

Интернет-журнал «Отходы и ресурсы» <https://resources.today>
Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling

2025, Том 12, № 3 / 2025, Vol. 12, Iss. 3 <https://resources.today/issue-3-2025.html>

URL статьи: <https://resources.today/PDF/13INOR325.pdf>

DOI: 10.15862/13INOR325 (<https://doi.org/10.15862/13INOR325>)

2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Чашин, Е. А. Повышение ресурса светодиодного светильника прямого подвеса / Е. А. Чашин, И. В. Шилов, Г. В. Маслакова // Отходы и ресурсы. — 2025. — Т. 12. — № 3. — URL: <https://resources.today/PDF/13INOR325.pdf>. DOI: 10.15862/13INOR325.

For citation:

Chaschin Ye.A., Shilov I.V., Maslakova G.V. Increasing the lifespan of a direct-hung LED lamp. *Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling*. 2025;12(3): 13INOR325. Available at: <https://resources.today/PDF/13INOR325.pdf>. DOI: 10.15862/13INOR325. (In Russ., abstract in Eng.).

УДК 621.32

Чашин Евгений Анатольевич

ФГБОУ ВО «Ковровская государственная технологическая академия имени В.А. Дегтярева», Ковров, Россия
Заведующий кафедрой «Электротехника»
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: kanircha@list.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4000-0035>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=42261

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=6506540880>;
<https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=6507486248>

Шилов Игорь Вячеславович

ФГБОУ ВО «Ковровская государственная технологическая академия имени В.А. Дегтярева», Ковров, Россия
Доцент кафедры «Электротехника»
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: shilov@dksta.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=42266

Маслакова Галина Владимировна

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», Липецк, Россия
Начальник аспирантуры
E-mail: maslakova.gv@ya.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=667627

Повышение ресурса светодиодного светильника прямого подвеса

Аннотация. В инженерной практике нередки случаи, когда для освещения ангаров и других промышленных помещений применяются светодиодные светильники прямого подвеса с мощностью более 50 Вт. Практика эксплуатации светодиодных светильников в таких случаях показывает на снижение светового потока с течением времени вследствие прогрессирующей деградации светодиодов из-за роста температуры активной области светодиодных кристаллов, вызванной нарушениями теплового режима работы. В соответствии с основными положениями теплового менеджмента, температура активной области, определяется температурой в месте контакта платы с металлической основой, на которой размещаются светодиодные модули и основы корпуса светодиодного светильника, совмещающего в себе функцию радиатора. Это

делает актуальным определение теплоэффективных форм корпусов, выполняющих так же функцию радиаторов. В статье, на примере светодиодного светильника, содержащего 3 светодиодных модуля электрической/тепловой мощностью 45/35 Вт каждый, выполнено моделирование тепловой системы для корпуса длиной 450 мм, изготовленного методом экструзии из алюминиевого сплава АД31 ГОСТ 4784-97. По результатам моделирования в пакете программ SolidWorks с учетом теплового сопротивления между светодиодом и корпусом, рассмотрена возможность сохранения ресурса работы светодиодных светильников прямого подвеса путем топологической оптимизации корпуса и пространственной ориентации. Показано, возможность выбора теплоэффективных форм радиаторов без значительного усложнения топологии их поверхностей путем увеличения роли механизма теплопроводности позволяет повысить ресурс работы светодиодного светильника на 20 %. Так же показано, что изменение пространственной ориентации светодиодного светильника прямого подвеса позволяет, при сохранении ресурса работы, эксплуатировать светильник при температуре окружающего воздуха до 40⁰С.

Ключевые слова: энергосбережение; светодиодный светильник; тепловой менеджмент; топология; теплопроводность; ресурс; экструзия

Введение

Реализация программ энергосбережения, широкое применение энергосервисных контрактов привело к тому, что сектор общего освещения стал одним из преобладающих направлений при реализации освещения, организованного на базе полупроводниковых элементов Light Emitting Diode (LED). Если в 2010 г. доля LED светильников составляла 7 %, то к 2030 г. ожидается, что доля светодиодов в секторе общего освещения возрастёт более чем на порядок и превысит 70 % [1]. Высокие темпы роста рынка сбыта светодиодных систем уличного освещения связаны с более высоким сроком службы и меньшим уровнем расходов на техническое обслуживание. В частности, лампы ДРЛ требуют замены примерно 1 раз в 2,5 года, у ламп ДНаТ срок эксплуатации составляет 4–5 лет, а LED светильники, при прочих равных условиях эксплуатации, требуют замены 1 раз в 15–25 лет.¹ Однако практика эксплуатации LED светильников уличного освещения с мощностью более 50 Вт выявила ряд проблем, среди которых одной из основных является снижение светового потока светильника с течением времени, значительно превышающая заданные для светодиодов параметры [2]. Снижение светового потока в большой степени вызвано деградацией светодиодов из-за нарушений корректного теплового режима работы [3]. Учитывая, что в настоящее время в области проектирования и производства систем уличного освещения сложился тренд, направленный на увеличение электрической мощности светодиодных светильников, небезосновательным можно считать, что увеличение выделяемой тепловой мощности, как светодиодов, так и драйверов тока делает актуальным рассмотрение вопроса проектирования корпусов светодиодных светильников, выполняющих роль радиатора.

Методы

В настоящее время, приоритетной технологией изготовления корпусов уличных LED светильников прямого подвеса с классом защиты IP65 и выше, относящиеся к бюджетной

¹ Чашин, Е.А. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на машиностроительном предприятии: учебное пособие / Е.А. Чашин, Ю.В. Молокин, Н.П. Бадалян. — Ковров: ФГБОУ ВПО «КГТА имени В.А. Дегтярева», 2014. — 286 с.

ценовой категории, является экструзия алюминиевых сплавов. При этом формы корпуса, как правило, задаются исходя дизайнерских решений, а размеры, в приближении что корпус выполняет роль радиатора охлаждения, выбираются с учетом, что в любой климатической зоне почти всегда есть хотя бы легкий ветер, и рассчитываются на основе преобладающих механизмов отвода тепла, таких как конвекция и радиационный теплообмен [3]. В то же время, учитывая, что с ростом мощности LED светильников, общее тепловыделение на единицу поверхности растет, принимая во внимание, что светодиодный светильник, как энергосберегающий источник освещения, могут устанавливаться в ангарах, складах и других производственных помещениях, а также учитывая постепенное загрязнение светильника, следует отметить, что и конвекция и радиационный теплообмен ухудшаются с течением времени эксплуатации. Поэтому, для предотвращения сокращения срока службы LED светильника вследствие ускорения деградации светодиодов из-за роста температуры активной области светодиодных кристаллов, его корпус усложняют, добавляя в конструкцию многочисленные выступающие элементы. Наличие выступающих элементов в свою очередь вызывает технологические сложности в изготовлении корпусов методом экструзии вследствие значительного усложнения конструкции фильеры и значительно удорожает стоимость.

В то же время, следует отметить, алюминиевые сплавы отличаются высокой теплопроводностью. Это позволяет рассмотреть возможность выбора теплоэффективных форм радиаторов без значительного усложнения топологии их поверхностей путем увеличения роли механизма теплопроводности. В работе выполним моделирование и вычисление тепловой системы с помощью пакета программ SolidWorks.

Рассмотрим корпус уличного светильника, выполненного из алюминиевого сплава АД31 ГОСТ 4784-97 длиной 450 мм, содержащий 3 светодиодных модуля электрической/тепловой мощностью 45/35 Вт каждый (рис. 1 а).

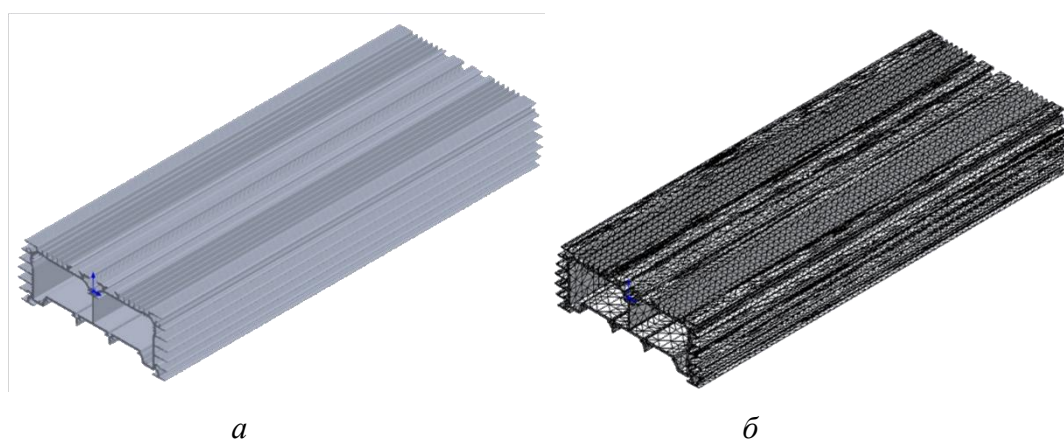


Рисунок 1. Внешний вид корпуса (а) и расчетная модель (б) (разработан авторами)

Внешняя поверхность корпуса имеет защитно-декоративное анодно-оксидное покрытие АноОкс, толщиной 10 мкм. Торцы профиля закрыты пластиковыми заглушками, световое отверстие закрыто стеклом, отвод тепла с торцевых стенок не учитывается. В расчетах принимаем, что площадь, через которую будет проходить тепло от светодиодов до алюминиевой основы, практически равна площади контакта основания с металлизированной платой, на которой размещаются светодиоды. При реализации тепловых расчетов, влияние шероховатости поверхности и наличие АноОкс покрытия, на конвекционный теплообмен в расчетах не учитываем. Отводом тепла со стороны защитного стекла пренебрегаем. В соответствии с известными рекомендациями [4], при моделировании так же пренебрегаем деградационными процессами при пониженной температуре, связанными с конденсацией влаги, изменением электрических характеристик и деформаций сопряженных деталей.

В соответствии с известными рекомендациями [5], решение задачи о теплообмене определяется как установившееся во времени. Для нахождения искомого численного решения задачи математическая модель физических процессов дискретизируется по пространству (рис. 1 б), шаги дискретизации по пространству в ячейке определяются в зависимости от геометрии радиатора и значений физических величин. Для дискретизации дифференциальных уравнений в SolidWorks использован метод конечных элементов. Для уменьшения затрат машинного времени частота сетки выбиралась из условия сеточной сходимости решения математической задачи [6], минимальный размер ячейки принимали 6 мм, максимальный размер — 30 мм.

Результаты

Распределение температуры согласно расчетной модели приведено на рис. 2.

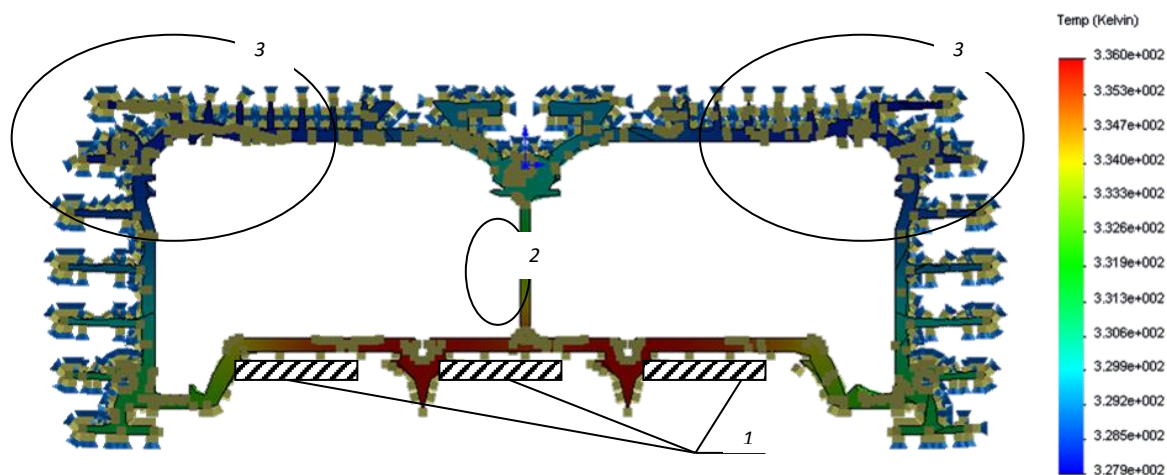


Рисунок 2. Распределение температуры нагрева по профилю с указанием зон конвекции (▲) и радиационного теплообмена (▲) (разработан авторами)

Среднегодовая температура в зоне умеренного климата составляет 10–15°C. Однако светильники уличного освещения могут эксплуатироваться летом, устанавливаться в ангарах и других промышленных помещениях. Во всех перечисленных случаях, температура окружающей среды может подниматься выше среднегодовых значений. Поэтому, принимая во внимание, что ускоренная деградация LED светильников при повышенных температурах практически не может быть нивелирована при эксплуатации в холодные периоды времени, ниже приведенные расчеты выполняли в соответствии с известными рекомендациями [7] для случая прямого подвеса светильника при температуре окружающей среды 35°C. Результаты расчета приведены в таблице 1.

Таблица 1

Зависимость максимальной температуры нагрева от скорости движения воздуха

Скорость движения воздуха V , м/с	Температура	
	$T_{\text{МАКС}}$, °C	ΔT , °C
0	76,2	8,0
3	55,8	8,3
6	51,5	8,3

Составлено авторами

Видно, что максимальная температура радиатора $T_{\text{МАКС}}$ достигается в месте контакта платы с металлической основой, на которой размещаются светодиоды (рис. 2, поз. 1), и

алюминиевой основы. Высокая теплопроводность алюминиевых сплавов обеспечивает передачу тепла по всему корпусу, однако благодаря теплоотводу посредством лучистого и конвекционного теплообмена, распределение температуры неравномерно. Разница максимальных (рис. 2, поз. 1) и минимальных температур ΔT (рис. 2, поз. 3) достигает при заданных условиях расчета 80°C .

Известно [8], что скорость деградации светодиодного кристалла зависит от температуры p-n-перехода (активной области) светодиодного кристалла. Температура активной области, при заданной силе тока текущего через светодиод, определяется температурой в месте контакта платы с металлической основой, на которой размещаются светодиоды (рис. 2, поз. 1), и алюминиевой основы радиатора. С учетом теплового сопротивления между светодиодом и корпусом, в соответствии с известными рекомендациями [6; 7] при анализе ресурса можно принимать, что температура в месте контакта алюминиевой основы радиатора с металлической основой платы, на которой размещаются светодиоды (рис. 2, поз. 1) отличается от температуры активной области на $42\text{--}45^{\circ}\text{C}$. Принимаем в расчетах, что эксплуатация светодиода ведется при силе тока $1,5\text{ A}$, а разница температур составляет 45°C . Для предотвращения деградации светодиодного светильника, температура активной области светодиодного кристалла не должна превышать 120°C [8], и, следовательно, температура в месте контакта платы с металлической основой, на которой размещаются светодиоды (рис. 2, поз. 1) не должна превышать 75°C . Из приведенных в таблице 1 результатов расчета видно, что $T_{\text{макс}}$ при определенных условиях составляет $76,2^{\circ}\text{C}$, что превышает предельно допустимые значения и приводит к снижению ресурса работы на 20 %. Таким образом, в случае эксплуатации LED светильника в безветренную погоду или его размещении в производственных помещениях рассеиваемая радиатором мощность оказывается недостаточной.

Одним из путей повышения рассеиваемой радиатором мощности является увеличение площади поверхности. Однако увеличение числа или протяженности выступающих частей имеют технологические ограничения. Как было показано выше, корпуса светодиодных уличных светильников выполняются методом экструзии. Стоимость изготовления и долговечность работы матрицы, применяемой для экструзии алюминиевого сплава, определяется отношением площади заготовки к площади преснуемого профиля, которое должно соответствовать в диапазоне 30–50 ед. Т. о. дальнейшее увеличение площади ребрение радиатора не только повышает стоимость оснастки для экструзии и, следовательно, стоимость LED светильника, но и сопровождается опасностью разрушения матриц, а также повышает вероятность снижения качества выпускаемого профиля из-за появления в нем трещин. Повышение рассеиваемой радиатором мощности, увеличением габаритных размеров приводит к росту массы корпуса и также повышает стоимость LED светильника. В свою очередь, рост себестоимости LED светильника увеличивает период, в течение которого затраты на замену систем освещения могут окупиться за счет экономии электроэнергии при внедрении энергоэффективных систем освещения.

Обсуждение

Рассмотрим постановку задачи о нахождении минимума массы корпуса LED светильника при его работе в регламентированных режимах. Принимаем, что минимальные толщины проектных переменных могут достигать нулевого значения, то некоторые элементы конструкции, представляющей собой проектную область, могут исчезать. В этом приближении формулировка поставленной задачи превращается в формулировку задачи поиска оптимальной топологии. Задача оптимизации топологии возникла относительно недавно и впервые была сформулирована в 1988 г. [9] при проведении проектировочных исследований силовых конструкций, которые позволяют отыскивать рациональное распределение материала с учетом

многочисленных функциональных ограничений. В настоящее время методы топологической оптимизации широко используются в инженерной практике [10] и основаны на методе гомогенизации, в котором заданная область разбивается на конечные элементы с последующим введением функции плотности материала, определяющей процентное отношение используемого материала в местах проектной области. Рассмотрим по аналогии возможность решения задачи поиска оптимальной топологии корпуса LED светильника. В качестве критериев будем принимать необходимым сохранение массы корпуса уличного светильника, выполнение условия долговечности работы матрицы, применяемой для экструзии заготовки корпуса и температуру в месте контакта платы с корпусом, на которой размещаются светодиоды, величина которой не должна превышать 75°C .

Как видно из рисунка 2, несмотря на высокую теплопроводность алюминиевого сплава, передача тепла посредством «перемычки» (рис. 2, поз. 2) ограничивает эффективность теплоотвода с областей корпуса, удаленных от мест размещения светодиодов (рис. 2, поз. 1). Рассмотрим влияние увеличения сечения этого элемента корпуса (рис. 2, поз. 2) на величину максимальной температуры радиатора $T_{\text{МАКС}}$ и разницу температур ΔT . Результаты расчетов приведены в таблице 2.

Таблица 2

Зависимость максимальной температуры от сечения элементов корпуса

Ширина поперечного сечения «перемычки», мм	Температура		Масса корпуса, кг
	$T_{\text{МАКС}}$, $^{\circ}\text{C}$	ΔT , $^{\circ}\text{C}$	
2 (Базовый вариант)	76,2	8,0	2,172
3	75,6	7,4	2,208
5	75,0	6,7	2,282

Составлено авторами

Из результатов расчета видно, что увеличение теплопроводящего сечения «перемычки» с 2 до 5 мм приводит к росту эффективного теплообмена и разница температур между самой горячей и самой холодной областями уменьшается на 16 % с 8°C до $6,7^{\circ}\text{C}$. Максимальная температура корпуса снижается на 1°C , а средняя температура корпуса при этом возрастает, однако при любых условиях эксплуатации, температура на поверхности корпуса удовлетворяет требованиям ГОСТ 17677-82. При этом общая масса корпуса возрастает до 5 %. Малое изменение суммарной массы может быть нивелировано удалением наиболее выступающего участка оребрения (рис. 2, поз. 3), что упростит конструкцию фильеры и благоприятным образом скажется на снижении себестоимости изделия. Таким образом, более полное вовлечение поверхности радиатора в процесс теплопередачи позволяет снизить температуру в месте контакта платы с корпусом до требуемого уровня и повысить ресурс работы LED светильника на 20 %.

Следует отметить, даже в помещении без систем вентиляции и кондиционирования имеет место естественная конвекция, обеспечивающая движение воздуха со скоростью до 0,3 м/с. Таким образом, при изменении пространственной ориентации светильника прямого подвеса можно ожидать изменение вклада конвекционного механизма теплопередачи. Согласно ГОСТ Р 54350-2015 для целого ряда применений, допускается классификация светильников только по классу светораспределения без детализации формы кривой силы света. В связи с этим, рассмотрим влияние пространственной ориентации LED светильника на эффективность теплообмена. Результаты расчета в SolidWorks по приведенной на рисунке 1 модели показали, что размещении LED светильника с наклоном 10° к горизонту, ΔT возрастает не более чем на 2,4 %, при этом $T_{\text{МАКС}}$ уменьшается на 8,3 % и достигает 70°C . Снижение температуры менее 75°C не влияет на увеличение ресурса работы, однако учитывая, что при размещении LED светильника прямого подвеса в помещениях, температура окружающей

среды может быть выше принимаемой в расчетах 35°C . Таким образом, можно полагать, что размещении LED светильника прямого подвеса с наклоном 10° к горизонту позволяет эксплуатировать светильник без снижения срока службы при температуре окружающего воздуха до 40°C .

Выводы

В статье, в соответствии с положениями теплового менеджмента, рассмотрена возможность сохранения ресурса работы LED светильников прямого подвеса путем топологической оптимизации корпуса и пространственной ориентации.

По результатам моделирования в SolidWorks показано, что топологическая оптимизация позволяет снизить температуру в месте контакта платы с корпусом до требуемого уровня и повысить ресурс работы LED светильника на 20 %.

Так же показано, что изменение пространственной ориентации LED светильника прямого подвеса позволяет, при сохранении ресурса работы, эксплуатировать светильник при температуре окружающего воздуха до 40°C .

ЛИТЕРАТУРА

1. Савкова Т.Н. Современное состояние и перспективы развития осветительных устройств на основе белых светодиодов / Т.Н. Савкова, А.И. Кравченко, Ю.Н. Колесник, Г.И. Селиверстов // Вестник ГГТУ имени П.О. Сухого. — 2020. — № 3/4. — С. 54–59.
2. Соколова И.В. Светодиодное уличное освещение / И.В. Соколова // Светотехника. — 2025. — № 3. — С. 27–31.
3. Каплунов Е.А. Тепловой менеджмент светодиодных уличных светильников / Е.А. Каплунов // Lumen&ExpertUnion. — 2014. — № 1. — С. 15–19.
4. Бадалян Н.П. Оценка показателей надежности схем электроснабжения с учетом времени наработки на отказ / Н.П. Бадалян, Г.В. Квашнина, Е.А. Чащин // Вестник национального политехнического университета Армении. Электротехника, энергетика. — 2016. — № 2. — С. 56–65.
5. Соловьев А.Н. Моделирование процесса охлаждения элементов радиоэлектронной аппаратуры в SOLIDWORKS / А.Н. Соловьев, Л.В. Глазунова // Вестник ДГТУ. — 2010. — № 4(47). — С. 466–478.
6. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов / Л. Сегерлинд. — М.: Мир, 1979. — 392 с.
7. Николаев Д. Основы теплового менеджмента при конструировании ПСП / Д. Николаев, А. Феопентов // Полупроводниковая светотехника. — 2010. — № 1. — С. 44–47.
8. Павлова А.А. Анализ температурных зависимостей светотехнических характеристик светодиодов / А.А. Павлова, А.Н. Рамазанов, Д.К. Кострин // Современные научные исследования и инновации. — 2016. — № 12. — URL: <https://web.snauka.ru/issues/2016/12/73918> (дата обращения: 12.09.2025).
9. Bendsoe M.P. Generating Optimal Topologies in Structural Design Using a Homogenization Method / M.P. Bendsoe, N. Kikuchi // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. — 1988. — Т. 71, №. 2. — С. 197–224.

10. Арутюнов Ю.А. О прогнозировании создания и финансирование производства новой продукции / Ю.А. Арутюнов, И.П. Архипов, А.А. Дробязко [и др.] // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2017. — № 5-1. — С. 105–110.

Chaschin Yevgeny Anatolievich

Kovrov State Technological Academy named after V.A. Degtyarev, Kovrov, Russia
E-mail: kanircha@list.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4000-0035>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=42261

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=6506540880>;
<https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=6507486248>

Shilov Igor Vyacheslavovich

Kovrov State Technological Academy named after V.A. Degtyarev, Kovrov, Russia
E-mail: shilov@dksta.ru

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=42266

Maslakova Galina Vladimirovna

Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia
E-mail: maslakova.gv@ya.ru

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=667627

Increasing the lifespan of a direct-hung LED lamp

Abstract. In engineering practice, it is not uncommon for LED direct-mount lights with a power of more than 50 W to be used for lighting hangars and other industrial premises. The practice of using LED lights in such cases shows that the light output decreases over time due to the progressive degradation of LEDs caused by an increase in the temperature of the active area of the LED crystals, which is caused by a violation of the thermal regime. According to the basic principles of thermal management, the temperature of the active area is determined by the temperature at the point of contact between the PCB and the metal base on which the LED modules and the LED light housing are placed, which also serves as a heat sink. This makes it relevant to determine the heat-efficient shapes of enclosures that also function as heat sinks. In the article, on the example of an LED luminaire containing 3 LED modules of electrical/thermal power of 45/35 W each, the simulation of the thermal system for the housing with a length of 450 mm, made by extrusion of aluminum alloy AD31 GOST 4784-97, is performed. According to the results of modeling in the SolidWorks software package, taking into account the thermal resistance between the LED and the housing, the possibility of preserving the resource of operation of LED luminaires of direct suspension by topological optimization of the housing and spatial orientation is considered. It has been shown that the ability to select heat-efficient radiator shapes without significantly complicating the topology of their surfaces by increasing the role of the thermal conductivity mechanism allows for a 20 % increase in the service life of an LED lamp. It has also been shown that changing the spatial orientation of a direct-suspension LED lamp allows it to be operated at ambient temperatures up to 40°C while maintaining its service life.

Keywords: energy saving; LED lamp; thermal management; topology; thermal conductivity; resource; extrusion