



ОБ ОБЕСПЕЧЕНИИ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА СВЕТОДИОДНОГО ИСТОЧНИКА СВЕТА

Шириев Р.Р., Борисов А.Н., Валеев А.А.

Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Россия
shrr@list.ru, dokbore@yandex.ru

Резюме: *ЦЕЛЬ.* Рассмотреть проблемы процесса теплопередачи в конструктивных элементах светодиодного источника света. Описать систему охлаждения светодиодного источника света с применением эквивалентной схемы и тепловых сопротивлений. Провести сравнительный анализ систем охлаждения светодиодных световых приборов. Выполнить термодинамические расчеты радиатора светового прибора с использованием компьютерных программ систем автоматического проектирования. Предложить способ улучшения свойств теплоотдачи радиатора светодиодного источника света. *МЕТОДЫ.* При решении поставленных задач применялся метод ретроспективно-перспективного метаанализа, использовались компьютерные программы систем автоматического проектирования и непосредственные определения технических параметров с помощью измерительных приборов. *РЕЗУЛЬТАТЫ.* В статье описана актуальность темы, рассмотрены особенности процесса теплопередачи в конструктивных элементах светодиодного источника света. Произведены термодинамические расчеты радиатора светового прибора с использованием компьютерных программ систем автоматического проектирования КОМПАС и SolidWorks. В статье предложен способ улучшения свойств теплоотдачи радиатора светодиодного источника света. *ЗАКЛЮЧЕНИЕ.* Существует множество различных систем охлаждения, имеющие свои достоинства и недостатки. Наиболее эффективными системами охлаждения являются системы принудительного охлаждения, однако их применение влечет за собой увеличение конечной стоимости светового прибора и снижение его светоотдачи вследствие роста энергопотребления. Пассивные системы охлаждения сравнительно дешевы, однако для обеспечения эффективного охлаждения светодиодов они должны иметь достаточную площадь соприкосновения с источником теплоты, обладать хорошей теплопроводностью и теплоотдачей. В данном случае наиболее оптимальным способом улучшения свойств теплоотдачи радиатора является нанесение специального покрытия имеющего высокую теплоотдачу. Это позволит повысить эффективность охлаждения с минимальными затратами не прибегая к существенному изменению конструктивных особенностей уже имеющейся системы.

Ключевые слова: светодиодный источник света, повышенная теплоотдача, системы пассивного охлаждения.

Для цитирования: Шириев Р.Р., Борисов А.Н., Валеев А.А. 3D модель силового трансформатора для исследования его технического состояния по вибрационным параметрам // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2022. Т.24. № 3. С. 112-120. doi:10.30724/1998-9903-2022-24-3-112-120.

LED SOURCE OF LIGHT WITH HIGH LIGHT CIRCUIT

R.R. Shiriev, A.N. Borisov, A.A. Valeev

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia
shrr@list.ru, dokbore@yandex.ru

Abstract: *THE PURPOSE.* Consider the problems of the heat transfer process in the structural elements of the LED light source. Describe the cooling system of an LED light source using an equivalent circuit and thermal resistances. Conduct a comparative analysis of cooling systems for LED lighting devices. Perform thermodynamic calculations of the light device radiator using

computer programs of automatic design systems. Suggest a way to improve the heat transfer properties of the radiator of the LED light source. **METHODS.** When solving the tasks set, the method of retrospective-prospective meta-analysis was used, computer programs of automatic design systems and direct determination of technical parameters using measuring instruments were used. **RESULTS.** The article describes the relevance of the topic, discusses the features of the heat transfer process in the structural elements of the LED light source. Thermodynamic calculations of the radiator of the lighting device were made using computer programs of automatic design systems KOMPAS and SolidWorks. The article proposes a method for improving the heat transfer properties of the radiator of an LED light source. **CONCLUSION.** There are many different cooling systems with their own advantages and disadvantages. The most efficient cooling systems are forced cooling systems, however, their use entails an increase in the final cost of the lighting device and a decrease in its light output due to an increase in energy consumption. Passive cooling systems are relatively cheap, but to provide effective cooling of LEDs, they must have a sufficient area of contact with the heat source, have good thermal conductivity and heat dissipation. In this case, the best way to improve the heat transfer properties of the radiator is to apply a special coating with a high heat transfer. This will increase the cooling efficiency with minimal cost without resorting to a significant change in the design features of an existing system.

Keywords: LED light source, increased heat dissipation, passive cooling systems.

For citation: Shiriev: R.R., Borisov A.N., Valeev A.A. Led source of light with high light circuit. *Power engineering: research, equipment, technology.* 2022;24(3): 112-120. doi:10.30724/1998-9903-2022-24-3-112-120.

Введение

Благодаря высоким показателям светоотдачи светодиоды нашли широкое применение практически во всех сферах искусственного освещения. Однако одним из их главных недостатков является сложный температурный режим, который оказывает решающее влияние на долговечность и надежность светодиодного устройства в целом [1-3].

Чем больший ток проходит через р-п переход светодиода, тем большее количество излучения испустит полупроводниковый кристалл светодиода, поскольку, чем больше ток, тем больше пар частиц электрон-дырка поступают в зону рекомбинации за единицу времени. Однако из-за внутреннего сопротивления полупроводника кристалл светодиода нагревается, что приводит к деградации светодиода, снижению его характеристик и, в дальнейшем, к полному его выходу из работоспособного состояния. Таким образом, при конструировании световых приборов использующих светодиоды очень остро встает вопрос об эффективности систем охлаждения.

Критическая температура р-п перехода современных полупроводниковых светодиодов составляет 90° - 100°С. Результатом превышения этого порогового значения является полная потеря работоспособности кристалла полупроводника. Так, например, согласно результатам исследования температурных режимов работы светодиодов, проведенных компанией Cree, срок службы светодиодов значительно сокращается при повышении температуры р-п перехода: при 105°С срок службы светодиодов на 200 тысяч часов меньше, чем при температуре 85°С. К тому же увеличение температуры р-п перехода светодиода приводит к падению величины светового потока [4-7].

Мощные светодиоды имеют неблагоприятное соотношение выделяемой тепловой мощности к своим размерам, что требует применения специальных охлаждающих устройств и конструкций. Несоблюдение температурного режима работы приводит к ускоренному выходу светодиодного устройства из строя.

Объектом данного исследования являются конструктивные особенности уже существующих систем теплоотвода светодиодных световых приборов, а предметом исследования – повышение эффективности работы этих систем.

Материалы и методы

Светодиоды имеют КПД около 30 – 40%. Это означает, что порядка 60 – 70% потребляемой из электрической сети мощности преобразуется в тепловую энергию, которую необходимо отводить. Иначе светодиодный источник света выйдет из строя вследствие перегрева. В абсолютных значениях этот факт означает, что светодиодная лампа мощностью 10 Вт требует рассеивания 6 Вт теплоты. Отвод теплоты от полупроводникового кристалла является сложной задачей. Очень важную роль в этом

процессе играет тепловое сопротивление материалов, которое проявляется, как способность тела препятствовать распространению теплоты [8-12].

При описании систем охлаждения применяют эквивалентные схемы с тепловыми сопротивлениями. Они могут иметь параллельное и последовательное соединение. Исследование систем охлаждения светодиодов и светодиодных светильников осуществляют подобным образом. На рисунке 1 в качестве примера изображена эквивалентная схема с тепловыми сопротивлениями материалов, подключенных последовательно. Эта схема учитывает тепловое сопротивление между светодиодом и контактом, между контактом и печатной платой, между печатной платой и теплопроводящим (если он есть) элементом, теплопроводящим материалом и металлическим радиатором, радиатором из металла и окружающей средой.

В узлах этой эквивалентной схемы необходимо измерять температуру для проверки и уточнения параметров модели.

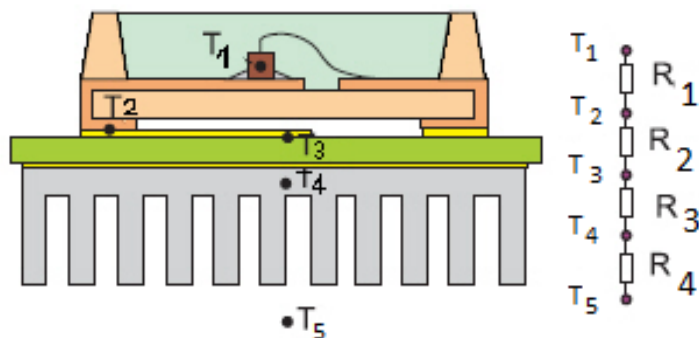


Рис 1. Пример системы охлаждения светодиода с эквивалентной схемой тепловых сопротивлений *Fig. 1. Example of LED cooling system with equivalent thermal resistance scheme*

Вне зависимости от типа системы охлаждения все элементы условно можно разделить на три группы: печатные платы, теплопроводящие материалы, радиаторы.

Светодиоды устанавливают на печатную плату для подвода цепей электрического питания полупроводникового светодиода и механического монтажа. От природы материала печатной платы зависит тепловое сопротивление. Так, например, тепловое сопротивление стандартных печатных плат FR4 может составлять 20-80°C/Вт. Тепловое сопротивление печатных плат на металлической подложке будет в 10 раз меньше. Часто полупроводниковые светодиоды монтируют непосредственно на металлический радиатор. В этом случае печатная плата не должна вносить существенный вклад в суммарное тепловое сопротивление [1, 4, 5, 8]. Так называемые теплопроводящие материалы применяют для обеспечения хорошего теплового контакта между металлическим радиатором и поверхностью печатной платы либо между полупроводниковым светодиодом и металлическим радиатором. Теплопроводящие материалы, предназначенные для обеспечения теплового контакта, с учетом дизайна системы охлаждения, способны выполнять функции изоляции электрических узлов схемы и создавать механическое крепление.

Термопасты имеют высокое значение объемной теплопроводности, маленькую величину клеявого слоя, низкую вязкость, не затвердевают. Хотя считаются довольно грязным при производстве. Теплопроводящие материалы с изменением фазы обладают высокой вязкостью, что дает более высокую надежность по сравнению с термопастами, гораздо удобнее в использовании, нет расслоения. Однако они имеют более низкую теплопроводность, по сравнению с термопастами, поверхностное сопротивление может быть больше, чем у термопаст, необходимо приложение давления для повышения эффективности. Гели хорошо заполняют неровности поверхности, однако, у них более низкая теплопроводность по сравнению с термопастами, меньшее сцепление, чем у термоклеев. Термоклеи хорошо заполняют неровности поверхности, но необходим процесс очистки.

Алгоритм выбора теплопроводящего материала, помимо величины теплопроводности, предполагает учет и других параметров. Нельзя упускать из виду толщину клеявого слоя материала т.к. тепловое сопротивление напрямую зависит от этого параметра. Более тонкий слой клея с низким значением теплопроводности может иметь высокое тепловое сопротивление по сравнению с значительно более толстым слоем, но с

высоким значением теплопроводности [13, 14]. При выборе материалов необходимо учитывать оба этих параметра.

Радиатор это, пожалуй, самый важный элемент в системе охлаждения светодиода. Он предназначен для отведения тепла от печатной платы и светодиода, и рассеивает тепло в воздухе. Материал, из которого радиатор изготавливают, должен обладать хорошей теплопроводностью. Площадь поверхности радиатора должна быть максимально возможной. Радиатор зачастую может выступать в роли корпуса светового прибора и держателя. Выбор способа обработки поверхности радиатора влияет на его коэффициент теплопроводности [1-3, 6-10].

В зависимости от вида охлаждения – пассивное и активное, в светодиодных светильниках могут быть системы пассивного охлаждения, либо системы принудительного (активного) охлаждения. К системам пассивного охлаждения относятся радиаторы, без каких либо дополнительных устройств (рис. 2). Охлаждение производится за счет конвекции. Тепло от светодиода передается на печатную плату, дальше, от печатной платы через теплопроводящий материал, тепло передается на радиатор, где оно рассеивается в воздухе [2, 6, 10, 14-16].

Конструктивно чаще применяются радиаторы ребристые и игольчатые (рис 2).

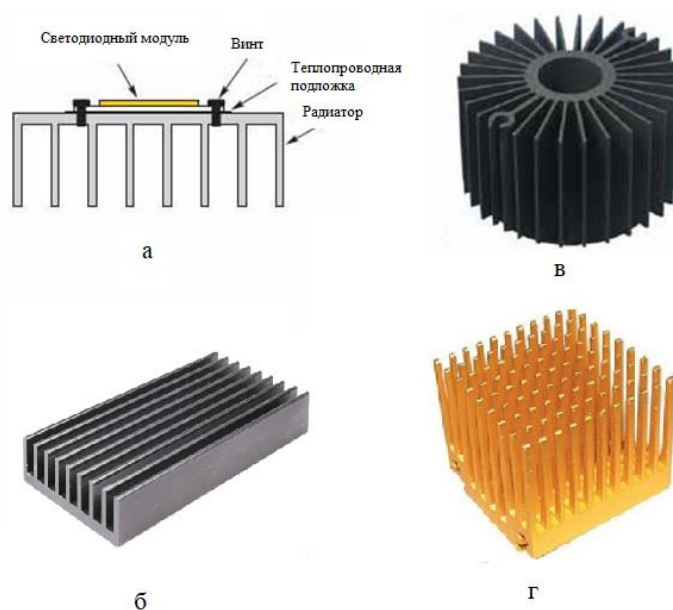


Рис. 2. Внешний вид пассивных систем охлаждения: а – радиатор, вид сбоку, б – ребристый радиатор, в – ребристый цилиндрический радиатор, г – радиатор игольчатого типа.

Fig. 2. Appearance of passive cooling systems: a - radiator, side view, b - ribbed radiator, in - ribbed cylindrical radiator, g - needle type radiator.

Их форма продиктована необходимостью иметь как можно большую площадь соприкосновения с воздухом, но при этом иметь как можно меньший размер. Для более качественного охлаждения радиатор должен иметь максимально возможную теплопроводность и теплоотдачу. Если естественного охлаждения недостаточно для отвода тепла, то требуется использовать принудительное охлаждение. Существует множество вариантов активного охлаждения – от вентилятора до водяного охлаждения.

Применение активной разновидности охлаждения должно учитывать, что светодиоды в реальных условиях эксплуатации могут работать очень длительно, поэтому следует при проектировании светильника предусмотреть наличие способов защиты светодиодов от чрезмерного перегрева при выходе из строя элементов активного охлаждения. В противном случае поломка элементов принудительного охлаждения неминуемо повлечет за собой перегорание светодиода вследствие его перегрева. Суть системы принудительного охлаждения заключается в том, что циркуляция хладагента (например, воздуха) производится не естественным конвекционным способом, а принудительным, при помощи дополнительного устройства. Принудительное охлаждение требует дополнительное электрическое питание, это приводит к снижению КПД светильника в целом.

В качестве объекта исследования были выбраны пассивные системы охлаждения светодиодных источников света в силу их большего распространения и доступности. В свою очередь, наиболее распространенной пассивной системой охлаждения светодиодных ламп является ребристый радиатор, две модели которого были более детально изучены (Рис. 2б и Рис. 2в).

При выполнении термодинамических расчетов радиатора были использованы компьютерные программы систем автоматического проектирования (САПР) «КОМПАС» и «SolidWorks».

Результаты

Эффективность отведения тепла от светодиода зависит от теплопроводности и теплоотдачи радиатора охлаждения. Разница температур между точкой нагрева и ребрами радиатора не должна быть высокой. Высокая разница температур между этими участками означает то, что радиатор работает неэффективно. Пример эффективной и неэффективной работы ребристого радиатора представлен на рисунке 3.

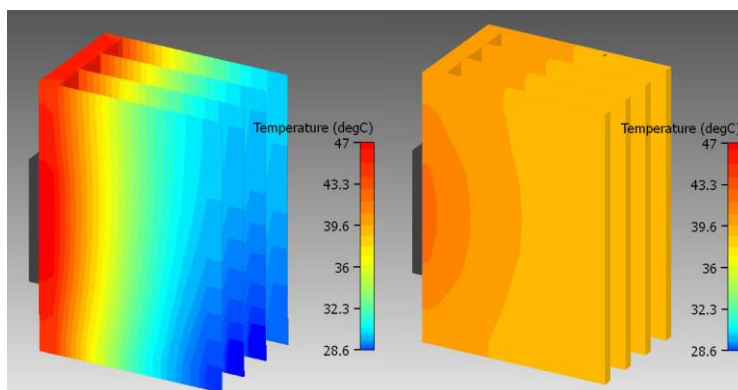


Рис. 3. Пример неэффективной и эффективной работы радиатора *Fig. 3. An example of inefficient and efficient radiator operation*

Радиатор слева имеет низкую теплопроводность и отводит тепло от точки нагрева недостаточно хорошо, в результате чего температура в точке нагрева повышается до 47°C и выше. Градиент температур очень высок, разница температур между участками составляет 19°C . Данный радиатор работает неэффективно. Радиатор справа имеет высокую теплопроводность и хорошо отводит тепло от точки нагрева. Температура точки нагрева не превышает 40°C . Градиент температур очень мал, разница между участками составляет $2\text{--}3^{\circ}\text{C}$. Данный радиатор работает эффективно.

При моделировании ребристого цилиндрического радиатора за основу была взята конструкция светодиодной лампы “GreeThink”, имеющая собственную систему охлаждения в виде ребристого алюминиевого радиатора. Лампа представляет собой сборную конструкцию, состоящую из отдельных модулей, включающих в себя полимерный светорассеиватель, алюминиевый ребристый радиатор, полимерный переходник для цоколя, цоколь и алюминиевую теплопроводящую подложку для размещения светодиодов (рис. 4).

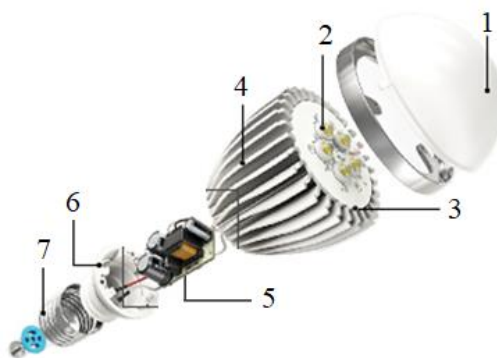


Рис. 4. Конструкция светодиодной лампы. 1 – светорассеиватель; 2 – светодиоды; 3 – теплопроводящая подложка; 4 – радиатор; 5 – драйвер; 6 – переходник для цоколя E27; 7 – *Fig. 4. LED lamp design. 1 - light diffuser; 2 - LEDs; 3 - heat conductive substrate; 4 - radiator; 5 - driver; 6 - adapter for cap E27; 7 - cap E27*

цоколь E27

Выбранный радиатор выполнен из алюминия, обладает высокой теплопроводностью, имеет форму близкую к усеченному конусу. Используя реальные измеренные габаритные размеры светодиодной лампы с радиатором, в компьютерной программе “КОМПАС” была создана трехмерная модель радиатора светодиодного прибора (рис. 5).

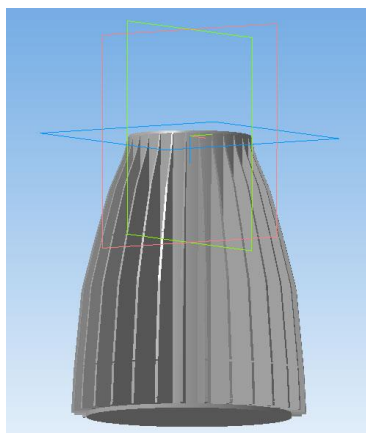


Рис. 5. Трехмерная модель радиатора

Fig. 5. 3D model of radiator

Затем трехмерная модель радиатора была импортирована в программу “SolidWorks”. В программе “SolidWorks” при помощи расчетного пакета “FlowSimulation” были проведены термодинамические расчеты, исходя из данных о габаритных размерах, материала радиатора, мощности и координатах источника тепловыделения, с учетом теплопроводности, трех типов передачи тепла и возможностей конвекционных потоков воздуха (рис. 6).

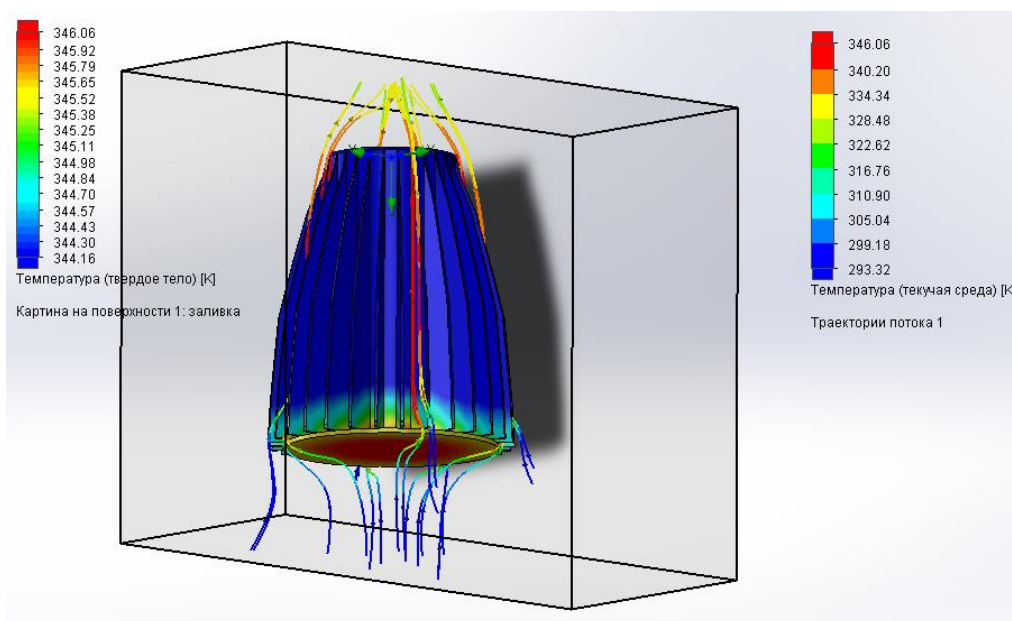


Рис. 6. 3D-визуализация результатов термодинамического расчета радиатора

Fig. 6. 3D-visualization of radiator thermodynamic calculation results

Заключение

Таким образом, существует большое множество различных систем охлаждения, имеющие свои достоинства и недостатки. Наиболее эффективными системами охлаждения являются системы принудительного охлаждения, однако их применение влечет за собой увеличение конечной стоимости светового прибора и снижение его светоотдачи вследствие роста энергопотребления. Пассивные системы охлаждения сравнительно дешевы, однако для обеспечения эффективного охлаждения светодиодов они должны иметь достаточную

площадь соприкосновения с источником теплоты, обладать хорошей теплопроводностью и теплоотдачей.

В данном случае наиболее оптимальным способом улучшения свойств теплоотдачи радиатора является нанесение специального покрытия имеющего высокую теплоотдачу. Анодирование, например, позволит создать на радиаторе покрытие микроскопической толщины, существенным образом не влияющее на теплопроводность и не препятствующую излучению тепла. Это позволит повысить эффективность охлаждения с минимальными затратами не прибегая к существенному изменению конструктивных особенностей уже имеющейся системы.

Результаты данного исследования могут быть использованы в сфере конструирования и изготовления светодиодных световых приборов.

Литература

1. Мальцев А., Мальцев И. Контроль качества и надежности светодиодов по тепловому сопротивлению р-n-переход–корпус // Полупроводниковая светотехника. 2010. Т. 2. № 4. С. 40-41.
2. Ma Y., Zhang L., Zhou T., Hou C., Kang J., Yang S., Xi X., Yuan M., Huang J., Wang R., Chen H., Wang Y., Selim F.A., Li M. High quantum efficiency CE:(LU,Y)₃(AL,SC)₂AL₃O₁₂transparent ceramics with excellent thermal stability for high-power white LEDs/LDS // Journal of Materials Chemistry C. 2020. Т. 8. № 46. С. 16427-16435.
3. Газалов В.С., Шабаев Е.А., Блягоз А.М. Анализ теплового режима мощных светодиодов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2008. № 6. С. 36-38.
4. Хампстон Ж., Котов И. Управление тепловым режимом светодиодов: прогнозы и измерения // Полупроводниковая светотехника. 2017. Т. 2. № 46. С. 48-52.
5. Gupta G., Mema F., Huetting R.J.E. Electron-hole bilayer light-emitting device: concept and operation // Solid-State Electronics. 2020. Т. 168. С. 107726.
6. Мальцев И.А., Мальцев А.А. Измерение теплового сопротивления переход-корпус современных светодиодов в стационарном тепловом режиме // В сборнике: Проблемы и перспективы развития наукоемкого машиностроения. Международная научно-техническая конференция. 2013. С. 342-344.
7. Тукшаитов Р.Х., Алхамсс Я.Ш., Иванова В.Р., Шириев Р.Р. Обеспечение энергоресурсосбережения при питании светодиодных светильников от гальванических элементов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2010. №11-12. С. 108-114.
8. Wang H.-M., Yao J.-S., Xue P. Light fades and life prediction of led light source // International Journal of Smart Home. 2015. Т. 9. № 11. С. 225-234.
9. Вилисов А.А., Тепляков К.В., Солдаткин В.С. Влияние конструктивных особенностей светодиодов на их тепловое сопротивление // Электронные средства и системы управления. Материалы докладов Международной научно-практической конференции. 2017. № 1-1. С. 287-289.
10. Широбокова Т.А., Чепкасова М.А. Тепловая модель светодиодного источника света // Инновации в сельском хозяйстве. 2018. № 3 (28). С. 128-133.
11. Тукшаитов Р.Х., Роженцова Н.В., Денисова А.Р. Исследование работоспособности и качества функционирования светодиодных осветительных элементов электротехнических систем при предельно допустимой температуре окружающей среды // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 4. С. 96-104.
12. Мальцев А.А., Корякин И.Д. Измерение теплового сопротивления переход-корпус smd светодиодов при жидкостном охлаждении // В сборнике: Новые технологии, материалы и оборудование российской авиакосмической отрасли. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Материалы докладов. 2018. С. 54-56.
13. Севрук Д.А., Лебедев К.Н. Исследование влияния напряжения питания на температуру и световой поток фитосветодиодного модуля 6040-A2525(A) // Агротехника и энергообеспечение. 2019. № 1 (22). С. 79-85.
14. Тукшаитов Р.Х., Шириев Р.Р. Типовые и филаментные светодиодные лампы. Каким образом можно оперативно оценить их качество. Часть 2. // Полупроводниковая светотехника, 2018, №5. С. 24-27.
15. Hao R., Ge A., Tao X., Liu Y., Zhao B., Yang E. Optical design of a high-mast luminaire based on four cob led light source modules // Lighting Research and Technology. 2019. Т. 51. № 3. С. 447-456.

16. 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.

Авторы публикации

Шириев Равиль Рафисович – канд. техн. наук, доцент кафедры «Промышленная электроника» Казанского государственного энергетического университета.

Борисов Андрей Николаевич – канд. техн. наук, доцент кафедры «Промышленная электроника» Казанского государственного энергетического университета.

Валеев Адель Азатович – студент, Казанского государственного энергетического университета.

References

1. Mal'tsev A., Mal'tsev I. Kontrol' kachestva i nadezhnosti svetodiodov po teplovomu soprotivleniyu p-n-perekhod–korpus. *Poluprovodnikovaya svetotekhnika*. 2010;2(4):40-41.
2. Ma Y., Zhang L., Zhou T., Hou C., Kang J., Yang S., Xi X., Yuan M., Huang J., Wang R., Chen H., Wang Y., Selim F.A., Li M. High quantum efficiency CE:(LU,Y)₃(AL,SC)₂AL₃O₁₂transparent ceramics with excellent thermal stability for high-power white LEDs/LDS. *Journal of Materials Chemistry C*. 2020;8:46:16427-16435.
3. Gazalov B.C., Shabayev Ye.A., Blyagoz A.M. Analiz teplovogo rezhima moshchnykh svetodiodov. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. 2008;6:36-38.
4. Khampston ZH., Kotov I. Upravleniye teplovym rezhimom svetodiodov: prognozy i izmereniya. *Poluprovodnikovaya svetotekhnika*. 2017;2(46):48-52.
5. Gupta G., Mema F., Huetting R.J.E. Electron-hole bilayer light-emitting device: concept and operation. *Solid-State Electronics*. 2020;168:107726.
6. Mal'tsev I.A., Mal'tsev A.A. *Izmereniye teplovogo soprotivleniya perekhod-korpus sovremennykh svetodiodov v statsionarnom teplovom rezhime. V sbornike: Problemy i perspektivy razvitiya naukoemkogo mashinostroyeniya. Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya*. 2013. p. 342-344.
7. Tukshaitov R.KH., Alkhamss YA.SH., Ivanova V.R., Shiriyev R.R. Obespecheniye energoresursosberezheniya pri pitanii svetodiodnykh svetil'nikov ot gal'vanicheskikh elementov. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Problemy energetiki*. 2010;11-12:108-114.
8. Wang H.-M., Yao J.-S., Xue P. Light fades and life prediction of led light source. *International Journal of Smart Home*. 2015;9(11):225-234.
9. Vilisov A.A., Teplyakov K.V., Soldatkin V.S. Vliyaniye konstruktivnykh osobennostey svetodiodov na ikh teplovoye soprotivleniye. *Elektronnyye sredstva i sistemy upravleniya. Materialy dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. 2017;1-1:287-289.
10. Shirobokova T.A., Chepkasova M.A. Teplovaya model' svetodiodnogo istochnika sveta. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2018;3 (28):128-133.
11. Tukshaitov R.KH., Rozhentsova N.V., Denisova A.R. Issledovaniye rabotosposobnosti i kachestva funktsionirovaniya svetodiodnykh osvetitel'nykh elementov elektrotekhnicheskikh sistem pri predel'no dopustimoy temperature okruzhayushchey sredy. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Problemy energetiki*. 2021;23(4):96-104.
12. Mal'tsev A.A., Koryakin I.D. *Izmereniye teplovogo soprotivleniya perekhod-korpus smd svetodiodov pri zhidkostnom okhlazhdeni*. V sbornike: Novyye tekhnologii, materialy i oborudovaniye rossiyskoy aviakosmicheskoy otrasli. Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem. Materialy dokladov. 2018. S. 54-56.
13. Sevruc D.A., Lebedev K.N. Issledovaniye vliyaniya napryazheniya pitaniya na temperaturu i svetovoy potok fitosvetodiodnogo modulya 6040-A2525(A). *Agrotekhnika i energoobespecheniye*. 2019;1 (22):79-85.
14. Tukshaitov R.KH., Shiriyev R.R. Tipovyye i filamentnyye svetodiodnyye lampy. Kakim obrazom mozjno operativno otsenit' ikh kachestvo. Chast' 2. *Poluprovodnikovaya svetotekhnika*, 2018;5:24-27.
15. Hao R., Ge A., Tao X., Liu Y., Zhao B., Yang E. Optical design of a high-mast luminaire based on four cob led light source modules. *Lighting Research and Technology*. 2019;51(3):447-456.

16. Borisov A.N., Shiryev R.R. Svetodiodnyy istochnik sveta s povyshennoy svetootdachei. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Problemy energetiki*. 2019;21:(1-2):111-119.

Authors of the publication

Ravil R. Shiryev – Kazan State Power Engineering University.

Andrey N. Borisov – Kazan State Power Engineering University.

Adel A. Valeev – Kazan State Power Engineering University.

Получено *10.05.2022г.*

Отредактировано *25.05.2022г.*

Принято *30.05.2022г.*