

УДК 628.9.041.8

Разработка светодиодной ультрафиолетовой лампы специального назначения в колбе Т8

Ю. А. Журавлева, Н. П. Нестеркина, Е. А. Кузнецов*

*Национальный исследовательский Мордовский государственный университет, г. Саранск, Россия;
e-mail: kuznecov_ea@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4199-0931>

Информация о статье

Поступила
в редакцию
15.06.2020;

получена
после доработки
08.11.2020

Ключевые слова:

светодиодная лампа,
мощность,
энергетический поток,
лампа специального
назначения,
спектральное
распределение
излучения

Реферат

Люминесцентные ультрафиолетовые лампы трубчатые применяются в медицине, промышленности, косметологии, криминалистике, банковском деле. В ходе разработки светодиодной ультрафиолетовой лампы в колбе Т8 проведено сравнение ее светотехнических характеристик (мощности, энергетического потока, спектрального распределения излучения) с параметрами люминесцентных ламп специального назначения, выпускаемых на предприятиях промышленности. Конструкция светодиодной лампы включает стеклянную увиолевую трубку диаметром 26 мм и длиной 322 мм (толщина стенки 1 мм, сорт стекла СЛ97-3). Для точной установки лампы в облучательной установке и подведения к ней электрического питания применены пластиковые цоколи штырькового типа G13 (расстояние между электрическими контактами 12,7 мм). Измерения электрических параметров, энергетического потока и спектрального распределения излучения осуществлены при номинальном напряжении сети на фотоколориметрической измерительной установке Gooch & Housego. Разработанная светодиодная лампа потребляет в семь раз меньше электроэнергии, имеет значительно больший (в пять раз) ожидаемый срок службы и является более безопасным источником ультрафиолетового излучения, поскольку не содержит вредных паров ртути и ее соединений. Таким образом, светодиодную ультрафиолетовую лампу в колбе Т8 можно использовать вместо выпускаемых ламп ЛУФТ-10 для специальных целей, а именно в облучательных установках для проведения технологических процессов (фотохимических реакций, сушки, отверждения), для привлечения и дезинсекции насекомых в ловушках, в светокопировальных аппаратах.

Для цитирования

Журавлева Ю. А. и др. Разработка светодиодной ультрафиолетовой лампы специального назначения в колбе Т8. Вестник МГТУ. 2020. Т. 23, № 4. С. 319–325. DOI: 10.21443/1560-9278-2020-23-4-319-325

Development of a special purpose LED ultraviolet lamp in a T8 flask

Julia A. Zhuravleva, Nina P. Nesterkina, Evgeny A. Kuznetsov*

*Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia;
e-mail: kuznecov_ea@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4199-0931>

Article info

Received
15.06.2020;

received
in revised
08.11.2020

Key words:

LED lamp, power,
energy flow,
special purpose lamp,
spectral
distribution
of radiation

Abstract

Fluorescent tubular ultraviolet lamps are used in medicine, industry, cosmetology, forensic science, and banking. During the development of the LED ultraviolet lamp in a T8 flask, a comparison of its lighting characteristics (power, energy flux, spectral distribution of radiation) with the parameters of special-purpose fluorescent lamps produced at industrial enterprises has been carried out. The design of the LED lamp includes a glass uviole tube with a diameter of 26 mm and a length of 322 mm (wall thickness is 1 mm, glass grade – SL97-3). For precise installation of the lamp in the irradiation facility and supplying electric power to it, plastic caps of the G13 pin type (the distance between the electrical contacts is 12.7 mm) are used. Measurements of electrical parameters, energy flux and spectral distribution of radiation have been carried out at nominal mains voltage on a Gooch & Housego photocolormetric measuring device. The developed LED lamp consumes seven times less electricity, has significantly longer (five times) expected service life and is a safer source of ultraviolet radiation, since it does not contain harmful vapors of mercury and its compounds. The LED ultraviolet lamp in a T8 flask can be used instead of the manufactured LUFT-10 lamps for special purposes, namely, in irradiators for carrying out technological processes (photochemical reactions, drying, curing), for attracting and disinsecting insects in traps, in photocopyers.

For citation

Zhuravleva, Yu. A. et al. 2020. Development of a special purpose LED ultraviolet lamp in a T8 flask. *Vestnik of MSTU*, 23(4), pp. 319–325. (In Russ.) DOI: 10.21443/1560-9278-2020-23-4-319-325

Введение

В настоящее время светодиодные источники излучения (ИИ) благодаря их высокой энергоэффективности и большому сроку службы широко используются в различных областях экономики. Разработка светодиодов, излучающих в ультрафиолетовой (УФ) области спектра, позволила создавать светодиодные УФ-ИИ специального назначения.

Разрядные источники УФ-излучения в диапазоне длин волн 315–400 нм – люминесцентные ультрафиолетовые лампы трубчатые (ЛУФТ) – применяются в медицине, промышленности, косметологии, криминалистике и банковском деле. Лампы специального назначения предназначены для работы в различных облучательных установках, использующих фотохимическое и биологическое действие ультрафиолетового излучения (например, приборах для фототерапии воспалительных кожных заболеваний, в частности псориаза (*Николаева и др., 2014*), получения искусственного загара; аппаратах для фотолитографии, фотополимеризации лакокрасочных покрытий (*Heathcote, 2019*); оборудовании для изготовления печатных плат и интегральных микросхем, а также исследования различных материалов и проверки ценных бумаг с помощью люминесценции).

Анализ характеристик светодиодов, излучающих в УФ-области спектра (*Udhaya, 2016*), позволил выбрать светодиоды, имеющие достаточную выходную оптическую мощность при длине волны 370 нм. Целью исследования являлась разработка светодиодного УФ-ИИ с максимумом интенсивности излучения, приходящимся на 370 нм, и энергетическим потоком, равным 700 мВт, предназначенного для замены ламп специального назначения ЛУФТ-10, имеющих низкую энергоэффективность и относительно короткий срок службы.

Материалы и методы

Исследование характеристик светодиодной лампы осуществлялось в лаборатории центра коллективного пользования "Светотехническая метрология" (Институт электроники и светотехники МГУ им. Н. П. Огарёва)¹. Измерения электрических характеристик, энергетического потока и спектра излучения выполнялись согласно ГОСТ² в помещении с неподвижным воздухом при температуре $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$, атмосферном давлении 101 кПа и относительной влажности не менее 70 % в условиях отсутствия дыма и пыли. Измерения проводились при номинальном напряжении сети на фотоколориметрической измерительной установке фирмы Gooch & Housego, содержащей фотометрический шар OL IS7600, многоканальный спектрорадиометр OL 770 UV/VIS, оптоволоконный кабель 770–7G–3.0, прецизионный источник постоянного тока OL410–200 PRECISION LAMP SOURCE (для питания вспомогательной лампы AUX LAMP A180), арматуру (для крепления ламп), компьютер (*Микаева и др., 2012*).

Результаты и обсуждение

В качестве источника излучения в разрабатываемой лампе была выбрана УФ-светодиодная лента с оптической мощностью одного SMD светодиода 65 мВт китайской компании LightingWill³. Характеристики светодиодной ленты представлены в табл. 1.

Таблица 1. Характеристики светодиодной ленты
Table 1. Characteristics of LED strip

Параметр	Значение
Напряжение питания, В	12
Мощность, Вт/м	4,8
Длина волны излучения, нм	370
Угол рассеивания, град	120
Диапазон рабочих температур, град	От –10 до +60

Количество светодиодов на ленте, необходимое для достижения заданного энергетического потока, определено по формуле

$$n = \frac{Q_{\text{л}}}{Q_{\text{сд}} \tau}, \quad (1)$$

где n – количество светодиодов, шт.; $Q_{\text{л}}$ – энергетический поток лампы, Вт; $Q_{\text{сд}}$ – энергетический поток одного светодиода; τ – коэффициент пропускания излучения колбы.

¹ Центр коллективного пользования научным оборудованием "Светотехническая метрология" [Электронный ресурс]. URL: http://www.mrsu.ru/ru/sci/labs.php?ELEMENT_ID=57865&sphrase_id=1149162.

² См.: ГОСТ Р 54350-2015. Приборы осветительные. Светотехнические требования и методы испытаний. М., 2015. 41 с.; ГОСТ Р 55702-2013. Источники света электрические. Методы измерения электрических и световых параметров. М., 2014. 43 с.

³ LightingWill [Электронный ресурс]. URL: <https://lightingwill.com/>.

Для достижения энергетического потока в 700 мВт на отрезке светодиодной ленты длиной 248 мм размещены УФ-светодиоды в количестве 12 шт. Мощность, потребляемая светодиодной лентой, вычислена по формуле

$$P = P_{\text{сд}} l, \quad (2)$$
$$P = 4,8 \cdot 0,248 = 1,19 \text{ Вт},$$

где P – мощность участка светодиодной ленты, Вт; $P_{\text{сд}}$ – мощность 1 м светодиодной ленты, Вт/м; l – длина используемого отрезка светодиодной ленты, м.

Применяемый источник питания должен удовлетворять следующим требованиям:

- минимальное входное напряжение 207 В;
- номинальное входное напряжение 230 В;
- максимальное входное напряжение 253 В;
- частота питающей сети $f_n = 50$ Гц;
- напряжение на светодиодной ленте 12 В;
- мощность светодиодной ленты 1,19 Вт;
- ток, потребляемый светодиодной лентой, 100 мА.

В качестве источника питания использован драйвер на основе специализированного ШИМ-контроллера OB 2535⁴.

Поскольку максимум УФ-излучения лампы должен приходиться на длину волны 370 нм, было выбрано увиолевое эритемное стекло СЛ97-3 (*Dadonov et al., 2008; Коваленко и др., 2011*). Из него изготовлена стеклянная трубка с внешним диаметром 26 мм, длиной 322 мм и толщиной стенки 1 мм. Коэффициент пропускания излучения в диапазоне длин волн 350–400 нм равен 0,9 (*Чуркина и др., 2003*).

В процессе сборки лампы для дополнительной электроизоляции на драйвер установлена термоусадочная трубка (рис. 1).

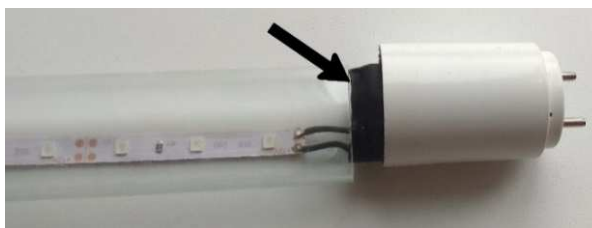


Рис. 1. Подключение драйвера
Fig. 1. Driver connection

Для точной ориентации источника излучения в облучательной установке и надежного электрического контакта в месте установки лампы в патрон применены пластиковые цоколи штырькового типа G13 (расстояние между электрическими контактами 12,7 мм). На внутреннюю поверхность цоколей нанесен клей марки Glue HMG-628H, после чего цоколи установлены на колбу так, чтобы насечки на них совпали с осью светодиодной ленты (рис. 2).



Рис. 2. Установка цоколя
Fig. 2. Base installation

⁴ OB2535 High precision CC/CV primary – side PWM power switch [Электронный ресурс]. URL: <https://datasheetspdf.com/datasheet/OB2535.html>.

Образец разработанной светодиодной УФ-лампы в колбе T8 представлен на рис. 3.



Рис. 3. Светодиодная УФ-лампа в колбе T8
Fig. 3. LED UV lamp in a T8 bulb

Габаритный чертеж на светодиодную лампу изображен на рис. 4.

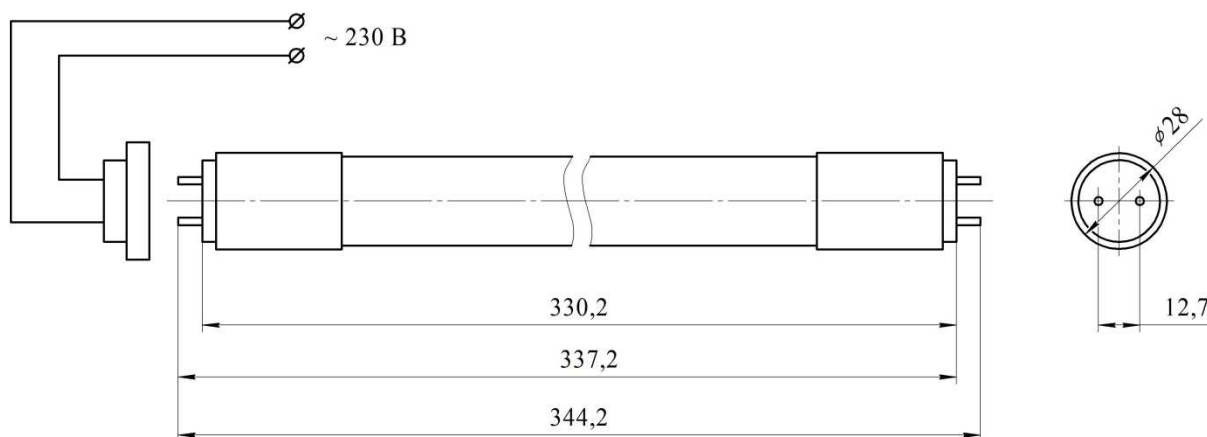


Рис. 4. Габаритный чертеж на светодиодную лампу
Fig. 4. Dimension drawing for LED lamp

В начале исследования было определено время стабилизации характеристик разработанной лампы (энергетического потока и мощности). График зависимости изменения энергетического потока лампы в течение времени стабилизации показан на рис. 5.

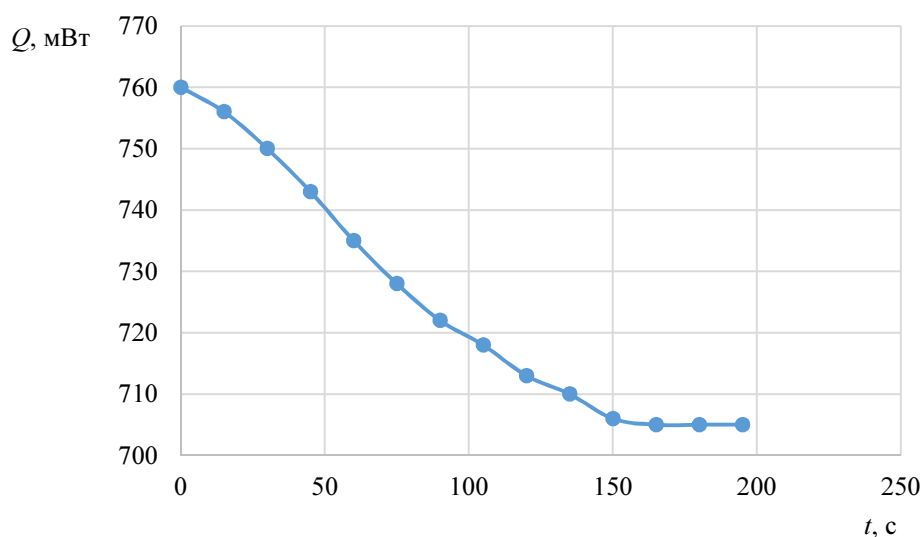


Рис. 5. Время стабилизации энергетического потока
Fig. 5. Stabilization time of the energy flux

Время стабилизации энергетического потока и мощности светодиодной лампы составило 3 мин 25 с. В период стабилизации потребляемая мощность лампы изменялась в пределах от 1,35 до 1,51 Вт. В установившемся режиме мощность лампы составила 1,4 Вт, энергетический поток 705 мВт.

Спектр излучения разработанной светодиодной лампы представлен на рис. 6.

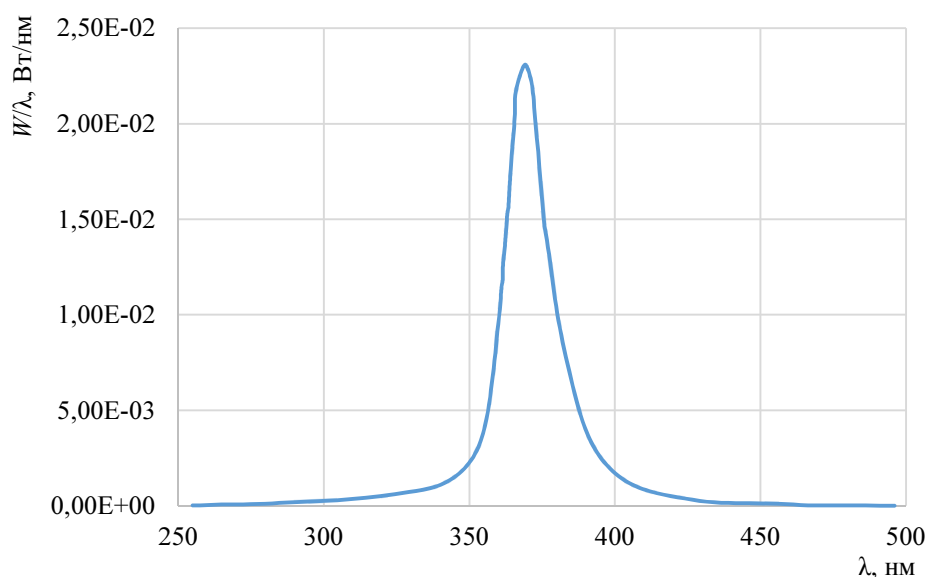


Рис. 6. Спектральное распределение излучения
Fig. 6. Spectral distribution of radiation

Анализ полученных результатов позволяет сделать выводы:

- спектр излучения лампы находится в длинноволновой УФ-А-области с максимумом, приходящимся на 370 нм;
- полуширина полосы излучения 17 нм;
- максимальная спектральная плотность потока излучения равна $2,31 \cdot 10^{-2}$ Вт/нм;
- энергетический поток светодиодной лампы 705 мВт.

Разработанную светодиодную УФ-лампу можно сравнить с лампами специального назначения ЛУФТ⁵. В лампах данного типа используется редкоземельный фотолюминофор марки ФЛ-370. Фотолюминофор данного типа преобразует излучение резонансной линии ртути 253,7 нм в излучение с максимумом интенсивности в спектре ультрафиолетового излучения, приходящегося на длину волны 370 нм (рис. 7) (Девятых и др., 2007). Таким образом, спектральное распределение излучения светодиодной УФ-лампы является аналогичным лампе ЛУФТ-10.

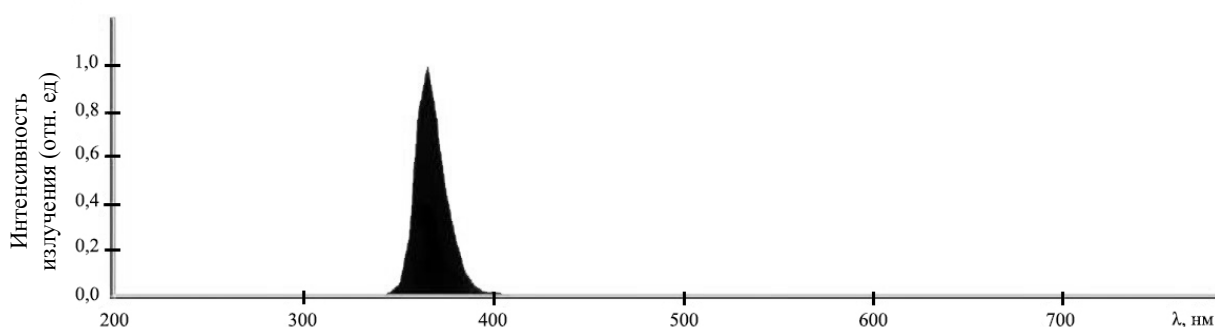


Рис. 7. Спектральное распределение излучения⁶
Fig. 7. Spectral distribution of radiation

⁵ Каталог продукции ООО "НИИИС имени А.Н. Лодыгина" [Электронный ресурс]. URL: <https://vniis.su/produktsiya/istochniki-sveta-svetovye-pribory-i-ikh-komponenty/lampy-ultrafioletovye>.

⁶ Там же.

В табл. 2 представлены характеристики разработанной светодиодной УФ-лампы и лампы ЛУФТ-10.

Таблица 2. Характеристики разработанной светодиодной УФ-лампы и лампы ЛУФТ-10 в колбе Т8
Table 2. Characteristics of the developed LED UV lamp and LUFT 10 lamp in a T8 bulb

Параметр	Светодиодная лампа	ЛУФТ-10
Мощность, Вт	1,4	10
Поток излучения ($\lambda = 370$ нм), мВт	705	700
Полуширина полосы излучения с длиной волны 370 нм, нм	17	20
Напряжение сети, В	230	230
Номинальный ток, А	0,006	0,230
Срок службы, ч	10 000*	2000
Длина, мм	344,2	344,2
Тип цоколя	G13	G13

Примечание. *Прогнозируемое значение с учетом срока службы светодиодов (Lee, 2015).

Заключение

Разработанная светодиодная УФ-лампа по энергетическому потоку с максимумом излучения при длине волны 370 нм и конструктивным параметрам является аналогом лампы ЛУФТ, выпускаемой на предприятиях промышленности. Светодиодная лампа потребляет в 7 раз меньше электроэнергии и имеет значительно больший (в 5 раз) ожидаемый срок службы. Разработанная лампа является более безопасным ИИ, поскольку не содержит в отличие от лампы ЛУФТ вредных паров ртути и ее соединений.

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что разработанную светодиодную ультрафиолетовую лампу можно использовать взамен ламп ЛУФТ-10 для специальных целей, а именно в облучательных установках для проведения технологических процессов (фотохимических реакций, сушки, отверждения), для привлечения и дезинсекции насекомых в ловушках, в светокопировальных аппаратах.

Библиографический список

- Девятых Э. В., Дадонов В. Ф. Люминесцентные лампы. Люминофоры и люминофорные покрытия. Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2007. 344 с.
- Коваленко О. Ю., Сарычев П. А., Микаева С. А., Микаева А. С. Совершенствование ультрафиолетовых разрядных ламп низкого давления // Автоматизация и современные технологии. 2011. № 12. С. 13–15.
- Микаева С. А., Железникова О. Е., Синицына Л. В. Комплекс современного исследовательского оборудования для световых измерений // Автоматизация и современные технологии. 2012. № 12. С. 33–36.
- Николаева Е. В., Алексеев Ю. В., Ларюшин А. И., Соснин Э. А. Применение ультрафиолетового излучения в диапазоне длин волн 305–315 нм в терапии ряда дерматологических заболеваний // Лазерная медицина. 2014. № 4. С. 51.
- Чуркина Н. И., Литюшкин В. В., Сивко А. П. Основы технологии электрических источников света / под общ. ред. А. А. Прыткова. Саранск : Мордов. кн. изд-во, 2003. 344 с.
- Dadonov V. F., Kovalenko O. Y. New possibilities for increasing the efficiency of erythral lamps // Light & Engineering. 2008. Vol. 16, Iss. 3. P. 83–85.
- Heathcote J. State of UV LED curing applications // UV+EB Technology. 2019. Iss. 1. URL: <https://uvebtech.com/articles/2019/state-of-uv-led-curing-applications/>. Дата публикации: 27.02.2019.
- Lee P. Advancements in UV LED curing technology and solutions for print // UV+EB Technology. 2015. Iss. 1. URL: <https://uvebtech.com/articles/2015/advancements-in-uv-led-curing-technology-and-solutions-for-print/>. Дата публикации: 03.06.2015.
- Udhaya G. Sankar. A survey on wavelength based application of ultraviolet LED // International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology. 2016. Vol. 2, Iss. 6. P. 23–24.

References

- Devatykh, E. V., Dadonov, V. F. 2007. Fluorescent lamps. Phosphors and phosphor coatings. Saransk. (In Russ.)
- Kovalenko, O. Yu., Sarychev, P. A., Mikaeva, S. A., Mikaeva, A. S. 2011. Improvement of ultraviolet discharge lamps of low pressure. *Automation. Modern Technologies*, 12, pp. 13–15. (In Russ.)
- Mikaeva, S. A., Zheleznikova, O. E., Sinitsyna, L. V. 2012. Complex of modern research equipment for light measurements. *Automation. Modern Technologies*, 12, pp. 33–36. (In Russ.)
- Nikolaeva, E. V., Alekseev, Yu. V., Laryushin, A. I., Sosnin, E. A. 2014. The use of ultraviolet radiation in the wavelength range 305–315 nm in the treatment of a number of dermatological diseases. *Laser Medicine*, 4, pp. 51. (In Russ.)
- Churkina, N. I., Lityushkin, V. V., Sivko, A. P. 2003. Fundamentals of technology of electric light sources. Ed. Prytkov A. A. Saransk. (In Russ.)

- Dadonov, V. F., Kovalenko, O. Y. 2008. New possibilities for increasing the efficiency of erythema lamps. *Light & Engineering*, 16(3), pp. 83–85.
- Heathcote, J. 2019. State of UV LED curing applications. *UV+EB Technology*. Iss. 1. URL: <https://uvebtech.com/articles/2019/state-of-uv-led-curing-applications/>. The date of publication: 27.02.2019.
- Lee, P. 2015. Advancements in UV LED curing technology and solutions for print. *UV+EB Technology*. Iss. 1. URL: <https://uvebtech.com/articles/2015/advancements-in-uv-led-curing-technology-and-solutions-for-print/>. The date of publication: 03.06.2015.
- Udhaya, G. Sankar. 2016. A survey on wavelength based application of ultraviolet LED. *International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology*, 2(6), pp. 23–24.

Сведения об авторах

Журавлева Юлия Алексеевна – пр-т Вернадского, 78, г. Москва, Россия, 119454; Российский технологический университет (РТУ МИРЭА), канд. техн. наук, доцент; e-mail: ulypil@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3919-5127>

Julia A. Zhuravleva – 78 Vernadskogo Ave., Moscow, Russia, 119454; Russian Technological University (MIREA – RTU), Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor; e-mail: ulypil@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3919-5127>

Нестеркина Нина Петровна – ул. Большевистская, 68, г. Саранск, Республика Мордовия, Россия, 430005; Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва, ст. преподаватель; e-mail: nesterkina.n@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3194-9369>

Nina P. Nesterkina – 68, Bolshevistskaya Str., Saransk, Republic of Mordovia, Russia, 430005; Ogarev Mordovia State University, Senior Lecturer; e-mail: nesterkina.n@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3194-9369>

Кузнецов Евгений Александрович – ул. Большевистская, 68, г. Саранск, Республика Мордовия, Россия, 430005; Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва, магистрант; e-mail: kuzneczov_ea@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4199-0931>

Evgeny A. Kuznetsov – 68, Bolshevistskaya Str., Saransk, Republic of Mordovia, Russia, 430005; Ogarev Mordovia State University, Master's Student; e-mail: kuzneczov_ea@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4199-0931>