

## Новое термоэлектрическое холодильное устройство для получения низких температур

В. Г. Охрем

*Предложена модель термоэлектрического холодильного устройства, работающего на основе эффекта Пельтье, которое может быть использовано для получения глубокого охлаждения разного рода микроэлектронных приборов. Выполнен расчет глубины охлаждения этого устройства. Показано, что предложенное устройство может быть значительно более эффективным по сравнению с используемыми в настоящее время термоэлектрическими холодильниками. В статье сделан анализ полученных результатов, даны практические рекомендации.*

*Ключевые слова:* эффект Пельтье, термоэлектрическое холодильное устройство, глубина охлаждения.

**Ссылка:** Охрем В. Г. // Успехи прикладной физики. 2019. Т. 7. № 1. С. 84.

**Reference:** V. G. Okhrem, Usp. Prikl. Fiz. 7 (1), 84 (2019).

### Введение

Термоэлектрические холодильники (ТХ) широко применяются в различных областях науки и техники, в том числе для температурной стабилизации и снижения уровня тепловых шумов в полупроводниковых приборах (например, в усилителе низкой частоты или датчике инфракрасного излучения [1, 2]). Механизмы возникновения тепловых шумов в полупроводниковых приборах хорошо описаны, например, в работе [3].

ТХ представляет собой устройство, состоящее из двух параллельно расположенных полупроводниковых ветвей  $p$ - и  $n$ -типа проводимости, которые одной парой торцов соединены между собой медной перемычкой, а другой – с термостатированными токоподводами. При прохождении тока в направлении от  $n$ -ветви до  $p$ -ветви через ТХ медная перемычка охлаждается вследствие эффекта Пельтье.

ТХ были разработаны во второй половине прошлого века академиком А. Ф. Иоффе с сотруд-

никами и с тех пор не претерпели принципиальных изменений. Современные исследования физики ТХ сводятся в основном к поиску новых и совершенствованию применяемых термоэлектриков, а также материалов, необходимых для их изготовления. Автору представляется, что актуальной задачей является также разработка новых более эффективных типов ТХ на основе существующих термоэлектриков. Эта задача решалась автором (и в соавторстве) в работах [4–8], в которых предложены и исследованы новые модели ТХ. В настоящей работе эти исследования продолжены. Предложено новое термоэлектрическое холодильное устройство (ТХУ), которое по глубине охлаждения может оказаться более эффективным по сравнению с используемыми в настоящее время ТХ.

### Постановка задачи и её решение

Рассмотрим схему устройства, представленную на рис. 1. Устройство состоит из двух частей – верхней и нижней, термостатированных токоподводов, нижней и верхней термостатированной перемычки. При подключении источника энергии так, как показано на рис. 1, ток в месте стыка ветвей 1 и 2 делится на две части: одна часть пойдет влево по нижней перемычке, вторая часть поступит в ветвь 2. Такое разделение тока приведет к тому, что правая и левая половины ТХУ будут работать в режиме охлаждения.

---

**Охрем Василий Георгиевич**, доцент.  
Национальный технический университет «ХПИ»,  
Черновицкий факультет.  
Украина, 58018, г. Черновцы, ул. Головна, 203-а.  
E-mail: okhrem@ukr.net

*Статья поступила в редакцию 7 августа 2018 г.*

© Охрем В. Г., 2019

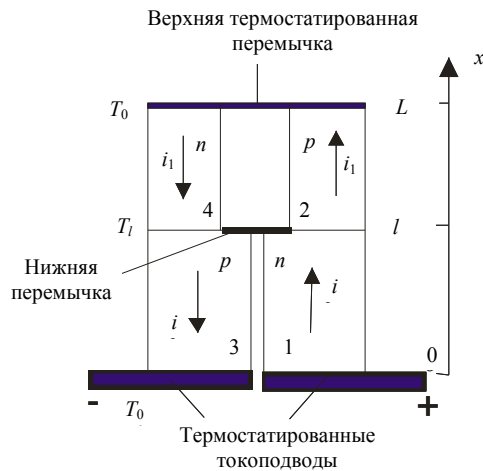


Рис. 1. Термоэлектрическое холодильное устройство.

Контакт *n*- и *p*-частей правой половины устройства будет охлаждаться вследствие эффекта Пельтье. Аналогичная ситуация будет иметь место и в левой половине устройства. Кроме того, нижняя перемычка будет охлаждаться (из-за того же эффекта Пельтье) вследствие коммутации ветвей 1 и 3. Таким образом, нижняя перемычка будет охлаждаться при совместном действии верхней и нижней частей устройства. При этом полагается, что верхняя перемычка термостатирована при той же температуре  $T_0$ , что и токоподводы. Таким образом, будем иметь двойной эффект охлаждения нижней перемычки.

Изложим далее расчет глубины охлаждения описанного ТХУ, считая распределение температур в ветвях и плотностей токов одномерными. Для этого полагаем, что холодопроизводительность устройства равна нулю, имея при этом в виду, что тепло, выделяемое охлаждаемым прибором (например, какой-нибудь микросхемой) составляет очень малую величину.

При вычислениях распределений температур в ветвях приняты следующие допущения.

1. Материальные константы термоэлектриков не зависят от температуры и координат; более того, считается, что удельные сопротивления  $\rho$  и теплопроводности  $k$  для материалов всех четырех ветвей одинаковы (условие постоянства материальных констант – это обычно используемое приближение при расчетах рабочих характеристик термоэлементов. Здесь используются стандартные термоэлектрики *p*- и *n*-проводимости). С точки зрения материальных констант, отличие будет только в коэффициентах термо-ЭДС, а именно, для материала *p*-проводимости –  $\alpha_p$ , *n*-проводимости –  $\alpha_n$ .

2. Температуры и плотности токов в каждой из ветвей – одномерны. Отметим, что принятые допущения часто применяются при расчетах рабочих характеристик всякого рода термоэлектрических преобразователей тепловой энергии в элект-

рическую (генераторы) и, наоборот, электрической в тепловую (холодильники). С учетом этих допущений легко находятся распределения температур в ветвях верхней части устройства:

$$T_1(x) = -\frac{b}{2}x^2 + \frac{b}{2}(L+l)x - \frac{T_0 - T_l}{L-l}x - \frac{b}{2}Ll - \frac{T_0l - T_lL}{L-l}.$$

В этом выражении  $b = \frac{\rho j^2}{k}$  – член, обуслов-

ленный теплом Джоуля, *j* – плотность тока в ветвях (она будет постоянной, поскольку по предположению является одномерной и непрерывной на стыке ветвей), *L* и *l* – размеры ветвей по высоте,  $T_0$  и  $T_l$  – температуры границ (см. рис. 1).

Распределения температур в ветвях нижней половины ТХУ имеет следующий вид:

$$T_2 = -\frac{b}{2}x^2 + \frac{b}{2}lx - \frac{T_0 - T_l}{l}x + T_0.$$

Для нахождения температуры стыка  $T_l$  нижней и верхней половин ТХУ необходимо использовать условие сшивания по теплу. Для этого запишем выражения для соответствующих тепловых величин:

$$Q_1 = -\left( \rho i^2 \frac{s^2}{S^2} (L-l) + 2\kappa \frac{T_0 - T_l}{L-l} \right) s + (\alpha_p - \alpha_n) T_l i \times \frac{S}{s},$$

$$Q_2 = 2\kappa \left( \frac{\rho i^2 l}{2\kappa S^2} + \frac{T_0 - T_l}{l} \right) S - (\alpha_p - \alpha_n) T_l i,$$

где *S* и *s* – поперечные сечения нижних и верхних ветвей соответственно; *i* – сила тока через устройство;  $Q_1$  – суммарное тепло, выделяющееся на нижних гранях ветвей 2 и 4 (в точке *l*);  $Q_2$  – суммарное тепло, выделяющееся на верхних гранях ветвей 1 и 3.

Равенство этих тепловых величин (условие сшивания) приводит к уравнению, из которого находим выражение для температуры нижней перемычки:

$$T_l = \frac{A}{B},$$

где

$$A = L^2 i^2 l \rho s^3 - 2Li^2 l^2 \rho s^3 + i^2 l^3 \rho s^3 + LSi^2 l^2 \rho - Si^2 l^3 \rho + 2LS^3 \kappa T_0 - 2S^3 l \kappa T_0 + 2S^2 s l \kappa T_0,$$

$$B = S \left( -LSi l \alpha_n + LSi l \alpha_p - Ls i l \alpha_n + Ls i l \alpha_p + Si l^2 \alpha_n - Si l^2 \alpha_p + s i l^2 \alpha_n - s i l^2 \alpha_p + 2LS^2 \kappa - 2lS^2 \kappa + 2lSs \kappa \right).$$

Эта формула для температуры нижней перемычки (глубины охлаждения) проанализирована с помощью пакета математических программ *MAPLE* в числовом виде. Результаты вычислений зависимости температуры нижней перемычки от величины тока через ТХУ представлены на рис. 2.

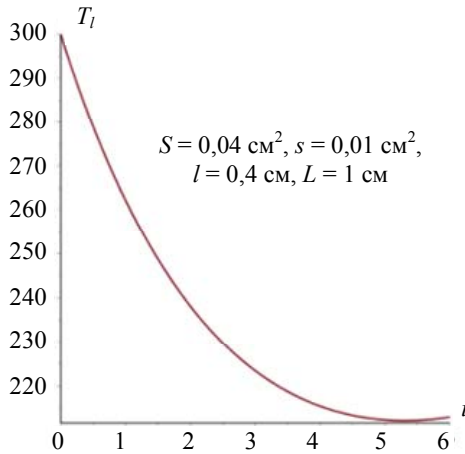


Рис. 2. График зависимости температуры нижней перемычки от величины силы тока.

В расчетах использованы следующие материальные константы:

$$\rho = 10^{-3} \text{ Ом см}, \quad \kappa = 1,8 \times 10^{-2} \frac{\text{Вт см}}{\text{К}},$$

$$\alpha_p = 2,5 \times 10^{-4} \frac{\text{В}}{\text{К}}, \quad \alpha_n = -2,5 \times 10^{-4} \frac{\text{В}}{\text{К}}.$$

Размерные константы указаны на графике. Температура термостата принята  $T_0 = 300 \text{ К}$ .

Из графика, представленного на рисунке 2 видно, что глубина охлаждения рассматриваемого устройства увеличивается по сравнению с получаемой с помощью стандартного термоэлектрического холодильника (60–65 К) более чем на 20 К. Конечно при этом нужно помнить, что на практике глубина охлаждения не будет такой большой, поскольку в таком широком интервале температур материальные константы не могут быть постоянными. Однако в целом усиление эффекта охлаждения будет иметь место.

Отметим также, что холодопроизводительность рассмотренного ТХУ и холодильный коэффициент увеличатся из-за двойного эффекта охлаждения. Автор надеется исследовать эти характеристики в следующих работах.

Укажем также на возможный вариант расположения элементов ТХУ в приборном исполнении (см. рис. 3). Здесь показано взаимное расположение основных элементов ТХУ. Не представлена только конструкция термостата. Отметим лишь то,

что термостат должен быть такой, чтобы, с одной стороны, обеспечить постоянство температуры  $T_0$ , а с другой, – он должен быть по возможности наиболее простым в конструктивном отношении.

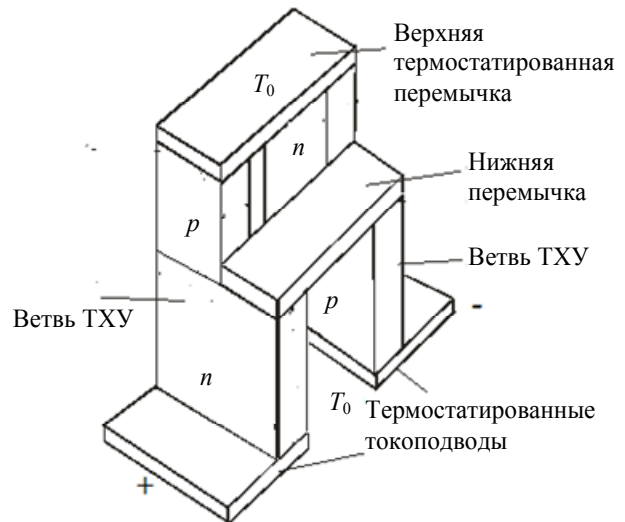


Рис. 3. Схема расположения элементов ТХУ.

## Заключение

Предложена оригинальная модель термоэлектрического устройства, работающего на эффекте Пельтье. Глубина охлаждения рассмотренного ТХУ значительно превышает глубину охлаждения стандартного ТХ. Показано, что такое ТХУ могло бы давать снижение температуры, приемлемое для охлаждения или стабилизации температуры микроэлектронных приборов. Предложен возможный вариант конструкции ТХУ. Описанное устройство может быть использовано там, где требуется достаточно глубокое охлаждение.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Анатичук Л. И., Семенюк В. А. Оптимальное управление свойствами термоэлектрических материалов и приборов. – Черновцы: ПРУТ, 1992.
2. Коленко Е. А. Термоэлектрические охлаждающие приборы. – Л.: Из-во «Наука», Ленинградское отделение, 1967.
3. Жалуд В., Кулешов В. Н. Шумы в полупроводниковых устройствах. – М.: Советское радио, 1977.
4. Анатичук Л. И., Охрем В. Г. Термоэлектрический охладжувач. Декларацийний патент № 9240, Україна, 7 Н01L35/00 / Заявлено 01.03.2005. Опубліковано 15.09.2005. Бюл. № 9.
5. Анатичук Л. И., Охрем В. Г. Декларацийний патент № 9884, Україна, Термоэлектричний охолоджувач. 2005. Бюл. № 10.
6. Охрем В. Г. // Прикладная физика. 2006. № 4. С. 121.
7. Горобец М. В., Охрем В. Г. // Прикладная физика. 2007. № 4. С. 124.
8. Охрем В. Г. // Успехи прикладной физики. 2017. Т. 6. № 3. С. 299.

## New thermoelectric refrigeration device for receiving the low temperatures

*V. G. Okhrem*

National Technical University "KhPI", Chernivtsi Faculty  
203-a Golovna st., Chernivtsi, 58018, Ukraine  
E-mail: okhrem@ukr.net

*Received August 7, 2018*

***A model of a thermoelectric refrigeration device based on the Peltier effect is proposed, which can be used to obtain deep cooling of various types of microelectronic devices. The depth of cooling of this device is calculated. It is shown that the proposed device can be significantly more efficient than the thermoelectric refrigerators currently used. The article analyzes the results obtained, gives practical recommendations.***

***Keywords:*** Peltier effect, thermoelectric refrigeration device, depth of cooling.

### REFERENCES

1. L. I. Anatyshuk and V. A. Semenyuk, *Optimal Control of Features of Thermoelectrics*. (Prut, Chernovtsy, 1992) [in Russian].
2. E. L. Kolenko, *Thermoelectric Cooling Devices* (Nauka, Leningrad, 1967) [in Russian].
3. V. Zhalud and V. N. Kuleshov, *Noises in Solid State Devices* (Sov, Radio, Moscow, 1977) [in Russian].
4. L. I. Anatyshuk and V. G. Okhrem, *Thermoelectric Cooler* (Patent No. 9240, Ukraine, September 9, 2005, Bull. No. 9).
5. L. I. Anatyshuk and V. G. Okhrem, *Thermoelectric Cooler* (Patent No. 9884, Ukraine, 2005, Bull. No. 10).
6. V. G. Okhrem, *Prikl. Fiz.*, No. 4, 121 (2006).
7. M. V. Gorobets and V. G. Okhrem, *Prikl. Fiz.*, No. 4, 124 (2007).
8. V. G. Okhrem, *Usp. Prikl. Fiz.* **6** (3), 299 (2017).