

## ОЦЕНКА ПРИМЕНИМОСТИ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ ДЛЯ ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИИ ФОТОПРИЕМНОГО УСТРОЙСТВА ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

А.С. Морозов

magicmusic@mail.ru

А.С. Кротов

С.И. Каськов

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

---

### Аннотация

Проведена оценка возможностей использования термоэлектрического холодильника в составе системы обеспечения теплового режима фотоприемного устройства дистанционного зондирования поверхности Земли в инфракрасном диапазоне. Предложен способ обеспечения температурной стабильности фоточувствительного элемента с расчетом холодильного коэффициента на создаваемый перепад температур. Получены массогабаритные характеристики устройства применительно к предложенному способу обеспечения температурной стабильности. Проанализирован холодильный коэффициент цикла работы системы для криогенного диапазона температур

### Ключевые слова

*Фотоприемное устройство, термоэлектрический холодильник, пассивная система обеспечения теплового режима, криогенный аккумулятор холода, дистанционное зондирование Земли*

Поступила в редакцию 16.11.2015

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016

---

При проектировании систем обеспечения тепловых режимов бортовых фотоприемных устройств дистанционного зондирования Земли в инфракрасном диапазоне [1] возникают сложности, заключающиеся в необходимости обеспечения высокой тепловой стабильности в условиях криогенных температур: характерное отклонение температуры фоточувствительного элемента (ФЧЭ) фотоприемного устройства (ФПУ) должно составлять не более 0,1...0,5 К в рабочем режиме (режиме съемки). При этом характерное значение температуры ФЧЭ в рабочем режиме составляет от 60 до 65 К.

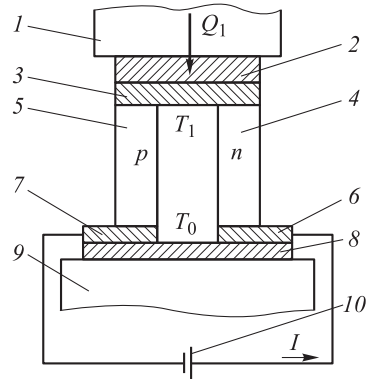
Для обеспечения заданного теплового режима подобных фотоприемных устройств используется система обеспечения теплового режима (СОТР), в схему которой входит криогенный аккумулятор холода (АХ) [1–4] с установленным (непосредственно или через тепловой мост) ФЧЭ. В качестве рабочего тела АХ используется плавящееся при температуре стабилизации ФЧЭ вещество. В дежурном режиме осуществляется захолаживание АХ, например, с помощью газовой криогенной машины (ГКМ); в рабочем режиме ГКМ выключена — ФЧЭ охлаждается за счет накопленного в АХ запаса холода. Однако в процессе фазового перехода рабо-

чего тела АХ в результате увеличения толщины жидкой фазы на поверхности теплообмена АХ с ФЧЭ температура контакта постепенно увеличивается и отклонение от температуры стабилизации может достигать от 1 до 3 К.

Поэтому между криогенным АХ и ФЧЭ предлагается устанавливать термоэлектрический холодильник (ТЭХ), горячий спай которого установлен на АХ — стоке теплоты для данной холодильной машины, а холодной спай — на ФЧЭ, являющимся источником теплоты. При этом тепловая стабильность ФЧЭ достигается путем изменения силы тока в ветвях ТЭХ по мере увеличения температуры АХ. Принципиальная схема ТЭХ в составе системы охлаждения ФПУ приведена на рис. 1.

**Рис. 1.** Принципиальная схема ТЭХ в системе охлаждения ФПУ:

- 1 — ФЧЭ; 2, 3 — изоляционные пластины;
- 4, 5, 6 — коммутационные пластины; 7, 8 — ветви термоэлемента; 9 — АХ; 10 — источник электрической энергии



**Особенности ТЭХ при криогенных температурах.** Основная сложность использования ТЭХ в задаче охлаждения ФЧЭ заключается в необходимости поддержания условий работы холодильной машины на уровне криогенных температур: температура охлаждаемого элемента должна составлять от 60 до 65 К. Большинство полупроводниковых материалов при данных температурах имеет низкую термоэлектрическую способность, обычно оцениваемую по коэффициенту добротности (или коэффициенту качества) материала  $z$ :

$$z = \frac{\alpha}{\sqrt{\kappa\rho}},$$

где  $\alpha$  — коэффициент термо-ЭДС;  $\kappa$  — коэффициент теплопроводности;  $\rho$  — удельное сопротивление.

Для некоторых материалов коэффициент добротности увеличивается при помещении контура с током в магнитное поле (эффект Эттингсгаузена, эффект Нернста — Эттингсгаузена и др.). Однако подобные термомагнитные холодильные машины здесь не рассматриваются, поскольку их конструкции несколько сложнее ТЭХ из-за необходимости организации магнитного поля.

Известны полупроводниковые сплавы  $n$ -типа, имеющие аномальные термоэлектрические свойства при криогенных температурах: при снижении температуры их коэффициент добротности повышается. Примерами являются сплавы  $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$  [5] и  $(\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x)_{1-z}\text{Te}_z$  [4, 5], где  $0 < x \leq 20$ . На  $p$ -ветвь для этих материалов аномальность не распространяется.

**Оценка параметров и размеров ТЭХ.** Материалы полупроводников подбирают приближенно: материалом *n*-ветви выбран сплав Bi-Sb, *p*-ветви — Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>. Отметим, что характеристики материалов также подбирали приближенно, поскольку не было найдено достаточно точных данных в литературе по термоэлектрическим свойствам полупроводников при низких температурах, а также не были проведены соответствующие эксперименты. В общем случае характеристики зависят от множества факторов, влияние которых сложно прогнозировать:

- концентрация носителей (в [5] ее оптимальное значение предлагается рассчитать численно, используя вариационный подход, можно также определить экспериментально);

- способ получения кристаллов [6] — экструзия, зонная плавка, метод Чохральского, кристаллизация в узких щелях и т. д.;

- чистота материала влияет на подвижность носителей, механизм рассеяния, концентрацию носителей;

- ориентация образца материала при измерении его характеристик — многие используемые материалы обладают анизотропными свойствами.

Используя известные данные, экстраполяцию и простые оценочные расчеты, приняты характеристики материалов, приведенные в таблице.

#### Характеристики используемых в оценке материалов ветвей ТЭХ

Параметр	Bi-Sb	Bi <sub>2</sub> Te <sub>3</sub>
$z, \text{K}^{-1}$	$5 \cdot 10^{-3}$ [7, 8]	$1,8 \cdot 10^3$ (77 K) $2 \cdot 10^3$ (100 K) $0,76 \cdot 10^3$ (60 K)*
$\alpha, \text{В/К}$	$180 \cdot 10^{-6}$ [7, 9]	$60 \cdot 10^{-6**}$
$\kappa, \frac{\text{Вт}}{\text{см} \cdot \text{К}}$	$2,9 \cdot 10^{-2}$ [9]	$7,5 \cdot 10^{-2**}$
$\sigma = \frac{1}{\rho}, \frac{1}{\text{Ом} \cdot \text{см}}$	4500 [8, 9]	$1,585 \cdot 10^4$

\* Рассчитано по  $\alpha, \kappa, \sigma$ , приведенным в таблице.  
\*\* Выбран худший случай из имеющихся данных.

Рассчитаем коэффициент добротности для *p*-*n* пары:

$$z_{\text{ТЭХ}} = \left( \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{\sqrt{\frac{\kappa_1}{\sigma_2}} + \sqrt{\frac{\kappa_2}{\sigma_1}}} \right)^2 = 2,1 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1},$$

где индекс 1 соответствует материалу Bi-Sb; индекс 2 соответствует материалу Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>.

Соотношение между площадями поперечного сечения ветвей имеет вид

$$m = \sqrt{\frac{\kappa_2 \sigma_1}{\kappa_1 \sigma_2}} = 0,730.$$

В данных условиях эксплуатации холодопроизводительность (количество теплоты, снимаемой с ФЧЭ ФПУ) принята  $Q_1 = 1$  Вт, а температуры спаев: горячего, сбрасывающего теплоту АХ,  $T_0 = 63$  К, холодного, принимающего теплоту от ФПУ,  $T_1 = 60$  К. Принятая температура горячего спаев соответствует температуре плавления азота в тройной точке. Отметим, что в оценочных расчетах принимается, что теплообмен между ФПУ и холодным спаем, а также между АХ и горячим спаем соответствует граничным условиям IV рода. В действительности температуры спаев зависят от характера теплообмена с соответствующими средами.

Бортовая сеть космического аппарата обеспечивает для ТЭХ напряжение  $V = 2$  В, длина ветвей (она же толщина холодильника за вычетом изоляции и толщин коммутационных пластин между каскадами)  $l_1 = l_2 = 5$  мм. В целях снижения габаритных размеров холодильника необходимо уменьшать длину ветвей, но при этом ухудшаются условия теплообмена между спаем и окружающей средой (придется снимать большую плотность теплового потока  $q_1$  от ФПУ и отдавать большее значение  $q_0$  криогенному аккумулятору) и увеличиваются нежелательные теплопритоки от горячего спаев к холодному. Рекомендуемая длина ветвей  $l > 3$  мм. При этом падение напряжения на элементе составляет

$$v_0 = \frac{(\alpha_1 - \alpha_2)(T_0 - T_1)\sqrt{1 + 0,5z(T_0 + T_1)}}{\sqrt{1 + 0,5z(T_0 + T_1)} - 1} = 0,012 \text{ В.}$$

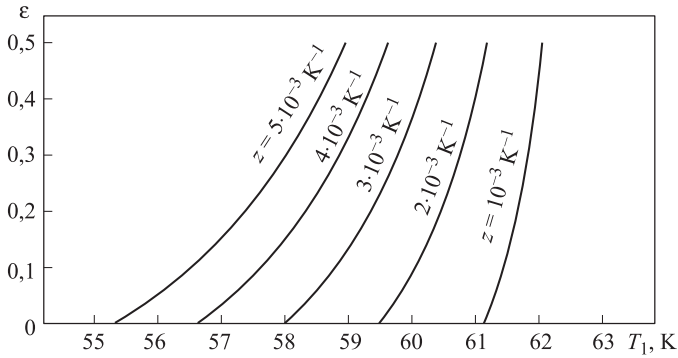
При определении холодильного коэффициента машины принято, что термоэлектрическое охлаждающее устройство может работать в двух основных режимах — максимального холодильного коэффициента  $\varepsilon_{\max}$  и максимальной холодопроизводительности  $Q_{\max}$ . В первом случае прибор наиболее эффективно будет преобразовывать потребляемую электрическую энергию в «холод», во втором случае в ущерб экономичности может быть получено наибольшее понижение температуры. Поскольку в рассматриваемой задаче необходимо обеспечить небольшой перепад температур, устройство должно работать в режиме  $\varepsilon_{\max}$ , для которого справедлива формула:

$$\varepsilon_{\max} = \frac{T_1}{T_0 - T_1} \frac{\sqrt{1 + 0,5z(T_0 + T_1)} - T_0/T_1}{\sqrt{1 + 0,5z(T_0 + T_1)} + 1} = 0,141.$$

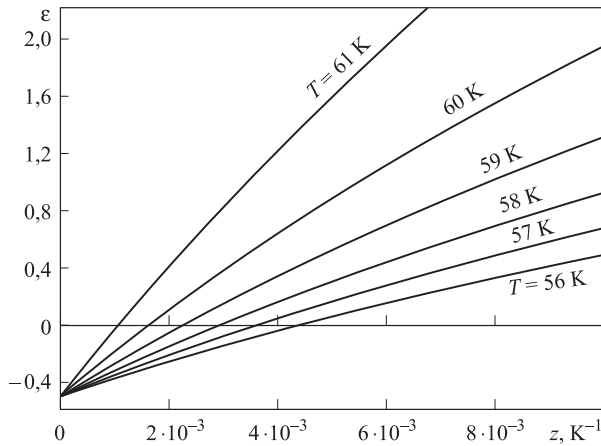
При получении данной формулы использовали модель, в которой не учитывался эффект Томпсона. В настоящем случае этот эффект будет пренебрежимо мал из-за невысокой разности температур; потребляемая термобатареей мощность

$$W = \frac{Q_1}{\varepsilon_{\max}} = 7,12 \text{ Вт, рабочий ток } I = \frac{W}{V} = 3,55 \text{ А.}$$

Выполнен анализ зависимости  $\epsilon_{\max} = f(\Delta T, z, T_0, T_1)$ , где  $\Delta T = T_0 - T_1$ . Результаты приведены на рис. 2–5.



**Рис. 2.** Зависимость холодильного коэффициента от температуры холодного спаея при фиксированных значениях температуры горячего спаея и коэффициента добротности



**Рис. 3.** Зависимость холодильного коэффициента от коэффициента добротности при фиксированных значениях температур горячего и холодного спаев

Число термоэлементов находим по формуле:  $N = V/v_0 \approx 162$ .

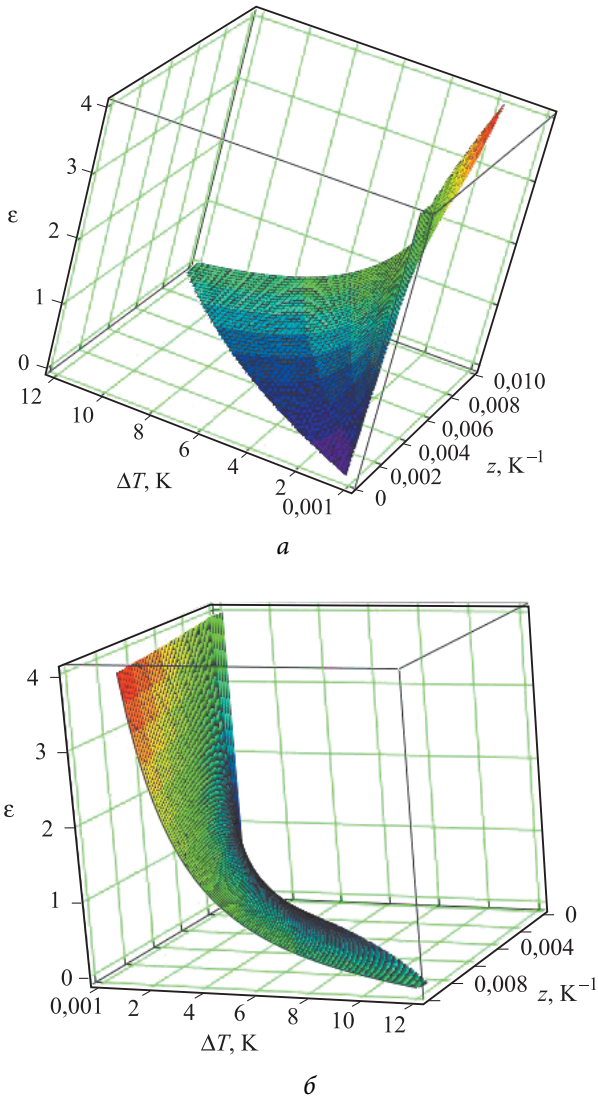
Сопротивление одного термоэлемента можно определить из падения напряжения на нем следующим образом:

$$v_0 = IR + (\alpha_1 - \alpha_2)(T_0 - T_1) \Rightarrow R = \frac{v_0 - (\alpha_1 - \alpha_2)(T_0 - T_1)}{I} = 3,14 \cdot 10^{-3} \text{ Ом.}$$

Через найденное сопротивление найдем площади сечений ветвей:

$$R = l \left( \frac{\rho_1}{S_1} + \frac{\rho_2}{S_2} \right) = \frac{l}{S_1} (\rho_1 + m_0 \rho_2) \Rightarrow S_1 = \frac{l(\rho_1 + m_0 \rho_2)}{R} = 0,043 \text{ см}^2,$$

$$S_2 = S_1/m_0 = 0,059 \text{ см}^2.$$



**Рис. 4.** Зависимость холодильного коэффициента от коэффициента добротности и разности температур при фиксированной температуре горячего спая  $T_0 = 63$  К:  
а — повернуто; б — прямо

Оценка размеров и массы элемента Пельтье дала следующие результаты:

$$L_1 = L_2 = \sqrt{S_2} \sqrt{2N} \approx 45 \text{ мм},$$

$$L_3 = l + 2l_1 = 7 \text{ мм},$$

где  $l_1 = 1$  мм — толщина изоляционных пластин.

Объем элемента Пельтье составил  $V = L_1 L_2 L_3 \approx 10 \text{ см}^3$ . Масса  $M = N(D_1 l S_1 + D_2 l S_2) \approx 70$  г, где  $D_1 = 9,4 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$  — плотность сплава Bi-Sb;  $D_2 = 6,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$  — плотность материала  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ .

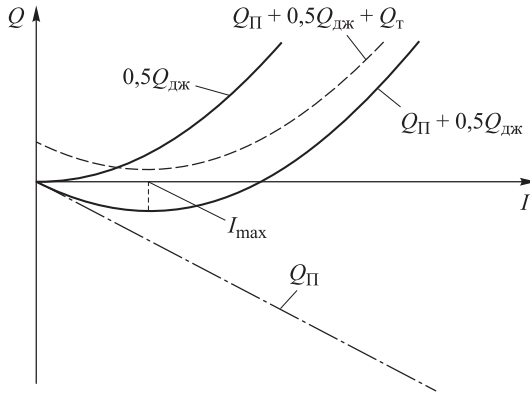


Рис. 5. График зависимости теплоты  $Q_0$  от силы тока

**Анализ изменения холодильного коэффициента.** На рис. 3 видно, что при достаточно низких значениях  $z$  холодильный коэффициент принимает отрицательные значения, что, на первый взгляд, кажется нефизичным. Однако этому можно дать объяснение. При выводе формулы для  $\varepsilon_{\max}$  предполагалось, что температуры спаев жестко фиксированы, а сам коэффициент определялся как функция от силы тока следующим образом:

$$\varepsilon = \frac{Q_1}{W} = \frac{\Pi_{1,2}I - \frac{1}{2}I^2R - K\Delta T}{(\alpha_1 - \alpha_2)(T_0 - T_1)I + I^2R},$$

где  $\Pi_{1,2} = (\alpha_1 - \alpha_2)T_1$  — коэффициент Пельтье;  $K$  — термическое сопротивление в контуре с током.

Мощность  $W$ , затрачиваемая на преодоление эффекта Зеебека  $Q_3 = (\alpha_1 - \alpha_2)(T_0 - T_1)I$  и теплоту Джоуля  $Q_{дж} = I^2R$ , по определению не может быть отрицательной. Следовательно, отрицательное значение принимает теплота  $Q_1$ , т. е. теплота отводится от холодного спаю, хотя цель холодильной машины обратная.

Анализируя  $Q_1$  (см. рис. 5), выявили следующее: эффект охлаждения чувствительного элемента (подвод теплоты к холодному спаю) реализуется за счет теплоты Пельтье  $Q_{\Pi} = \Pi_{1,2}I$ , пропорциональной силе тока. Но в то же время на холодном спае выделяется джоулева теплота, пропорциональная квадрату силы тока и уменьшающая требуемый эффект охлаждения. В первом приближении принято считать, что на холодном спае выделяется половина джоулевой теплоты всего контура с током  $0,5I^2R$ . Очевидно, что линейная функция до некоторого значения тока  $I_{\max} = \Pi_{1,2}/R$  растет быстрее, чем параболическая, и поэтому в рамках данной модели (при пренебрежении эффекта Томпсона и теплопроводности внутри контура с током) холодопроизводительность будет достигать своего

максимума при  $I = I_{\max}$  (см. рис. 5, кривая  $Q_{\Pi} + 0,5Q_{\text{дж}}$ ). Однако большое влияние могут оказать и теплопритоки от горячего спая к холодному из-за теплопроводности —  $Q_m = K\Delta T$  — еще больше уменьшающие эффект охлаждения. Можно считать, что эта теплота не зависит от силы тока, и при достаточно больших ее значениях в равновесном состоянии системы теплота  $Q_0$  будет принимать отрицательное значение, т. е. холодный спай будет отдавать теплоту внешней среде:

$$Q_1 = Q_{\Pi} + 0,5Q_{\text{дж}} + Q_{\tau} < 0.$$

**Выводы.** 1. Исследование показало, что термоэлектрические холодильники могут применяться в составе СОТР, обеспечивая необходимый тепловой режим ФЧЭ ФПУ дистанционного зондирования Земли в инфракрасном диапазоне. Для поддержания температуры ФЧЭ ФПУ на уровне 60 К применение ТЭХ позволяет устранить нестабильность температуры элемента охлаждения ФПУ — криогенного АХ до 3 К за счет точного изменения холодопроизводительности ТЭХ при регулировке тока в его ветвях.

2. Использование в составе предложенной СОТР ТЭХ требует дополнительные 7 Вт мощности в рабочем режиме из бортовой сети КА-носителя. При этом остальное оборудование ИК-прибора дистанционного зондирования Земли (а именно приводы зеркал и фокусировки оптической системы, блок обработки информации с ФЧЭ и система управления) в рабочем режиме потребляет около 250 Вт из сети КА. Типичная кремниевая солнечная батарея имеет КПД ~15 % (на околоземной орбите ее эффективная удельная поверхностная мощность составит 200 Вт/м<sup>2</sup>) и удельную поверхностную массу 3 кг/м<sup>2</sup>. Следовательно, для обеспечения работы оборудования ИК-прибора при съемке требуется солнечная батарея массой приблизительно 3,75 кг без учета мощности ТЭХ, с ее же учетом требуется порядка 3,86 кг. Также выявили, что масса и объем такого холодильника (0,070 кг и 0,000010 м<sup>3</sup>) составляют малую часть массогабаритных характеристик всей СОТР ФПУ (имеющей характерную массу 12...14 кг) и ИК-прибора в целом (массой около 100 кг).

3. Данный способ охлаждения предлагается в дальнейшем использовать для обеспечения тепловых режимов штатных ИК-приборов высокого разрешения, эксплуатируемых в составе целевой аппаратуры автоматических КА.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Формозов Б.Н.* Аэрокосмические фотоприемные устройства в видимом и инфракрасном диапазонах. СПб.: СПбГУАП, 2002. 120 с.
2. *Gilmore D.G.* Spacecraft thermal control handbook. Vol. 2: Cryogenics. Reston, Va. American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2003. 641 p.
3. *Bugby David C.* Development of advanced cryogenic integration solutions, in Cryocoolers 10. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers, 1999. P. 671–687.



4. *Карагузов В.И.* Исследование принципов построения бортовых криогенных систем охлаждения на базе газовых криогенных машин Стирлинга для аппаратуры инфракрасного наблюдения // Сб. науч.-техн. статей по ракетно-космической технике. Самара: ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс», 2001. С. 72–84.
5. *Анатычук Л.И., Семенюк В.А.* Оптимальное управление свойствами термоэлектрических материалов и приборов. Черновцы: Прут, 1992. 135 с.
6. *Булат Л.П., Ведерников М.В., Вялов А.П.* Термоэлектрическое охлаждение. СПб.: СПбГУНиПТ, 2002. 147 с.
7. *Агаев З.Ф., Абдинова Г.Д., Тагиев М.М.* Анизотропия термоэдс экструдированных образцов твердого раствора  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$  / Известия Национальной академии наук Азербайджана. Серия физико-технических и математических наук. 2003. № 2. С. 111–114.
8. *Урюпин О.Н.* Термоэлектрические явления в кристаллах системы висмут–сурьма в широком интервале температур. Автореферат дис. ... канд. физ.-мат. наук. СПб.: Физ.-техн. ин-т, 1995. 17 с.
9. *Thermoelectric module for low temperature applications / S. Lal, S. Loo, D.-Y. Chung, T. Kyratsi, M.G. Kanatzidis, C. Cauchy, T.P. Hogan // Mat. Res. Soc. Symp. Proc. 2002. Vol. 691. P. G6.2.1–G6.2.9.*

**Морозов Алексей Сергеевич** — студент кафедры «Теплофизика» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5).

**Кротов Александр Сергеевич** — канд. техн. наук, доцент кафедры «Холодильная, криогенная техника, системы кондиционирования и жизнеобеспечения» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5).

**Каськов Сергей Иосифович** — научный сотрудник НИИ ЭМ, старший преподаватель кафедры «Теплофизика» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5).

**Пробьба ссылаться на эту статью следующим образом:**

Морозов А.С., Кротов А.С., Каськов С.И. Оценка применимости термоэлектрической холодильной машины для термостабилизации фотоприемного устройства дистанционного зондирования Земли // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2016. № 5. С. 48–58. DOI: 10.18698/0236-3941-2016-5-48-58

**FEASIBILITY ASSESSMENT OF THERMALLY STABILIZING THE PHOTODETECTOR FOR EARTH REMOTE SENSING WITH THERMOELECTRICAL COOLER**

**A.S. Morozov**

magicmusic@mail.ru

**A.S. Krotov**

**S.I. Kas'kov**

**Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation**

## Abstract

This paper estimates whether thermoelectrical cooler can be used as a component of thermal control system of infrared photodetector for earth remote sensing. The article offers a method to maintain thermal stability of the photodetector. The authors calculated coefficient of performance for thermoelectrical cooler and maximal temperature drop, and estimated its mass-dimensional parameters as applied to proposed method of thermal stability maintenance. The paper shows the analysis of a curve behavior of theoretical coefficient of performance for thermoelectrical cooler under cryogenic temperatures

## Keywords

*Photodetector, thermoelectrical cooler, passive thermal control system, cryogenic thermal storage unit, earth remote sensing*

---

## REFERENCES

- [1] Formozov B.N. Aerokosmicheskiye fotopriyemnyye ustroystva v vidimom i infrakrasnom diapazonakh [Aerospace visual and infrared photodetectors]. St. Petersburg, SPbGUAP Publ., 2002. 120 p.
- [2] Gilmore D.G. Spacecraft thermal control handbook. Vol. 2. Cryogenics. Reston, Va. American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2003. 641 p.
- [3] Bugby David C. Development of advanced cryogenic integration solutions, in Cryocoolers 10. R. Ross Jr., ed. Kluwer Academic/Plenum Publishers, N.Y., 1999, pp. 671–687.
- [4] Karagusov V.I. Research of principles of on-board cryogenic refrigeration system construction based on gas cryogenic stirling machines for infrared viewing equipment. *Sb. nauch.-tekh. statey po raketno-kosmicheskoy tekhnike* [Collection of scientific and engineering articles on rocket and space technology]. Samara, SRPSRC TSSKB-Progress, 2001, pp. 72–84 (in Russ).
- [5] Anatyshuk L.I., Semenyuk V.A.. Optimal'noye upravleniye svoystvami termoelektricheskikh materialov i priborov [Optimal controlling the properties of thermoelectric materials and devices]. Chernovtsy, Prut Publ., 1992. 135 p.
- [6] Bulat L.P., Vedernikov M.V., Vyalov A.P. Termoelektricheskoye okhlazhdeniye [Thermoelectric cooling]. St. Petersburg, SPbGUNIPT Publ., 2002. 147 p.
- [7] Agaev Z.F., Abdinova G.D., Tagiev M.M. Thermoelectric power coefficient anisotropy of the extruded samples of  $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$  solid solution. *Izv. nats. akad. nauk Azerbaydzhana. Ser. fiz.-tekh. i mat. nauk* [Proceedings of the National Azerbaijan Academy of Science. Applied Physics and Mathematics Series], 2003, no.2, pp. 111–114 (in Russ.).
- [8] Uryupin O.N. Termoelektricheskkiye yavleniya v kristallakh sistemy vismut-sur'ma v shirokom intervale temperature. Avtoreferat diss. kand. fiz.-mat. nauk [Thermoelectric phenomena in crystals of bismuth-antimony system in a wide temperature range] Cand. phys.-math. sci. diss. abstr.]. St. Petersburg, Fiz.-tekh. inst., 1995. 17 p.
- [9] Lal S., Loo S., Chung D.-Y., Kyratsi T., Kanatzidis M.G., Cauchy C., Hogan T.P. Thermoelectric module for low temperature applications. *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, 2002, vol. 691, pp. G6.2.1–G6.2.9.

**Morozov A.S.** — student of Thermal Physics Department, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation).

**Krotov A.S.** — Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Professor of Refrigeration, Cryogenic Technics, Air Conditioning and Life-Support Systems Department, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation).

**Kas'kov S.I.** — Scientific Researcher of the Energy Engineering Research and Development Institute, Senior Lecturer of Thermal Physics Department, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation).

**Please cite this article in English as:**

Morozov A.S., Krotov A.S., Kas'kov S.I. Feasibility Assessment of Thermally Stabilizing the Photodetector for Earth Remote Sensing with Thermoelectrical Cooler. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Mashinostr.* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Mech. Eng.], 2016, no. 5, pp. 48–58. DOI: 10.18698/0236-3941-2016-5-48-58