



## ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ И КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СВЕТОДИОДНЫХ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Р.Х. Тукшаитов, Н.В. Роженцова, А.Р. Денисова

Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия  
trh\_08@mail.ru, natalia15969@yandex.ru, denisova\_ar@mail.ru

**Резюме:** На основе результатов исследования элементов электротехнической системы определены работоспособность и качество их функционирования на примере применения светодиодных филаментных ламп для освещения при непрерывной эксплуатации их при предельно допустимой температуре окружающей среды, равной 50 °С. **ЦЕЛЬ.** Актуальность данной работы определяется отсутствием сведений о работоспособности и качестве функционирования филаментных светодиодных ламп при непрерывной их эксплуатации в условиях повышенной температуры окружающей среды, имеющих место в котлотурбинных цехах ТЭЦ, литейных цехах заводов, пекарен хлебозаводов, в штольных угледобывающих шахт и подразделениях других предприятий. **МЕТОДЫ.** Рассмотрен в сравнительном плане ресурс филаментных и типовых светодиодных ламп разной мощности при их эксплуатации при сравнительно высокой температуре окружающей среды. **РЕЗУЛЬТАТЫ.** Установлено, что 10 Вт филаментная светодиодная лампа с 4 филаментами имеет энергоресурс, как и у качественной типовой светодиодной лампы. При этом температура ее корпуса не более 40 °С, что практически в 2 раза меньше. Увеличением расстояния между филаментами за счет использования меньшего количества филаментов открывается возможность повышения мощности питания в 2 раза и соответственного светового потока в 1,5 раза. Установлено, что срок работоспособности филаментных светодиодных ламп модели Gauss мощности 10 Вт, содержащих 4 филамента, составляет 70-75 суток, а с 8 филаментами лишь 22-24 суток. Деградация филаментных светодиодных ламп с 8 филаментами при предельно допустимой температуре окружающей среды равной 50 °С происходит со скоростью 0,45-0,50 % в сутки. Показано, что филаментная светодиодная лампа с 4 филаментами, в случае эксплуатации ее в течение 4,5 ч в сутки в условиях повышенной температуры окружающей среды может проработать практически более одного года. **ЗАКЛЮЧЕНИЕ.** В предварительных экспериментах с филаментной лампой новой конструкции модели Diall установлено, что использование в нем филаментов большей длины (45 мм), вместо ранее используемых (30 мм), позволяет повысить качество их функционирования приблизительно в 4 раза при эксплуатации их в тех же температурных условиях окружающей среды.

**Ключевые слова:** работоспособность; электротехническая система; филаментная светодиодная лампа; качество функционирования; энергоресурс; предельно допустимая температура.

**Для цитирования:** Тукшаитов Р.Х., Роженцова Н.В., Денисова А.Р. Разработка и исследование схемы измерения тока утечки при испытании изоляции повышенным выпрямленным напряжением // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 4. С. 96-104. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-4-96-104.

## INVESTIGATION OF EFFICIENCY AND QUALITY OF FUNCTIONING OF LED LIGHTING ELEMENTS OF ELECTRICAL SYSTEMS AT THE MAXIMUM PERMISSIBLE AMBIENT TEMPERATURE

Tukshaitov RH, Rozhencova NV, AR. Denisova AR.

Kazan State Power of Engineering University, Kazan, Russia  
trh\_08@mail.ru, natalia15969@yandex.ru, denisova\_ar@mail.ru

**Abstract:** Based on the results of the study of the elements of the electrical system, the operability and quality of their functioning are determined by the example of the use of LED filament lamps for lighting during their continuous operation at the maximum permissible ambient temperature equal to 50 °C. **THE PURPOSE.** The relevance of this work is determined by the lack of information about the operability and quality of functioning of filament LED lamps during their continuous operation in conditions of elevated ambient temperature, taking place in boiler-turbine shops of thermal power plants, foundries of factories, bakeries of bakeries, in the tunnels of coal mines and divisions of other enterprises. It is established that the working life of the Gauss LED filament lamps with a power of 10 W, containing 4 filaments, is 70-75 days, and with 8 filaments only 22-24 days. Degradation of filament lamps with 8 filaments at the maximum permissible ambient temperature of 50 °C occurs at a rate of 0.45-0.50 % per day. It is shown that a filament LED lamp with 4 filaments, if it is operated for 4.5 hours a day in conditions of elevated ambient temperature, can work for almost more than one year. **METHODS.** The resource of filament and typical LED lamps of different power is considered in comparative terms when they are operated at a relatively high ambient temperature. **RESULTS.** It is established that a 10 W filament LED lamp with 4 filaments has an energy resource, as well as a high-quality standard LED lamp. At the same time, the temperature of its body is no more than 40 °C, which is almost 2 times less. By increasing the distance between the filaments due to the use of a smaller number of filaments, it is possible to increase the power supply by 2 times and the corresponding luminous flux by 1.5 times. **CONCLUSION.** In preliminary experiments with a filament lamp of the new design of the Diall model, it was found that the use of longer filaments (45 mm) in it, instead of the previously used ones (30 mm), allows to increase the quality of their functioning by about 4 times when they are operated under the same ambient temperature conditions.

**Keywords:** performance, electrical system, flamenco led lamp, performance quality, energy resources, long-term exposure to temperature.

**For citation:** Tukshaitov RH, Rozhencova NV, Denisova AR. Investigation of efficiency and quality of functioning of led lighting elements of electrical systems at the maximum permissible ambient temperature. *Power engineering: research, equipment, technology.* 2021;23(4):96-104. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-4-96-104.

### **Введение**

Осветительные установки являются одним из важных элементов электротехнических систем, в которых все больше предпочтение отдается применению светодиодных осветительных устройств, обладающих достаточно высокой энергоэффективностью, качеством функционирования и большим сроком службы. Среди них, по оригинальности исполнения, выделяются филаментные светодиодные лампы (ФСЛ), разработке и выпуску которых в мире уделяется все большее внимание [1–3]. Об этом свидетельствуют не только потребности рынка, но и Постановление правительства РФ № 1356 от 10.11.2017, в котором выработаны требования к светоотдаче ФСЛ мощностью до 40 Вт, выпускаемые пока только отдельными фирмами.

Определенным достоинством ФСЛ заключается в том, что она обладает большей энергоэффективностью [4, 5], чем типовые светодиодные лампы (ТСЛ), существенно меньшей температурой корпуса [6–8], большей стабильностью светового потока [9–11], хорошим дизайном и характером распределения света в пространстве по сравнению с лампой накаливания [12–14].

Принципиальное отличие ФСЛ от ТСЛ заключается в том, что в них для отведения тепла от светодиодов используется не алюминиевый радиатор, а инертный газ гелий, обладающий наряду с водородом, самой высокой теплопроводностью [2, 4]. Для дальнейшего повышения светоотдачи ФСЛ предложена методика проведения просветления стекла ее колбы [15].

Работоспособность и качество функционирования осветительных источников, в том числе филаментных светодиодных ламп (ФСЛ), характеризуется скоростью спада их светового тока и временем наработки, которые определяются рабочей температурой p-n перехода светодиодов [16, 17], а также температурой окружающей среды [18–20]. В технических характеристиках ФСЛ указывается, что они способны работать при температуре от –20 °C до +40–50 °C. Эти значения справедливы только при двухчасовом испытании ФСЛ при указанных значения температуры окружающей среды.

ФСЛ, согласно ТУ 3460-001-99981859-2015, предназначена, прежде всего, для освещения и может использоваться в закрытых светильниках, где установившаяся температура по нашим данным достигает 45-50 °С. Поэтому выяснение степени снижения работоспособности ФСЛ при эксплуатации при предельно допустимой температуре окружающей среды представляется актуальной задачей.

Немалую информацию несет значение спада светового потока после включения. Она необходима для достоверной оценки первоначального спада освещенности светодиодных ламп разных типов. Этому посвящен также ряд других работ [21, 22].

Если сведения о результатах изучения характеристик разных типов светодиодных ламп при нормальной температуре окружающей среды (+25°C) излагаются во многих работах, то при предельно допустимых температурах они практически отсутствуют [18, 23]. Такие работы необходимы для прогнозирования энергоресурса ФСЛ при эксплуатации ее, например, в условиях литейных цехов, котлотурбинных цехов ТЭЦ, пекарен хлебозаводов, угледобывающих шахт и подразделений других предприятий и организаций. Испытания ФСЛ при высоких температурах также необходимы для выяснения наличия утечки гелия и ее влияния на фотометрические показатели, поскольку его потеря должна сопровождаться спадом освещенности помещений и ускоренному выходу ФСЛ из строя. Отсутствие такой информации является источником разноречивой интерпретации значений энергоресурса филаментных и типовых конструкций светодиодных ламп приводимых в технических характеристиках каталогов в пределах от 15000 до 50000 ч и даже до 100000 [3, 4]. Значительный разброс значений этих данных и большие сроки службы также требует их верификации.

В связи с изложенным выше, поставлена задача изучить длительность работоспособности ФСЛ и качества их функционирования при предельно допустимой положительной температуре окружающей среды, равной 45-50 °С.

#### **Материалы и методика**

В мини термокамере [24] на работоспособность и качество функционирования испытаны по 3 ФСЛ двух типов широко известной торговой марки *Gauss* с одинаковой заявленной мощностью, равной 10 Вт. Причем, в одном типе ламп используются 8 попарно соединенных филаментов по общепринятой схеме 30×4×2, а в другом – всего 4 филамента по схеме 30×2×2. Изучение двух типов ФСЛ с разным количеством филаментов (8 и 4) представляет интерес также по той причине, что согласно их техническим характеристикам они имеют одинаковые значения заявленной мощности и почти соизмеримые значения светового потока. В то же время хорошо известно, что общепринятая допустимая потребляемая мощность одного филамента ФСЛ обычно составляет порядка 1,0–1,2 Вт [3, 8, 29].

Каждую ФСЛ поочередно испытывали в термокамере. Температура в ней, при изменении температуры в комнате, сохранялась на уровне 50±1,5°C. При необходимости она корректировалась с помощью размещенного в термокамере дополнительного остекленного резистора ПЭВ с предельной мощностью рассеивания 20 Вт, питаемого напряжением 10-12 В от понижающего трансформатора. Фотоприемная головка люксметра ТКА-ПМК(08) располагалась по оптической оси источника света на расстоянии 25 см от прозрачного окна термокамеры. Включалась ФСЛ и измерялась величина спада освещенности в люксах в течение первых 3–4 часов их работы по ранее разработанной методике [25], апробированной в [26]. Последующие измерения осуществлялись вначале эксперимента с интервалом в 2–3 суток, а концу его завершения через 1–2 суток при круглосуточной эксплуатации ФСЛ в течение 25–30 суток. Для повышения точности определения спада освещенности и прогнозирования энергоресурса скорость спада освещенности вычислялась на завершающем десятидневном участке зависимости спада освещенности (%/сут): от времени наработки ФСЛ по формуле:

$$v = (\delta_8 - \delta_{18}) / 10\delta_8, \quad (1)$$

где  $\delta_8$  и  $\delta_{18}$  – относительные значения освещенности, измеренные по истечении 8 и 18 суток, то есть на протяжении завершающих 10 суток эксперимента.

Определение энергоресурса ( $R$ ) ФСЛ второго типа осуществлялось в сутках методом экстраполяции на основе значений скорости спада освещенности по формуле:

$$R = 24 (30 - \delta_E) / v, \quad (2)$$

где  $\delta_E$  – относительное значение спада освещенности в процентах вычисленное за первые 18 суток испытания ФСЛ; 30 – допустимое относительное значение спада освещенности в процентах, принятое в нормативных документах, 24 – количество часов в одних сутках.

**Результаты исследования**

В работе, прежде всего, был изучен такой важный параметр ФСЛ, как спад освещенности в первый час после его включения. Установлено, что у использованных ФСЛ стабилизация освещенности наступает по истечении уже 10–15 минут. По истечении этого времени спад освещенности у обоих типов ламп оказался равным 20–21%. При моделировании утечки гелия из ФСЛ спад освещенности при ее включении составляет уже 36%.

На рисунке 1 представлен характер спада светового потока ФСЛ с 8 филаментами при непрерывной эксплуатации их при температуре 50 °С. Характер спада освещенности у каждой лампы по истечении 5 суток начинает несколько отличаться.

В последующие сутки скорость спада освещенности находится на одном уровне и составляет 0,45–0,50 % /сут. По истечении 18–22 суток начинается интенсивная деградация светодиодов филаментов и люминофора [18, 19] и, соответственно, увеличение скорости спада освещенности порядком в 2 раза. При этом у 2 из 8 филаментов наблюдается небольшое свечение и только на одной трети центральной их части. Практически по истечении последующих 3–5 суток прекращается полное свечение всех ФСЛ.

После демонтажа стеклянной колбы ФСЛ, установлено, что причина этого является возникновение обрывов в определенных филаментах, поскольку драйверы оказались исправными и обеспечивали напряжение в режиме холостого хода, равным 313 В.

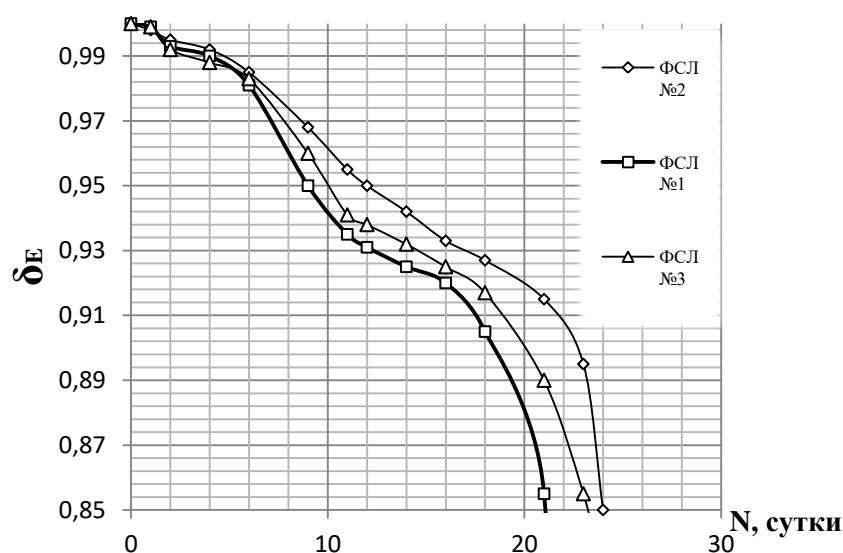


Рис. 1. Характер спада во времени освещенности ФСЛ с 8 филаментами

Fig. 1. The nature of the decay in time of the illumination of the FSL with 8 filaments

Наряду с ФСЛ с 8 филаментами были испытаны ФСЛ с 4 филаментами. Результаты испытания показали, что спад освещенности с обоими их типами имеет одинаковую скорость на соответствующих этапах времени. Вместе с тем, если работоспособность первого типа ФСЛ сохраняется в течение 23 суток, то второго типа, вычисленная на основе формулы (2), целых 73 суток, то есть практически в 3 раза больше (табл.).

Таблица

Значения ресурса ФСЛ при эксплуатации при температуре 50 °С окружающей среды в зависимости от количества филаментов

Колич. филаментов в ФСЛ Gauss 10 Вт	Значение энергоресурса	Длительность эксплуатации в сутки, ч			
		24	12	6	4,5
8	сут.	23	46	92	122
4*	сут.	73	146	292	388

\* – при отсутствии преждевременного отказа ФСЛ

Из представленных данных следует, что ресурс ФСЛ торговой марки Gauss с 4 филаментами при эксплуатации их при предельно допустимой температуре по 4,5 ч в сутки,

составляет 388 суток, в то время как ресурс ФСЛ с 8 филаментами, также с заявленной мощностью 10 Вт, обеспечивают энергоресурс в 3 раза меньше.

На сегодня фирма *Diall* начала производить ФСЛ новой конструкции, отличающиеся тем, что в них применили филаменты большей длины (45 мм), чем в ранее используемых, в том числе и в ФСЛ модели *Gauss*. Результаты предварительных экспериментов показали, что такие конструктивные изменения позволяют увеличить энергоресурс ФСЛ до 120 дней, что практически не уступает энергоресурсу сравнительно лучших ТСЛ модели *Verbatin b Xflach* [29]

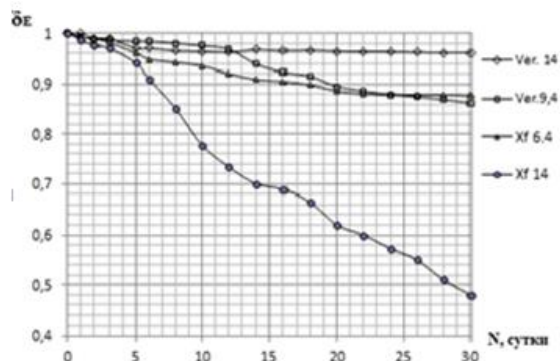


Рис. 2. Характер спада освещенности со временем у ряда типовых светодиодных ламп

Fig. 2. The nature of the decline in illumination over time for a series typical LED lamps

ФСЛ с 4 филаментами обеспечивают освещенность в 1,5 раза меньше, чем с 8 филаментами. Вместе с тем, поскольку ФСЛ с 4 филаментами потребляют ту же мощность, что и с 8 филаментами, то это позволяет говорить, что сила тока, протекающего через филаменты, в действительности в 2 раза больше. Несмотря на это, филаменты в ней находятся с одной стороны в более облегченном режиме, а с другой стороны, отсутствует дополнительный взаимный нагрев филаментов в силу их большего разнесения в пространстве и световое «затенение». При использовании ФСЛ с 4 филаментами световой поток лишь в 1,5 раза меньше, но энергоресурс наоборот существенно возрос. Вопреки ожиданию спад освещенности при включении ФСЛ в первые 5–10 минут оказался такой же по величине, как и с ФСЛ, содержащих 8 филаментов. Это косвенно указывает на то, что работа 4 филаментов происходит в несколько более облегченном режиме. Разнесение в пространстве филаментов в определенной степени снижает уровень деградации ФСЛ, что следует принять во внимание при разработке новых их конструкций.

Установлено, что спад освещенности, обеспечиваемый ФСЛ, при устранении стеклянной колбы и соответственно гелия имеет такое же значение, как и у исходного образца [22]. Это также открывает определенную перспективу по созданию ФСЛ новой конструкции. Намечается тенденция в применении в ФСЛ филаментов длиной 45 мм вместо 30, что также позволит увеличить их ресурс при эксплуатации в условиях повышенных температур окружающей среды.

#### Заключение

Результаты исследования филаментной светодиодной лампы при температуре +50 °С позволяют уже через 5–10 суток методом экстраполяции прогнозировать ресурс ее работы. Получено, что уменьшение количества филаментов в ФСЛ с 8 до 4, при той же потребляемой мощности, равной 10 Вт, облегчает тепловой режим ее работы, что ведет к повышению энергоресурса более чем в 3 раза. Полученные результаты открывают определенные возможности для ускоренного прогнозирования энергоресурса филаментных светодиодных ламп разных производителей в энергетических системах и создают необходимую основу для применения новой технологии при их проектировании. По энергоресурсу 4 Вт ФСЛ, не уступая типовым СДЛ, имеет температуры корпуса в 2 раза меньше.

Применение 10 Вт ФСЛ с филаментами с длиной более 30 мм позволяет повысить энергоресурс и открывает перспективы их широкого применения в качестве элементов электротехнических систем.

#### Литература

1. Абрашкина М., Доброзраков И., Кошин И., и др. Филамент светодиодный на смену вольфрамовой спирали // Полупроводниковая светотехника. 2015. № 4. С. 6–11.

2. Николаев Р.М., Ханиев А.Р. Филаментная светодиодная лампа // Мат. докл. 19 аспирантско-магистерского семинара, посвященного «Дню энергетика» Т. 1. Под ред. ректора КГЭУ Э.Ю. Абдуллазянова. 2016. С. 142-143.
3. Нестеркина Н.П., Кондрашин А.С. О характеристиках светодиодных филаментных ламп мощностью 4, 6, 8 Вт // В сборнике: Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики. Материалы 13 Всероссийской научно-технической конференции с международным участием в рамках 4 Всероссийского светотехнического форума с международным участием. Ответственный редактор О.Е. Железникова; Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва. 2017. С. 358–366.
4. Тукшаитов Р.Х., Сулейманова И. Филаментные светодиодные лампы. Аналитический обзор современных источников литературы // Полупроводниковая светотехника. 2018. № 1. С. 35–45.
5. Наумов А.А., Садыков М.Ф. Некоторые аспекты энергосбережения в осветительной технике // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. Т. 19. № 5-6. С. 109-118.
6. Нестеркина Н. П., Кондрашин А.С., Корсуков А.А. Сравнительное исследование филаментных ламп мощностью 4 Вт в колбах А50 и А60 // Наука и просвещение. Пенза, 2016. С. 14–21.
7. Сулейманова И.И., Гильфанов К.Х., Борисов А.Н. Филаментные светодиодные лампы ряда фирм: виды и их особенности // В сборнике: современная наука: актуальные вопросы, достижения и инновации. Сборник статей 4 международной научно-практической конференции. в 2 частях. ответственный редактор Г.Ю. Гуляев. 2018. С. 48-51.
8. Тукшаитов Р.Х. О механизме спада светового потока и снижения энергоэффективности светодиодных осветительных приборов после их включения // В книге: Нигматуллинские чтения - 2018 Международная научная конференция. Тезисы докладов. 2018. С. 5-9.
9. Тукшаитов Р. Исследование спада светового потока филаментной лампы после ее включения при полной потере гелия и демонтаже колбы // Полупроводниковая светотехника. 2019. № 4. С. 14-16.
10. Morgan Pattison P., Hansen M., Tsao I.Y. LED lighting efficacy Status and directions. Comptes Rendus Phys., 2017.
11. Нигматуллин Р.М., Иштырякова Ю.С., Тукшаитов Р.Х. К характеристике параметров современных типов светодиодных ламп в условиях повышенных температур в ЖКХ // В сборнике: Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики. Материалы 12 Всероссийской научно-технической конференции с международным участием в рамках III Всероссийского светотехнического форума с международным участием. Ответственный редактор О.Е. Железникова; Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва. 2015. С. 284-287.
12. Сулейманова И.И., Борисов А.Н. Исследование характеристик филаментных светодиодных ламп // В сборнике: STUDENT RESEACH. Сборник статей 3 Междун. научно-практического конкурса. Отв. Гуляев герман Юрьевич. 2018. С. 66-69.
13. Mauro Ctresa. Electrical Over Stress—How to Prevent an LED Failing Earlier than Expected // Optica. 2017. V. 5. Issue 7. P. 793–802.
14. Нестеркина Н.П., Кондрашин А.С., Корсуков А.А. Исследование температурного режима работы светодиодных филаментных ламп мощностью 4 Вт в колбах А50 и 60 // В сборнике XLV «Огаревские чтения: материалы научной конференции». Саранск, 2017. С. 358-366.
15. Борисов А.Н., Шириев Р.Р. Светодиодный источник света с повышенной светоотдачей // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2019. Т. 21. № 1-2. С. 111-119.
16. Pr. Cajochen Ch. Effect of daylight LED on visual comfort, melatonin, mood, waking performance, and sleep // Journal of Lighting & Research Tech. March 24. 2019.
17. Гарипов Р.Р. Исследование зависимости световых параметров светодиодных светильников от температуры окружающего пространства // Мат. докл. 9 Междун. молод. науч. конф. «Тинчуринские чтения». Т. 1. Казань: КГЭУ, 2014. С. 259.
18. Тукшаитов Р.Х. Результаты длительного испытания филаментных ламп при нормальной и предельно допустимой температуре окружающей среды после демонтажа их колб // Полупроводниковая светотехника. 2020. № 1. С. 6-8.

19. Айхайти Исыхакэфу. Метод комплексного контроля качества светодиодных осветительных приборов на основе исследования их характеристик // Автореферат дисс. на соис. учен. степ. канд. технич. наук. Казань: КГЭУ, 2018. 16 с.
20. Ivanov D.A., Yaroslavsky D.A., Sadykov M.F., et al. Development of Test site on the basis of Led Lamps for Debugging software of wireless network for processes automation modules // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2018. V. 13. № 5. pp. 1864-1870.
21. Gurin S.Y., B.V. Akimov, B.P. Gritsenko, Theoretical and experimental investigations of LED luminaire // Applied Mechanics and Materials V. 756. 2015. pp. 453-45.
22. Ju Yangyang. Heating LED phosphors during conversion excitation energy in the luminescence diss. on the drip. Cand. Physicalmat.sciences. Tomsk, 2019. 23 p.
23. Ju Yangyang. Luminescence decay kinetics of yttrium aluminium garnet phosphor at different temperature // Journal of Physics: Conference series – 2018. V. 115. № 052004.
24. Айхайти Исыхакэфу, Ямбаева Т.А., Любавин И.Г. Малогабаритная термокамера для контроля рабочих характеристик светодиодных и компактных люминесцентных ламп // XI Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием «Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики». Саранск, 2013. С. 295-296.
25. Тукушаитов Р.Х., Айхайти И., Сулейманова И.И. Разработка методики определения величины спада светового потока филаментных ламп на основе ГОСТ Р 54350-2015 // Инженерный вестник Дона. 2018. № 1. (2018).ivdon.ru/magazine/nLy2018/4675/.
26. Тукушаитов Р. Типовые и филаментные светодиодные лампы. Каким образом можно оперативно оценить их качество. Часть 3 // Полупроводниковая светотехника. 2019. № 3 (59). С. 9-11.

#### Авторы публикации

**Тукушаитов Рафаил Хасьянович** – д-р. биол. наук, профессор кафедры «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений», Казанский государственный энергетический университет.

**Рожнецова Наталья Владимировна** – канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений», Казанский государственный энергетический университет.

**Денисова Алина Ренатовна** – канд. техн. наук, доцент кафедры «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений», Казанский государственный энергетический университет.

#### References

1. Abrashkina M., Dobrozrakov I., Koshin I., et al. Flame LED to replace tungsten spiral. *Semi-conductor light technology*. 2015;4:6-11.
2. Dobrozrakov I.E. LED lamp «Lisma»: A new word in the market of light sources. *Lighting equipment*. 2015. pp 48-50.
3. Nesterkina NP, Kondrashin AS. About the characteristics of LED 4, 6, 8 W filament lamps. In the collection: *Problems and prospects for the development of domestic lighting, electrical and energy*. Materials of the 13 All-Russian Scientific and Technical Conference with international participation in the framework of the IV All-Russian Lighting forum with international participation. Executive editor O.E. Zheleznikova; Mordovia State University named after N. P. Ogarev. 2017. pp. 358-366.
4. R. Tukshaitov, I. Suleymanova. Filament LED lamps. Analytical overview modern of sources literature. *Semiconductor lighting*. 2018;1:35-45.
5. Naumov AA, Sadykov MF. Some aspects of energy saving in lighting technology. *News of higher educational institutions. Energy problems*. 2017;19(5-6):109-118.
6. Nesterkina NP, Kondrashin AS, Korsukov AA. Comparative study of 4 W flamencant lamps in the A50 and A60 colbach. *Science and education*. Penza, 2016. pp. 14-21.
7. Suleimanova II, Gilfanov KKh, Borisov AN. *Flamencant LED lamps of a number of companies: Types and their features*. IN the collection: Modern science: Topical issues, achievements and innovations Collection of articles of the iv International Scientific and practical Conference. In 2 parts. 2018. Pp. 48-51.



8. Tukshaitov RH. *On the mechanism of the reduction of the luminous flux and the reduction of the energy efficiency of LED lighting devices after their inclusion*. IN the book: Nigmatullin readings – 2018 International Scientific Conference. Abstract of reports. 2018. Pp. 5–9.
9. Tukshaitov R. Study of the decrease in the luminous flux of a filament lamp after its activation with complete loss of helium and removal of the bulb. *Semi-conductor light engineering*. 2019;4:14-16.
10. Morgan Pattison, Hansen M, Tsao IY. *LED lighting efficacy Status and directions*. Comptes Rendus Phys., 2017.
11. Nigmatullin RM, Ishtyyakova YuS, Tukshaitov RH. *To the characteristics of modern lamp tops in conditions of high temperatures in housing and communal services*. IN the collection: Materials of the 12 All-Russian Scientific and Technical Conference with international participation in the 3 All-Russian Lighting Technical Forum with international participation. Mordovia State University named after N. P. Ogareva. 2015. pp. 284–287.
12. Suleimanova II, Borisov AN. *Study of the characteristics of filament LED lamps*. IN the collection: *Student research*. Collection of articles 3 of the International Scientific and practical Competition. Responsible Editor Gulyaev Herman Yurievich. 2018. pp. 66–69.
13. Mauro Ctresa. Electrical Over Stress—How to Prevent an LED Failing Earlier than Expected. *Optica*. 2017;5(7):793–802.
14. Nesterkina NP, Kondrashin AS, Korsukov AA. *Study of the temperature mode of operation of light-diode filament lamps with a power of 4 W in the kolbach A50 and 60*. IN the collection: XLV Ogarvian readings Materials of the scientific conference. In 3 parts. 2017. pp. 358-366.
15. Borisov AN, Shiriev RR. LED light source with increased light output. *Higher educational institutions. Energy problems*. 2019;21:1-2:111-119.
16. Pr. Cajochen Ch. Effect of daylight LED on visual comfort, melatonin, mood, waking performance, and sleep. *Journal of Lighting & Research Tech*. March 24. 2019.
17. Garipov RR. *Investigation of the dependence of light parameters of LED lamps on the temperature of the surrounding space*. Mat. Docles. IX Intl. Young scientific conf. of the Latin readings. THE 1. Kazan: KGEU, 2014. pp. 259.
18. Tukshaitov RH. Results of long-term test of filament lamps at normal and pre-sufficient ambient temperature after removal of their bulb. *Semi-conductor lighting equipment*. 2020;1:6-8.
19. Ayhaichi Isyhakefu. *Method of integrated quality control of LED lighting devices based on research of their characteristics*. Abstract of the docs. on the scientific step. technical sciences. Kazan: KGEU, 2018. 16 p.
20. Ivanov DA, Yaroslavsky DA, Sadykov M.F., et al. Development of Test site on the basis of Led Lamps for Debugging software of wireless network for processes automation modules. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018;13(5):1864-1870.
21. Gurin SY, Akimov BV, Gritsenko BP. Theoretical and experimental investigations of LED luminaire. *Applied Mechanics and Materials*. 2015;756:453–458.
22. Ju Yangyang. *Heating LED phosphors during conversion excitation energy in the luminescence diss. on the drip*. Cand. Physical-mathematical sciences. Tomsk, 2019. 23 p.
23. Ju Yangyang. Luminescence decay kinetics of yttrium aluminium garnet phosphor at different temperature. *Journal of Physics: Conference series*. 2018;115:052004.
24. Aihayti Isykhakafu, Yambaeva T.A., Lyubavin I.G. *Compact heat chamber to monitor the performance of LED and compact fluorescent lamps*. 11 All-Russian Scientific and Technical Conference with international participation Problems and prospects for the development of national lighting engineering, electrical engineering and energy. Saransk, 2013, pp. 295–296.
25. Tukshaitov RKh, Aikhay I, Suleimanova II. Method development method of determining the magnitude of the decline of the luminous flux filament lamps based on GOST R 54350–2015. *Don Engineering Bulletin*. 2018 № 1 (2018). [ivdon.ru/magazine/nLy2018/4675/](http://ivdon.ru/magazine/nLy2018/4675/).
26. Tukshaitov R. Typical and filamentable LED lamps. How they can be assessed quickly. Part 3. *Semiconductor lighting technology*. 2019;3:9–11.

#### Authors of the publication

**Raphael Kh. Tukshaitov** – Kazan State Power of Engineering University, Kazan, Russia.

**Natalia V. Rozhentsova** – Kazan State Power of Engineering University, Kazan, Russia.



*Alina R. Denisova* – Kazan State Power of Engineering University, Kazan, Russia.

*Получено*

*28 июля 2021г.*

*Отредактировано*

*04 августа 2021г.*

*Принято*

*05 августа 2021г.*