
ОПТИЧЕСКИЕ И ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

УДК: 620.169.1
DOI: 10.17586/0021-3454-2019-62-7-632-640

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ ИСПЫТАНИЯ СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

В. П. КУЗЬМЕНКО, В. Ф. ШИШЛАКОВ, С. В. СОЛЁНЫЙ,
Е. С. КВАС, О. Я. СОЛЁНАЯ

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,
190000, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: mr.konnyu@gmail.com*

Представлены результаты исследовательских испытаний светодиодных ламп на надежность. Выявлены наиболее критические причины, влияющие на снижение светового потока светодиодных источников света. Рассмотрены основные типы и причины отказов элементов электромеханической системы светодиодных ламп. Описаны существующие методики испытаний и средства определения срока службы светодиодного источника света. Экспериментально получены кривые нагрева и остывания светодиодной лампы в горячей точке. Представлен график изменения уровня освещенности черного ящика светодиодной лампой в зависимости от количества циклов ее включения и выключения.

Ключевые слова: *светодиоды, светодиодная лампа, источник света, световой поток, освещенность, методика испытания, определение срока службы*

Введение. Массовое использование светодиодных источников света, как в новых, так и в действующих электроустановках, связано с одним из направлений развития энергетической отрасли — повышением энергоэффективности и усовершенствованием не только ее экономической, но и экологической составляющей. Основным документом в данной области является закон „Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации“ от 29.07.2018 [1] (см. также ГОСТ Р 54815-2011).

Однако решение этого вопроса, вокруг которого существует множество различных мнений, осложняется тем, что истинные показатели надежности и срока службы светодиодных систем освещения в настоящее время точно неизвестны [2—6]. Это значит, что пока невозможно достоверно определить истинную экономическую целесообразность массового применения данных источников света. Следует отметить также, что для определения срока службы светодиодных систем широко используются относительные значения полного светового потока при заданной наработке. Этот показатель может ввести потребителя в заблуждение вследствие того, что деградация излучения является только одной из нескольких составляющих, которые влияют на надежность светильника. Данная проблема в первую очередь обусловлена отсутствием статистических и экспериментальных данных.

Кроме того, при разработке новых проектных решений по строительству и модернизации электроустановок проектировщик, как правило, не учитывает высокие показатели

нелинейных характеристик драйверов светодиодных светильников, наличие в них гармонических составляющих тока и напряжения, генерацию реактивной мощности в сеть, наличие импульсных токов в момент пуска, а также влияние перечисленных факторов на электромагнитную совместимость потребителей электрической сети. Относительно лучше ситуация на уровне готовых светодиодных модулей, так как производителями собрано большое количество данных по эксплуатации этих модулей в разных условиях. Однако данных все еще недостаточно. Поэтому не вызывает сомнений актуальность совместной, осуществляемой производителями твердотельных источников света, инженерами, учеными и другими специалистами, разработки вопросов, касающихся срока службы и надежности светотехнических изделий данного типа, а также необходимости фиксировать отказы и исследовать причины и механизмы их возникновения.

Типы отказов. Светодиодный источник света представляет собой электромеханическую систему, которая имеет значительно более сложное устройство, чем традиционные лампы. Такая система, как правило, состоит из самого источника света, блока управления электрическим током, блока формирования оптического сигнала, системы защиты, теплоотвода, а также механической конструкции с элементами дизайна.

В силу того что светодиоды характеризуются продолжительным сроком службы, такие компоненты, как адгезивы и прочие материалы поверхностного сцепления, должны служить так же долго. Если не обеспечить данный показатель, то срок службы всей системы значительно уменьшается [1, 7—9].

Абстрагируясь от причин отказов из-за неправильно спроектированной или реализованной осветительной системы, основной причиной отказа можно считать снижение уровня светового потока, т.е. постепенную деградацию кристаллов светодиодов.

Перегрев. Помимо отказов, возникающих еще на этапе сборки, существует большое количество отказов, не связанных с технологическими процессами производства. Так, тепло, которое излучают источники света в процессе эксплуатации, должно иметь правильно спроектированный отвод. Для этого, помимо радиатора, требуется надежный теплопроводящий блок. Для надежной работы драйвера необходимо, чтобы источник питания и электронные компоненты обеспечивали заданный управляющий ток и не отказали бы прежде, чем будет исчерпан ресурс самого источника света. По мнению многих поставщиков светового оборудования, перегрузка светодиодов драйверами является одной из основных причин отказов.

Одним из примеров отказа вследствие перегрева может быть ошибка при выборе источника питания при проектировании светильника. Важно проверять, есть ли запас между максимальными пульсациями выходного тока драйвера и максимально допустимым током светодиода в конкретном режиме. Также следует учитывать, что пульсации могут увеличиваться при высыхании выходных электролитических конденсаторов, используемых в конструкции большинства доступных на рынке драйверов [10].

Помимо возможности возникновения пульсаций, при переходных процессах в драйвере светильника существует вероятность повреждения светодиодов при электрическом пробое печатной платы. Проблема может возникать при авариях в сети, наводках в проводах, выходах из строя устройств питания светильников, а также при наличии нечетных гармоник тока и напряжения, которые многие светодиодные источники света генерируют при массовом использовании на одной линии или фазе. В результате этого может произойти пересыхание конденсатора драйвера, что приведет к повышению предельно допустимого значения токов, протекающих через светодиоды [11].

Механические повреждения. При деформации алюминиевых печатных плат (например, во время разделения заготовки) возникает механическое напряжение, которое передается на кристалл через жесткую подложку и может привести к появлению трещин, вплоть до полного отказа светодиода.

При установке светодиодов в корпус изделия, например на печатные платы (Printed Circuit Board — PCB), могут возникнуть нарушения электрических соединений.

Механические нагрузки, возникающие, например, при сгибе контактов светодиодов в ходе сборки светильника, могут вызвать трещины и расслоения в инкапсулирующем соединении, что делает возможным проникновение загрязняющих веществ внутрь и их попадание на чип или металлические контакты.

Тепловой контакт и тепловыделение являются довольно критичными факторами, влияющими на долговечность работы электромеханической системы светодиодных светильников [12, 13]. Это особенно справедливо в случае светодиодов высокой мощности. Сборка должна обеспечивать стабильный тепловой отвод на протяжении всего срока полезной эксплуатации устройства.

Несовместимость химических материалов, их старение. При производстве светодиодов необходимо принимать во внимание множество источников неисправностей. Процесс пайки особенно критичен, так как тепловая перегрузка является одной из причин появления микротрещин и отслоений на границе кристалла (чипа) и подложки. Это связано с различными коэффициентами расширения материалов.

Наличие влаги внутри светильников также может привести к появлению микротрещин и полостей в элементах пайки из-за достаточно быстрого нагрева светодиодов, коррекции эпитаксиальных слоев и коррозии на границе поверхностей элементов. Следует отметить, что использование прозрачных материалов для инкапсуляции, таких как силикон или эпоксидная смола, не позволяет добиться полной герметизации и, следовательно, не обеспечивает защиту от влаги и других вредных факторов.

Еще одним типичным фактором, снижающим полезный срок службы светодиодного светильника, является старение инкапсулирующих материалов под влиянием ультрафиолетового излучения или деградации люминофора белых светодиодов, что также ведет к изменению их цвета (эффект известен как „пожелтение“). Снижение производительности возможно и вследствие повреждения отражающих поверхностей.

Деградация светового потока. При превышении номинальной силы тока, указанной в документации, и эксплуатации светодиодов при рабочей температуре выше или ниже допустимых значений происходит повреждение кристаллической решетки. Снижается мощность излучения кристалла. Поврежденные области продолжают генерировать тепло, но света не излучают. Электрический ток перестает проходить через участки кристалла, излучающие свет. Затем вследствие увеличения разности потенциалов на выводах светодиода уменьшается его мощность.

Старение люминофора. Деградация люминофора происходит под воздействием высоких температур, так как он наносится непосредственно на сильно нагретый кристалл. При деградации люминофора, помимо снижения яркости светодиода, изменяется оттенок его свечения на более холодный, синий. Это происходит потому, что в спектре начинает преобладать собственное излучение кристалла.

Исследовательские испытания светодиодной лампы на надежность. Объектом в ходе испытаний служила светодиодная лампа со встроенным устройством управления фирмы Rayet LED модели LED1629G5 с цоколем типа E27. Характеристики светодиодной лампы, указанные в заводском паспорте изделия, приведены ниже.

| | |
|--|---------|
| Мощность, Вт | 5 |
| Аналогичная мощность лампы накаливания, Вт | 35 |
| Световой поток, лм..... | 400 |
| Цветовая температура, К | 2700 |
| Заявленное время наработки до отказа, ч..... | 250 000 |

Задача испытаний — исследование процессов, происходящих в электромеханической системе лампы в моменты ее включения и выключения, влияния циклов включения и выключения на износ элементов системы и деградацию светового потока источника света.

В ходе исследований была построена программа циклов включения и выключения лампы на базе микроконтроллера Arduino UNO [15]. Схема подключения контроллера, реле и других элементов системы показана на рис. 1.

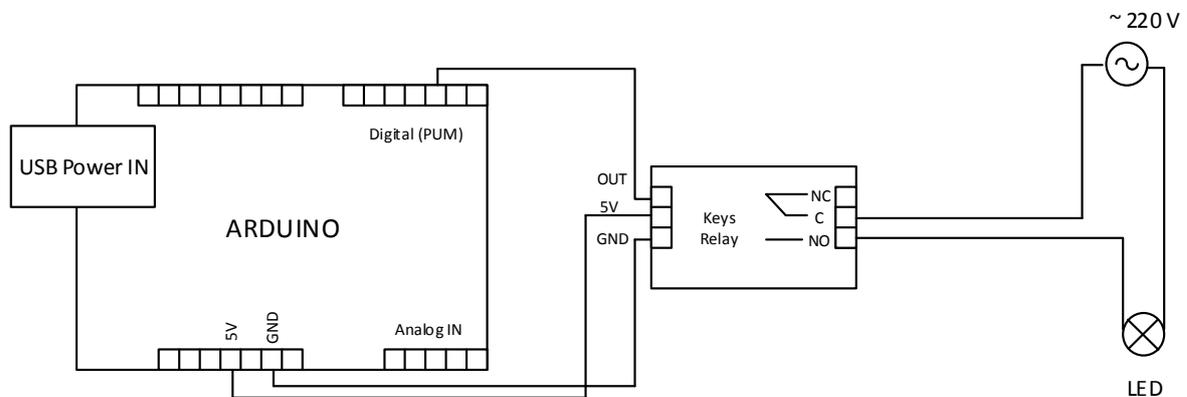


Рис. 1

Во избежание трудоемких сопоставлений ускоренных испытаний с реальными условиями эксплуатации программа цикла была рассчитана таким образом, чтобы приблизить условия испытания лампы к условиям, максимально близким к нормальным. Для этого был произведен замер параметров теплового режима лампы.

Проверка режима нагрева элементов светодиодной лампы проводилась путем тепловизионного контроля, а также посредством регистрации температуры терморезистором, подключенным к контроллеру и установленным на обратной стороне поверхности печатной платы, которая является самым горячим элементом лампы после источника света. Внешний вид платы, установленной в лампе, и используемый микроконтроллер показаны на рис. 2.

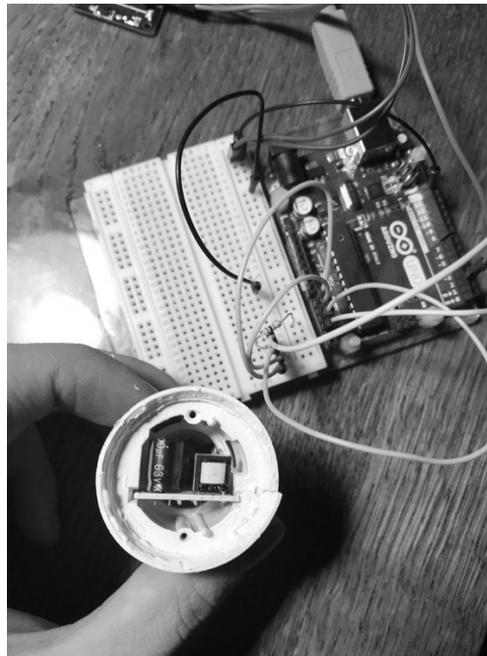


Рис. 2

Графики нагрева и остывания лампы с течением времени представлены на рис. 3, а, б соответственно.

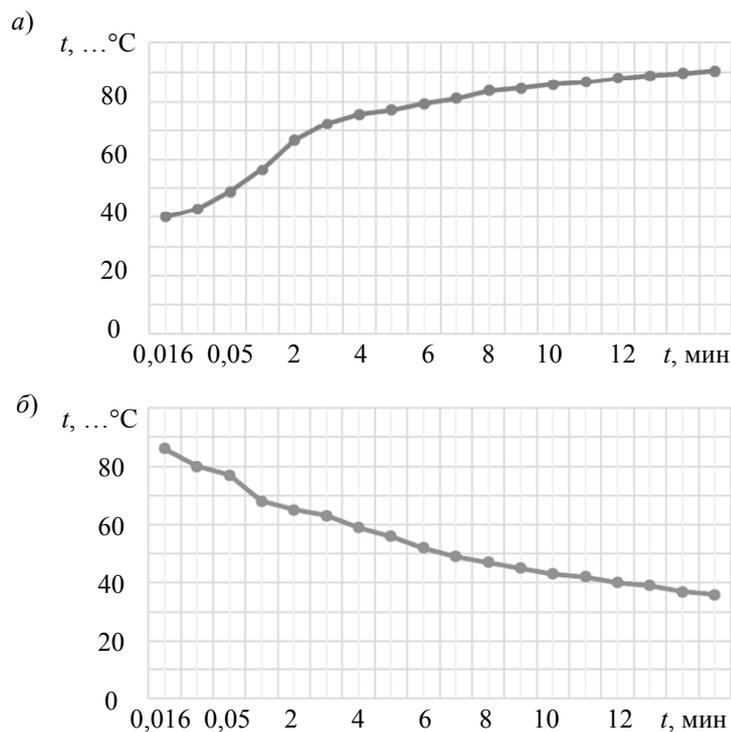


Рис. 3

Анализ графиков показывает, что нагрев до номинальной температуры в самой горячей точке лампы происходил приблизительно за 15 мин, дальнейший нагрев не происходил либо был незначителен. Исходя из условий щадящего режима, максимально приближенных к нормальным, для лампы был выбран режим включенного состояния — 10 мин, в течение которого температура в самой горячей точке лампы (по сравнению с температурой на обратной стороне печатной платы) повышалась до 85—86 °С, затем лампа выключалась и остывала в режиме выключенного состояния в течение 6 мин. За период выключенного состояния температура в горячей точке лампы снижалась до 49—52 °С.

Установившаяся термограмма, в рамках максимально разрешенного по условиям эксперимента режима, показана на рис. 4.



Рис. 4

Основной целью испытаний была проверка количества циклов включения и выключения светодиодной лампы, при которых начальные характеристики лампы не изменятся более чем на 30 %.

Испытания проводились согласно ГОСТ Р 54815-2011, при нормальных условиях и при вертикальном положении лампы цоколем вверх, в том числе в процессе измерения светового потока. Для измерения светового потока использовался прибор АРГУС-07.

Основным критерием отказа светодиодной лампы в ходе испытаний (согласно ГОСТ Р 54815-2011 и ГОСТ Р МЭК 60598-1-2011) была принята деградация светового потока более чем на 30 %. Деградация светового потока сопоставлялась с уменьшением освещенности от лампы, помещенной в черный ящик, где проводились замеры. Чувствительный элемент прибора устанавливался непосредственно над лампой вертикально на расстоянии 0,1 м. Аналогично измерялось количество пульсаций от источника света.

График изменения освещенности черного ящика исследуемой светодиодной лампой в зависимости от количества циклов ее включения и выключения (N) представлен на рис. 5.

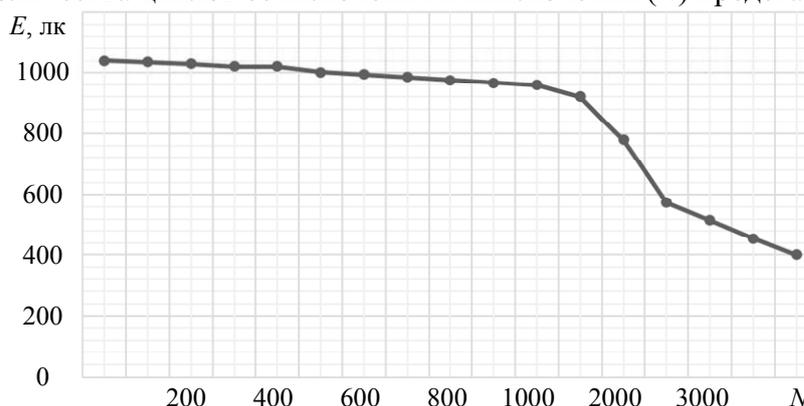


Рис. 5

Результаты испытаний. На основе представленных на рис. 4 графиков можно сделать вывод, что в первые минуты включения происходит резкий нагрев всех элементов электро-механической системы светодиодной лампы. Нагрев элементов происходит в основном за счет протекания в них электрического тока и выделения энергии источником света (самим кристаллом). Более всего нагреваются сам источник света и его подложка, элементы печатной платы (драйвера) лампы. Температура всех основных элементов лампы при номинальном режиме через 10—15 мин достигает примерно 90—95 °С. Такая температура является достаточной высокой для системы, что способствует ускоренной деградации кристаллов и других элементов системы и неизбежно приведет к уменьшению яркости и спектра излучения лампы.

Как видно из графика (см. рис. 5), наиболее заметные изменения освещенности наступили после приблизительно 800—900 циклов включения и выключения лампы в щадящем режиме. После 1000 циклов наблюдалась ускоренная деградация светового потока. На момент прохождения 2200 циклов уменьшение освещенности составило 30 % (~700 лк) от измеренного в начале испытаний значения ~1040 лк. Данные показатели значительно выше заявленных в паспортных данных лампы, однако этот фактор не существен, так как замеры освещенности проводились в черном ящике размером 30×30 см, что позволяло установить головку с чувствительным элементом прибора только на расстоянии 10 см от лампы.

С увеличением циклов возрастал также и коэффициент пульсации с 13,2 до 17,8 %, что говорит о влиянии циклов включения и выключения не только на источник света, но и на элементы печатной платы (драйвера).

Действующие санитарные нормы РФ (СП 52.13330.2011 „Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95“ и СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03) ограничивают частоту пульсации приборов освещения значением в 300 Гц. Так, например, в игровых комнатах детских садов, в учебных классах, медицинских учреждениях и т.п. этот показатель не должен превышать 10 %.

Заключение. Стабильность параметров светового потока и его цвета не определяется только характеристиками светодиода. Это связано с тем, что в результате различий в схемах теплоотводов светодиода и электронные цепи работают в разных условиях несмотря на одинаковое время эксплуатации и рабочую температуру, а материалы, применяемые в устройстве, изнашиваются по-разному. Также некоторые светильники оснащены системой активного управления цветом, в том числе датчиками и элементами управления. Однако параметры этих элементов со временем изменяются, что также влияет на цвет светильника.

Существующие стандарты по испытаниям светодиодных светильников не распространяются на время испытаний, превышающее 10 000 ч. Последующие характеристики определяются в результате экстраполяции данных по методу наименьших квадратов [16]. К числу факторов, усложняющих экстраполяцию данных об изменении цвета, относятся различия светодиодных решений, материалов, процессов изготовления, оптических систем, а также рабочих температур и времени эксплуатации светодиодов.

В понятие срока службы светодиодных источников света не включено изменение цвета даже несмотря на то, что в некоторых приложениях это изменение может рассматриваться пользователем как сбой. При определении срока службы главным приоритетом принято считать световую отдачу. Это решение говорит о том, что стабильность светового потока связана с вопросами обеспечения безопасности жизни, тогда как стабильность цвета — только с эстетическим восприятием. В некоторых случаях производители могут не заявлять срок службы изделий в технических характеристиках, сообщая вместо этого параметры, действующие в течение определенного времени, что дополнительно свидетельствует о нехватке данных по этому вопросу.

Средства определения срока службы в настоящее время не полностью стандартизованы. Методы измерения светового потока ламп также находятся в стадии рассмотрения. Измерение светового потока согласно ГОСТ Р 54815-2011 не оптимизировано для светодиодных ламп [17, 18]. Дополнительные определения срока службы и методы его расчета с помощью кратковременных измерений все еще обсуждаются.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Внедрение энергосберегающих светодиодных систем освещения в государственных и частных сетях России // Полупроводниковая светотехника. 2009. № 2 [Электронный ресурс]: <http://www.led-e.ru/articles/led-application/2009_2_46.php>.
2. Смирнов В. И., Сергеев В. А., Гавриков А. А. Спектральный метод измерения теплового сопротивления светодиодов и оценка оптимальных режимов его реализации // Автоматизация процессов управления. 2014. № 3. С. 31—37.
3. Сергеев В. А., Фролов И. В., Широков А. А. Связь снижения квантовой эффективности InGaN/GaN светодиодов при испытаниях с особенностями вольт-фарадных характеристик // Нелинейный мир. 2013. № 2. С. 90—91.
4. Богданов А. Опыт внедрения светодиодных систем освещения на объектах ОАО „РЖД“ // Полупроводниковая светотехника. 2011. № 2 [Электронный ресурс]: <http://www.led-e.ru/articles/led-application/2011_2_56.php>.
5. Энергоэффективное электрическое освещение: Учеб. пособие / С. М. Гвоздев, Д. И. Панфилов, В. Д. Поляков и др.; Под ред. Л. П. Варфоломеева. М.: Изд. дом МЭИ, 2013. 288 с.
6. Хейз К. Современные подходы к качественному и недорогому энергоэффективному освещению // Современная светотехника. 2013. № 6. С. 59—61.
7. LED Failure Modes and Methods for Analysis // LED-Professional. 2010. Iss. 20.
8. Сергеев В. А. Анализ тепловых режимов мощных светодиодов в составе светодиодных излучателей // Изв. вузов. Электроника. 2013. № 1. С. 85—87.

9. Аппаратно-программный комплекс для измерения теплового импеданса светодиодов / В. И. Смирнов, В. А. Сергеев, А. А. Гавриков, Д. И. Корунев // Приборы и техника эксперимента. 2013. № 1. С. 135—136.
10. Сергеев В. А., Ходаков А. М. Теплоэлектрические модели мощных биполярных полупроводниковых приборов. Ч. II. Нелинейная теплоэлектрическая модель мощных светоизлучающих диодов // Радиотехника и электроника. 2015. Т. 60, № 12. С. 1254—1258.
11. Связь характеристик низкочастотного шума светодиодов с распределением концентрации примесей и плотности тока в гетероструктурах / В. А. Сергеев, И. В. Фролов, А. А. Широков, А. М. Низаметдинов // Нелинейный мир. 2013. № 7. С. 493—498.
12. Алферов Ж. И. Физика и жизнь. СПб: Наука, 2000. 255 с.
13. Полупроводниковая светотехника [Электронный ресурс]: <http://www.led-e.ru/articles/led-supply/2010_5_50.php>.
14. Суханов И. Термоменеджмент — основа в проектировании светодиодного светильника // Современная светотехника. 2012. № 5. С. 58—59.
15. Шишляков В. Ф., Солёный С. В., Солёная О. Я. Система управления безопасным энергоснабжением объекта // Изв. вузов. Приборостроение. 2017. Т. 60, № 9. С. 898—903.
16. Официальная страница стандартов IESNA LM-80-08 и TM-21-11 [Электронный ресурс]: <https://www1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/msslc-sw2011_hodapp.pdf Mark Hodapp Philips Lumileds Senior Application Engineer>.
17. Форум „Светотехника: нормы, стандарты, измерительное оборудование“ // Полупроводниковая светотехника. 2014. № 6. С. 16.
18. Тукиаитов Р. Х., Исаков А. Р., Айхайти Исыхакэфу, Гарипов Р. Р. О новых способах повышения срока службы светодиодных ламп // Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики: Сб. науч. тр. XII науч.-техн. конф. Саранск: МГУ им. Н. П. Огарева, 2013. С. 282—284.

Сведения об авторах

- | | |
|-------------------------------------|---|
| Владимир Павлович Кузьменко | — аспирант, СПбГУАП, кафедра электромеханики и робототехники; ассистент; E-mail: mr.konnny@gmail.com |
| Владислав Федорович Шишляков | — д-р техн. наук, профессор; СПбГУАП, кафедра управления в технических системах; E-mail: svfmail@yandex.ru |
| Сергей Валентинович Солёный | — канд. техн. наук, доцент; СПбГУАП, кафедра электромеханики и робототехники; E-mail: ssv555sv@yandex.ru |
| Евгений Станиславович Квас | — СПбГУАП, кафедра электромеханики и робототехники; ассистент; E-mail: kvas66@bk.ru |
| Оксана Ярославовна Солёная | — канд. техн. наук, доцент; СПбГУАП, кафедра электромеханики и робототехники; E-mail: osolenaya@list.ru |

Поступила в редакцию
13.02.19 г.

Ссылка для цитирования: Кузьменко В. П., Шишляков В. Ф., Солёный С. В., Квас Е. С., Солёная О. Я. Исследовательские испытания светодиодных источников света // Изв. вузов. Приборостроение. 2019. Т. 62, № 7. С. 632—640.

RESEARCH TESTS OF LED LIGHT SOURCES

**V. P. Kuzmenko, V. F. Shishlakov, S. V. Soleniy,
E. S. Kvas, O. Ya. Solenaya**

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, 190000, St. Petersburg, Russia
E-mail: mr.konnny@gmail.com*

Results of reliability tests of LED lamps are presented. The most critical reasons affecting decrease in light flux from LED light source are identified. The main types and causes of failures of elements of LED lamps electromechanical system are considered. The existing test methods and tools for determining the service life of a LED light source are described. The heating and cooling curves of the LED lamp at the hot spot are experimentally obtained. A graph of change in level of the black box illumination by a LED lamp depending on the number of cycles of its switching on and off is presented.

Keywords: LED lamp, LED light source, luminous flux, illumination, test method, definition of service life

REFERENCES

1. http://www.led-e.ru/articles/led-application/2009_2_46.php. (in Russ.)
2. Smirnov V.I., Sergeev V.A., Gavrikov A.A. *Automation of Control Processes*, 2014, no. 3, pp. 31–37. (in Russ.)
3. Sergeev V.A., Frolov I.V., Shirokov A.A. *Nelineinyi mir* (Nonlinear World), 2013, no. 2, pp. 90–91. (in Russ.)
4. http://www.led-e.ru/articles/led-application/2011_2_56.php. (in Russ.)
5. Gvozdev S.M., Panfilov D.I., Polyakov V.D. et al. *Énergoeffektivnoye elektricheskoye osveshcheniye* (Energy Efficient Electric Lighting), Moscow, 2013, 288 p. (in Russ.)
6. Haze K. *Modern Lighting*, 2013, no. 6, pp. 59–61. (in Russ.)
7. *LED Failure Modes and Methods for Analysis*. LED-Professional July/Aug. 2010, is. 20.
8. Sergeev V.A. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Elektronika* (Proceedings of Universities. Electronics), 2013, no. 1, pp. 85–87. (in Russ.)
9. Smirnov V.I., Sergeev V.A., Gavrikov A.A., Korunov D.I. *Instruments and Experimental Techniques*, 2013, no. 1, pp. 135–136. DOI: 10.7868/S0032816213010278 (in Russ.)
10. Sergeev V.A., Khodakov A.M. *Journal of Communications Technology and Electronics*, 2015, no. 12(60), pp. 1254–1258.
11. Sergeev V.A., Frolov I.V., Shirokov A.A., Nizametdinov A.M. *Nelineinyi mir* (Nonlinear World), 2013, no. 7, pp. 493–498. (in Russ.)
12. Alferov Zh. I. *Fizika i zhizn'* (Physics and Life), St. Petersburg, 2000, 255 p. (in Russ.)
13. http://www.led-e.ru/articles/led-supply/2010_5_50.php. (in Russ.)
14. Sukhanov I. *Modern Lighting*, 2012, no. 5, pp. 58–59. (in Russ.)
15. Shishlakov V.F., Soleniy S.V., Solenaya O.Ya. *Journal of Instrument Engineering*, 2017, no. 9(60), pp. 898–903. (in Russ.)
16. https://www1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/msslc-sw2011_hodapp.pdf.
17. *Forum "Svetotekhnika: normy, standarty, izmeritel'noye oborudovaniye"*, *Poluprovodnikovaya svetotekhnika*, 2014, no. 6, pp. 16. (in Russ.)
18. Tukshaitov R.Kh., Iskhakov A.R., Aïkhaïti Isykhakefu, Garipov R.R. *Problemy i perspektivy razvitiya otechestvennoï svetotekhniki, elektrotekhniki i energetiki* (Problems and Prospects for the Development of Domestic Lighting, Electrical Engineering and Energy), The XII Scientific and Technical Conference, Saransk, 2013, pp. 282–284. (in Russ.)

Data on authors

- | | | |
|--------------------------------|---|--|
| Vladimir P. Kuzmenko | — | Post-Graduate Student; St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Department of Electromechanics and Robotics; Assistant; E-mail: mr.konnny@gmail.com |
| Vladislav F. Shishlakov | — | Dr. Sci., Professor; St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Department of Management in Technical Systems; E-mail: svfmail@yandex.ru |
| Sergey V. Soleniy | — | PhD, Associate Professor; St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Department of Electromechanics and Robotics; E-mail: ssv555ssv@yandex.ru |
| Evgeny S. Kvas | — | St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Department of Electromechanics and Robotics; Assistant; E-mail: kvas66@bk.ru |
| Oksana Ya. Solenaya | — | PhD, Associate Professor; St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Department of Electromechanics and Robotics; E-mail: osolenaya@list.ru |

For citation: Kuzmenko V. P., Shishlakov V. F., Soleniy S. V., Kvas E. S., Solenaya O. Ya. Research tests of LED light sources. *Journal of Instrument Engineering*. 2019. Vol. 62, N 7. P. 632–640 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2019-62-7-632-640