

Антон Шаракшанэ | anton.sharakshane@gmail.com

Поиск формы и размеров радиатора

СВЕТОДИОДНОГО СВЕТИЛЬНИКА

Экономические особенности массового производства вынуждают критически относиться к заведомо избыточным радиаторам и искать решения с максимальной теплорассеивающей способностью на один килограмм веса и рубль стоимости.

Температурные зависимости

С ростом температуры кристалла светодиода вместе со снижением светового потока снижается прямое напряжение и, как следствие, потребляемая мощность. Падение мощности частично компенсирует снижение светового потока, и эффективность с температурой падает медленно — это необходимо учитывать.

Пример 1

График зависимости эффективности от температуры светодиодов, выпущенных более трех лет назад, LXM8-PW27 и LXM8-PW30, приведенный в документации Philips Lumileds DS63 (рис. 1). Эффективность до +25...+50 °C растет и до температуры +75 °C заметно не снижается.

Пример 2

В технической документации на светодиод Osram OSOLON Square (LCW_CQAR.PC) приведены подробные графики зависимости прямого напряжения и светового потока от температуры. Если перемножить значения с этих двух графиков, получится зависимость относитель-

ной эффективности от температуры (рис. 2). Эффективность практически не снижается вплоть до температуры кристалла +85 °C.

Пример 3

Cree в технической документации на светодиоды приводит графики зависимости светового потока от температуры, аппроксимируя сложные зависимости линейными, и приводит средний коэффициент температурной зависимости напряжения. Это не позволяет определить температуру, до которой эффективность не снижается, но позволяет оценить «в среднем», насколько снизится эффективность при повышении температуры. С ростом температуры кристалла на 10 °C световой поток различных светодиодов Cree снижается на 2–2,5%, прямое напряжение — на 20–30 мВ, потребляемая мощность — на 0,7–1,0%, эффективность — на 1,0–1,5%.

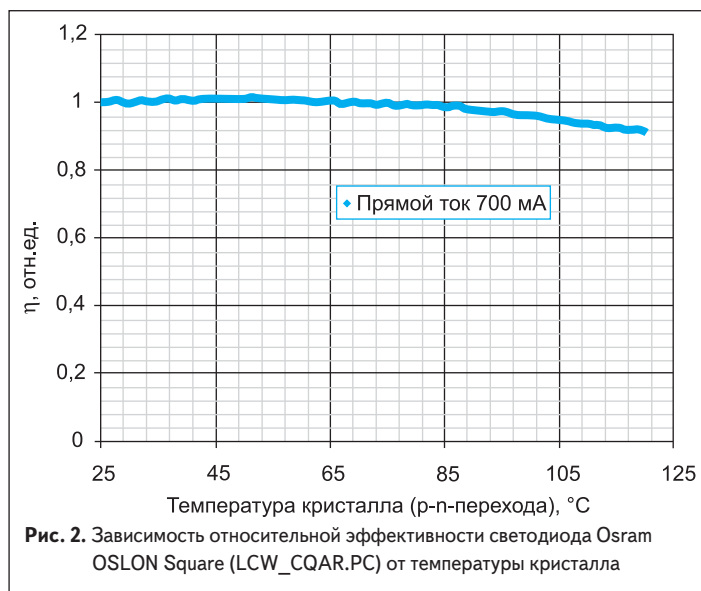
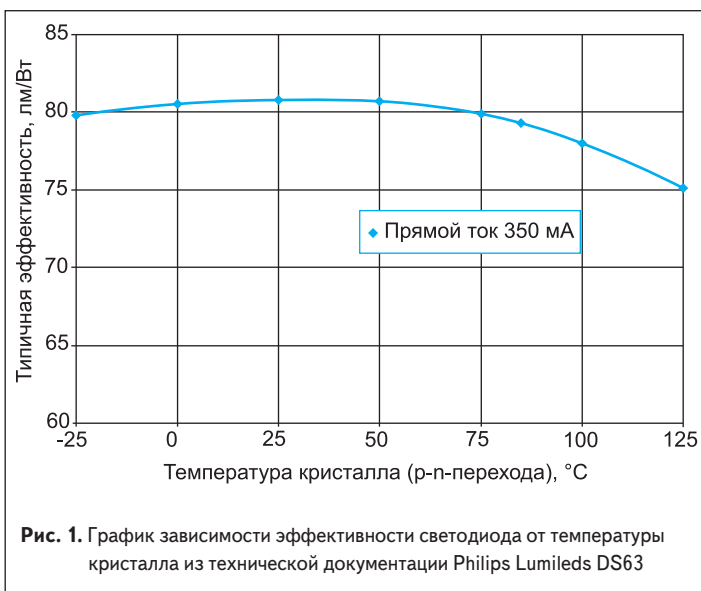
Для дальнейших оценок будем использовать средние значения этих диапазонов: при росте температуры на 10 °C снижение светового потока на 2,25%, прямого напряжения — на 25 мВ, потребляемой мощности — на 0,85%, эффективности — на 1,25%.

Целевая температура радиатора

Температура кристалла вычисляется как сумма температуры платы рядом со светодиодом (точки пайки) и произведения теплового сопротивления корпуса на выделяемую светодиодом тепловую мощность. Более мощные светодиоды закономерно имеют меньшее тепловое сопротивление корпуса, менее мощные — большее. Но произведение теплового сопротивления на мощность обычно остается в пределах 10–15 °C. Из-за некоторой неоднородности температуры платы и радиатора можно считать, что радиатор в среднем на 5–10 °C холоднее платы и примерно на 20 °C холоднее кристалла. Поэтому целевая температура радиатора на 20 °C ниже целевой температуры кристалла.

Учтем, что в описании всех современных светодиодов в качестве рабочих указываются температуры не менее +120 °C, при температурах радиатора до +100 °C следует учитывать лишь зависимость эффективности светодиода от температуры.

За целевую температуру кристалла разумно принять наибольшее значение, до которого не происходит значимого снижения эффективности. Для любых конкретных предполагаемых к использованию диодов это значение можно уточнить. Для примера примем весьма консервативное значение целевой температуры кристалла — +75 °C и, соответственно, целевую



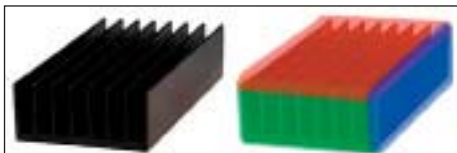


Рис. 3. Принцип «обтянутой площади» используется при оценочном расчете радиатора и требует за эффективную радиаторную поверхность принимать площадь эластичной пленки, которой можно мысленно обтянуть радиатор

температуру радиатора +55 °С. Это значение удобно тем, что его легко контролировать вручную: большинство людей не могут удерживать палец приложенным к металлической поверхности с температурой выше +50...+60 °С, а более низкие температуры воспринимаются как терпимые.

Принцип «обтянутой площади» и его проверка

Очевидно, что не все складки, углубления и поднутрения развитой поверхности радиатора одинаково эффективно участвуют в отводе тепловой мощности в окружающую среду. Принцип «обтянутой площади» используется при оценочном расчете эффективности радиатора и требует за эффективную радиаторную поверхность принимать только «обтянутую площадь» — площадь эластичной пленки, которой можно мысленно обтянуть радиатор (рис. 3). Остальная поверхность не учитывается.

Для проверки принципа использованы алюминиевый радиатор 80×150×35 мм с восемью ребрами и аналогичный, у которого шесть внутренних ребер спилены (рис. 4). Эти радиаторы имеют разный вес и число ребер, но одинаковую обтянутую площадь. На радиаторы наклеены световые модули 85×72 мм с семью диодами Cree XPG. Полная мощность модуля регулировалась и составила 23 Вт, чтобы при комнатной температуре +25 °С температура радиатора установилась равной +55 °С. Тепловое сопротивление радиатора традиционно рассчитывается как отношение разницы температур радиатора и окружающей среды к рассеиваемой мощности. В данном случае для удобства расчетов и наглядности результатов за рассеиваемую мощность принята полная потребляемая мощность светильника (таблица).

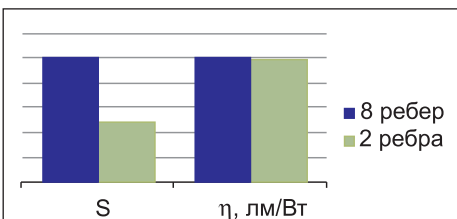


Рис. 5. Результат спиливания шести ребер из восьми: полная площадь уменьшилась значительно, эффективность светильника практически не изменилась



Рис. 4. Спиливание шести из восьми ребер радиатора незначительно повлияло на его теплорассеивающую способность

Т а б л и ц а . Изменение характеристик радиатора при спиливании шести ребер из восьми

Параметр	Радиатор с восемью ребрами	Радиатор с двумя ребрами
Масса, г	411	239
Полная площадь, см ²	1010	488
Обтянутая площадь, см ²	401	401
Установившаяся температура при T _о = +25 °С и P = 23 Вт, °С	55	62
Тепловое сопротивление, К/Вт	1,3	1,6

В результате спиливания шести ребер температура поднялась на 7 °С. Оценим влияние этого прироста температуры на основные параметры светильника, пользуясь температурными зависимостями из технической документации Cree. В результате спиливания шести ребер из восьми:

- полная площадь уменьшилась в 2,1 раза;
- масса снизилась в 1,7 раза;
- тепловое сопротивление возросло на 23%;
- температура возросла на 7 °С;
- световой поток уменьшился на ~1,6%;
- эффективность снизилась на ~0,9%.

Если оценивать эффект от спиливания ребер по диаграмме (рис. 5), видно, что принцип обтянутой площади верен и продуктивен. Ребра, не влияющие на величину обтянутой площади радиатора, не определяют эффектив-

ность светильника и должны быть срезаны еще на этапе проектирования.

Роль ориентации ребер

Закономерен вопрос: существенно ли влияет ориентация ребер на тепловое сопротивление радиатора? Может быть, целесообразно повернуть ребра так, чтобы воздух беспрепятственно поднимался между ними, создавая естественную тягу? И в таком случае мы получим существенно более эффективный радиатор, вес и сложность изготовления которого будут оправданы?

При повторной серии экспериментов в другой день и с другим оборудованием проверялось, изменится ли температура радиатора и его тепловое сопротивление при сохранении количества ребер, но изменении ориентации (рис. 6).

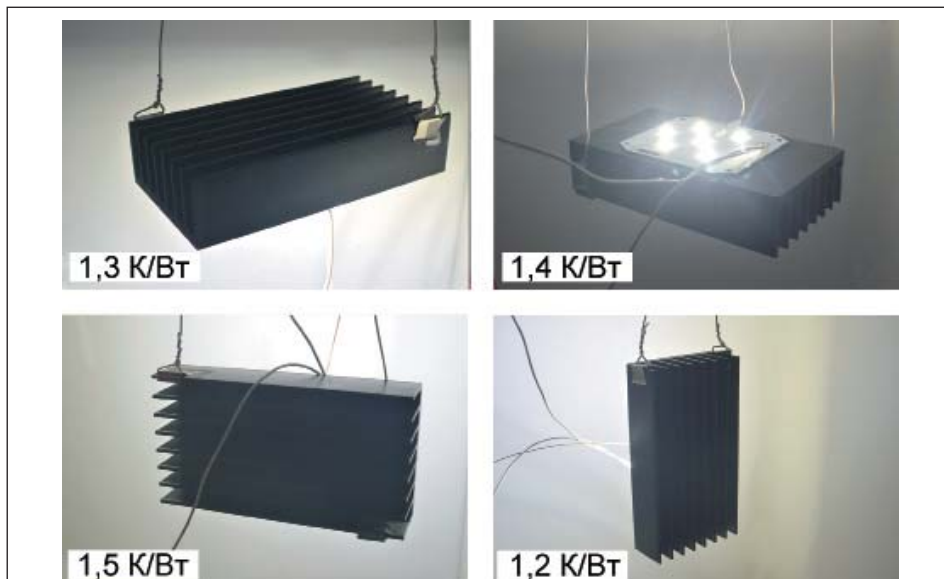


Рис. 6. Максимальная разница тепловых сопротивлений радиатора при различных ориентациях ребер составила всего 20%

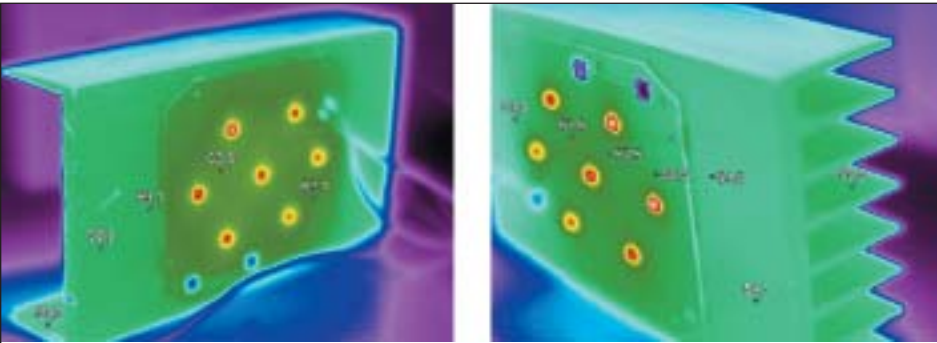


Рис. 7. Малые радиаторы в пересчете на единицу площади эффективны, так как одинаково эффективно задействована вся поверхность

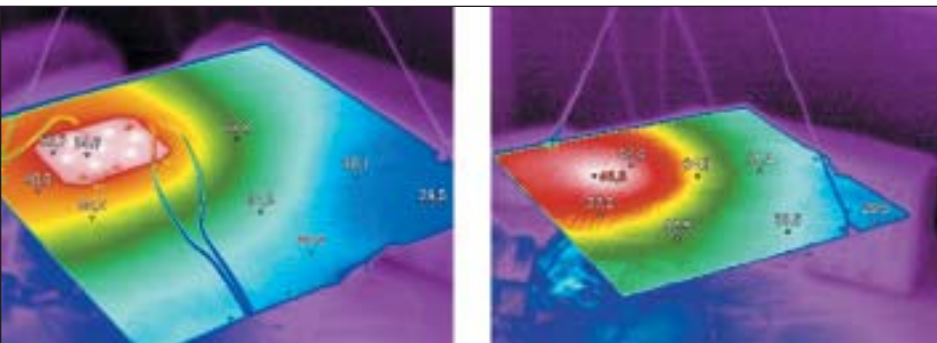


Рис. 8. Значительное увеличение площади радиатора почти не приводит к снижению температуры платы. Дальние от тепловыделителя участки площади радиатора не участвуют в теплоотдаче

В четырех возможных позициях максимальное различие тепловых сопротивлений зафиксировано на восьмیرهберном радиаторе между положениями «ребра вбок горизонтальны» и «ребра вбок вертикальны» и составило 20% в пользу вертикальных ребер. При оптимальном расположении ребер образуется естественная тяга. Между другими парами положений разница меньше. Вероятно, это объясняется сравнительно высокой вязкостью воздуха и, как следствие, невпечатляющим эффектом тяги в узком пространстве между ребрами.

Неэффективность больших радиаторов

Является ли эффективным огромный радиатор — с заведомо большей эффективной площадью, чем необходимые 20 см² на 1 Вт мощности светильника? Как показывает практика, значительное увеличение площади радиатора сверх минимально необходимого дает очень небольшой эффект снижения температуры платы. Такой радиатор справляется с задачей теплоотвода, но его эффективность в пересчете на килограмм веса и рубль стоимости мала.

Причина неэффективности добавочной площади видна, если сравнить термограммы радиаторов с 18 см² обтянутой площади на 1 Вт мощности (рис. 7) и алюминиевой пластины 300×300×1,5 мм с тем же светодиодным модулем (рис. 8), что соответствует 78 см² на 1 Вт мощности.

Четырехкратное увеличение обтянутой площади практически не привело к снижению температуры платы из-за возникающей неоднородности температуры и неэффективности крайних участков радиаторной площади.

Но и при равномерном распределении источников мощности по радиатору увеличение радиаторной площади приводит к экспоненциальному снижению разницы температуры платы и температуры окружающей среды. То есть к сильному снижению температуры при увеличении малых площадей и слабому снижению при увеличении больших площадей. Увеличение радиаторной площади выше 30 см²/1 Вт нерационально, а выше 100 см²/1 Вт бесполезно [1].

Выводы

- Развитая площадь радиатора полезна только при наличии принудительной вентиляции. Образ сложного ребристого радиатора для охлаждения компьютерного процессора не должен воодушевлять на создание радиатора светодиодного светильника без вентилятора (рис. 9).
- Удачное расположение ребер улучшает теплоотвод, но не радикально. Если требуется значимо улучшить теплоотвод, нужно увеличивать обтянутую площадь.
- Для достижения целевой температуры +55 °С при температуре окружающей среды +25 °С необходимо и достаточно 20 см² «обтянутой площади» радиатора на 1 Вт мощности светильника.
- Увеличение площади радиатора более необходимого минимума неэффективно.
- Добавление ребер, значимо не увеличивающих обтянутую площадь радиатора, — бесполезная трата материала и увеличение стоимости его обработки. Примеры ребристых радиаторов



Рис. 9. Без принудительной вентиляции нет необходимости увеличивать массу и стоимость радиатора, создавая сложную развитую поверхность



Рис. 10. Примеры «дизайнерских» радиаторов — неадекватных назначению и имеющих низкую теплорассеивающую способность на один килограмм веса и рубль стоимости

избыточной массы, эффективность которых не изменится, если спилить все ребра под корень, приведены на рис. 10. Все примеры, которые удалось найти, российского и китайского производства. Больше никто в мире подобные конструкции не изобретает.

- Хороший радиатор имеет малый вес и технологически простую форму (рис. 11). Его обтянутая площадь либо конструктивно обусловлена и заведомо избыточна, либо минимально достаточна для соответствия той максимальной температуре, при которой используемые светодиоды имеют устраивающую разработчика эффективность. •

Автор выражает благодарность за обсуждение экспериментов и предоставление тепловизора директору ООО НТФ «Техно-Альянс Электроникс» Евгению Шулика.

Литература

1. Антон Шаракшанэ. Практический тепловой менеджмент // Полупроводниковая светотехника. 2012. № 5.

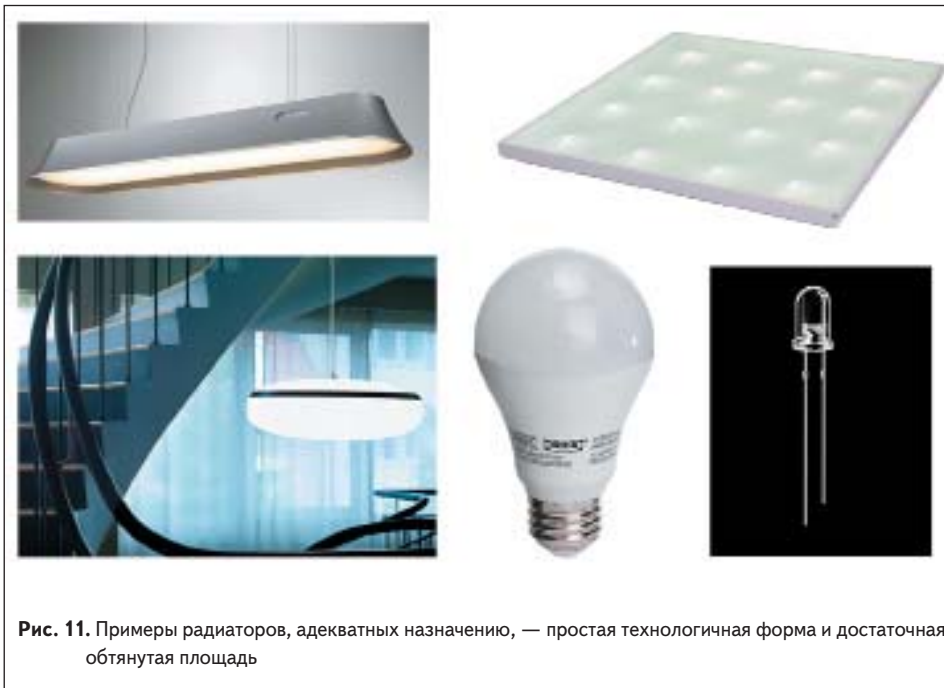


Рис. 11. Примеры радиаторов, адекватных назначению, — простая технологичная форма и достаточная обтянутая площадь