

УДК 621.362.2



Микитюк П. Д.

Микитюк П. Д., канд. физ.-мат. наук<sup>1,2</sup>,  
Микитюк О. Ю., канд. физ.-мат. наук,  
доцент<sup>3</sup>



Микитюк О.Ю.

<sup>1</sup>Институт термоэлектричества НАН и МОН,  
ул. Науки, 1, Черновцы, 58029, Украина,  
e-mail: anatyk@gmail.com;

<sup>2</sup>Черновицкий национальный университет им.  
Юрия Федьковича, ул. Коцюбинского, 2,

Черновцы, 58012, Украина, e-mail: anatyk@gmail.com;

<sup>3</sup>Высшее государственное учебное заведение Украины  
«Буковинский государственный медицинский университет»  
Театральная площадь, 2, Черновцы, 58002, Украина

---

## О ВЛИЯНИИ ТЕРМОПАРЫ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В НАГРЕВАТЕЛЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ТЕРМОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

---

*Исследовано влияние термопары на распределение температуры в нагревателе термопреобразователя для случая подбора геометрических размеров термопары и нагревателя. Установлено, что потери тепла за счет теплопроводности термопары и ее теплообмена с окружающей средой уменьшают температуру в центре нагревателя почти в 1.5 раза. Предложены варианты повышения эффективности использования тепла в термопреобразователе. Библ. 3, рис. 1.*

**Ключевые слова:** термопреобразователь, термопара, нагреватель, распределение температуры.

### Введение

В работах [1 – 3] исследовано распределение температуры в конструктивных элементах термоэлектрического измерительного преобразователя (ТП), в том числе и с учетом теплообмена с окружающей средой. Но в упомянутых работах не в полной мере исследован характер влияния тепловых процессов, имеющих место в термопаре, на распределение температуры в нагревателе для случая, когда геометрические размеры нагревателя и термопары являются подобными. Учет такого влияния позволит существенно улучшить параметры и характеристики ТП при их конструировании.

Целью данной работы является исследование влияния термопары на распределение температуры в нагревателе ТП.

### Модель термопреобразователя для расчетов распределения температуры в его конструктивных элементах

Для учета влияния термопары на распределение температуры в нагревателе проведем расчеты для системы "нагреватель-термопара", рис. 1.

Запишем условия теплового баланса, учитывая эффект Джоуля, теплопроводность и

теплообмен с окружающей средой для нагревателя:

$$\kappa_{\text{H}} \cdot S_{\text{H}} d^2 T(x_{\text{H}}) / dx_{\text{H}}^2 - C_{0\text{H}} (T(x_{\text{H}}) - T_0) \pi d_{\text{H}} + I_{\text{H}}^2 \cdot \rho_{\text{H}} / S_{\text{H}} = 0 \quad (1)$$

и термопары:

$$\frac{\kappa_{\text{T}} \cdot S_{\text{T}} d^2 T(x_{\text{T}})}{dx_{\text{T}}^2} - C_{0\text{T}} (T(x_{\text{T}}) - T_0) \pi d_{\text{T}} = 0, \quad (2)$$

где  $d_{\text{T}}$  – диаметр основания цилиндрической термопары (для термопары в виде правильной призмы, которая рассматривается, приведенный диаметр  $d_{\text{T}}$  задается условием равенства

площадей оснований цилиндра и призмы, то есть  $d_{\text{T}} = 2\sqrt{\frac{S_{\text{T}}}{\pi}}$ ;  $S_{\text{H}}$ ,  $S_{\text{T}}$ ,  $\kappa_{\text{H}}$ ,  $\kappa_{\text{T}}$ ,  $x_{\text{H}}$ ,  $x_{\text{T}}$ ,  $C_{0\text{H}}$ ,

$C_{0\text{T}}$  – площади поперечного сечения, коэффициенты теплопроводности, координата по длине и коэффициенты теплообмена с окружающей средой для нагревателя и термопары, соответственно,  $T$  – температура, а  $\rho_{\text{H}}$  – удельное сопротивление нагревателя.

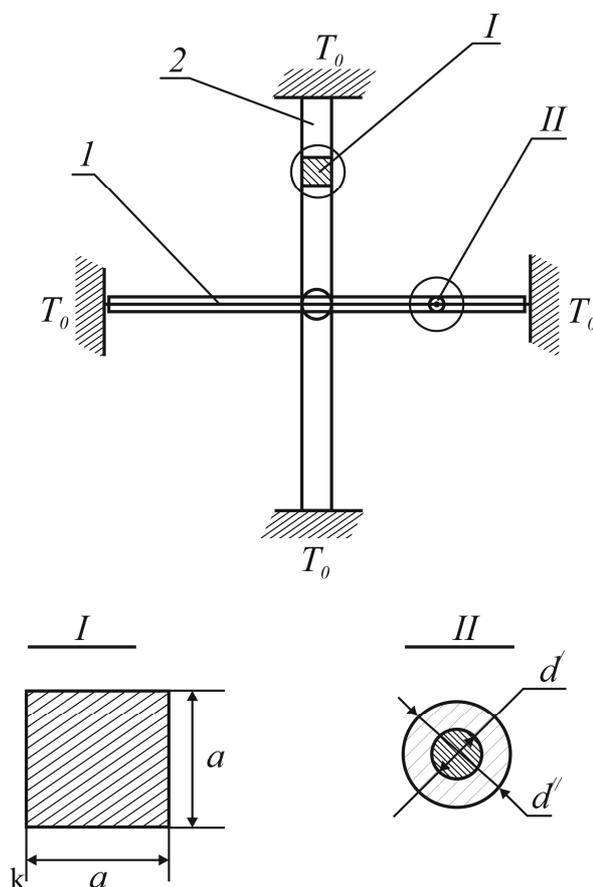


Рис. 1. Модель ТП для расчетов распределения температуры в элементах конструкции ТП: 1 – нагреватель; 2 – термопара;  $d'$  – диаметр микропровода без стеклянной изоляции;  $d$  – диаметр микропровода в стеклянной изоляции.

Обозначив:

$$\theta_H = T(x_H) - T_0, \quad \theta_T = T(x_T) - T_0; \quad (3)$$

$$a_H = \frac{\pi d_H}{\kappa_H S_H}, \quad (4)$$

$$b_H = \frac{\rho_H \cdot I_H^2}{\kappa_H \cdot S_H^2}, \quad (5)$$

$$a_T = \frac{\pi d_T C_{0T}}{\kappa_T S_T}, \quad (6)$$

получим:

$$\frac{d^2 \theta_H(x_H)}{dx_H^2} - a_H \theta_H(x_H) + b_H = 0, \quad (7)$$

$$\frac{d^2 \theta_T(x_T)}{dx_T^2} - a_T \theta_T(x_T) = 0. \quad (8)$$

Граничные условия при этом имеют вид:

$$\begin{aligned} \theta_H(0) &= \theta_T(0), \\ \kappa_H S_H \frac{\partial \theta_H(x_H)}{\partial x_H} \Big|_{x_H=0} &= -\kappa_T S_T \frac{\partial \theta_T(x_T)}{\partial x_T} \Big|_{x_T=0}. \end{aligned} \quad (9)$$

Рассматривая совместно решения уравнений (7 – 8) с учетом предельных условий (9), после ряда громоздких преобразований, которые в данной работе не приводятся, получим выражение для распределения температуры в нагревателе с учетом влияния на него термопары:

$$\theta_H(x_H) = \frac{\rho_H I_H^2}{C_{0H} S_H P_H} \operatorname{ch}[N_H(x_H - 1)] \left[ \frac{1 + k \frac{\operatorname{th}(N_H x_H)}{\operatorname{th}(N_T x_T)} \cdot \frac{\operatorname{ch}(N_H x_H)}{\operatorname{ch}(N_H l_H)} - \frac{\operatorname{ch}(N_H x_H) - 1}{\operatorname{ch}(N_H l_H) - 1}}{1 + k \frac{\operatorname{th} l_H}{\operatorname{th}(l_T N_T)}} \right] \quad (10)$$

где  $l_H, l_T$  – половина длины нагревателя и термопары, соответственно;

$$N_T = \sqrt{\frac{C_{0T} \cdot \rho_T}{\kappa_T S_T}},$$

$$N_H = \sqrt{\frac{C_{0H} \cdot \rho_H}{\kappa_H S_H}},$$

$$k = \frac{\kappa_T S_T N_T}{\kappa_H S_H N_H},$$

где  $P_H$  – периметр сечения площадью  $S_H$ .

Для оценки доли различных механизмов теплообмена в этой модели запишем выражение для максимального перепада температуры с учетом отдельных механизмов тепловых потерь.

При потерях исключительно вследствие теплопроводности материалов термопары и нагревателя,  $\Delta T_{max}$  описывается выражением:

$$\Delta T_{\max} = \frac{U_H^2}{8\kappa_H \rho_H} \cdot \left( 1 + \frac{R_H}{R_T} \frac{\kappa_T \rho_T}{\kappa_H \rho_H} \right)^{-1} \quad (11)$$

Учет только конвективного теплообмена приводит к выражению:

$$\Delta T_{\max} = \frac{b_H}{a_H} \cdot \frac{1 - Schx_H}{1 + k(thx_H/thx_T)}, \quad (12)$$

где  $x_H = \sqrt{a_H} l_H$ ,  $x_T = \sqrt{a_T} l_T$ .

Расчеты показывают, что при учете потерь тепла за счет теплопроводности термопары, максимальная температура в центре нагревателя уменьшается ориентировочно в 1.5 раза. При этом основная часть тепловых потерь обусловлена теплообменом термопары с окружающей средой.

На основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что наиболее перспективным путем повышения эффективности использования тепла в ТП является уменьшение тепловых потерь, обусловленных конвективным теплообменом. При этом необходимо учитывать два фактора: первый – уменьшение теплопроводности окружающей среды путем заполнения рабочего объема ТП газами с малой теплопроводностью или вакуумированием; второй – изменение формы кривой распределения температуры в центре нагревателя при условии, что все тепло выделяется в его центре.

Если в первом случае необходимо решать задачи, в основном, технологического характера, состоящие в разработке вакуумно – герметичного корпуса и повышении стабильности характеристик материалов термопары и нагревателя в условиях вакуума, то во втором случае необходимо исследовать возможность создания нагревателя, который обеспечит максимальную температуру в его центре.

## Выводы

1. При подобии размеров нагревателя и термопары потери тепла за счет теплопроводности термопары и теплообмена с окружающей средой могут приводить к уменьшению максимальной температуры в центре нагревателя в 1.5 раза, что существенно влияет на параметры термопреобразователя и может в значительной степени компенсироваться путем вакуумирования рабочего объема термопреобразователя либо наполнения его инертным газом с малой теплопроводностью.
2. Актуальными являются исследования возможности применения в конструкции термопреобразователя нагревателей переменного сечения или изготовленных из различных материалов.

## Литература

1. Ташук Д.Д. Оптимизация распределения температуры в термоэлектрическом измерительном преобразователе. / Ташук Д.Д. // Термоэлектричество. – 2012. – №4. – С. 95 - 98.
2. Микитюк П.Д. О факторах влияния на точность термопреобразователей. / Микитюк П.Д. // Термоэлектричество. – 2017. – № 5. – С. 76 - 83.
3. Анатычук Л.И. Дифференциальный термоэлектрический преобразователь переменного тока в режиме разновременного компарирования. / Анатычук Л.И., Кузь Р.В., Ташук Д.Д. //

Термоэлектричество. – 2015. – № 4. – С. 77 - 82.

Поступила в редакцию: 22.02.2018

**P.D.Mykytiuk<sup>1,2</sup>**, *Candidate Phys.-math. Sciences*  
**O.Yu.Mykytiuk<sup>3</sup>**, *Candidate Phys.-math. Sciences, docent*

<sup>1</sup>Institute of Thermoelectricity of the NAS and MES of Ukraine,  
1, Nauky str., Chernivtsi, 58029, Ukraine *e-mail: anatykh@gmail.com*;

<sup>2</sup>Yu.Fedkovych Chernivtsi National University,  
2, Kotsiubynskyi str., Chernivtsi, 58000, Ukraine  
*e-mail: anatykh@gmail.com*

<sup>3</sup>Higher State Educational Institution of Ukraine “Bukovinian State  
Medical University”, 2, Theatre Square, Chernivtsi, 58002, Ukraine

## IMPACT OF THERMOCOUPLE ON TEMPERATURE DISTRIBUTION IN THE HEATER OF MEASURING

*The impact of thermocouple on temperature distribution in the heater of thermal converter for the case of similar thermocouple and heater geometry is investigated. It is established that heat loss due to thermal conductivity of the thermocouple and its heat exchange with the environment reduce the temperature in the heater center by a factor of almost 1.5. Variants of increasing the efficiency of using heat in thermal converter are proposed. Bibl. 3, Fig. 1.*

**Key words:** thermal converter, thermocouple, heater, temperature distribution.

### References

1. Tashchuk D.D. (2012). Optimization of temperature distribution in thermoelectric measuring transducer. *J.Thermoelectricity*, 4, 95 - 98.
2. Mykytiuk P.D. (2017). Factors of influence on the accuracy of thermal converters. *J.Thermoelectricity*, 5, 76 – 83.
3. Anatykhuk L.I., Kuz R.V., Tashchuk D.D. (2015). Differential thermoelectric AC converter in the non-simultaneous comparison mode. *J.Thermoelectricity*, 4, 77 - 82.

Submitted 08.02.2018