

УДК 536.24



Микитюк П.Д.

Микитюк П.Д. канд. фіз.-мат. наук^{1,2}
Микитюк О.Ю. канд. фіз.-мат. наук, доцент³

¹Інститут термоелектрики НАН і МОН України,
вул. Науки, 1, Чернівці, 58029, Україна,
e-mail: anatysh@gmail.com;

²Чернівецький національний університет імені
Юрія Федьковича, вул. Коцюбинського 2,
Чернівці, 58012, Україна
e-mail: anatysh@gmail.com,

³Вищий державний навчальний заклад України
«Буковинський державний медичний університет»,
Театральна площа, 2, Чернівці, 58002, Україна



Микитюк О.Ю.

ПРО ВПЛИВ ТЕРМОПАРИ НА РОЗПОДІЛ ТЕМПЕРАТУРИ В НАГРІВНИКУ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ТЕРМОПЕРЕТВОРЮВАЧА

Досліджено вплив термопари на розподіл температури в нагрівнику термоперетворювача для випадку подібності геометричних розмірів термопари і нагрівника. Встановлено, що втрати тепла за рахунок теплопровідності термопари та її теплообміну з оточуючим середовищем зменшують температуру в центрі нагрівника майже в 1.5 рази. Запропоновано варіанти підвищення ефективності використання тепла в термоперетворювачі. Бібл. 3, рис. 1.

Ключові слова: термоперетворювач, термопара, нагрівник, розподіл температури.

Вступ

У роботах [1 – 3] досліджено розподіл температури в конструктивних елементах термоелектричного вимірювального перетворювача, у тому числі і з врахуванням теплообміну з оточуючим середовищем. Але в згаданих роботах не в повній мірі досліджено характер впливу теплових процесів, що мають місце в термопарі на розподіл температури в нагрівнику для випадку, коли геометричні розміри нагрівника і термопари є подібними. Врахування такого впливу дозволить суттєво покращити параметри і характеристики термоперетворювачів при їх конструюванні.

Метою даної роботи є дослідження впливу термопари на розподіл температури в нагрівнику термоперетворювача.

Модель термоперетворювача для розрахунку розподілу температури в його конструктивних елементах

Для врахування впливу термопари на розподіл температури в нагрівнику проведемо розрахунок для системи "нагрівник-термопара", рис. 1.

Запишемо умови теплового балансу, що враховує ефект Джоуля, теплопровідність та теплообмін з оточуючим середовищем для нагрівника:

$$\frac{\kappa_H \cdot S_H d^2 T(x_H)}{dx_H^2} - C_{0H} (T(x_H) - T_0) \pi d_H + \frac{I_H^2 \cdot \rho_H}{S_H} = 0 \quad (1)$$

і термопари:

$$\frac{\kappa_T \cdot S_T d^2 T(x_T)}{dx_T^2} - C_{0T} (T(x_T) - T_0) \pi d_T = 0, \quad (2)$$

де d_T – діаметр основи циліндричної термопари (для термопари у вигляді правильної призми, що розглядається, приведений діаметр d_T задається умовою рівності площ основи циліндра і

призми, тобто $d_T = 2\sqrt{\frac{S_T}{\pi}}$; $S_H, S_T, \kappa_H, \kappa_T, X_H, X_T, C_{0H}, C_{0T}$ – площі поперечного перерізу,

коефіцієнти теплопровідності, координата по довжині і коефіцієнти теплообміну з навколишнім середовищем для нагрівача і термопари, відповідно; T – температура, а ρ_H – нагрівача.

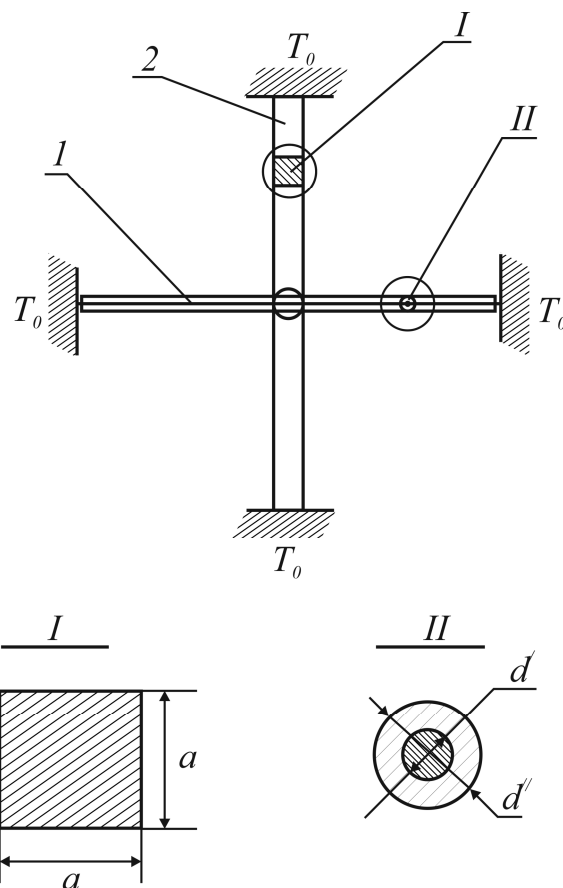


Рис. 1. Модель ТП для розрахунку розподілу температури в елементах конструкції ТП: 1 – нагрівник; 2 – термопара; d – діаметр мікропроводу без скляної ізоляції; d'' – діаметр мікропроводу в скляній ізоляції

Позначивши:

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

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

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

$$a_T = \frac{\pi d_T C_{0T}}{\kappa_m S_m} \quad (6)$$

отримаємо:

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

$$\frac{d^2 \theta_m(x_m)}{dx_m^2} - a_m \theta_m(x_m) = 0 \quad (8)$$

Граничні умови при цьому:

$$\begin{aligned} \theta_H(0) &= \theta_m(0) \\ \kappa_H S_H \left. \frac{\partial \theta_H(x_H)}{\partial x_H} \right|_{x_H=0} &= -\kappa_m S_m \left. \frac{\partial \theta_m(x_m)}{\partial x_m} \right|_{x_m=0} \end{aligned} \quad (9)$$

Розглядаючи спільно розв'язки рівнянь (7), (8) з врахуванням граничних умов (9) після ряду громіздких перетворень, що в даній роботі не наводяться, отримаємо вираз для розподілу температури в нагрівнику з врахуванням впливу на нього термопар:

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

де l_H, l_T – половина довжини нагрівника і термопар відповідно;

$$N_m = \sqrt{\frac{C_{0m} \cdot \rho_m}{\kappa_m S_m}};$$

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

$$k = \frac{\kappa_m S_m N_m}{\kappa_H S_H N_H};$$

P_H – периметр перерізу площею S_H .

Для оцінки долі різних механізмів теплообміну в цій моделі запишемо вираз для максимального перепаду температури з врахуванням окремих механізмів теплових втрат.

При втратах лише через теплопровідність матеріалів термопар і нагрівника ΔT_{\max} описується виразом:

$$\Delta T_{\max} = \frac{U_H^2}{8\kappa_H \rho_H} \cdot \left(\frac{1}{1 + \frac{R_H}{R_m} \frac{\kappa_m \rho_m}{\kappa_H \rho_H}} \right) \quad (11)$$

Врахування конвективного теплообміну приводить до виразу:

$$\Delta T_{\max} = \frac{b_H}{a_H} \cdot \left(\frac{1 - \text{Sch}x_H}{1 + k \text{th}x_H / \text{th}x_m} \right), \quad (12)$$

де $x_H = \sqrt{a_H l_H}$, $x_m = \sqrt{a_m l_m}$.

Розрахунки показують, що при врахуванні втрат тепла за рахунок теплопровідності термопари, максимальна температура в центрі нагрівника зменшується орієнтовно в 1.5 рази. При цьому основна частина теплових втрат обумовлена теплообміном термопари з оточуючим середовищем.

На підставі отриманих результатів можна зробити висновок про те, що найперспективнішим шляхом підвищення ефективності використання тепла в термоперетворювачі є зменшення теплових втрат за рахунок конвективного теплообміну. При цьому необхідно враховувати два фактори: перший – зменшення теплопровідності оточуючого середовища шляхом заповнення робочого об'єму термоперетворювача газами з малою теплопровідністю або вакуумізацією; другий – зміна форми кривої розподілу температури в центрі нагрівника при умові, що все тепло виділяється в його центрі.

Якщо в першому випадку необхідно вирішувати задачі, в основному, технологічного характеру – розробка вакуумно-герметичного корпусу і підвищення стабільності характеристик матеріалів термопари і нагрівника в умовах вакууму, то в другому випадку необхідно дослідити можливість створення нагрівника, що забезпечить максимальну температуру в його центрі.

Висновки

1. При подібних розмірах нагрівника і термопари втрати тепла за рахунок теплопровідності термопари та теплообміну з оточуючим середовищем можуть приводити до зменшення максимальної температури в центрі нагрівника в 1,5 рази, що суттєво впливає на параметри термоперетворювача і може у значній мірі компенсуватися шляхом вакуумування або наповнення робочого об'єму термоперетворювача інертним газом з малою теплопровідністю.
2. Актуальними є дослідження можливості застосування в конструкції термоперетворювача нагрівників зі змінним перерізом або виготовленого із різних матеріалів.

Література

1. Ташук Д.Д. Оптимізація розподілу температури у термоелектричному вимірювальному перетворювачі. / Ташук Д.Д. // Термоелектрика. – 2012.– №4. – С. 95 – 98.
2. Микитюк П.Д. Про фактори впливу на точність термоперетворювачів. / Микитюк П.Д. // Термоелектрика. – 2017.– №5. – С. 76 – 83.
3. Анатичук Л.І. Диференційний термоелектричний перетворювач змінного струму в режимі різночасового компарування. / Анатичук Л.І., Кузь Р.В., Ташук Д.Д. // Термоелектрика. – 2015. – № 4. – С. 77 – 82.

Надійшла до редакції 08.02.2018

Микитюк П.Д. канд. физ.-мат. наук^{1,2}
Микитюк О.Ю. канд. физ.-мат. наук, доцент³

¹Институт термоэлектричества НАН и МОН Украины,
ул. Науки, 1, Черновцы, 58029, Украина; e-mail: anatysh@gmail.com;
²Черновицкий национальный университет им. Юрия Федьковича,
ул. Коцюбинского, 2, Черновцы, 58000, Украина e-mail: anatysh@gmail.com;
³Вищий державний навчальний заклад України «Буковинський
державний медичний університет», Театральна площа, 2,
Черновці, 58002, Україна

О ВЛИЯНИИ ТЕРМОПАРЫ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В НАГРЕВАТЕЛЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ТЕРМОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Исследовано влияние термопары на распределение температуры в нагревателе термопреобразователя для случая подобия 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.

P.D.Mykytiuk^{1,2}, *Candidate Phys.-math. Sciences*
O.Yu.Mykytiuk³ *Candidate Phys.-math. Sciences, docent*

¹Institute of Thermoelectricity of the NAS and MES of Ukraine,
1, Nauky str., Chernivtsi, 58029, Ukraine e-mail: anatysh@gmail.com;
²Yu.Fedkovych Chernivtsi National University,
2, Kotsiubynskiy str., Chernivtsi, 58000, Ukraine
e-mail: anatysh@gmail.com

³Higher 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 THERMAL CONVERTER

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. Anatyshuk 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