

# Ключевые факторы надежности модулей Пельтье на примере продукции компании CUI Devices

В. Никитин<sup>1</sup>

УДК 621.565.83 | ВАК 05.27.01

Модули Пельтье, или термоэлектрические охладители, становятся все более популярными благодаря надежной твердотельной структуре и возможности точного контроля температуры. В основе их работы – передача тепла от одной стороны модуля к другой при пропускании электрического тока через структуру модуля и создание таким образом разности температур. Как и для любого компонента, используемого в системе, разработчику важно учитывать факторы, влияющие на надежность модулей Пельтье, чтобы правильно применять их в конкретном приложении. В статье представлены базовые сведения о конструкции и принципах работы модулей Пельтье, а также широко распространенные причины отказа этих элементов, которые следует принимать во внимание при построении надежной системы.

**Т**ермоэлектрические охладители, как твердотельные устройства без движущихся частей, могут работать в широком диапазоне температур. Модули Пельтье состоят из полупроводниковых кристаллов, помещенных между двумя электроизолирующими, теплопроводными керамическими пластинами. Полупроводниковые кристаллы легированы таким образом, чтобы обеспечить проводимость положительных или отрицательных зарядов. На внутренние поверхности каждой керамической пластины нанесен рисунок металлизации, к которой припаяны полупроводниковые кристаллы таким образом, чтобы кристаллы с разным типом проводимости были соединены последовательно. Такая структура определяет принципы работы элементов Пельтье, в которых тепло поглощается керамикой с холодной стороны модуля и отводится керамикой с горячей стороны модуля (рис. 1).

Наиболее распространенный механизм отказа в модулях Пельтье – механическое разрушение полупроводниковых кристаллов или разрушение токоподводящих проводников и соединений. Вначале на кристаллах или точках соединения образуются трещины, которые впоследствии могут привести к полному их разрушению. Тем не менее, образование трещин можно выявить заранее, до того, как произошло полное разрушение кристалла или точек пайки, если обратить внимание на повышение последовательного сопротивления модуля Пельтье, которое снижает его общую эффективность.

Модули Пельтье обычно применяют таким образом, что холодная сторона модуля помещается на охлаждаемом объекте, а горячая сторона – на радиаторе для улучшения рассеивания тепла. Однако, если радиатор и охлаждаемый объект прикрепляются к керамическим пластинам без каких-либо вспомогательных механических элементов, в термоэлектрическом охладителе могут возникнуть значительные напряжения из-за сил сдвига или растяжения (рис. 2). Поскольку модули Пельтье не рассчитаны на такие нагрузки, эти механические напряжения могут разрушить элементы модуля или привести к другим видам отказов.

Для борьбы с негативным эффектом механических напряжений сдвига и растяжения модули Пельтье обычно

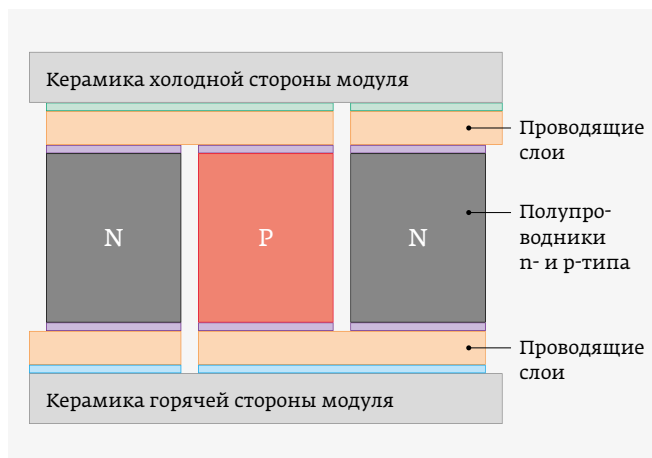
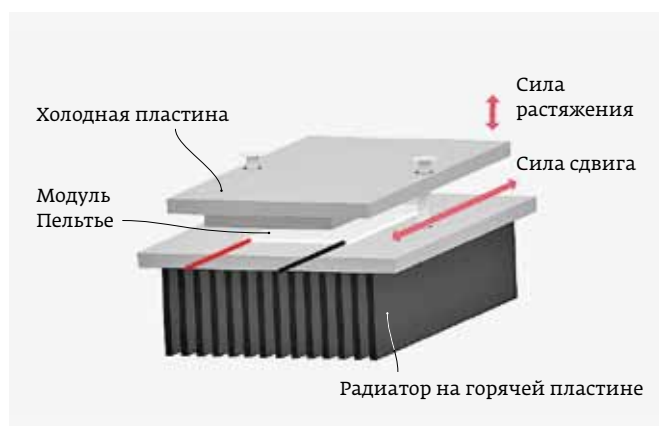


Рис. 1. Структура модуля Пельтье

<sup>1</sup> Холдинг «Золотой шар», менеджер отдела развития, тел.: +7 495 234-01-10, nikitin@zolshar.ru.

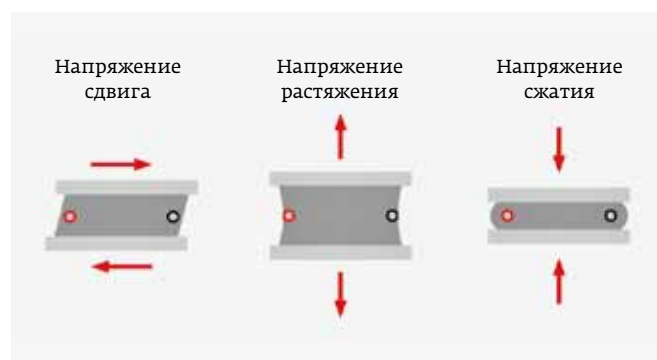


**Рис. 2.** Силы сдвига и растяжения в типичном элементе Пельтье

устанавливают между объектом и радиатором с помощью зажимов, поскольку эти устройства способны обеспечить требуемые усилия. Кроме того, крепление с помощью зажимов позволяет демпфировать воздействие сил сдвига или растяжения от объекта и радиатора (рис. 3).

Хотя применение зажимов помогает снять механические напряжения в модуле, они могут стать причиной других проблем, если не следовать определенным правилам эксплуатации. При креплении радиаторов и объектов к модулю Пельтье необходимо прикладывать равномерное прижимное усилие, чтобы минимизировать крутящее усилие на модуле и снизить вероятность его повреждения. Неравномерная сила прижима может создать момент вращения, а также дополнительное сжимающее усилие, что приводит к механическому повреждению модуля (рис. 4).

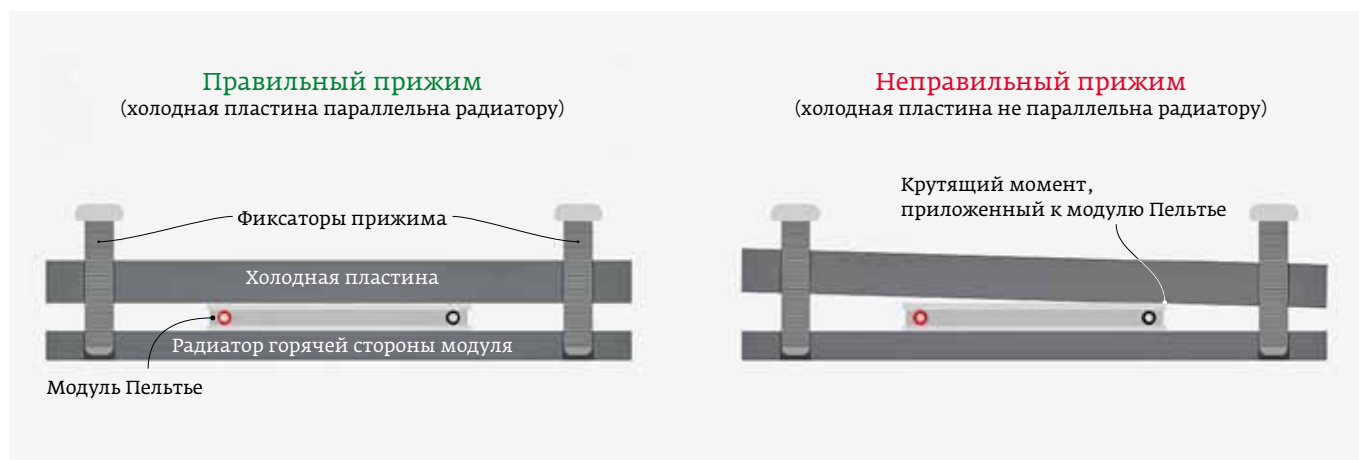
Керамические пластины и полупроводниковые кристаллы термоэлектрических охладителей имеют соответствующие коэффициенты теплового расширения (КТР).



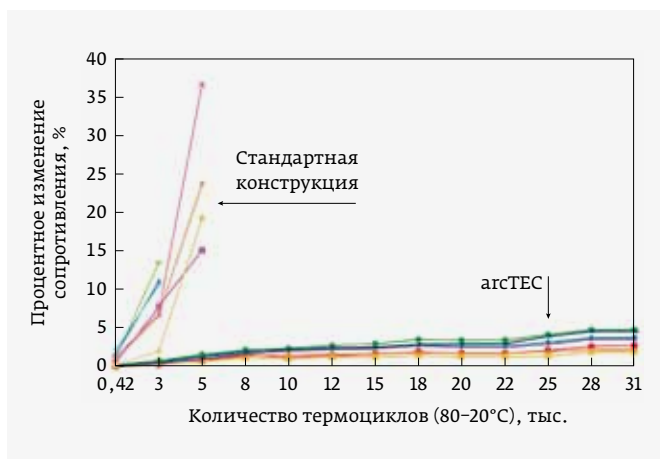
**Рис. 3.** Типовые напряжения на модуле Пельтье

Поскольку модули Пельтье подвергаются термоциклам в процессе нагрева и охлаждения, несоответствие КТР керамики и полупроводника может привести к механическим напряжениям, которые вызывают появление трещин в кристаллах и местах соединения. Помимо изменений абсолютной температуры модуля Пельтье, к механическим напряжениям из-за разности КТР могут привести температурные градиенты и быстрый рост температуры модуля. Эксплуатация модуля при экстремальных температурах, больших градиентах и высоких скоростях изменения температуры увеличивает вероятность отказа устройства.

Воздействие внешних загрязняющих веществ – еще одна причина механических повреждений полупроводниковых кристаллов, электрических соединений и металлизации модуля Пельтье. Чтобы свести к минимуму попадание загрязнений, обычно по периметру модуля между двумя керамическими пластинами наносят герметик. Для герметизации широко применяют силиконовый каучук из-за механической податливости этого материала. Однако в экстремальных условиях эксплуатации его



**Рис. 4.** Правильный и неправильный прижимы модуля



**Рис. 5.** Зависимость сопротивления модуля Пельтье от количества термоциклов, которая демонстрирует более высокую надежность структуры arcTEC

применение в качестве паронепроницаемого слоя может оказаться неэффективным. Чтобы преодолеть это ограничение, в средах с высоким содержанием паров в качестве альтернативы можно использовать эпоксидную смолу, но ей не хватает механической эластичности силиконового каучука. В конечном итоге выбор герметика будет зависеть от конечного применения и условий эксплуатации модуля.

Для борьбы с механическими напряжениями, которые могут привести к разрушению точек пайки и полупроводниковых кристаллов в модулях Пельтье, компания CUI Devices разработала структуру arcTEC. Она реализована в высококачественных элементах Пельтье от CUI Devices, которые отличаются повышенной надежностью, длительным сроком службы и улучшенными характеристиками. Структура arcTEC нейтрализует эффекты термической усталости благодаря тому, что обычная пайка заменена на электропроводящую синтетическую смолу на холодной стороне структуры модуля, которая

механически более податлива, чем припой. Это помогает минимизировать механические напряжения и образование трещин, которые могут возникнуть в модулях Пельтье традиционной конструкции. Остальные паяные соединения выполнены высокотемпературным сурьмяным припоем (SbSn, 235 °C), более стойким к механическим нагрузкам по сравнению с традиционным низкотемпературным висмутовым припоем (BiSn, 138 °C). В модулях Пельтье от CUI Devices также реализована пароизоляция из силиконового каучука для дополнительной механической совместимости с эпоксидной смолой и другими пароизоляционными материалами, доступными по запросу.

На рис. 5 показан график зависимости сопротивления модулей Пельтье на основе структуры arcTEC от количества термоциклов, который демонстрирует более высокую надежность этих устройств. Возрастание изменений сопротивления приводит к увеличению вероятности отказа. График наглядно показывает более стабильное поведение структуры arcTEC от CUI Devices по сравнению со стандартными модулями Пельтье в течение большого числа термоциклов.

\* \* \*

Существует множество факторов, влияющих на характеристики и надежность модулей Пельтье, в том числе способ монтажа, условия эксплуатации и внешние загрязнения. При выборе модуля Пельтье важно учитывать методы установки и рабочие параметры этих устройств. Структура arcTEC от CUI Devices, применяемая во многих модулях Пельтье этой компании, позволяет ослабить последствия некоторых видов отказов и повысить общую надежность системы. CUI Devices предлагает линейку модулей Пельтье различных размеров и параметров, на основе которых можно создать эффективное решение для управления температурными режимами, удовлетворяющее требованиям множества приложений.

**Акционерное общество**  
**ЭРКОН**  
Научно-производственное объединение

**Разработка и производство постоянных неперывочных резисторов, СВЧ резисторов, поглотителей и чип-индуктивностей.**

- Современная производственная база.
- Высокое качество.
- Индивидуальный подход к потребителю.

**Новинки:**

Аттенкуатор (поглотитель) РР1-25 (150 Вт, от 3 до 30 дБ)  
Резистор сверхвысокочастотный Р1-160 (до 20 ГГц)  
Мощный резистор Р1-170 (до 1000 Вт)

603104, г. Нижний Новгород, ул. Мартова, д. 6, помещение ПЗ, этаж 2, офис 204

тел. (831)464-50-23 (приемная), (831)202-25-52 отдел продаж

**www.erkon-nn.ru**  
e-mail: info@erkon-nn.ru

# РОССИЙСКАЯ НЕДЕЛЯ ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

**2–6  
ноября  
2020**

Россия, Москва,  
ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»

**ВНИМАНИЕ!  
НОВЫЕ ДАТЫ!**

**5G Big Data Умный город**  
Геоданные и навигационные технологии  
**Цифровое правительство ЦОДы**  
Информационная **IoT** Smart Device Show  
безопасность **Телеком**  
Искусственный интеллект **Спутниковая связь**  
**Умная мобильность** Российский софт  
**AR&VR Future TV**  
Дроны и беспилотные системы **Стартапы**



## СВЯЗЬ

32-я международная выставка  
«Информационные  
и коммуникационные технологии»

[www.sviaz-expo.ru](http://www.sviaz-expo.ru)



## НАВИТЕХ

12-я международная выставка  
«Навигационные системы,  
технологии и услуги»

[www.navitech-expo.ru](http://www.navitech-expo.ru)



[www.hi-techweek.ru](http://www.hi-techweek.ru)



Федеральное агентство связи  
(РОССВЯЗЬ)



ФНП «ГЛОНАСС»  
Федеральный научный центр информации



Реклама

12+



ЭКСПОЦЕНТР