений каждую СИД-лампу устанавливали на специальный держатель, который, в свою очередь, закреплялся на гониометре. Исследуемая лампа располагалась в горизонтальной плоскости вдоль оптической оси установки «Простор ЛД-СИД» таким образом, чтобы оптическая ось проходила через центр излучающей поверхности лампы (типы 1–4) либо совпадала с осью симметрии лампы (тип 5). Фотометрическая головка устанавливалась на расстоянии 1,5 м от лампы. Перед измерениями лампы выдерживались в течение 30 мин при номинальных параметрах электропитания для выхода на стационарный температурный и электрический режим. Измерение пространственного распределения излучения СИД-ламп проводилось с шагом  $2^\circ$  и повторялось в каждой точке 10 раз. Число полных циклов измерения для каждой лампы было выбрано равным 5. Затем исследуемая лампа смещалась на  $30^\circ$  в вертикальной плоскости перпендикулярно оптической оси, и измерения повторялись. Питание ламп осуществлялось от обычной сети питания 230 В. Условия проведения измерений соответствовали рекомендациям [4, 5].

Результаты измерений представлены на рис. 2 для ламп № 1, 2, 4, 5. Из рисунка видно, что пространственное распределение силы света имеет неоднородный характер в заданных плоскостях измерений для всех типов СИД-ламп. Для лампы № 1 со сплошным матовым покрытием рассеивателя максимальное относительное отклонение силы света при угле  $30^\circ$  относительно оптической оси составило 9,5 %. Для ламп № 2 и 4 с полупрозрачным матовым покрытием рассеивателя максимальное относительное отклонение силы света при угле относительно оптической оси  $30^\circ$  составило 2,7 и 3,4 % соответственно. Для лампы № 5 наблюдается существенное отклонение индикатрис силы света между собой в заданных плоскостях измерения, при этом максимальное относительное отклонение силы света при угле относительно оптической оси  $75^\circ$  составило 37,7 %.



**Рис. 2.** Пространственные распределения силы света СИД-ламп № 1, 2, 4 и 5 для различных углов между осью фотоприемника и осью симметрии лампы

**Fig. 2.** Spatial distribution of light intensity of LED lamps No. 1, 2, 4 and 5 for various angles between the axis of the photodetector and the axis of symmetry of the lamp

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

- относительно равномерное пространственное распределение излучения ламп № 1 – 4 по сравнению с лампой № 5 обусловлено в первую очередь наличием матового рассеивателя лампы;

- более значимое отклонение силы света, при угле  $30^\circ$  для лампы № 1 по сравнению с лампами № 2 и 4, обусловлено влиянием формы рассеивателя;

- существенные отличия в индикатрисах силы света лампы № 5 обусловлено влиянием пространственной неточностью посадки светодиодных кристаллов и дефектов колбы лампы;

- учет пространственного распределения силы света позволит более точно судить о характеристиках излучения СИД-ламп, чем сила света, измеренная вдоль направления механической оси СИД-ламп, как того требуют некоторые нормативные документы.

- прямая замена ламп накаливания на светодиодные, имеющие конструкцию, сходную с таковой у лампы № 5, в оптических элементах, рассчитанных под лампы накаливания, (например, на транспорте) может дать отрицательный результат. Это особенно важно в системах индикации и сигнализации, применяемых на транспорте, а также в случаях, когда требуется равномерность освещенности, например, рабочего места. К сожалению, в настоящее время отсутствует нормативная база, ограничивающая возможности такой замены.

### Цветовые характеристики светодиодных ламп

Измерение цветовых характеристик СИД-ламп проводилось с использованием установки, созданной на базе оборудования производства фирмы Bentham Instruments Ltd., включающей: интегрирующую двойную спектрорадиометрическую систему IDR300, интегрирующую сферу IS1800, источник питания Extech 6720, измеритель мощности Yokogawa WT210, эталонную лампу TSRF-1800-250 W. Все оборудование имело актуальные сертификаты о калибровке. При проведении измерений координат цветности ( $x$ ,  $y$ ), коррелированной цветовой температуры (CCT) и индекса цветопередачи (Ra) применялись методы измерений, основанные на использовании интегрирующей сферы, рекомендованные в [6–9]. При подготовке к измерениям, каждый образец СИД-ламп устанавливали на специальный держатель внутри интегрирующей сферы IS1800 и выдерживали в течение 30 мин при номинальных параметрах электропитания. Результаты измерений представлены в табл. 2.

Согласно требованиям [9], для СИД-ламп общего назначения рекомендован ряд следующих значений CCT в Кельвинах с соответствующими координатами цветности: CCT = 6400,  $x = 0,313$ ,  $y = 0,337$ ; CCT = 5000,  $x = 0,346$ ,  $y = 0,359$ ; CCT = 4040,  $x = 0,380$ ,  $y = 0,380$ ; CCT = 3450,  $x = 0,409$ ,  $y = 0,394$ ; CCT = 2940,  $x = 0,440$ ,  $y = 0,403$ ; CCT = 2720,  $x = 0,463$ ,  $y = 0,420$ . Индекс цветопередачи может иметь отклонение не более  $\pm 3\%$  от заявленного изготовителем. Согласно [7], CCT СИД-ламп не должна превышать  $\pm 10\%$  от установленного номинала, а Ra не должен иметь значений менее 80 %.

**Таблица 2.** Результаты измерений цветовых характеристик  
**Table 2.** Color measurement results

Номер СИД-лампы		$x$	$y$	CCT, К	Ra, %
3W G4 (№ 5)	Ном. <sup>1)</sup>	– <sup>3)</sup>	– <sup>3)</sup>	– <sup>3)</sup>	– <sup>3)</sup>
	№ 1	0,3503	0,3592	4837	70,8
	№ 2	0,3693	0,3793	4332	67,9
	№ 3	0,3512	0,3568	4784	70,6
3.5W E14 (№ 1)	Ном. <sup>1)</sup>	– <sup>3)</sup>	– <sup>3)</sup>	4800	> 85
	№ 1	0,3733	0,3645	4112	70,9
	№ 2	0,3697	0,3600	4190	71,6
	№ 3	0,3719	0,3628	4143	71,5
5W E27 (№ 3)	Ном. <sup>1)</sup>	– <sup>3)</sup>	– <sup>3)</sup>	4300	– <sup>3)</sup>
	№ 1	0,3663	0,3637	4324	68,7
	№ 2	0,3142	0,3199	6491	70,3
	№ 3	0,3141	0,3203	6495	70,5
3W GU10 (№ 2)	Ном. <sup>1)</sup>	0,313 <sup>2)</sup>	0,337 <sup>2)</sup>	6500	– <sup>3)</sup>
	№ 1	0,3151	0,3333	6347	70,6
	№ 2	0,3163	0,3337	6284	70,7
	№ 3	0,3167	0,3348	6258	70,6
2W GU5.3 (№ 4)	Ном. <sup>1)</sup>	0,313 <sup>2)</sup>	0,337 <sup>2)</sup>	6500	– <sup>3)</sup>
	№ 1	0,3258	0,3416	5800	71,1
	№ 2	0,3333	0,3539	5468	70,5
	№ 3	0,3302	0,3487	5599	70,6

<sup>1)</sup> Номинальное значение, заявленное изготовителем.

<sup>2)</sup> Данные координаты цветности соответствуют CCT = 6500 К в соответствии с Приложением D стандарта IEC 60081 [6], для других значений CCT в силу их нестандартных величин таких значений нет, и нет возможности их оценить.

<sup>3)</sup> Данные параметры не заявлены изготовителем.

Из данных табл. 2 видно, что цветовые характеристики исследованных СИД-ламп не удовлетворяют рекомендациям действующих технических нормативных правовых актов (ТНПА) [6–9], регламентирующих эксплуатационные характеристики излучателей на основе СИД, даже с учетом того, что не все характеристики заявлены изготовителем. Это требует разработки и внедрения более жестких процедур контроля СИД-ламп, поступающих на рынок Республики Беларусь, с целью защиты населения от возможных последствий применения некачественной продукции.

### Заклучение

Таким образом, в результате проведенных исследований было установлено, что конструктивное исполнение, в частности, покрытие и форма рассеивателя ламп, использующих планарные СИД-чипы, а также схема расположения СИД-чипов в лампе существенно влияют на пространственное распределение интенсивности их излучения. Показано, что измерение углового распределения силы света позволяет более точно судить о характеристиках излучения СИД-ламп, чем измеренное значение силы света вдоль направления их механической оси, как того требуют традиционные методы. Прямая замена ламп накаливания на светодиодные, имеющие сложную диаграмму направленности, в оптических элементах, не рассчитанных для светодиодных ламп, может дать отрицательный результат, поэтому целесообразна разработка ТНПА, ограничивающих такую практику. Установлено, что заявленные производителями цветовые характеристики исследованных образцов СИД-ламп не соответствуют нормам, установленным действующими ТНПА, что требует совершенствования процедур подтверждения соответствия СИД-ламп, поступающих на рынок Республики Беларусь, действующим нормам.

### Список литературы

1. Blattner P. Polarization effects in mirror type goniophotometers // Proc. 28th Session of the CIE. Manchester, June 28–July 4. Vol. 1. Part 1. P. 1794.
2. Influence of spatial characteristics of solid state light sources on result of measurement of their photometric and radiometric properties / S. Nikanenka [et al.] // Proc. 28th Session of the CIE. Manchester, June 28–July 4, 2015. Vol. 1. Part 1. P. 1389–1395.
3. Установка для измерения пространственного распределения излучения лазерных диодов и силы света светодиодов и светодиодных осветителей / С.В. Никоненко [и др.] // Доклады БГУИР. 2011. Т. 9, № 4. С. 101–109.
4. CIE 127:2007. Vienna, CIE Central Bureau, 2007. 32 p.
5. Лешхорн Г. Проблемы современной стандартизации в световых измерениях изделий со светодиодами // Светотехника. 2015. № 4. С. 23–27.
6. IEC 60081:2007 + A1:2000 + A2:2003 + A3:2005 + A4:2010 + A5:2013. Geneva, IEC, 2013. 191 p.
7. Commission Regulation (EU) No 1194/2012 of 12 December 2012 implementing Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for directional lamps, light emitting diode lamps and related equipment. Official Journal of the European Union. – 2012. – L 342.
8. Commission Regulation (EC) No 244/2009 of 18 March 2009 implementing Directive 2005/32/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for non-directional household lamps. Official Journal of the European Union. – 2009. – L 76.
9. IEC 62612:2013 Self-ballasted LED lamps for general lighting services with supply voltages > 50 V – Performance requirements. Geneva, IEC, 2013. 92 p.

### References

1. Blattner P. Polarization effects in mirror type goniophotometers // Proc. 28th Session of the CIE. Manchester, June 28–July 4. Vol. 1. Part 1. P. 908.
2. Influence of spatial characteristics of solid state light sources on result of measurement of their photometric and radiometric properties / S. Nikanenka [et al.] // Proc. 28th Session of the CIE. Manchester, June 28–July 4, 2015. Vol. 1. Part 1. P. 1389–1395.
3. Ustanovka dlja izmerenija prostranstvennogo raspredelenija izluchenija lazernyh diodov i sily sveta svetodiodov i svetodiodnyh osvetitelej / S.V. Nikonenko [i dr.] // Doklady BGUIR. 2011. T. 9, № 4. S. 101–109. (in Russ.)
4. CIE 127:2007. Vienna, CIE Central Bureau, 2007. 32 p.
5. Leshhorn G. Problemy sovremennoj standartizacii v svetovyh izmerenijah izdelij so svetodiodami // Svetotehnika. 2015. № 4. S. 23–27.
6. IEC 60081:2007 + A1:2000 + A2:2003 + A3:2005 + A4:2010 + A5:2013. Geneva, IEC, 2013. 191 p.
7. Commission Regulation (EU) No 1194/2012 of 12 December 2012 implementing Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for directional lamps, light emitting diode lamps and related equipment. Official Journal of the European Union. 2012. L 342.

8. Commission Regulation (EC) No 244/2009 of 18 March 2009 implementing Directive 2005/32/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for non-directional household lamps. Official Journal of the European Union. – 2009. – L 76.
9. IEC 62612:2013 Self-ballasted LED lamps for general lighting services with supply voltages > 50 V – Performance requirements. Geneva, IEC, 2013. 92 p.

#### Сведения об авторах

Гурский А.Л., д.ф.-м.н., профессор, профессор кафедры защиты информации Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Машедо Н.В., заместитель начальника АИЛ ОАО «Испытания и сертификация бытовой и промышленной продукции «БЕЛЛИС».

Никоненко С.В., с.н.с. Института физики НАН Беларуси.

Крейдич А.В., м.н.с. Института физики НАН Беларуси.

#### Information about the authors

Gurskii A.L., D.Sci, professor, professor of information protection department of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Masheda M.V., deputy manager ATL of OJSC «Testing and Certification of Household and Industrial Products BELLIS».

Nikanenka S.V., senior researcher of Institute of Physics of NAS of Belarus.

Kreidich A.V., junior researcher of Institute of Physics of NAS of Belarus.

#### Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,  
г. Минск, ул. П. Бровки, 6  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники  
тел.: + 375-17-293-23-17;  
e-mail: gurskii@bsuir.by  
Гурский Александр Леонидович

#### Address for correspondence

220072, Republic of Belarus,  
Minsk, P. Brovki st., 6  
Belarusian State University  
of Informatics and Radioelectronics  
tel.: + 375-17-293-23-17;  
e-mail: gurskii@bsuir.by  
Gurskii Alexander Leonidovich