

# **ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА ЭЛЕКТРОННОГО ПРИБОРА В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ СРЕДЫ**

**В.А. Кораблев, кандидат технических наук, старший научный сотрудник.  
Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет  
информационных технологий, механики и оптики.**

**Д.А. Минкин, кандидат технических наук.  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России.**

**А.С. Амангелди;**

**К.Е. Алматыв.**

**Казахский национальный университет им. аль-Фараби**

Приведена методика выбора элементов системы термостабилизации электронных устройств, основанной на термоэлектрических микроохладителях (элементах Пельтье).

*Ключевые слова:* элемент Пельтье, тепловой режим, система охлаждения, тепловое сопротивление

## **PROVIDING OF NORMAL THERMAL REGIME OF ELECTRONIC DEVICE IN HIGH AMBIENT TEMPERATURE CONDITIONS**

V.A. Korablev.

Saint-Petersburg national research university of information technologies, mechanics and optics.

D.A. Minkin. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia.

A.S. Amangeldi; K.E. Almatov. Al-Farabi Kazakh national university

Methods for choosing of elements for thermo stabilization system of electronics devices, based on thermoelectric elements (Peltier elements).

*Keywords:* Peltier element, thermal regime, cooling system, thermal resistance

При проведении поисково-спасательных работ в среде с повышенной температурой используется электронная аппаратура, обеспечивающая связь, измерения различных параметров среды, поиск объектов, освещение и решающая другие задачи. Качество работы этой аппаратуры существенно зависит от температур полупроводниковых приборов, входящих в ее состав. Задача осложняется тем, что температура среды, в которой она используется, существенно превышает допустимую температуру для полупроводниковых структур. Особенностью электронной аппаратуры является также высокая плотность внутренних тепловыделений. Для нормального функционирования аппаратуры необходимо обеспечение ее теплового режима в условиях интенсивных внутренних тепловыделений и повышенной температуре среды.

Эту проблему невозможно решить с помощью термостойкой теплоизоляции, так как возникает существенный перегрев элементов относительно среды.

Для поддержания требуемого теплового режима этих устройств в широком диапазоне температур окружающей среды применяются термоэлектрические системы термостатирования, состоящие из термоэлектрических микроохладителей, называемых также элементами Пельтье, на холодных поверхностях которых установлены полупроводниковые элементы, а на горячих поверхностях радиаторы воздушного охлаждения. Целью данного исследования является разработка методики выбора параметров микроохладителей, обеспечивающих требуемый тепловой режим полупроводниковых приборов, потребляя при этом минимум электроэнергии.

Обычно элементы Пельтье используются для получения низких температур относительно нормальных условий среды [1, 2], однако в данном случае с помощью этих устройств можно обеспечить допустимую рабочую температуру полупроводниковых приборов при экстремальных условиях среды. При этом средняя рабочая температура элемента Пельтье существенно выше, и, как указано в каталогах, холодопроизводительность существенно возрастает.

Один из вариантов технической реализации такого устройства представлен на рис. 1. Полупроводниковые приборы установлены на пластине из алюминиевого сплава, с обратной стороны которой установлено несколько элементов Пельтье. На другой стороне этих элементов установлен радиатор воздушного охлаждения. Теплота, выделившаяся в полупроводниковых приборах, передается через пластину холодным сторонам элементов Пельтье.

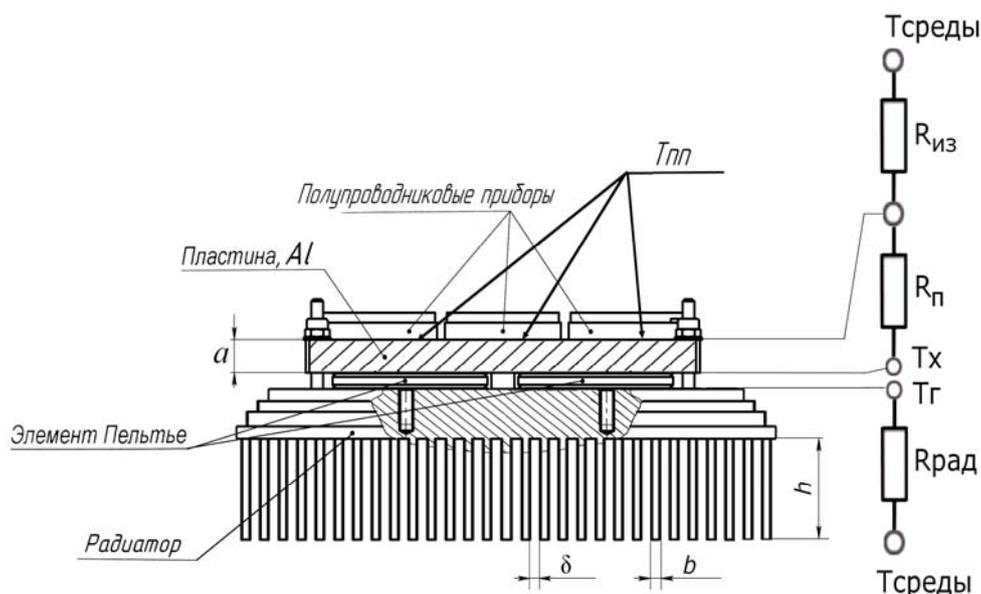


Рис. 1. Тепловая модель системы обеспечения теплового режима

Горячие стороны этих элементов охлаждаются при помощи радиатора воздушного охлаждения. Охлаждаемые полупроводниковые приборы защищены с наружной стороны тепловой изоляцией, которая на рис. 1 не показана. Радиатор может охлаждаться потоком воздуха, создаваемого вентилятором. С целью экономии электроэнергии работой элементов Пельтье управляет регулятор температуры, датчик которой установлен на пластине с полупроводниковыми приборами. Регулятор включает питание элементов Пельтье только при достижении предельно допустимых температур.

В условиях стационарного теплового режима уравнение теплового баланса для охлаждаемых полупроводниковых приборов имеет вид:

$$P_{III} R_{п} = T_{III} - T_{X}, \quad (1)$$

где  $T_{III}$  и  $T_{X}$  – температуры полупроводниковых приборов и холодных сторон термобатарей;  $P_{III}$  – мощность тепловыделений в полупроводниковых приборах;  $R_{п}$  – тепловое сопротивление алюминиевой пластины.

Зависимость между отводимой элементом Пельтье мощностью и температурами его горячей и холодной сторон имеет вид:

$$P_{III} = P_{\max} \left( 1 - \frac{T_{Г} - T_{X}}{\Delta T_{\max}} \right), \quad (2)$$

где  $P_{max}$  – максимальная холодопроизводительность;  $\Delta T_{max}$  – максимальный перепад температур элемента Пельтье;  $T_H$  – температура горячей стороны термобатареи.

Тепловой режим основания радиатора можно описать уравнением:

$$P_{III} + P_{эл} = \sigma_{рад} (T_H - T_c), \quad (3)$$

где  $P_{эл}$  – электрическая мощность, потребляемая элементом Пельтье;  $\sigma_{рад}$  – тепловая проводимость радиатора в среду;  $T_c$  – температура окружающей среды.

Современные элементы Пельтье имеют максимальный перепад температур  $\Delta T_{max}$  между холодной и горячей сторонами 70–75 К. Обзор каталогов производителей элементов Пельтье показал, что  $P_{эл}$  у большинства элементов не превышает  $P_{max}$  в  $k=1,2$  раз.

Подставив эти значения в уравнения (1–3), можно решить их относительно величины  $T_c$ :

$$T_{III} = T_c - \Delta T_{max} + \frac{kP_{max}}{\sigma_{рад}} + P_{III} \left( \frac{1}{\sigma_{рад}} - \frac{\Delta T_{max}}{P_{max}} + R_{II} \right).$$

Полученное решение позволяет подобрать оптимальные параметры радиатора и элемента Пельтье, необходимые для обеспечения нормального теплового режима электронных приборов в условиях повышенной температуры среды.

В настоящее время существуют системы, позволяющие автоматизировать подбор элементов Пельтье. В частности, программа Kryotherm [2] позволяет подобрать из каталога термоэлектрических модулей ООО «Криотерм» модели, обладающие наибольшей эффективностью в заданных условиях. Эффективность оценивается с точки зрения отношения холодильной мощности элемента к потребляемой им электрической мощности – коэффициент  $COP$ .

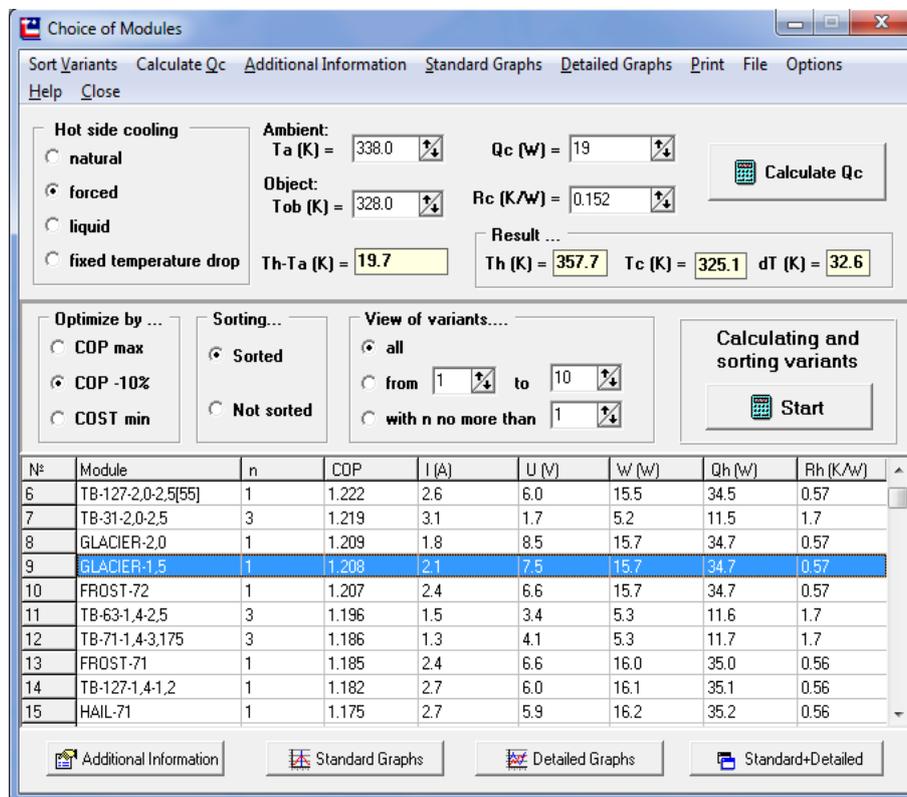


Рис. 2. Рабочее окно программы для выбора элементов Пельтье

В качестве исходных данных в рабочем окне программы (рис. 2) задаются температура окружающей среды  $T_a$ , требуемая температура охлаждаемого объекта  $T_{ob}$ , требуемая холодопроизводительность  $Q_c$ , а также условия теплообмена на горячей стороне элементов Пельтье (воздушное свободно-конвективное охлаждение, воздушное охлаждение с принудительным прокачиванием воздуха, жидкостная система охлаждения).

В результате работы программы выдается список моделей элементов Пельтье, отсортированных по величине COP, с соответствующими требованиями к тепловому сопротивлению системы охлаждения и параметрам электропитания [3].

Тепловое сопротивление в общем случае можно рассчитать по следующей формуле:

$$R_i = \frac{\Delta t_i}{P_i},$$

где  $P_i$  – мощность тепловыделений в элементе, Вт;  $\Delta t_i$  – разность температур, К.

При расчете теплового сопротивления системы охлаждения требуются следующие исходные данные:

– температура окружающей среды  $T_c=55$  °С;

– мощность тепловыделений на элементах полупроводникового прибора составляет  $P_{\text{пн}}=76$  Вт.

– максимально допустимая температура полупроводникового прибора  $T_{\text{пн}}=55$ °С.

Принимаются следующие ограничения и допущения:

– расчет проводится для стационарного режима;

– весь тепловой поток с горячей стороны элементов Пельтье передается через радиатор прокачиваемому воздуху и далее рассеивается в окружающую среду;

– температурное поле основания радиатора считается равномерным;

– не учитываются контактные термические сопротивления между элементами системы охлаждения.

Расчет значений тепловых сопротивлений:

$$R_x = R_{Al} = \frac{\delta_{Al}}{\lambda_{Al} S_{Al}} = 0,017 \frac{K}{Wm},$$

где  $\delta_{Al}$  – толщина пластины из алюминиевого сплава;  $\lambda_{Al}=120$  Вт/мК – теплопроводность сплава;  $S_{Al}$  – площадь пластины, м<sup>2</sup>.

Зная мощность тепловыделений на полупроводниковом приборе  $P_{\text{пн}}$  и сопротивление  $R_x$ , можно найти разность температур между холодной стороной термоэлектрического модуля и полупроводниковым прибором:

$$\Delta t_{\text{хол}} = P \cdot R_{\text{хол}}$$

Для рассматриваемого режима работы  $\Delta t_{\text{хол}} \approx 4$  К.

Сопротивление кожуха учитывать не будем, так как температура на полупроводниковом приборе равна температуре окружающей среды и теплообменом через кожух можно пренебречь.

Выбор модели элемента Пельтье, расчет значений температур на холодной и горячей стороне модулей, а так же определение требуемой проводимости радиатора будем проводить с помощью программы Kryotherm.

Задаем температуру воздуха, требуемую холодопроизводительность, равную  $P_{\text{пп}}$ ; тепловое сопротивление  $R_x$ , воздушное охлаждение с принудительным прокачиванием воздуха.

В таких условиях для обеспечения уровня температуры на матрицах не выше  $55\text{ }^\circ\text{C}$  возможны следующие варианты:

1. Четыре модуля GLACIER-2.0, работающих параллельно, требуемое сопротивление радиатора не более  $R_{\text{рад}}=0,13\text{ К/Вт}$ , параметры электропитания на каждый из четырех модулей: ток  $2,4\text{ А}$ ; напряжение  $11,4\text{ В}$ . При таких условиях мощность тепловыделений с горячей стороны модулей  $P_{\text{пп}}+P_{\text{эл}}=184\text{ Вт}$ , температура горячей стороны составит  $T_r=94\text{ }^\circ\text{C}$ .

2. Четыре модуля DRIFT-08[55], работающих параллельно, требуемое сопротивление радиатора не более  $R_{\text{рад}}=0,13\text{ К/Вт}$ , параметры электропитания на каждый из четырех модулей: ток  $4\text{ А}$ ; напряжение  $11\text{ В}$ . При таких условиях мощность тепловыделений с горячей стороны модулей  $P_{\text{пп}}+P_{\text{эл}}=250\text{ Вт}$ , температура горячей стороны составит  $T_r=97\text{ }^\circ\text{C}$ .

Необходимо рассчитать параметры радиатора и скорость движения воздуха в каналах между ребрами, которые бы позволили иметь тепловое сопротивление не более  $R_{\text{рад}}=0,13\text{ К/Вт}$ .

Сопротивление радиатора складывается из сопротивления основания радиатора и оребрения:

$$R_{\text{рад}} = R_{\text{осн}} + R_{\text{оребр}} ;$$

$$R_{\text{осн}} = \frac{\delta}{\lambda_{\text{рад}} S} = \frac{12 \cdot 10^{-3}}{120 \cdot 40 \cdot 10^{-3} \cdot 102 \cdot 10^{-3}} = 0,025 \frac{\text{К}}{\text{Вт}}$$

тогда требуемое сопротивление оребрения будет равно:

$$R_{\text{оребр}} = 0,1 \frac{\text{К}}{\text{Вт}}$$

что соответствует проводимости  $\sigma=1/R_{\text{оребр}}=10\text{ Вт/К}$ .

Параметры оребрения можно найти, исходя из выражения для проводимости радиатора [3, 4]:

$$\sigma_{\text{рад}} = \sigma_{\text{нр}} + N \cdot \lambda_{\text{рад}} \cdot f \cdot B \cdot th(B \cdot h)$$

$$B = \sqrt{\frac{\alpha U}{\lambda_{\text{рад}} f}}$$

где  $\sigma_{\text{нр}} = \alpha \cdot S_{\text{нр}}$  – проводимость неоребренной части радиатора, Вт/К;  $N$  – количество ребер;  $\lambda_{\text{рад}}$  – теплопроводность материала радиатора, Вт/мК;  $f$  – площадь сечения ребра радиатора,  $\text{м}^2$ ;  $h$  – высота ребра, м;  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи в канале,  $\text{Вт/м}^2\text{К}$ ;  $U$  – периметр сечения ребра, м.

Коэффициент теплоотдачи в канале  $\alpha$  зависит от ряда параметров (в том числе от скорости движения воздуха в канале и определяющего размера  $\delta$ ) и находится из следующих соотношений [5]:

$$Nu = 0.13(Re)^{0.33} Gr^{0.1} \cdot 1.09$$

где  $Re = \frac{v\delta}{\nu}$  – критерий Рейнольдса;  $Gr = \frac{g\beta\delta^3(t_w - t_f)}{\nu^2}$  – критерий Грасгофа;

$Nu_\delta = \frac{\alpha\delta}{\lambda_{возд}}$  – критерий Нуссельта;  $\delta$  – определяющий размер – ширина канала между ребрами радиатора, м;  $\nu$  – кинематическая вязкость воздуха, м<sup>2</sup>/с;  $v$  – скорость воздуха в канале, м/с;  $g$  – ускорение свободного падения;  $\beta = 1/0,5(t_w + t_f)$ , 1/К – коэффициент объемного расширения;  $t_w$  – температура поверхности радиатора, К;  $t_f$  – температура воздуха в канале, К.

Для обеспечения проводимости радиатора  $\sigma_{рад} = 10$  Вт/К возможны два варианта системы охлаждения:

1. Радиатор: высота ребер:  $h = 45$  мм;

толщина ребра:  $b = 1,5$  мм;

ширина канала:  $\delta = 1,2$  мм;

количество ребер:  $N = 37$ ;

длина канала:  $L = 165$  мм;

материал радиатора: дюраль.

Минимально допустимая скорость воздуха в канале: 6 м/с.

2. Радиатор: высота ребер:  $h = 45$  мм;

толщина ребра:  $b = 1,8$  мм;

ширина канала:  $\delta = 1,2$  мм;

количество ребер:  $N = 33$ ;

длина канала:  $L = 165$  мм;

материал радиатора: дюраль.

Минимально допустимая скорость воздуха в канале: 8 м/с.

В результате проведенной работы была предложена методика расчета и выбора оптимальных параметров радиатора и элементов Пельтье для обеспечения нормального теплового режима электронного прибора. Разработана и изготовлена система термостабилизации оптико-электронного прибора, которая позволяет поддерживать температуру на тепловыделяющих элементах с точностью  $\pm 1$  К в широком диапазоне рабочих температур. Благодаря высокой эффективности и надежности термоэлектрические системы термостабилизации могут быть рекомендованы для обеспечения теплового режима приборов и устройств, работающих в условиях повышенных температур окружающей среды.

### Литература

1. Термоэлектрическое охлаждение / Л.П. Булат [и др.]. СПб.: СПбГУНиПТ, 2002.
2. Шостаковский П. Современные решения термоэлектрического охлаждения для радиоэлектронной, медицинской, промышленной и бытовой техники // Компоненты и технологии. 2010. № 1.
3. Кудинов А.А. Тепломассообмен: учеб. пособие. М.: ИНФРА-М, 2012. 374 с.
4. Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Тепломассообмен: учеб. пособие. 2-е изд., испр. и доп. М.: Изд-во МЭИ, 2005.
5. Теплообмен в ядерных энергетических установках: учеб. пособие / Б.С. Петухов [и др.]. 3-е изд., перераб и доп. М.: Изд-во МЭИ, 2003.

