

Юрий Сакуненко, к. т. н. | xolodLED@gmail.com

# Проектирование системы охлаждения LED-светильника

## Советы начинающим

**Как правило, большинство новичков, которым надо разработать систему охлаждения своих светодиодных творений, входят в легкий ступор после знакомства с многостраничными инструкциями по тепловым расчетам радиоэлектронных компонентов. Разобраться, к примеру, во всех нюансах критериев Нуссельта или Прандтля кажется просто невозможным, а осваивать специализированные расчетные программы весьма трудоемко и не дешево.**

**На самом деле все не так страшно. Первые, вполне приемлемые для практики результаты можно получить безо всяких сложных формул, лишь освежив в памяти некоторые базовые понятия теплообмена и используя парочку опытных констант.**

### Это полезно знать

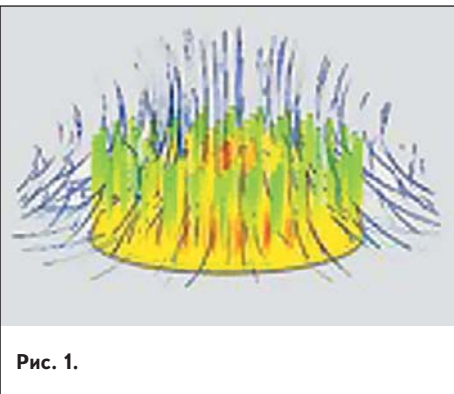


Рис. 1.

- Конечный получатель тепла от любой теплогенерирующей конструкции — окружающий воздух.
- Место передачи тепла воздуху (локализация энергообмена) — тонкий пристеночный пограничный слой у внешней поверхности охлаждаемой конструкции.
- Максимум энергообмена, на который способен воздух при естественном теплообмене, это всего лишь 3–7 Вт/м·К. Данная величина определяется молекулярными характеристиками воздуха ([www.teplostok.dax.ru](http://www.teplostok.dax.ru)).

Важное практическое следствие из третьего пункта — для радиатора совсем не обязательно выбирать материалы с самой высокой теплопроводностью. Для вывода на поверхность теплообмена всего тепла, которое максимально может быть поглощено воздухом, необходимо и достаточно, чтобы материал радиатора имел теплопроводность  $\lambda = 3\text{--}7$  Вт/м·К. Дальнейшее увеличение теплопроводности технически избыточно: дополнительно подводимое тепло остается невостребованным, поскольку оно просто

не может быть «усвоено» воздухом. К примеру, у алюминия ( $\lambda = 200$  Вт/м·К) реально используется лишь 5–10% его способности проводить тепло. Железо ( $\lambda = 80$  Вт/м·К), нержавеющая сталь ( $\lambda = 16$  Вт/м·К), теплоотводящие пластмассы ( $\lambda = 5\text{--}10$  Вт/м·К) охлаждают практически так же, как и алюминий. При этом все они имеют свои существенные конкурентные преимущества перед алюминием: изделия из них дешевле, легче (теплоотводящие пластмассы) и более технологичны.

Таким образом, получается, что основной резерв повышения эффективности работы радиатора находится в области его грамотного «теплового дизайна» — разработки конструкции с учетом ее взаимодействия с внешней воздушной средой.

Для лучшего понимания сущности процессов охлаждения давайте условно разобьем будущее устройство на три различные по своей функциональности зоны.

Зона генерации тепла — это теплогенерирующий элемент (микросхема, светодиод). При заданной мощности теплогенерации установившаяся температура в этой зоне  $T_{\text{ген}}$  и есть в конечном итоге критерий эффективности работы системы охлаждения. Эта температура не должна быть выше некоторой допустимой рабочей температуры вашего теплогенерирующего устройства.

Зона транспорта тепла — это конструкция-посредник, через нее тепло передается от расположенного со внутренней стороны теплогенерирующего элемента ко внешней поверхности, на которой непосредственно и происходит передача тепла воздуху (в простейшем случае это классический радиатор).

Зона рассеяния (поглощения) тепла — совокупность пристеночных, пограничных воздушных слоев у внешней поверхности конструкции. Эта важнейшая для охлаждения область устройства по существу и есть конечный

потребитель тепла. Именно здесь происходит необратимое поглощение тепла холодным окружающим воздухом. Характеристики этой зоны и определяют в конечном итоге эффективность охлаждения устройства в целом.

Нам требуется не просто большая поверхность теплообмена, в первую очередь изделие должно иметь эффективно работающую зону рассеяния. За счет дизайна конструкции следует стремиться организовать в этой зоне самоподдерживающуюся циркуляцию холодного воздуха на возможно большей ее поверхности. Конструкция должна иметь как можно меньше застойных воздушных зон, в которых практически отсутствует теплообмен (здесь работает лишь механизм теплопроводности воздуха, а он плохой проводник тепла). Образованию застойных зон способствует, в ряде случаев, неправильная пространственная ориентация радиатора (этот эффект подробно описан для широко распространенных пластинчатых П-образных радиаторов). Решение этой проблемы — переход к хорошо обтекаемым воздухом со всех сторон цилиндрическим (иглообразным) элементам охлаждения. Их использование обеспечивает увеличение эффективности охлаждения при тех же внешних габаритах почти в два раза.

### Проект «бублик»

Логику развития конструкторской мысли давайте разберем на примере разработки проекта простейшего бытового светильника, получившего в народе аббревиатуру ЖКХ. Мы же назовем его «бублик» (почему — станет понятно далее).

Наш светильник в идеале должен состоять из трех сборочных единиц: платы со светодиодами; «монтажного основания» — радиатора; прозрачного ударопрочного плафона (рис. 2).

#### Выбираем материалы

В качестве материала для плафона возьмем хорошо зарекомендовавший себя «вандалоустойчивый» прозрачный пластик — поликарбонат. Для монтажного основания радиатора выберем теплоотводящую пластмассу марки «ТЕПЛОСТОК», имеющую теплопроводность 6 Вт/м·К, вполне достаточную, чтобы обеспечить такое же охлаждение, как и у алюминиевых сплавов. При этом «ТЕПЛОСТОК» почти в два раза легче алюминия, а сложные высокоточные

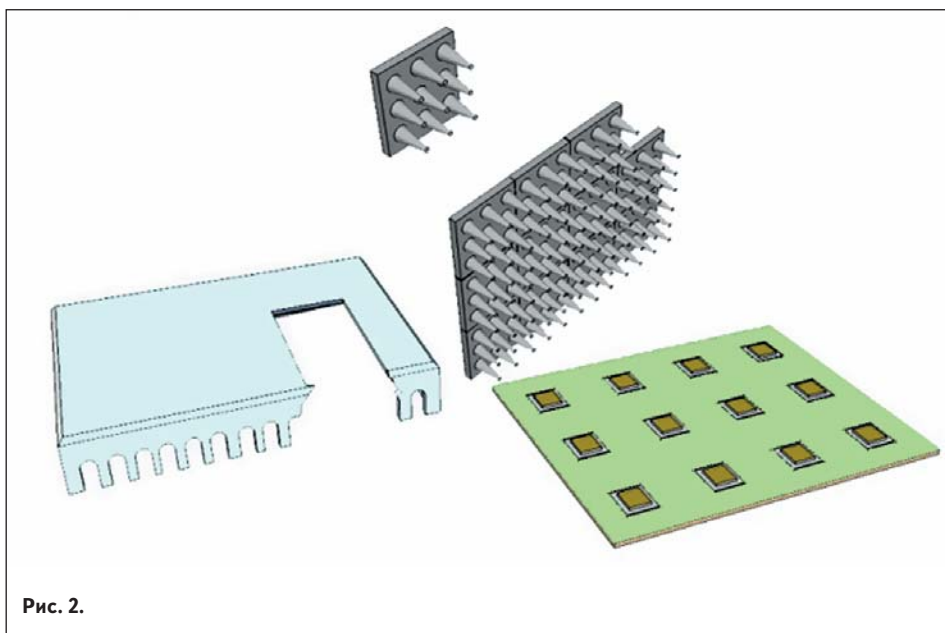


Рис. 2.

литые изделия из него обходятся в три-четыре раза дешевле аналогичных алюминиевых.

#### Компоновка схемы охлаждения

Желательно, чтобы наш светильник был универсальным — крепился не только на стенах, но и на потолке. Это налагает дополнительные требования при выборе типа охлаждающих элементов, их теплорассеивающая способность не должна существенно зависеть от пространственной ориентации. Лучшим выбором здесь являются игольчатые (цилиндрические) элементы (PIN-радиаторы), оптимизированные с точки зрения теплообмена при обтекании их воздухом в любом положении.

Для полноценной работы радиаторов в вертикальном положении обеспечим подсос холодного воздуха внутрь за счет создания достаточно крупных сквозных отверстий — дюзов. Дюзы расположим на нижней и верхней стороне плафона на уровне иголок радиатора. За счет этой разницы высот образуется перепад давления, постоянно проталкивающий холодный воздух снизу вверх между многочисленными теплообменными иголками. Такой поток обе-

спечивает эффективный сьем тепла от иголок радиатора (рис. 3).

А вот для работы светильника в горизонтальном положении естественную прокачку воздуха можно обеспечить за счет оригинального решения — организации сквозного прохода холодного воздуха через центральную часть плафона и монтажной платформы. При этом также холодный воздух будет постоянно поступать к иголкам радиатора. Эта конструкция напоминает сплюснутый бублик, отсюда и название. Выход теплого воздуха осуществляется через предусмотренные ранее в «вертикальном варианте» боковые дюзы плафона (рис. 4).

После принятия принципиальных решений по тепловому дизайну (мы выбираем «бублик») сделаем прикидку по основным размерам светильника, исходя из имеющихся в нашем распоряжении светодиодных реалий.

Для оценки площади монтажной панели радиатора можно использовать опытные константы, характеризующие способность выбранной нами конструкции обеспечивать допустимый изготовителем светодиодов тепловой режим их работы.

Наши игольчатые радиаторы высотой 20–25 мм из теплорассеивающей пластмассы «ТЕПЛОСТОК», по информации ее производителя, обеспечивают допустимый тепловой режим работы светодиодов ( $T_{\text{кристалла}}$  не более +85 °С) с выделяемой тепловой мощностью

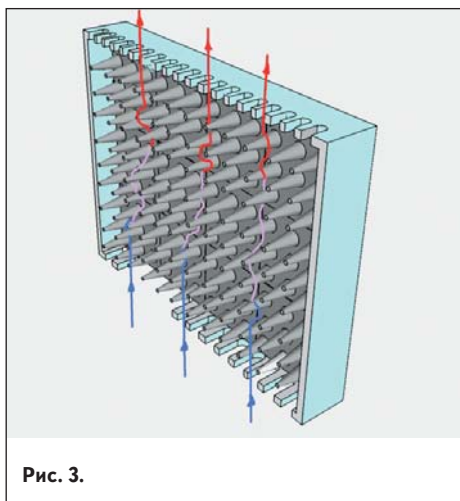


Рис. 3.

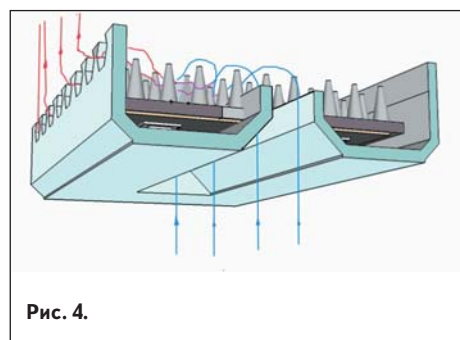


Рис. 4.

в 0,1–0,16 Вт (при перерасчете на 1 см<sup>2</sup> основания радиатора).

Таким образом, для нашего светильника с потребляемой электрической мощностью 20 Вт размеры монтажного основания могут колебаться от 10×10 до 15×15 см (в зависимости от конкретных марок светодиодов).

#### Макетирование

Макетирование системы охлаждения — важнейший этап, которым не следует пренебрегать. На этой стадии малыми усилиями можно экспериментально решить многие реальные проблемы теплообмена. Макет плафона можно легко склеить из любого листового прозрачного пластика.

Для макета монтажной платформы-радиатора в нашем случае воспользуемся готовыми игольчатыми модулями «Теплосток М50» и наберем из них, подобно конструктору LEGO, требуемую по величине охлаждающую плоскость (на ней закрепляется светодиодная сборка).

Тепловые (температурные) измерения проводим исходя из имеющихся возможностей: инфракрасная (тепловизионная) съемка — это идеальное решение (все как на ладони); малобюджетный, но вполне информативный подход — измерение температуры термометрами, расположенными максимально близко к кристаллу светодиода. При испытаниях желательно попытаться смоделировать наиболее «жесткие» температурные условия окружающей среды (например, +60 °С, подавленная конвекция). Для этого попробуем поместить конструкцию в достаточно просторный ящик из пенопласта (теплоизоляционный материал).

Если измеренные температуры окажутся выше допустимых, можно попробовать увеличить количество и высоту радиаторов, а также размеры входных и выходных охлаждающих отверстий в плафоне. Возможен вариант с переходом на другие марки светодиодных сборок. В том случае, если имеется некоторый запас по рабочим температурам, можно попробовать уменьшить высоту иголок радиаторов (это приведет к уменьшению размеров светильника и его себестоимости) либо перейти на более мощные светодиодные сборки.

#### Конкретизация конструкции

После того как окончательно определены основные размеры светильника, следует конкретизировать «под себя» все остальные элементы конструкции — крепление для драйверов, монтажные отверстия, ребра жесткости, герметизирующие пазы и плоскости, узлы механического крепления и т. д.

На этапе финишного конструирования учитывайте специфику выбранной технологии производства. В нашем случае это литье под давлением пластмассовых деталей на стандартных термопластавтоматах (здесь важна усадка материалов, введение дополнительных ребер жесткости, «напльвов» под крепеж, качество отделки поверхности и т. д.). Отнеситесь ответственно к выбору изготовителя пресс-формы. Идеальный вариант, если эта же фирма будет впоследствии отливать ваши изделия.

Как видите, все не так занудно...