

# Конструкция светодиодной лампы

## для прямой замены лампы накаливания общего назначения

**Т**олчком к написанию этой статьи послужило впечатление от XVI Международной специализированной выставки «Энергетика Урала — 2010», которая проходила в Уфе в октябре 2010 г. [1]. Основной целью ее посещения было знакомство с последними конструкциями светодиодных ламп, которые вот-вот должны будут заменить энергопрожорливую «лампочку Ильича».

К сожалению, светодиодные экспонаты выставки, предназначенные для освещения жилых помещений, меня не обрадовали. Новых конструкций я так и не увидел. В лучшем случае это были все те же лампы накаливания с колбой и винтовым цоколем, только усложненные современной начинкой и утяжеленные внешним радиатором. А в худшем случае — «гранаты» или «луковицы», с тем же винтовым цоколем и увешанные гроздьями маленьких колбочек.

Что касается светодиодных аналогов газоразрядных ламп, то здесь результаты «замены» выглядели значительно лучше. Среди них мне даже удалось найти не отягощенные дополнительными элементами светодиодные линейки. Они выглядели достаточно просто и функционально. И хотя конструкция осветительного прибора для этого источника света в целом осталась неизменной, внешне он ни в чем не уступал существующим светильникам с лампами дневного света. Да и свои прямые функции светильник выполнял исправно. Однако для жилых помещений эти громоздкие устройства, как известно, мало подходят.

Что же мне понравилось в светодиодных линейках? Прежде всего, отсутствие дополнительного радиатора и колбы. Получилась достаточно простая и, на мой взгляд, более практичная и надежная конструкция. Возможно, отказаться от этих конструктивных элементов позволили относительно большие размеры аналога лампы дневного света. Но, в любом случае, выходит, что в определенных условиях необходимости и в радиаторе, и в колбе нет. Вот в этих «определенных условиях» я решил разобраться, и если получится, то предложить аналогичную конструкцию для замены лампы накаливания.

Но сначала подробнее рассмотрим существующие конструкции светодиодных ламп и на основе их анализа проведем дальнейшие исследования. Для этого обратимся к резуль-

татам тематического патентного поиска, проведенного мной с целью определения действительного уровня развития светодиодных осветительных устройств, а не его внешних проявлений, как мне могло показаться на выставке. Заодно разберемся и в тенденции развития данных устройств.

### Постановка задачи

Надо сразу отметить, что результаты патентного поиска только усилили мое первое впечатление. Конструкции светодиодных ламп менялись с развитием элементной базы излучателей — светодиодов. От слабеньких, рассчитанных на токи в сотые доли ампера, пригодных для использования в осветительных приборах только в больших количествах [2, 3], эти полупроводниковые элементы «выросли» до мощных светодиодов с рабочим током в единицы ампер, специально предназначенных для осветительных приборов [4, 5]. Светового излучения нескольких штук таких мощных источников уже достаточно для одной лампы. Анализ патентов последних лет позволил мне выявить некоторые тенденции развития конструкций светодиодных ламп [6, 7], которым явно следовали авторы увиденных мной выставочных образцов. Во всех устройствах конструкторы стараются минимизировать количество светодиодов. В идеальном варианте, наверное, они стремятся к одному супермощному светодиоду. Значит, для обеспечения требуемой величины светового потока в современных светильниках должны использоваться наиболее мощные из доступных светодиодов.

Однако, несмотря на увеличение мощности осветительных светодиодов, их размеры остаются неизменно малыми. В совокупности с низкой рабочей температурой светодиодов это сильно усложняет организацию их доступного теплового режима внутри осветительного прибора [8]. И чем больше потребляемая светодиодом мощность, тем сложнее и больше в размерах должна быть его охлаждающая система, иначе светодиод начинает перегреваться. При таком режиме работы резко снижается светоотдача и уменьшается срок службы. Ситуация усугубляется в светильнике закрытого типа, в ограниченном колбой и корпусом пространстве. Это основная за-

дача, которую решают конструкторы при разработке светодиодной лампы.

Вторая по значимости задача, решаемая ими, тоже связана с тем, что светодиоды имеют маленькие размеры. Они являются еще и сосредоточенными источниками света. Когда, по мере увеличения мощности, светодиодов в лампе становится меньше, то уменьшается и площадь свечения, что, дополнительно к вышеизложенному, повышает опасность ослепления и, как следствие, ухудшает условия видимости. Это необходимо учитывать при проектировании осветительных устройств и соответствующей осветительной арматуры [9].

Итак, мы знаем, какие технические задачи стоят перед конструкторами светодиодных ламп и в какой последовательности они их решают. При разработке осветительных устройств на мощных светодиодах возникает необходимость в дополнительных элементах для отвода теплового потока и рассеивания светового излучения. Но такие элементы значительно усложняют существующие конструкции светодиодных ламп и, конечно, удорожают их. Значит, есть необходимость в упрощении конструкций этих ламп. Попробуем взглянуть на проблему создания светодиодной лампы с этой точки зрения. Конечно, повлиять на стоимость светодиодов, используемых в осветительных приборах, у меня не получится, но удешевить устройство за счет упрощения его конструкции стоит попробовать. Для этого попытаемся решить следующую задачу: добиться нормального температурного режима работы светодиодов в светодиодной лампе и приемлемой яркости ее свечения без дополнительных конструктивных элементов теплоотвода и светорассеивания. А это значит, что сейчас самое время немного углубиться в физические процессы, протекающие в светодиодной лампе.

### Выбор конструктивных элементов

Напомню, что из-за неблагоприятного соотношения своих размеров к потребляемой мощности светодиод является сосредоточенным источником света и тепла. Как известно, передача тепла от нагретого тела осуществляется за счет трех физических процессов [10]:

- Излучение. Поверхность осветительного прибора, на которой монтируется светодиод или модуль с несколькими светодиодами, не должна быть с очень низким коэффициентом излучения.
- Конвекция. Желательно иметь специальные охлаждающие элементы или достаточно большую площадь поверхности корпуса светильника для беспрепятственного контакта с потоками окружающего воздуха (специальные охлаждающие ребра, шероховатая структура и т. д.).
- Теплопроводность. Из-за очень небольшой площади поверхности и объема светодиодов охлаждения за счет излучения и конвекции не достаточно. Поэтому одна из основных задач при проектировании светодиодных светильников — обеспечить отвод тепла за счет теплопроводности специальных охлаждающих элементов или конструкции корпуса.

Следует обратить внимание и на то, что слишком большая яркость свечения мощных светодиодов отрицательно воздействует на зрение наблюдателя. При большой яркости имеет место очень интенсивная засветка сетчатки глаз, и раздражающий светочувствительный пигмент не успевает восстанавливаться, т. е. возникает явление ослепленности. Это происходит, когда в поле зрения находится яркий источник света. Результатом ослепления является уменьшение способности различать предметы. Вследствие вышеизложенного можно сделать вывод о том, что подвергать человека ослеплению чрезвычайно опасно, так как это может привести к главному напряжению и функциональным расстройствам [13].

Поэтому для каждого светодиода в лампе:

- необходимо создать эффективный теплоотвод с целью обеспечения требуемой производителем температуры  $p-n$ -перехода светодиода, превышение которой резко снижает его срок жизни;
- желательно обеспечить эффективное светорассеивание с целью уменьшения эффекта ослепления из-за чрезмерной яркости свечения светодиода, эта проблема усугубляется стремлением производителей увеличить их светотдачу.

Почему в первом случае «необходимо», а во втором «желательно»? Потому, что светорассеивание не требует обязательного контакта светорассеивающих элементов со светодиодом. Таким образом, решать эту проблему можно не в лампе, а с помощью осветительной арматуры светильника, как это достаточно часто делается. А вот организовать отвод излишков тепла от светодиода можно только непосредственно в лампе. Значит, для упрощения задачи сначала выберем «тепловое» направление ее решения. Но в дальнейшем его результаты по возможности скорректируем с учетом условий «светового» направления. Так какие же элементы лампы оказывают влияние на тепловые процессы в ней?

С точки зрения максимального приближения  $p-n$ -перехода светодиода к теплопроводящей поверхности для применения в осветительных приборах особый интерес представляют SMD-

светодиоды. Их корпус имеет специальную площадку для крепления к теплоотводящей поверхности, в качестве которой можно использовать существующую печатную плату с каким-либо теплопроводным основанием без дополнительного радиатора. Удобный и автоматизированный монтаж SMD-светодиодов, хорошая теплопроводность корпуса и высокая светотдача позволяют выбрать оптимальные и интересные решения для создания систем освещения [11]. Существующие SMD-светодиоды бывают маломощные (до 0,1 Вт), средней мощности (0,1–1 Вт) и мощные (свыше 1,0 Вт).

В качестве теплопроводящей поверхности совместно с SMD-светодиодами можно использовать платы с основаниями, материалы которых отличаются по теплопроводности. Печатные платы с металлическим основанием в сравнении с обычными платами из текстолита [12] имеют следующие плюсы:

- рассеивают тепло без использования дополнительных радиаторов и специальных теплопроводящих паст;
- добавляют механическую жесткость всему изделию;
- позволяют значительно проще организовать отвод тепла от нагреваемых компонентов за счет своих охлаждающих свойств;
- обладают отличными характеристиками по электромагнитной совместимости и экранированию.

Возможность объединения на одной такой печатной плате множества светодиодов, монтаж компонентов с помощью стандартных автоматизированных технологий пайки, использование ее в качестве радиатора охлаждения — все это в комплексе позволяет создавать компактные высокоэффективные осветительные приборы.

Один из лучших по эффективности вариантов теплоотвода — керамические основания с предварительно нанесенными токоведущими трассами, непосредственно к которым подпаиваются светодиоды. Охлаждающие конструкции на базе керамики отводят за одно и то же время примерно в два раза больше тепла по сравнению с обычными вариантами металлических охлаждающих элементов [10].

Таким образом, мы выделили в светодиодной лампе только два элемента, которые, на мой взгляд, важны для решения поставленной задачи. И будем считать, что другие элементы конструкции лампы, необходимые для ее функционирования, например средство присоединения к электрической сети и источник вторичного питания, незримо присутствуют и будут учтены в описании предложенной конструкции. А среди вариантов светодиодов,

отличающихся по мощности, и печатных плат с основаниями, материалы которых отличаются по тепловому сопротивлению, мы и сделаем свой выбор.

## Определение оптимальных параметров

Исходные условия для решения этой задачи зависят от того, что разрабатываемая лампа предлагается для замены лампы накаливания, типоразмеры и параметры которой сложились исторически, а также от показателей светодиодов, характеризующих их эффективность. Хотя эффективность светодиодов постоянно растет, сейчас наиболее распространенные SMD-светодиоды имеют светотдачу 100 лм/Вт и КПД преобразования электроэнергии в свет 25–40%. Поэтому дальнейшие рассуждения будут касаться светодиодов именно с этими показателями. Тогда суммарная мощность всех светодиодов в одной светодиодной лампе при таких ограничениях в соответствии с таблицей должна быть в диапазоне 2,5–13,5 Вт [14].

При использовании в конструкции лампы маломощных светодиодов их количество было бы неоправданно большим — 25–135 шт., что не устраивает нас из-за высокой стоимости такого их количества. Применение же мощных светодиодов, вне зависимости от их количества, предполагает при отказе от дополнительных радиаторов использование печатных плат с максимальной теплопроводностью, то есть с керамическим основанием, что также неприемлемо по финансовым соображениям. Следовательно, осталось рассмотреть два варианта лампы со светодиодами средней мощности: на текстолитовой печатной плате или на печатной плате с металлическим основанием.

Если использовать светодиоды мощностью менее 0,5 Вт, то вполне приемлемым будет их монтаж на обычные печатные платы из текстолита, что предпочтительно и по стоимости. Однако при рассеивании тепла от светодиодов более высоких мощностей потребуется использование и более дорогих специальных печатных плат с теплопроводящим основанием [12]. Но это оправдано, так как при рассеивании тепла от светодиодов мощностью 0,5–1 Вт лучше использовать печатную плату с алюминиевым основанием [15]. Значит, как это часто бывает, оптимальным вариантом оказывается «золотая середина»: печатная плата с металлическим основанием, в частности с алюминиевым, и установленными на ней SMD-светодиодами мощностью не более 1 Вт. Следующий вопрос, на который необходимо дать ответ: с какой плотностью необходимо

Таблица. Соответствие мощностей существующих ламп накаливания и перспективных светодиодных ламп

Лампа накаливания		Лампа светодиодная	
Мощность, Вт	Световой поток, лм	Мощность, Вт	Световой поток, лм
25	220	2,5	250
40	415	4,0	400
60	715	7,0	700
75	950	9,5	950
100	1350	13,5	1350

установить светодиоды на поверхности печатной платы, чтобы избежать их перегрева?

По одним данным, оптимальной площадью радиатора из алюминия (каким является наша печатная плата) для рассеивания излишков тепла от светодиодов мощностью 1 Вт считается 15–20 кв. см для светильников открытых типов и 20–25 кв. см для закрытых [16, 17]. Но так как у печатной платы две поверхности и с обеих одинаково идет отток тепла в открытое пространство, то такую площадь радиатора будет иметь печатная плата с алюминиевым основанием площадью 8–10 кв. см для открытых типов светильников.

По другим же данным, для светодиода с потребляемой мощностью 1 Вт при условии естественной незатрудненной конвекции при +25 °С нужна плата с алюминиевым основанием площадью не менее 6,5 кв. см. [11]. Если площадь печатной платы под светодиодом примерно соответствует данному значению, то такое устройство при работе в номинальном режиме не нуждается в дополнительном теплоотводе. При работе в закрытом корпусе, а также в условиях повышенной температуры окружающей среды без применения дополнительного охлаждения нужен или дополнительный теплоотвод, или увеличение площади платы.

Данные из разных источников очень близки по значению, поэтому им вполне можно доверять. Для надежности выберем большее из них — 8 кв. см при рассеивании излишков тепла от светодиода мощностью 1 Вт. Тем более что на условия охлаждения печатной платы влияют температура окружающей среды и расположение печатной платы в пространстве [18]:

- При увеличении температуры окружающей среды увеличивается и температура печатной платы с установленным на ней светодиодом. Чтобы компенсировать нагрев корпуса светодиода, необходимо увеличить размер печатной платы и/или размер радиатора, что часто бывает затруднительно из-за ограничений на размер готового устройства.
- При вертикальном размещении печатной платы отвод тепла от нее в условиях естественной конвекции будет лучше, чем при ее горизонтальном размещении.



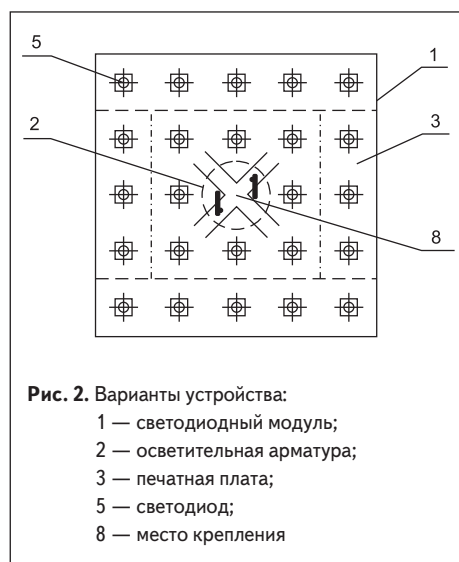
**Рис. 1.** Конструкция светодиодного светильника:  
 1 — светодиодный модуль;  
 2 — осветительная арматура;  
 3 — печатная плата;  
 4 — алюминиевое основание;  
 5 — светодиод;  
 6 — винтовой цоколь;  
 7 — блок питания;  
 8 — место крепления

Дополнительно примем во внимание, что с ослепляющим действием можно бороться только распределением излучаемого света по большей площади [19]. Поэтому несколько скорректируем результаты «теплого» направления решения задачи путем увеличения количества светодиодов с одновременным уменьшением их мощности. Понятно, что при такой корректировке суммарная мощность всех светодиодов и размер печатной платы в лампе останутся неизменными и разница в тепловых условиях работы светодиодов будет практически незаметна. В итоге останавливаемся на следующих параметрах светодиодного модуля: мощность каждого светодиода должна быть не более 0,5 Вт. Вследствие того что распределены они должны быть равномерно, так, чтобы на каждый 1 Вт их суммарной мощности приходилось не менее 8 кв. см печатной платы, то на один светодиод мощностью 0,5 Вт необходимо не менее 4 кв. см печатной платы с алюминиевым основанием. Таким образом, выбор оптимальных параметров светодиодного модуля позволяет упростить конструкцию светодиодного светильника. Что же у нас в итоге получилось?

### Описание предлагаемой конструкции

Предлагаемое устройство изображено на рис. 1. Оно состоит из светодиодного модуля (1), выполненного в виде печатной платы (3) с алюминиевым основанием (4), на которой методом автоматического поверхностного монтажа установлены SMD-светодиоды (5) с заданной суммарной мощностью, и прикрепленной к светодиодному модулю (1) осветительной арматуры (2), выполненной в виде винтового цоколя (6) со встроенным блоком питания (7). Светодиоды (5) установлены на печатной плате (3) равномерно, каждый из них имеет мощность не более 0,5 Вт, а печатная плата (3) содержит место для крепления (8) осветительной арматуры (2) и имеет площадь не менее 4 кв. см на каждый светодиод.

Открытая, без корпуса и плафона, конструкция светодиодного светильника позволяет



**Рис. 2.** Варианты устройства:  
 1 — светодиодный модуль;  
 2 — осветительная арматура;  
 3 — печатная плата;  
 4 — алюминиевое основание;  
 5 — светодиод;  
 8 — место крепления

алюминиевому основанию (4) печатной платы (3) рекомендованных размеров эффективно отводить тепло от равномерно распределенных по всей ее площади светодиодов (5) мощностью не более 0,5 Вт, сохраняя их температурный режим в диапазоне, рекомендованном производителем, что положительно влияет на срок их службы. Осветительная арматура (2), прикрепленная к светодиодному модулю (1) в месте для крепления (8) на печатной плате (3), не нагревается сама и не мешает теплоотводу от алюминиевого основания (4) печатной платы (3).

В качестве практического применения приведем несколько вариантов предлагаемого устройства, предназначенных для прямой замены некоторых ламп накаливания. Они изображены на рис. 2, наложенные друг на друга. С целью уменьшения отходов при производстве печатной платы выберем для нее форму плоского прямоугольника. Так как традиционные лампы накаливания мощностью 40, 60 и 100 Вт имеют световой поток соответственно 415, 715 и 1350 лм, то суммарная мощность подобных им светодиодных светильников должна, хотя бы примерно, соответствовать 4, 7 и 13,5 Вт (см. табл.). Тогда при использовании светодиодов, мощность каждого из которых будет максимально возможной по нашим расчетам, т. е. равной 0,5 Вт, их количество в светодиодном модуле окажется по 8, 14 и 24 шт. со световыми потоками 400, 700 и 1200 лм соответственно. При этом печатная плата для таких светодиодных модулей можно изготовить следующих размеров (см × см = кв. см): 6 × 6 = 36; 6 × 10 = 60; 10 × 10 = 100, что вполне приемлемо.

Полученные результаты можно свести к следующим выводам:

- Анализ результатов патентного поиска указал на то, что упрощение конструкции светодиодной лампы возможно путем решения задачи эффективного теплоотвода без дополнительных конструктивных элементов.
  - Обобщение данных, полученных при исследовании тепловых процессов, протекающих в световых приборах, позволило при принятых ограничениях определить оптимальные параметры светодиодного модуля — для каждого SMD-светодиода мощностью 0,5 Вт необходимо 4 кв. см печатной платы с алюминиевым основанием.
  - Предложенные варианты светодиодных ламп для прямой замены ламп накаливания мощностью 40, 60 и 100 Вт оказались просты по конструкции и обеспечивают необходимый тепловой режим работы светодиодов.
- Таким образом, используя технико-эксплуатационные характеристики основных элементов светодиодных источников света, различных видов светодиодов и печатных плат, вполне можно найти оптимальный вариант их взаимного использования для создания конструкции лампы с требуемыми параметрами без использования дорогостоящих вспомогательных элементов и даже без колбы. Что же еще осталось в этой конструкции от старой лампы накаливания? Ах да, винтовой цоколь! Так называемый винт



Эдиссона. Хотя многие считают Эдиссона изобретателем лампы накаливания, это не совсем так. Он изобрел именно цоколь — хотя и важную часть лампы, но все-таки не ее саму. К открытию лампы накаливания больше причастны германский часовщик Г. Гебель и русские изобретатели П. Н. Яблочков и А. Н. Лодыгин [20]. Но, наверное, за давностью лет уже не так важно, кто из них внес больший вклад в это открытие. Главное, что они сделали его при их уровне техники, можно сказать, голыми руками. А мы со своими синхрофазотронами и космическими ракетами даже закрыть-то его толком до сих пор не можем. Хотя... Но это уже совсем другая история. ●

## Литература

1. <http://energyexpert.ru/content/view/810/1/>
2. Патент RU63490 (U1).
3. Патент GB2098714 (A).
4. Патент RU96696 (U1).
5. Патент RU97566 (U1).
6. Патент EP2083210 (A).
7. Патент RU2399833 (C2).
8. <http://www.innokor.ru/publ/32-svetlamp.html>
9. <http://www.ra-electric.ru/publication/technique%20and%20technology/tec9.htm>
10. <http://www.k-to.ru/ru/interesting/obor/detail.php?ID=436>
11. <http://www.compeljournal.ru/enews/2009/9/4>
12. <http://www.pselectro.ru/article/7/78>
13. [http://otherreferats.allbest.ru/life/00051014\\_0.html](http://otherreferats.allbest.ru/life/00051014_0.html)
14. Кухлинг Х. Справочник по физике / Пер. с нем. М.: Мир. 1982.
15. <http://www.rlocman.ru/review/article.html?di=52377>
16. Николаев Д., Феопентов А. Основы теплового менеджмента при конструировании ПСП // Полупроводниковая светотехника. 2010. № 1.
17. <http://chip-led27.ru/site/16>
18. Винокуров А. Тепловые режимы мощных светодиодов DORADO // Компоненты и технологии. 2006. № 5.
19. <http://tehnologiya.pulscent.ru/articles>
20. <http://articles.gazeta.kz/art.asp?aid=79692>