

# Причины температурного перегрева электронных компонентов и пути инженерных решений

Антти Эс

Ошибки в конструкторских и инженерных расчётах могут стать причиной температурного перегрева РЭА, что приводит к ненадёжности и отказам устройств. Поэтому разработчики рекомендуют разрабатывать корпус устройства с запасом свободной площади и габаритов, чтобы увеличить тепловой поток и уменьшить тепловое сопротивление. В статье рассматриваются факторы влияния «внутренней» и внешней температуры на надёжность РЭА и способы уменьшения перегрева электронных компонентов.

Независимо от причины перегрева основным и главным следствием перегрева электронного компонента является его повреждение. Повреждение, отказы в работе электронных элементов, как правило, – потенциальное и прямое следствие температурного перегрева. Современные устройства с микропроцессорами склонны к перегреву в связи с тем, что физические размеры компонентов и корпусов стали меньше. Это касается как дискретных элементов, так и интегрированных схем, и в особенности, если компонент по своим расчётным характеристикам не выдерживает чрезмерного нагрева корпуса. Перегрев может быть результатом прямых и косвенных, а также внутренних и внешних воздействий на электронные компоненты. Это обусловлено различными факторами. Тенденция к уменьшению размеров корпусов, связанная с прогрессом в строении кристаллов, обозначившимся ещё в XX веке, – одна из таких причин, но не единственная.

## Влияние конструктивных характеристик электронных компонентов на их надёжность

Существует взаимосвязь между электрическими и конструктивными характеристиками, включая расчётный срок службы электронного компонента с диапазоном рабочих температур, поскольку большинство электронных компонентов при воздействии электрического тока выделяют тепло. В экспериментах [2] наблюдались эффекты перегрева одноэлектронного транзистора SET после воздействия условно

большим, приближённым к критическому, током в электрической цепи коммутации; корпус SET нагревался, но непропорционально, и был сделан вывод о том, что температура центрального электрода SET остаётся конечной, поскольку детерминированный ток электрон преодолевает барьер из-за накопленной потенциальной энергии. Это туннельный эффект. Так температурный нагрев вызывает циклическое взаимодействие между электронами.

Чем больше электронов движется в участке полупроводника, к примеру, тонкой кремниевой пластине с тысячами кристаллов, тем больше электронов рассеивает фононы – квазичастицы, квант энергии согласованного колебательного движения атомов твёрдого тела, образующих идеальную кристаллическую решётку. Такое рассеивание препятствует уносу тепла фононами. Отсюда – выделение тепла. В насыщенном компоненте электронном устройстве увеличивается восприимчивость к перегреву ввиду снижения вытяжки теплового потока.

Нагрев отдельного электронного компонента происходит под воздействием следующих факторов:

- тепловое сопротивление между полупроводниковым кристаллом и корпусом прибора;
- тепловое сопротивление между корпусом прибора и охладителем;
- тепловое сопротивление между охладителем и окружающей средой.

Так, возникновение и движение теплового потока через полупроводниковый кристалл в окружающую среду вызывает изменение температуры корпуса элемента; на поверхности корпуса

элемента и на кристалле будет разница температур. На микроуровне нагрев вызывает деградацию, а также деформацию материала. Микротрещины как результат расширения материала способствуют изменению физических свойств материала из-за воздействия тепла. Это обстоятельство важно и для проводящих ток материалов, таких как соединительные дорожки на печатной плате. На макроуровне влияние перегрева отражается отказом РЭА ввиду деградации составляющих их компонентов, цикла причинно-следственных связей и сопутствующих эффектов. Воздействие перегрева на электронные компоненты как на микроуровне, так и на макроуровне увеличивает риск неисправности РЭА. Но каковы методы предотвращения перегрева или уменьшения негативных последствий чрезмерного нагрева?

Некорректно рассчитанное значение рассеяния мощности электронного компонента может провоцировать нагрев даже у конденсаторов, а на микроуровне эффект проявляется в местах, где имеет значение изменение ёмкости участков передачи тока (энергии). Так, условно чрезмерное рассеивание мощности приводит к повышению температуры на участке вокруг элемента, что приводит к превышению ёмкости переходов полупроводников, изменяется коэффициент передачи тока и быстродействие. Другая причина – ток утечки. Относительно высокий ток утечки способствует повышению температуры конденсатора, как и старение (со временем) материалов, из которых изготовлен элемент РЭА; оксидный слой изменяется со временем в том числе под воздействием температуры. Воздействие критичного уровня тока и напряжения на обкладках конденсатора приводит к нагреву элемента. Отчасти поэтому опытный мастер в некоторых простых ситуациях может выявить неисправный элемент (блок) или электрическую цепь, в которой он взаимодействует, тактильным и визуальным осмотром. Обычно сильно нагревающийся дискретный элемент функционирует вне рабочего режима.

Эти особенности «умножаются» на количество компонентов в устройстве и являются нежелательными факторами риска для надёжности электронного оборудования. Установить же индивидуальный охладитель к каждому компоненту в условиях навесного монтажа затруднительно. Существуют обоснованные решения охлаждения модулей – с применением микровентиляторов (снабжённых устройством контроля температуры) для отвода тепла. Это современное направление совершенствования инженерной мысли в области термомоделирования.

### Влияние факторов среды

Факторы окружающей среды также приводят к перегреву оборудования. Относительно высокая температура вокруг РЭА может способствовать внутреннему перегреву элементов устройства, особенно при длительном воздействии; так могут меняться свойства электронных элементов, особенно их электрические характеристики и проводимость. К примеру, «неправильное» длительное хранение «интеллектуального» зарядного устройства (авторский опыт) без подключения питания в «сухом» помещении с недостаточной влажностью воздуха рядом с батареей централизованного отопления привело к нарушению свойств конденсаторов сетевого фильтра, оксидных конденсаторов в блоке преобразователя напряжения и, как следствие, последующему ремонту. Надлежащее хранение РЭА в условиях консервации – ещё один важный фактор обеспечения их надёжности в длительной эксплуатации. Но и условно высокое содержание влаги в окружающем воздухе приводит к перегреву эксплуатируемой РЭА; невидимые глазу человека микроиспарения под воздействием нагрева корпусов электронных компонентов, особенно в условиях повышенного пылеобразования, неблагоприятно влияют на загрязнение проводников, контактных площадок, что может привести к разрушению элементов конструкции. Отсюда ещё более актуализируется вопрос разработки корпуса для конкретного устройства с учётом условий будущей эксплуатации. К примеру, в условиях повышенного пылеобразования окружающей среды, и особенно в труднодоступных для регламентных работ местах установки РЭА, уместным будет то решение по теплоотведению, которое связано не

с перфорацией корпуса РЭА, а с принудительным внутренним охлаждением компонентов и, возможно, с применением модулей жидкостного охлаждения или (как вариант) на элементах Пельтье – для соблюдения баланса температурного режима внутри корпуса. В этом случае вариантом технического решения служат вентиляторы и решетки с фильтрами для обеспечения снижения температуры и компенсации выделяемого от оборудования тепла.

### Влияние температуры на материалы

Восприимчивость электронного устройства (модуля) к отказу экспоненциально возрастает с температурой. Кроме того, разработчику РЭА важно учитывать специфические эффекты перегрева проводящих ток материалов на основе меди; это наиболее популярный материал в сегменте конструкций с электронными компонентами без особых требований к надёжности. Поскольку есть пути дорогостоящих решений, оправданных при требованиях повышенной надёжности РЭА, сей вопрос остается вариативным, дискуссионным, в зависимости от задачи разработчика. Понятно, что для военпрома (контроля качества военной приёмки) и космической техники требования будут отличаться от предъявляемых, к примеру, к бытовой технике даже высокого уровня интеграции электронных компонент.

Тем не менее имеет значение удельное сопротивление проводников, материал проводников, в частности, выбор материала для дорожек на миниатюрных печатных платах.

Зависимость сопротивления от длины ( $L$ ) и площади ( $S$ ) поперечного сечения проводника, а также материала проводника впервые определил Георг Ом. В международной системе единиц удельное сопротивление  $\rho$  выражается формулой:  $\rho = RS/L$ . По этой же формуле определяется связь между электрическим сопротивлением проводника  $R$  и его удельным сопротивлением  $\rho$ . Величина электропроводности определяется способностью тела (среды) проводить электрический ток. В единицах измерения сименс ( $Sм$ ) она обратна электрическому сопротивлению:  $g = 1/R$ . Под воздействием электромагнитного поля и свойственных ему явлений, возникающих при прохождении переменного тока в проводниках, значение также имеет частота переменного тока и ЭМ-колебаний.

В обычных условиях с учётом электрического сопротивления 1 м провода (в Ом), сечением 1 мм<sup>2</sup>, при температуре +20°C серебро имеет удельное сопротивление 0,015, медь 0,0175, золото 0,023. Так, удельное сопротивление слитка чистого золота вдвое ниже, чем у позолоченного слитка вольфрама. Разумеется, применение посеребрённых проводников удорожает себестоимость конструкции, но и повышает надёжность устройства: чем меньше удельное сопротивление, тем меньше нагрев участка. При ничтожно малых значениях тока в микропроцессорной технике сие не так критично, как в силовых модулях управления мощной нагрузкой.

Перегрев создаёт поверхность усталостного разрушения медных проводов. Это означает, что чрезмерное нагревание может вызвать непосредственно заметное физическое воздействие на конкретный материал. В случае проводящих материалов, таких как медь, есть фактор «усталостного разрушения», отрицательно влияющий на физические свойства и целостность проводящего материала. На условно перегретом участке образуются микротрещины, что приводит к увеличению сопротивления, а на участках с большим током – к дополнительному нагреву, искрообразованию, ведущему к недопустимому возгоранию. Кроме того, сплавы для пайки компонентов или микроэлементов внутри него подвержены изменению характеристик при относительно высокой температуре.

Ещё один фактор, который важно принять во внимание, – коэффициент теплового расширения материала, ведущий при неблагоприятных обстоятельствах к структурной деформации корпуса электронного компонента из керамики, сплавов лёгких металлов, композитной пластмассы и др. Условно большое тепловое расширение приведёт к деформации конструкции корпуса. Структурная деформация дополнительно приводит к термическому напряжению, влияющему на целостность и надёжность компонента. Проблема усугубляется там и тогда, когда техническое задание и ТУ, рекомендованные разработчиком РЭА, не конкретизируют материалы корпусов электронных компонент конкретной разработки, ибо разные корпуса по-разному меняют конструктивные характеристики от теплового расширения и структурной деформации из-за воздействия высоких уровней тепла. Одно из современных решений – луч-

шение термомоделирования при разработке конструкции корпуса РЭА. В данном случае при разработке электронной конструкции уместно опираться на единый тип «корпусного» исполнения.

### Особенности решений по теплоотведению и термостабилизации

Электронное устройство типично состоит из корпуса и внутренних компонентов, выделяющих тепло в рабочем режиме эксплуатации. Тут скрыт конфликт: разработчики стремятся уменьшить корпус (так дешевле и соответствует тенденции в микроэлектронике, что определяется также рыночной конкурентоспособностью устройства), а компактный корпус в принципе затрудняет отвод тепла. Простой способ отвода тепла – метод воздушного охлаждения за счёт теплопроводов и особенно вентиляторов. Однако при условно малой стоимости метод не лишён недостатков, таких как высокое тепловое сопротивление, низкая температура окружающей среды, возможное увеличение уровня шума – при использовании принудительной вентиляции. Кроме того, не всегда возможно задействовать принудительное или естественное конвекционное охлаждение, а именно: для конструкций с высокой степенью защиты от пыли и влаги, для необслуживаемых, неразборных корпусов или тех, что устанавливаются в труднодоступных местах.

Поэтому для охлаждения компонентов РЭА создают конструкции, когда алюминиевый корпус устройства является теплопроводящим фактором. Дополнительная перфорация, в том числе в донной части корпуса, улучшает эффект теплоотведения. Иллюстрация варианта корпуса представлена на рис. 1.

Чтобы увеличить естественную конвекцию воздуха, добавлены отверстия на боковых и верхних гранях корпуса. Причём распределение воздушных потоков при горизонтальном и вертикальном положении корпуса оказалось разным.

Как вариант, в устройствах с естественной конвекцией при охлаждении

уместно рассматривать конструкции с двойным корпусом. Конструкция корпуса состоит из двух частей: внутренняя часть с объёмной перфорацией по всему контуру для свободного потока охлаждающего воздуха; наружный корпус – декоративный, с перфорацией только на задней стенке. Один из возможных вариантов проиллюстрирован на рис. 2.

Зазор между внутренним и внешним декоративным корпусом обеспечивает беспрепятственную конвекцию. Охлаждение за счёт теплопроводности основано на фиксированном контакте всей поверхности – металл с металлом. Так, тепло от нагреваемых компонентов за счёт теплопроводности передаётся на внешние поверхности теплоотводящих кожухов [8]. Чтобы справиться с проблемой отвода тепла и дополнительно защитить печатную плату от помех, уместно использовать на одной из плат составной экран, выполняющий сразу два назначения – отвод тепловых потоков и защита от электромагнитных помех. Такой экран соединяется с «общим» проводом оборудования или заземляющим контуром.

Дополнительным фактором теплоотведения в конструкции корпуса РЭА из алюминиевого сплава является его рельефность. Простым способом рельефность обеспечивают с помощью фрезерования участков корпуса. К примеру, можно создать выемки на корпусе под соответствующие места, где на плате смонтированы наиболее теплоизлучающие элементы. Также хорошему теплоотведению способствуют паранитовые прокладки (специальные, с высоким коэффициентом теплопроводности) и термопаста. Очень важно обеспечить надёжный, по всей поверхности, контакт между корпусом, экраном и нагревающимися электронными компонентами.

Вернёмся к типичному, классическому варианту корпуса для РЭА, представленному на рис. 1. Дополнительно повысить эффективность и ускорить процесс охлаждения можно за счёт охлаждения с помощью тепло-

вых трубок. К примеру, такова популярная конструкция из алюминиевого радиатора и основания с медными трубками, напоминающими иглолки ежа. Такая технология хорошо отводит тепло за счёт относительно большого объёма поверхности теплоотводящих трубок и расстояния между ними, заполняемого воздушными потоками. Кроме того, конструкция занимает небольшой объём, не создаёт шума и не требует обслуживания.

В каждом конкретном случае моделирования на пути к серийному производству оборудования разработчик рассматривает разные типы теплоотведения: естественную конвекцию, принудительное охлаждение с помощью вентиляторов и модульные системы жидкостного охлаждения. Главная же задача – обеспечить надёжность работы модуля и устройства в постоянном режиме в течение нескольких лет, в соответствии с расчётными значениями наработки до отказа.

### Особенности определений наработки до отказа РЭА

В 2017 году в России вышел обновлённый ГОСТ 27.002-2015, где термин «средняя наработка на отказ» переименован в «среднюю наработку между отказами» для большей идентичности с переводом оригинального термина «Mean time between failures» (MTBF). В 2022 году введён в действие ГОСТ 27.102, отменивший действие ГОСТ 27.002-2015, и теперь использование обоих терминов: «средняя наработка между отказами» как универсальный показатель для всех видов распределения и «средняя наработка на отказ» для случая экспоненциального распределения уместно. Среднее время наработки на отказ РЭА – прогнозируемое время между отказами электронных (или даже механических) элементов системы приводящих систему в нерабочее состояние. Термин используется для пригодных к ремонту систем, в то время как среднее время до отказа (MTTF) обозначает ожидаемое вре-

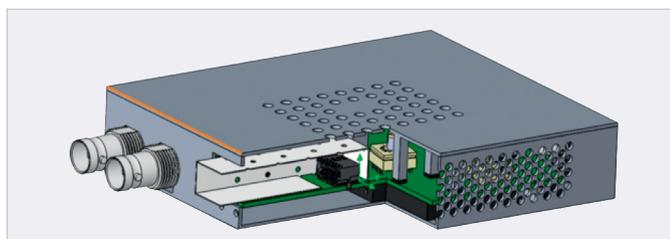


Рис. 1. Корпус из алюминиевого сплава с перфорацией

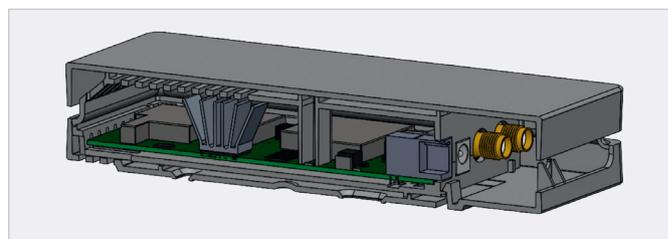


Рис. 2. Конструкция с двойным корпусом

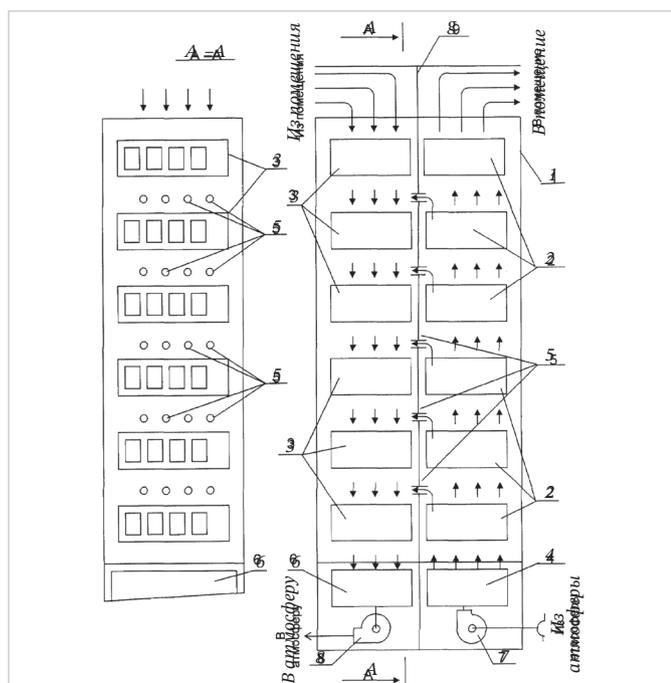


Рис. 3. Схематическое изображение шкафа с нумерованными ссылками на его наполнение

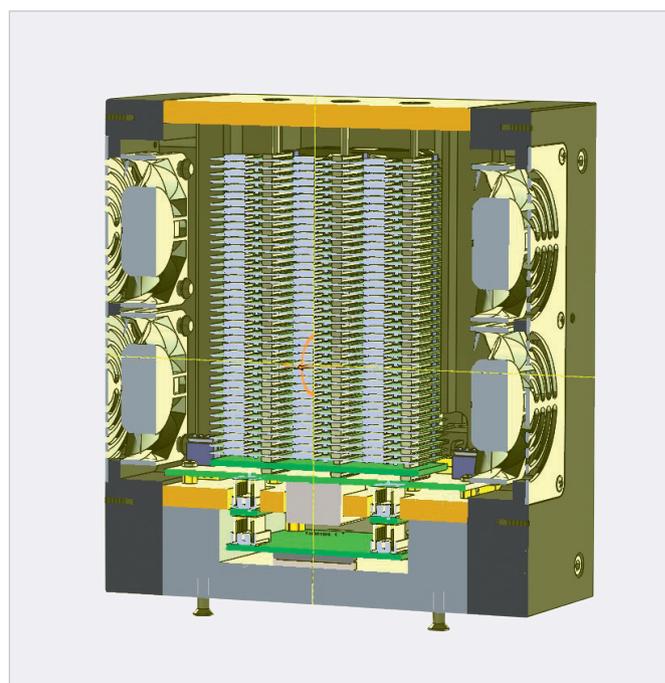


Рис. 4. Вид современного шкафа для обеспечения нормального температурного режима РЭА

мя до отказа для системы, не подлежащей ремонту. Определение наработки на отказ зависит от определения того, что считать отказом. Отказами оборудования, в том числе по причине температурного перегрева, считаются случаи возникновения неисправности, не соответствующие проектным условиям, которые выводят систему из эксплуатации для последующего возможного ремонта. При этом возникающие кратковременные неисправности РЭА, в частности, некорректная или временно нестабильная работа оборудования из-за изменения температурного режима – перегрева, поскольку являются обратимыми при возвращении условий рабочего режима (в том числе температурного) и не выводят РЭА из строя, не считаются сбоями в соответствии с этим определением. Также устройства, выходящие из эксплуатации для проведения планового технического обслуживания или инвентаризации, не рассматриваются в рамках определения отказа. Практический пример [3]: три идентичные системы запускаются одновременно и нормально функционируют до тех пор, пока все три не выйдут из строя. Первая система неисправна через 100 часов, вторая – через 120 часов, а третья – через 130 часов. Нарботка на отказ – среднее значение и составляет 116 667 часов, т.е. если бы такая РЭА не подлежала ремонту, наработка на отказ составляла бы 116 667 часов.

Но это не эфемерная, а, в принципе, полезная норма для прогнозируемых расчётов разработчиков РЭА. Ибо, когда наработка на отказ известна, можно оценить вероятность того, сколько конкретный модуль в составе системы будет работать за время, равное наработке на отказ. Интересно сия проблематика рассматривается в [4] и [5]: в предположении постоянной частоты отказов любая РЭА выдержит расчётную наработку на отказ с вероятностью 36,8% (то есть выйдет из строя раньше с вероятностью 63,2%).

Значение MTBF как условный средний срок службы может использоваться в качестве параметра надёжности РЭА или для сравнения различных систем или конструкций. Но это не количественное тождество между работающими и вышедшими из строя блоками или системами РЭА. Резюме: чем выше прогнозируемая наработка на отказ, тем дольше система проработает до ремонта.

### Тенденция к минимизации габаритов РЭА

Предпосылки к такому подходу известны: потребительский спрос на устройства меньшего размера становится выше. Поэтому разработчики РЭА стремятся конструировать корпус с учётом теплопроводящих материалов, перфорации стенок и обеспечения принудительного охлаждения, добавляя обязательный модуль авто-

матического температурного баланса для теплоотведения потоков вне корпуса. Заметна и оправдана тенденция к усилению и конкретизации требований производителя – устанавливать электронные устройства с высокой интеграцией компонентов, к которым предъявляются требования повышенной надёжности в режиме бесперебойной (круглосуточной) работы в особых условиях; речь идёт о специальных открытых и закрытых шкафах с принудительной вентиляцией.

В этом смысле как повод для совершенствования инженерной мысли можно рассматривать запатентованную [6] конструкцию шкафа для РЭА.

На рис. 3 представлено схематическое изображение шкафа с нумерованными ссылками на его наполнение.

Нумерованные ссылки имеют следующее значение. Шкаф содержит корпус 1, разделённый на стойки, в которых размещается аппаратура 2 малой мощности и аппаратура 3 большой мощности. Приточный вентилятор 7 через испаритель 4 холодильной машины соединён с входом стойки с аппаратурой 2, а выход стойки с аппаратурой 3 через конденсатор 6 холодильной машины соединён с вытяжным вентилятором 8. Стойки с аппаратурой 2 и аппаратурой 3 сообщаются между собой посредством отверстий 5 в перегородке 9.

На рис. 4 представлен вид современного шкафа для обеспечения нормального температурного режима РЭА.

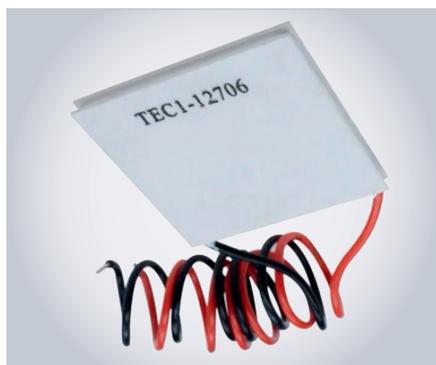


Рис. 5. Внешний вид элемента Пельтье TEC1-12706

Более 100 печатных плат расположены «кассетным» форматом. В основе качественного термического моделирования правильный выбор компоновки корпуса для различных модификаций РЭА. В задней части шкафа перенаправлен поток воздуха через область плат.

Технический результат заключается в повышении эффективности термостабилизации РЭА. В нижней части закрытого корпуса шкафа расположены выполненные в виде единого выдвижного блока теплообменник и сквозные каналы с вентиляторами. Выдвижной блок снабжён расположенным над ним радиатором, выполненным из высокотеплопроводного металла как одно целое со сквозными каналами для вентиляторов. Между выдвижным блоком и нижним основанием корпуса имеется полость, через которую сквозные каналы сообщаются с вентиляторами и расположенными вдоль стенок корпуса теплоотводящими каналами для охлаждающей среды.

Если рассматривать такое современное техническое решение, предложенное в [7], то стенки сквозных каналов охлаждаются «холодными» спаями присоединённых к ним термоэлектрических модулей и отбирают тепло у проходящего через каналы воздуха. Тепло от «горячих» спаев термомодулей отводится с помощью хладагента, протекающего через примыкающий к ним змеевик, снабжённый впускным и выпускным патрубками.

### Инженерные решения – способы уменьшения перегрева электронных компонентов

Как в шкафах с высокой концентрацией РЭА, так и в частном случае нередко встаёт дилемма в пути решения конструкторской задачи: улучшить



Рис. 6. Внешний вид жидкостной системы охлаждения ID-COOLING (Auraflow X 240 Evo)

ние теплообмена при допустимом увеличении размеров оборудования (что непопулярно из-за рассмотренных выше тенденций минимизации габаритов оборудования в угоду его конкурентной способности) или же применение специальных решений для охлаждения. Во втором случае уместно (по аналогии) обратить внимание на системы охлаждения, применяемые в кулерах-диспенсерах (охладителях воды), кулерах-электровентиляторах, вентиляторах для микропроцессорного оборудования, в том числе компьютерной технике. На рис. 5 представлен вариант локального охладителя размерами 40×40 мм – термоэлектрический преобразователь элемент Пельтье TEC1-12706.

Разновидностей локальных термопреобразователей много, они удобны для монтажа, с помощью термопасты закрепляются к охлаждаемой поверхности, легко управляемы от источника постоянного тока напряжением 9–15 В, компактны, служат долго, а потому популярны. Модули Пельтье выпускаются разных размеров, соответственно производительности, для низковольтного питания наиболее популярны типа 12705–12715. Опасность неисправности – только их механическое повреждение.

Элементы Пельтье обозначаются ТЕС (от англ. Thermoelectric Cooler – термоэлектрический охладитель). Принцип действия термоэлектрического преобразователя базируется на эффекте Пельтье – возникновении разности температур при воздействии электрического тока. Термоэлектрический генераторный модуль Пельтье маркируется как GM или TGM. При-

чём источник тепловой энергии для нагрева преобразователя может быть разным, к примеру, газовая или бензиновая горелка, твердотопливная печь и др. В рассматриваемой нами проблематике разработчики совершенствуют идею «взаимного» охлаждения элементов РЭА, то есть модуль Пельтье можно ориентировать (и закрепить) тепловой стороной к источнику тепла (нагрева) одного из элементов в корпусе РЭА и зафиксировать стороной «охлаждения» к другому элементу, нуждающемуся в коррекции температур в рабочем режиме. Как вариант, к стороне охлаждения модуля добавляются миниатюрный электрический вентилятор для создания принудительной конвекции воздуха.

Ещё один вариант принудительного охлаждения электронных компонентов и модулей – жидкостный. На рис. 6 представлена жидкостная система охлаждения производителя ID-COOLING модели Auraflow X 240 Evo.

На примере охлаждения для внутренних компонент РЭА и корпусов представлена необслуживаемая система жидкостного охлаждения с двумя вентиляторами с диаметром 120 мм и высотой 25 мм. Размер радиатора 276×120×27 мм, размер жидкостного блока 82×72×48 мм. Скорость вращения вентиляторов 700–1800 об/мин при уровне шума соответственно 18–35 дБ обеспечивает воздействие на охлаждаемый компонент воздушного потока в 74,5 CFM. Совместимый сокет AM4; LGA 1150; LGA 1151; LGA 1155; LGA 1200; LGA 1700; LGA 2011; LGA 2066; s1156.

На рис. 7 представлен жидкостный блок, а на рис. 8 – радиатор охлаждения к системе Auraflow X 240 Evo.

Конфигурация «кулер + радиатор» известна пользователям стационарных компьютеров. Термопаста и термопрокладки между чипами и радиатором используются для эффективного теплоотведения. По тому же принципу с нагнетанием воздуха, но без водяного охлаждения и, соответственно, с радиатором другой формы, функционируют кулеры для охлаждения сокетов микропроцессорной техники. Но особенно важно обеспечить надлежащий уровень температурного режима с помощью принудительного охлаждения в электрических шкафах управления, где размещается дорогостоящее оборудование в ограниченном пространстве. Апро-

бироваемым инженерным решением для охлаждения электронных компонентов в шкафах управления и автоматики являются также вентиляторы с фильтрами. Термомоделирование наиболее удачно в проектах с комбинированным охлаждением, где учитывается и теплопроводность, и принудительная конвекция. Для системного размещения РЭА в одном месте – это наиболее перспективный способ совершенствования инженерной мысли в области стабилизации температурного режима как фактора увеличения надёжности РЭА.

## Литература:

1. Воздействие тепла на электронные компоненты. URL: <https://oshav.ru/blog/vozdeystvie-tepla-na-elektronnyye-komponenty/>.
2. Теплоотвод в силовых электронных приборах. URL: <https://studfile.net/preview/6270824/page:27/>.
3. Среднее время между отказами. URL: [https://translated.turbopages.org/proxy\\_u/en-en.ru.5a472766-63b56361-57ba5c32-](https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-en.ru.5a472766-63b56361-57ba5c32-)



Рис. 7. Жидкостный блок

74722d776562/https://en.wikipedia.org/wiki/MTTF#Calculation.

4. Lienig J., Bruemmer H. Анализ надёжности. Основы проектирования электронных систем. Springer International Publishing. С. 45–73.
5. Обзор надёжности и наработки на отказ. Vicor Reliability Engineering. URL: [https://translated.turbopages.org/proxy\\_u/en-en.ru.5a472766-63b56361-57ba5c32-](https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-en.ru.5a472766-63b56361-57ba5c32-)



Рис. 8. Радиатор охлаждения к системе Auraflow X 240 Evo

74722d776562/https://www.vicorpower.com/documents/quality/Rel\_MTBF.pdf.

6. Москаленко С.В., Фиделин А.Г., Мальшев В.А. Шкаф РЭА. Патент RU2267240C1\_20051227. URL: [https://yandex.ru/patents/doc/RU2267240C1\\_20051227](https://yandex.ru/patents/doc/RU2267240C1_20051227).
7. Исмаилов Т.А., Цеханская Т.Э., Салманов Н.Р. и др. Шкаф для охлаждения РЭА. Патент RU2203523C2. URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/93/e0/8e/7167dbf617cbb4/RU2203523C2.pdf>.
8. Охлаждение электроники: термомоделирование при разработке конструкции корпуса. URL: <https://habr.com/ru/post/573350/>. ©

## НОВОСТИ МИРА

### Российские операторы заказали отечественные базовые станции на 100 млрд рублей

Заместитель главы Минцифры РФ Дмитрий Ким заявил, что российские операторы заключили контракты с отечественными производителями базовых станций для мобильных сетей связи более чем на 100 млрд руб. Он сообщил, что по этим контрактам до 2030 года будет поставлено около 75 тыс. базовых станций.



Операторы подписали форвардные контракты более чем на 100 миллиардов рублей. Общий объём до 2030 года – порядка 75 тысяч базовых станций. Уже с 2028 года они должны будут закупать исключительно отечественные базовые станции. Переход на российское оборудование будет поэтапным. Это позволит убедиться в полном соответствии требованиям к оборудованию и распределит финансовую нагрузку, сообщил Дмитрий Ким.

Также он добавил, что контракты подписаны с двумя поставщиками оборудования. Ранее Минцифры заверило, что уход телекоммуникационных компаний Nokia (Финляндия) и Ericsson (Швеция) с российского рынка не повлияет на качество мобильной связи.

В конце декабря 2022 года стало известно, что операторы «большой четвёрки» (МТС, «Билайн», «МегаФон», Tele2) заключили форвардные контракты на поставку отечественных базовых станций на свои сети. Поставки начнутся с 2025 года.

[industry-hunter.com](https://www.industry-hunter.com)

### Китайцы представили систему на кристалле собственной разработки с собственным же GPU

Однокристальная система LS2K2000 получила два процессорных ядра LA364, способных работать на тактовой частоте до 1,5 ГГц.

Китай активно наращивает импортозамещение в деле электроники, в том числе в самых наукоёмких её областях. Например, местная компания Loongson только что представила однокристальную систему собственной разработки LS2K2000, особенно интересную тем, что она также получила и оригинальный китайский графический процессор.



Конечно, на данный момент китайской новинке далеко до аналогичных решений от американских гигантов, но начало уже неплохое! Однокристальная система LS2K2000 получила два процессорных ядра LA364, способных работать на тактовой частоте до 1,5 ГГц, и 2 МБ общей кэш-памяти второго уровня. Зато новинка получилась крайне экономичной – в производительном режиме система на кристалле потребляет 9 Вт, а в сбалансированном энергозатраты и вовсе падают до скромнейших 4 Вт.

Однокристальная система поддерживает DDR4-2400 ECC, PCIe 3.0, SATA III, USB 3.0, HDMI+DVO, GNET и GMAC, SDIO и eMMC. Тем временем TECNO также представила свой концепт инновационного складного смартфона.

[ichip.ru](https://www.ichip.ru)