

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
СВЕТОДИОДНЫХ ЛАМП-РЕТРОФИТОВ В ТЕЧЕНИЕ СРОКА СЛУЖБЫН. П. Нестеркина¹, О. Ю. Коваленко¹, О. Е. Железникова¹, О. А. Колтаева¹,
Ю. А. Журавлева^{2,3*}¹ Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва,
Саранск, Россия² МИРЭА — Российский технологический университет, Москва, Россия³ Научно-исследовательский университет „МЭИ“, Москва, Россия* ulypil@mail.ru

Аннотация. Представлены результаты исследований спектральных характеристик ламп-ретрофитов форм-фактора типа А60: коррелированной цветовой температуры и спектрального распределения плотности потока излучения в течение времени горения ламп. Проанализированы изменения спектральных характеристик исследуемых светодиодных ламп-ретрофитов в течение 6000 ч и определена доля синей составляющей исследуемых ламп. Измерения параметров ламп проведены с помощью фотоколориметрической измерительной установки при напряжении сети 220 В; при вычислении координат цветности и цветопередачи исследуемых ламп применен спектрометрический метод. Результаты исследований показывают целесообразность замены традиционных ламп на светодиодные источники света с благоприятными для человека параметрами.

Ключевые слова: светодиодная лампа, спектр излучения, срок службы, форм-фактор, цветовая температура

Ссылка для цитирования: Нестеркина Н. П., Коваленко О. Ю., Железникова О. Е., Колтаева О. А., Журавлева Ю. А. Исследование спектральных характеристик светодиодных ламп-ретрофитов в течение срока службы // Изв. вузов. Приборостроение. 2024. Т. 67, № 5. С. 417–424. DOI: 10.17586/0021-3454-2024-67-5-417-424.

STUDY OF SPECTRAL CHARACTERISTICS OF LED RETROFIT LAMPS DURING THE SERVICE LIFE

N. P. Nesterkina¹, O. Yu. Kovalenko¹, O. E. Zheleznikova¹, O. A. Koltaeva¹, Yu. A. Zhuravleva^{2,3*}¹ Mordovia State University, Saransk, Russia² MIREA — Russian Technological University, Moscow, Russia³ National Research University „Moscow Power Engineering Institute“, Moscow, Russia* ulypil@mail.ru

Abstract. Presented results of studies of the spectral characteristics of retrofit lamps of the A60 type form factor include correlated color temperature and spectral distribution of radiation flux density during the burning time of the lamps. Changes in the spectral characteristics of the studied LED retrofit lamps are analyzed over a period of 6000 hours and the proportion of the blue component of the lamps under study is determined. Measurements of lamp parameters are carried out using a photocolormetric measuring setup at a network voltage of 220 V. When calculating the chromaticity coordinates and color rendition of the lamps under study, the spectroradiometric method is used. Research results show the feasibility of replacing traditional lamps by LED light sources with parameters favorable to humans.

Keywords: LED lamp, emission spectrum, service life, form factor, color temperature

For citation: Nesterkina N. P., Kovalenko O. Yu., Zheleznikova O. E., Koltaeva O. A., Zhuravleva Yu. A. Study of spectral characteristics of LED retrofit lamps during the service life. *Journal of Instrument Engineering*. 2024. Vol. 67, N 5. P. 417–424 (in Russian). DOI: 10.17586/0021-3454-2024-67-5-417-424

Введение. Широкое использование светодиодных полупроводниковых источников света обусловлено их энергоэффективными характеристиками. Исследования по воздействию излучения источников света на зрительную работоспособность подтверждают благотворное влияние светодиодного освещения [1, 2]. К недостаткам светодиодного излучения на настоящий момент времени можно отнести большую составляющую синего цвета светодиодных источников света,

а исследования в медицинской области подтверждают факт разрушения мелатонина при интенсивном воздействии спектра синего цвета в диапазоне 430–470 нм. Проведенные российскими исследователями опыты [3] показали, что наиболее подавляющее воздействие на мелатонин выявлено при освещении источниками света с цветовой температурой 6400 К, в которых присутствует голубая составляющая спектра, в отличие от ламп с цветовой температурой 2700 и 4000 К. При определении влияния цветности излучения на мелатонин также установлено, что при длительном воздействии синего света у испытуемых повысился уровень тревожности, а биологические часы сдвинулись на 1,2 ч [4]. По данным SCHEER*, при нахождении испытуемых свыше 3 ч в помещении, которое освещается светодиодными источниками с синей составляющей излучения, наблюдается увеличение риска негативного воздействия фотохимических процессов на сетчатку глаза согласно установленным нормам Международной комиссии по защите от неионизирующих излучений (ICNIRP) [5].

В работах [6–12] отражены результаты исследований характеристик светодиодных ламп для бытового освещения. Анализ исследований характеристик светодиодных ламп разной мощности в течение времени горения 3000 ч представлен в [13]. Однако согласно стандарту, измерения характеристик ламп целесообразно проводить при эксплуатации свыше 6000 ч, что и было сделано в данной работе.

Цель настоящей статьи — измерение и анализ изменения спектральных характеристик исследуемых светодиодных ламп-ретрофитов различных производителей в течение 6000 ч; определение на основе полученных результатов целесообразности использования данных ламп в качестве замены традиционным лампам накаливания; определение доли синей составляющей исследуемых ламп, способствующей подавлению мелатонина.

Материалы и методы. В качестве исследуемых ламп были отобраны производимые различными компаниями светодиодные лампы-ретрофиты со стандартным цоколем типа E27 различной цветовой температуры, с форм-фактором A60, близким к форм-фактору лампы накаливания. Внешний вид исследуемых ламп представлен на рис. 1. Световой поток и кривая силы света данных ламп отражены в работе [8].



Рис. 1

Измерения характеристик исследуемых ламп были выполнены в измерительно-исследовательской лаборатории Мордовского государственного университета (Саранск) [14] согласно ГОСТ IEC 62612–2019 и ГОСТ Р 55702–2013 с помощью фотоколориметрической измерительной установки производства компании „Gooch & Housego“ (Великобритания, США). Данная установка включает в себя прецизионный источник постоянного тока, арматуру (для крепления ламп), регулируемый (для изменения напряжения питающей сети) автотрансформатор, оптоволоконный кабель, фотометрический шар модели OL IS7600, многоканальный спектрорадиометр модели OL 770 UV/VIS и блок мультиметров UNI-T UTD890D (рис. 2). Технические характери-

* Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks (SCHEER) — Научный комитет по рискам для здоровья и окружающей среды.

стики комплектующих фотоизмерительной установки и принцип ее действия подробно описаны в документации.*

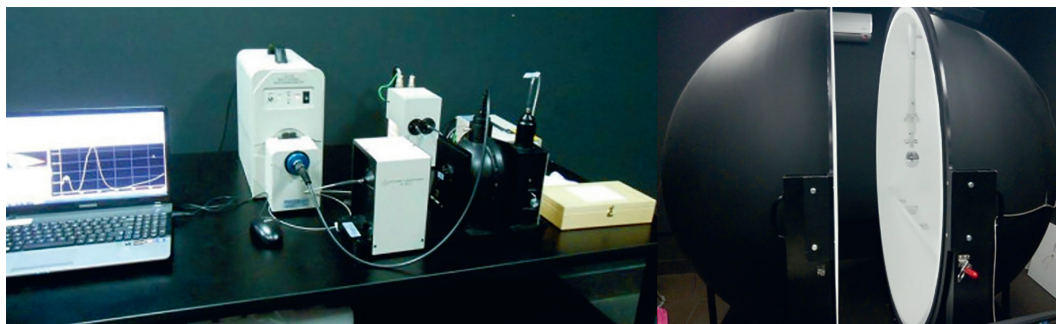


Рис. 2

Спектральные и цветовые характеристики ламп измерялись при номинальном режиме в течение 6000 ч горения с интервалом каждые 1000 ч при напряжении сети 220 В. В ходе исследования лампы выключались 4 раза в сутки и повторное включение осуществлялось не менее, чем через 15 мин после выключения. При вычислении координат цветности и цветопередачи исследуемых ламп применен спектрорадиометрический метод.

Результаты исследований. Результаты измерения спектральных и цветовых характеристик исследуемых светодиодных ламп-ретрофитов, а также параметры данных ламп, заявленные производителем, представлены в табл. 1 (здесь $T_{\text{цв}}$ — коррелированная цветовая температура, λ_{max} — доминирующая длина волны).

В табл. 2 представлены результаты изменения спектральных характеристик исследуемых ламп в процессе горения.

Измерение спектрального распределения плотности потока излучения исследуемых ламп выполнялось с помощью спектро-радиометра типа OL 770 VIS/NIR (рис. 3). Измерения проводились после каждых 1000 ч горения в течение 6000 ч.

Перед измерением лампы отжигались при номинальном напряжении в течение не менее 15 мин согласно ГОСТ IES 62216–2019 до момента достижения тепловой стабильности.



Рис. 3

Таблица 1

Название лампы	$T_{\text{цв}}$, К, заявленные/экспериментальные значения	Частота цвета	λ_{max} , нм	Координаты цветности, заявленные/экспериментальные значения			
				x	y	u	v
Uniel LED 10W 4000K	4000/4200	0,292	592	0,380/0,3808	0,380/0,3829	– / 0,2229	– / 0,3362
JazzWay PLED-SP 10W 5000K	5000/5250	0,064	453	0,346/0,3386	0,359/0,3496	– / 0,2079	– / 0,3217
Philips Essential LED 9W 6500K	6500/6740	0,072	448	0,313/0,3129	0,337/0,3297	– / 0,1977	– / 0,3125
Ecola Classic LED 10.2W 4000K	4000/3985	0,280	591	0,380/0,3803	0,380/0,3796	– / 0,2239	– / 0,3352
Wolta LX 12W 3000K	3000/2994	0,533	595	0,440/0,4362	0,403/0,4076	– / 0,2486	– / 0,3484

* Приложение к свид. № 64752 об утверждении типа средств измерений. Описание типа средства измерений. Установка фотокориметрическая измерительная. М., 2017.

Таблица 2

Название лампы	Характеристика	Время горения, ч					
		0	1000	2000	3000	4000	6000
Uniel LED 10W 4000K	λ_{max} , нм	592	592	594	595	597	599
	$T_{\text{цв}}$, К	4200	3800	4125	4120	4118	4121
JazzWay PLED-SP 10W 5000K	λ_{max} , нм	453	451	451	450	449	448
	$T_{\text{цв}}$, К	5250	5260	5375	5334	5261	5228
Philips Essential LED 9W 6500K	λ_{max} , нм	448	447	447	445	444	441
	$T_{\text{цв}}$, К	6740	6525	6500	6508	6510	6512
Ecola Classic LED 10.2W 4000K	λ_{max} , нм	591	592	594	596	598	601
	$T_{\text{цв}}$, К	3985	3985	4190	4012	4018	4022
Wolta LX 12W 3000K	λ_{max} , нм	595	595	596	597	598	602
	$T_{\text{цв}}$, К	2994	2997	3120	2998	3002	2995

Результаты представлены на рис. 4–6: рис. 4 — спектры излучения ламп Uniel LED 10W 4000K (а, б), JazzWay PLED-SP 10W 5000K (в, г), а, в — до начала испытаний, б, г — после 3000 ч горения; рис. 5 — спектры излучения ламп Philips Essential LED 9W 6500K (а, б), Ecola Classic LED 10.2W 4000K (в, г), а, в — до начала испытаний, б, г — после 3000 ч горения; рис. 6 — спектры излучения лампы Wolta LX 12W 3000K, а — до начала испытаний, б — после 3000 ч горения.

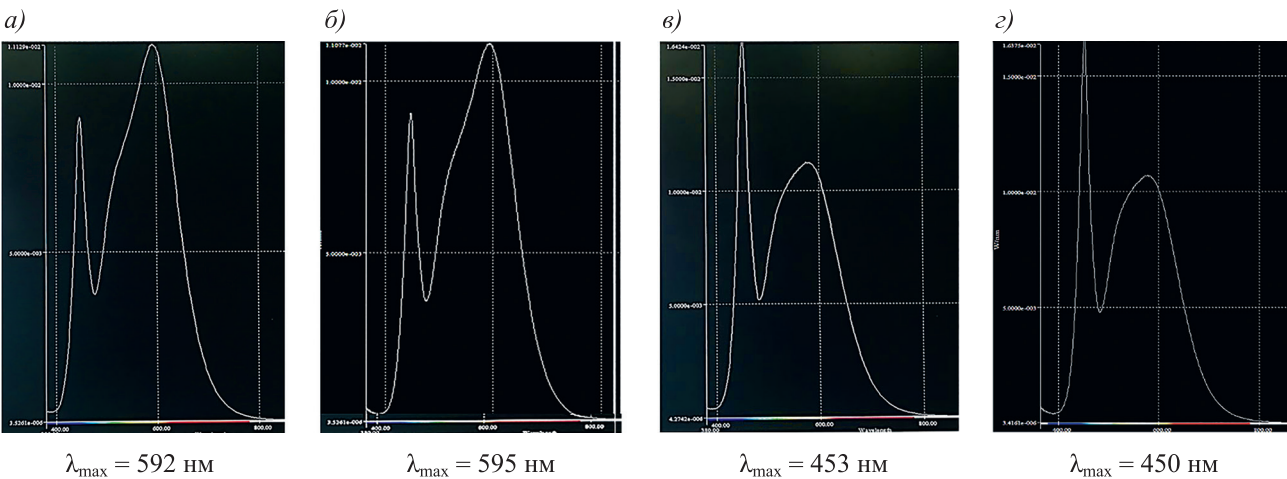


Рис. 4

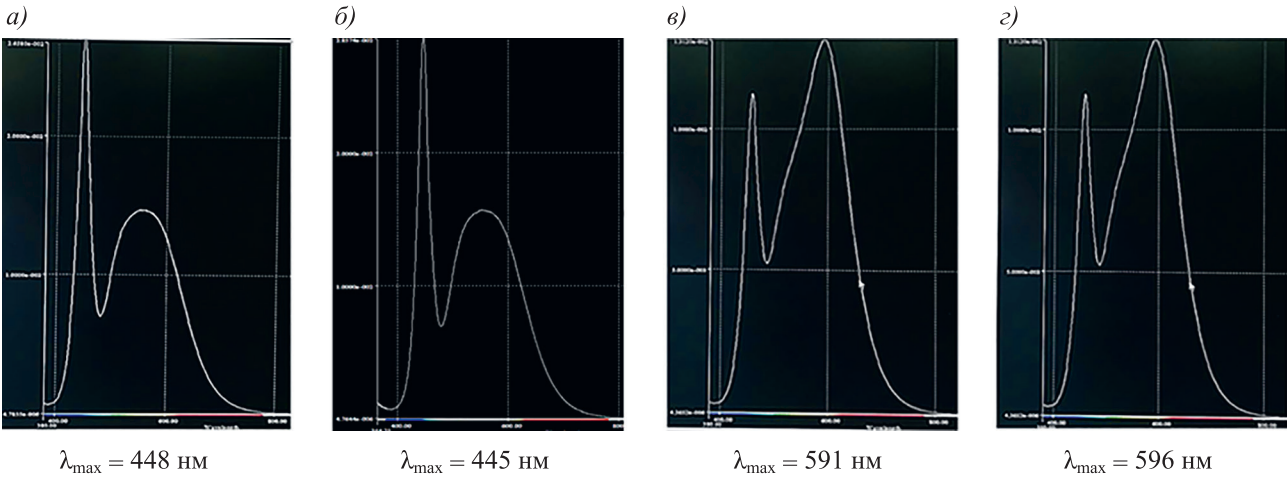


Рис. 5

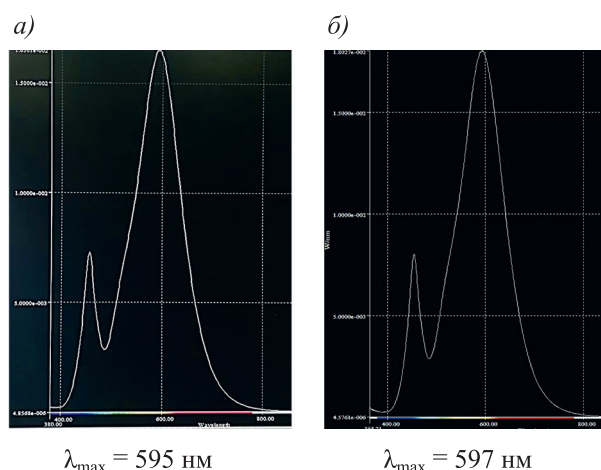


Рис. 6

Спектральное распределение интенсивности излучения (I) лампы накаливания мощностью 40 Вт, измеренное с помощью спектрорадиометра, показано на рис. 7. Спектр ламп накаливания непрерывен, в отличие от спектров светодиодных ламп-ретрофитов. Спектр смещен в красно-желтую область. Измеренная коррелированная цветовая температура $T_{\text{цв}} = 2628$ К в отличие от исследуемых светодиодных ламп-ретрофитов, начальное значение $T_{\text{цв}}$ которых составляет 6740, 5250, 4200, 3985, 2994 К.

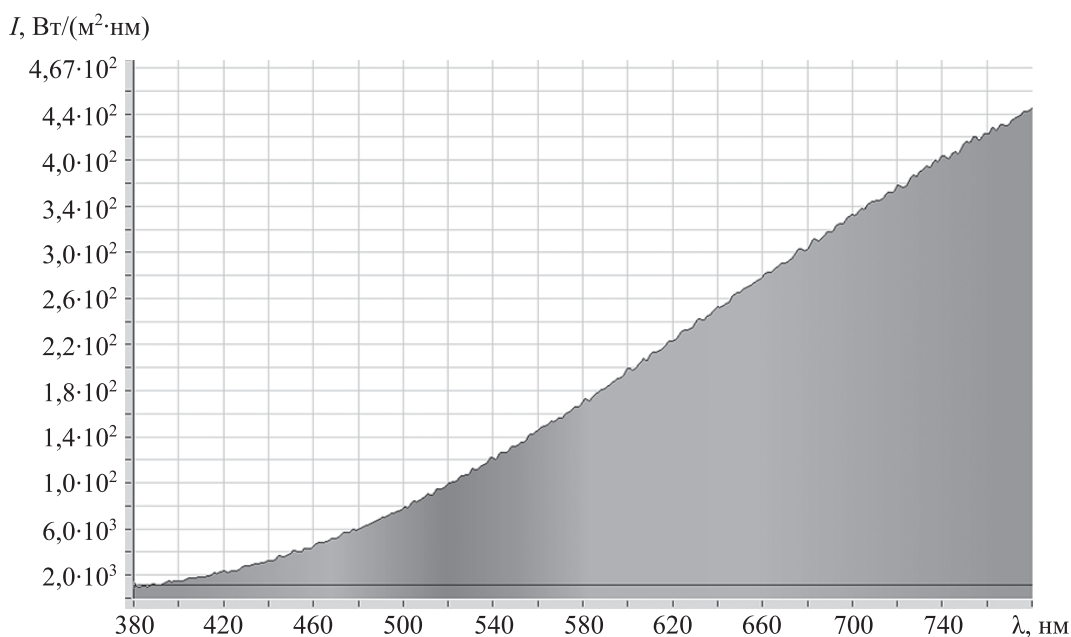


Рис. 7

Заключение. Анализ результатов сравнительных исследований светодиодных ламп показал следующее:

— в течение времени горения у ламп Uniel LED 10W 4000K, Ecola Classic LED 10.2W 4000K, Wolta LX 12W 3000K наблюдается смещение максимума спектральной плотности потока излучения в длинноволновую область спектра на 7, 10, 7 нм соответственно, у ламп JazzWay PLED-SP 10W 5000K, Philips Essential LED 9W 6500K, наоборот, — в коротковолновую область спектра на 5 и 3 нм соответственно;

— прослеживается уменьшение цветовой температуры ламп-ретрофитов Uniel LED 10W 4000K, JazzWay PLED-SP 10W 5000K, Philips Essential LED 9W 6500K на 1,9, 0,4 и 3,4 %

соответственно; цветовая температура лампы Ecola Classic LED 10.2W 4000K увеличивается на 0,9 %, цветовая температура лампы Wolta LX 12W 3000K практически не изменилась; изменение цветовой температуры сопровождается перераспределением спектрального излучения: увеличение цветовой температуры связано с увеличением доли коротковолновых излучений (фиолетового, голубого и синего цветов), а уменьшение — со смещением спектра в желто-оранжевую область.

Определение эффективной светло-голубой энергетической яркости источника производилось согласно ГОСТ Р МЭК/ТО 60825-9-2009.

Анализ результатов экспериментов показывает, что для исследованных ламп JazzWay PLED-SP 10W 5000K и Philips Essential LED 9W 6500K, имеющих большую составляющую синего излучения, продолжительность эксплуатации во включенном состоянии не должна превышать 2,8 ч, рекомендуется использовать их за несколько часов до сна в целях безопасности для глаз; для бытового освещения можно рекомендовать лампы Uniel LED 10W 4000K, Ecola Classic LED 10.2W 4000K, Wolta LX 12W 3000K.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрамова Л. В., Михайлова Е. М., Пильщикова Ю. А., Дергачев Е. Е.* Исследование зрительного утомления в осветительных установках со светодиодами // Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики: Сб. науч. тр. VIII Междунар. науч.-техн. конф. 2010. С. 27–29.
2. *Рябцева А. А., Зак П. П., Андрюхина А. С., Коврижкина А. А., Трофимова Н. Н., Андрюхина О. М., Лобанова В. Н.* Влияние спектрального состава искусственного освещения на остроту зрения лиц молодого возраста // Точка зрения. Восток—Запад. 2017. С. 117–120.
3. *Гизингер О., Осиков М., Телешева Л., Огнева О., Бокова О., Долин Е.* Влияние спектра излучения различных источников света на организм человека // Полупроводниковая светотехника. 2013. С. 50–52.
4. *Капцов В. А., Сосунов Н. Н., Шищенко И. И., Викторов В. С., Тулушев В. Н., Дейнего В. Н., Бухарева Е. А., Мурашова М. А., Шищенко А. А.* Функциональное состояние зрительного анализатора при использовании традиционных и светодиодных источников света // Гигиена и санитария. 2014. Т. 93, № 4. С. 120–123.
5. *Шмаров И. А., Бражникова Л. В., Соловьев А. К.* Безопасность применения светодиодного освещения по данным научного комитета Евросоюза и российских исследований // Технология текстильной промышленности. 2019. № 4 (382). С. 196–202.
6. *Журавлева Ю. А., Коваленко О. Ю., Микаева С. А., Атишев А. В., Немов В. В.* Исследование влияния форм-фактора светодиодных ламп для бытового освещения на их светотехнические характеристики // Энергобезопасность и энергосбережение. 2019. № 6. С. 24–27.
7. *Lishik S. I., Posedko V. S., Trofimov Yu. V., Tsvirko V. I.* Current state, trends and perspectives of the development of light emitting diode technology // Light & Engineering. 2017. N 2. P. 13–21.
8. *Нестеркина Н. П., Кузнецов Е. А., Журавлева Ю. А.* Исследование изменений светотехнических характеристик светодиодных ламп ретрофитов в результате длительных испытаний // Вестн. МГТУ. Тр. Мурманск. гос. техн. ун-та. 2022. Т. 25, № 4. С. 305–312.
9. *Макарова Н. В., Ашратов А. А.* Исследование светотехнических характеристик светодиодных ламп-ретрофитов для бытового освещения // Энергобезопасность и энергосбережение. 2019. № 3. С. 28–32.
10. *Nestyorkina N. P., Zhuravlyova Yu. A., Kovalenko O. Yu., Mikayeva S. A.* Comparative analysis of the characteristics of LED filament lamps for household lighting // Light & Engineering. 2020. Vol. 28, N 6. P. 71–75.
11. *Liu J., Xu C., Zheng H., Liu S.* Numerical analysis and optimization of thermal performance of LED filament light bulb // Proc. IEEE 67th Electronic Components and Technology Conf. (ECTC), Orlando, FL, USA. 2017. P. 2243–2248.
12. *Jie L., Jinglong Z., Sheng L.* Thermal Analysis and Optimization of LED Filament Lamp // Journal of Electronic Packaging. 2020. N 143. P. 19–26.
13. *Коваленко О. Ю., Журавлева Ю. А., Микаева С. А., Немов В. В.* Исследование изменения светотехнических характеристик полупроводниковых источников света различного конструктивного исполнения в процессе эксплуатации // Вестн. МГТУ. Тр. Мурманск. гос. техн. ун-та. 2019. Т. 22, № 4. С. 471–476.
14. http://www.mrsu.ru/ru/sci/labs.php?ELEMENT_ID=57865&sphrase_id=1149162.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

- Нина Петровна Нестеркина** — Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва, Институт электроники и светотехники, кафедра светотехники; ст. преподаватель; E-mail: nesterkina.n@mail.ru
- Ольга Юрьевна Коваленко** — д-р техн. наук, доцент; Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва, Институт электроники и светотехники, кафедра метрологии, стандартизации и сертификации; профессор; E-mail: crystal2000@mail.ru
- Ольга Евгеньевна Железникова** — канд. техн. наук, доцент; Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва, Институт электроники и светотехники, кафедра светотехники; директор Института; E-mail: sarstf@mail.ru
- Оксана Алексеевна Колтаева** — магистрант; Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва, Институт электроники и светотехники, кафедра светотехники; E-mail: koltaeva.o@yandex.ru
- Юлия Алексеевна Журавлева** — канд. техн. наук, доцент; МИРЭА — Российский технологический университет, Институт перспективных технологий и индустриального программирования, кафедра электроники; Национальный исследовательский университет „МЭИ“, Институт радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова, кафедра светотехники; доцент; E-mail: ulypil@mail.ru

Поступила в редакцию 05.10.2023; одобрена после рецензирования 27.10.2023; принята к публикации 22.03.2024.

REFERENCES

1. Abramova L. V., Mikhailova E. M., Pilshchikova Yu. A., Dergachev E. E. *Problemy i perspektivy razvitiya otechestvennoy svetotekhniki, elektrotekhniki i energetiki (Problems and Prospects for the Development of Domestic Lighting, Electrical and Energy Engineering)*, Collection of Scientific Papers of the VIII International Scientific and Technical Conference, 2010, pp. 27–29. (in Russ.)
2. Ryabtseva A., Zahk P., Andryukhina A., Kovrizhkina A., Trofimova N., Andryukhina O., Lobanova V. *Point of View. East–West*, 2017, no. 4, pp. 117–120. (in Russ.)
3. Giesinger O., Osikov M., Telesheva L., Ogneva O., Bokova O., Dolin E. *Poluprovodnikovaya svetotekhnika*, 2013, no. 6(26), pp. 50–52. (in Russ.)
4. Kaptsov V. A., Sosunov N. N., Shishchenko I. I., Viktorov V. S., Tulushev V. N., Deinego V. N., Bukhareva E. A., Murashova M. A., Shishchenko A. A. *Gigiyena i sanitariya*, 2014, no. 4(93), pp. 120–123. (in Russ.)
5. Shmarov I. A., Brazhnikova L. V., Solov'yev A. K. *Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti*, 2019, no. 4(382), pp. 196–202. (in Russ.)
6. Zhuravleva Yu. A., Kovalenko O. Yu., Mikaeva S. A., Atishev A. V., Nemov V. V. *Energobezopasnost' i energosberezheniye*, 2019, no. 6, pp. 24–27. (in Russ.)
7. Lishik S. I., Posedko V. S., Trofimov Yu. V., Tsvirko V. I. *Light & Engineering*, 2017, no. 2, pp. 13–21.
8. Nesterkina N. P., Kuznetsov E. A., Zhuravleva Yu. A. *Bulletin of the Murmansk State Technical University*, 2022, no. 4(25), pp. 305–312. (in Russ.)
9. Makarova N. V., Ashryatov A. A. *Energobezopasnost' i energosberezheniye*, 2019, no. 3, pp. 28–32. (in Russ.)
10. Nestyorkina N. P., Zhuravlyova Yu. A., Kovalenko O. Yu., Mikayeva S. A. *Light & Engineering*, 2020, no. 6(28), pp. 71–75.
11. Liu J., Xu C., Zheng H., Liu S. *IEEE 67th Electronic Components and Technology Conference (ECTC)*, Orlando, FL, USA, 2017, pp. 2243–2248.
12. Jie L., Jinglong Z., Sheng L. *Journal of Electronic Packaging*, 2020, no. 143, pp. 19–26.
13. Kovalenko O. Yu., Zhuravleva Yu. A., Mikaeva S. A., Nemov V. V. *Proceedings of the Murmansk State Technical University*, 2019, no. 4(22), pp. 471–476. (in Russ.)
14. http://www.mrsu.ru/ru/sci/labs.php?ELEMENT_ID=57865&spphrase_id=1149162. (in Russ.)

DATA ON AUTHORS

- Nina P. Nesterkina** — Mordovia State University, Institute of Electronics and Lighting Engineering, Department Lighting Engineering; Senior Lecturer; E-mail: nesterkina.n@mail.ru
- Olga Yu. Kovalenko** — Dr. Sci, Associate Professor; Mordovia State University, Institute of Electronics and Lighting Engineering, Department of Metrology, Standardization and Certification; Professor; E-mail: crystal2000@mail.ru

- Olga E. Zheleznikova** — PhD, Associate Professor; Mordovia State University, Institute of Electronics and Lighting Engineering, Department of Lighting Engineering; Director of the Institute; E-mail: sarstf@mail.ru
- Oksana A. Koltaeva** — Master Student; Mordovia State University, Institute of Electronics and Lighting Engineering, Department Lighting Engineering; E-mail: koltaeva.o@yandex.ru
- Julia A. Zhuravleva** — PhD, Associate Professor; MIREA — Russian Technological University, Institute of Advanced Technologies and Industrial Programming, Department of Electronics; National Research University „Moscow Power Engineering Institute“, V. A. Kotelnikov Institute of Radio Engineering and Electronics, Department of Lighting Engineering; E-mail: ulypil@mail.ru

Received 05.10.2023; approved after reviewing 27.10.2023; accepted for publication 22.03.2024.