



Микитюк П.Д.

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

<sup>1</sup>Інститут термоелектрики НАН і МОН України,  
вул. Науки, 1, Чернівці, 58029, Україна,

<sup>2</sup>Чернівецький національний університет імені  
Юрія Федьковича, вул. Коцюбинського 2,  
Чернівці, 58012, Україна

*e-mail: anatysh@gmail.com,*

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



Микитюк О.Ю.

## ПРО ДЕЯКІ ВАРІАНТИ ПОКРАЩАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

*Досліджено залежність чутливості термоперетворювача від взаємного розташування його конструктивних елементів. Підтверджено важливість оптимального узгодження опору термопари з опором нагрівника для кожного конкретного застосування термоперетворювача та доцільність оптимізації елементів його конструкції. Бібл. 4, рис. 2, табл. 1.*

**Ключові слова:** термоелектричний перетворювач, термопара, нагрівник, чутливість.

### Вступ

Покращання основних параметрів термоперетворювачів (ТП) метрологічного призначення до цього часу, в основному, досягаються за рахунок підвищення термоелектричних параметрів напівпровідникових матеріалів, що використовуються для виготовлення одного з основних конструктивних елементів ТП – термопари.

Однак, в [1] було показано, що застосування термоелектричного матеріалу із максимальною термоелектричною ефективністю ( $Z$ ) не завжди є визначальним фактором у покращанні параметрів ТП. Наприклад, суттєве підвищення чутливості ТП можна отримати за рахунок оптимізації теплового режиму його роботи з метою підвищення ефективності використання тепла, що виділяється нагрівником, мінімізацією впливу термопари на розподіл температури в нагрівнику [2], оптимізацією конструктивних елементів, вибором найефективнішого режиму роботи для конкретного застосування ТП і ін.

**Метою даної роботи** є дослідження можливих варіантів покращання параметрів ТП, що ґрунтуються на оптимізації елементів конструкції ТП та режиму їх експлуатації.

### Залежність чутливості ТП від геометричних розмірів його корпусу.

При конструюванні ТП необхідно враховувати, що тепловий режим ТП визначається не лише геометричними розмірами термопари і нагрівника, але і відстанню між ними і корпусом ТП.

Для оптимізації ТП за геометричними розмірами була проведена серія експериментальних досліджень для визначення залежності чутливості ТП від відстані між

кришкою корпусу і площиною, у якій розташувались термопара і нагрівник. Дослідження проводились у середовищах з різними умовами теплообміну – у вакуумі, ксеноні і повітрі.

Результати експериментів подані на рис. 1.

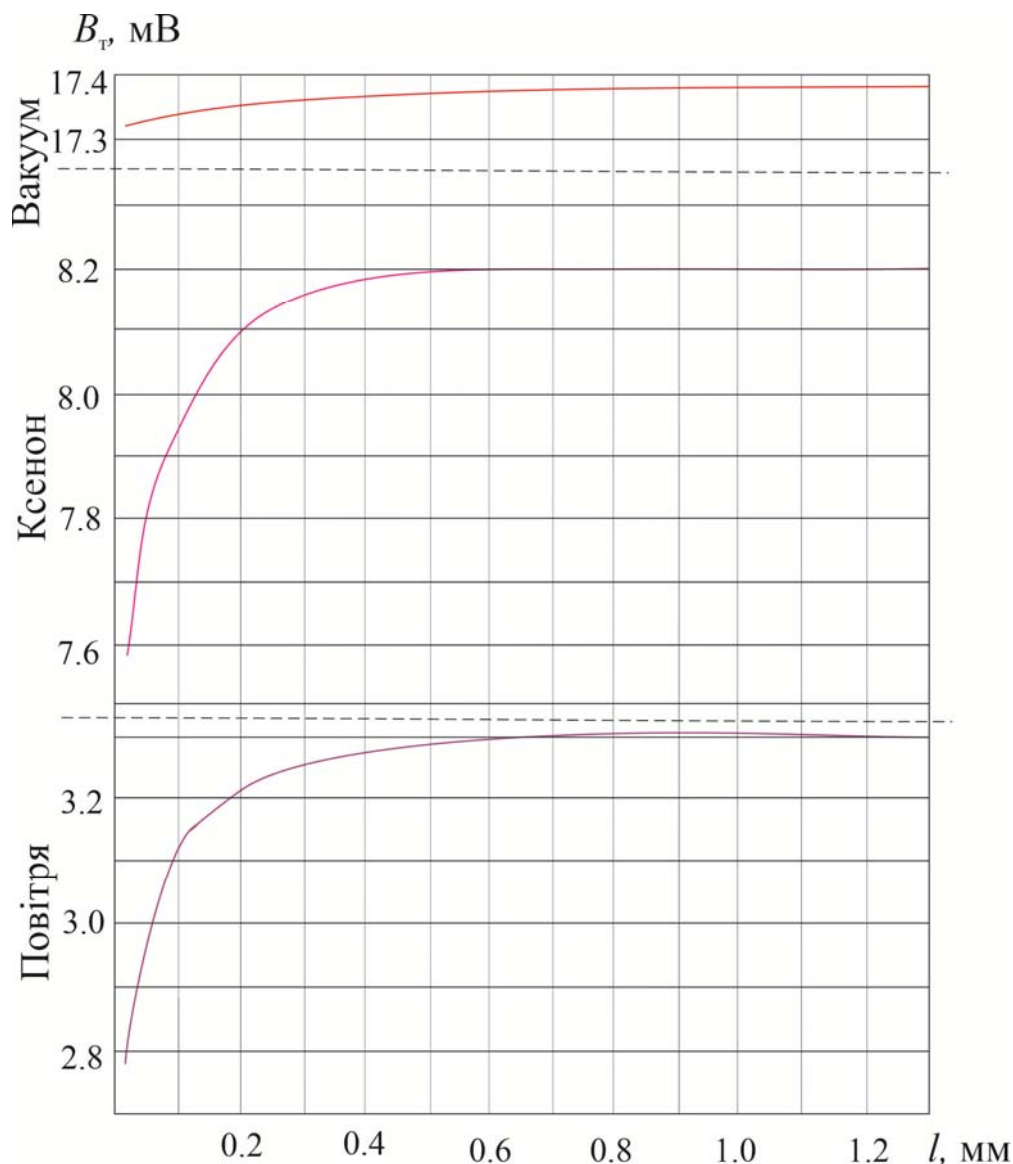


Рис. 1. Залежність вихідного сигналу  $E_T$  ТП від висоти  $L$  кришки корпусу над термопарою.

З рис. 1 видно, що з відстані  $L = 0.5 \div 0.6$  мм подальше збільшення  $L$  практично не змінює умови теплообміну між елементами конструкції ТП та корпусом ТП.

Дані, отримані у ксеноні та вакуумі підтверджують теоретичні розрахунки про те, що інтенсивність тепловіддачі у вакуумі є значно меншою за інтенсивність теплообміну в газовому середовищі.

Вищенаведені дослідження проводились для ТП типу 4604 з номінальним струмом 25 мА та сигналом термопари  $E_T \geq 10$  мВ. Такий ТП 4604 конструктивно виготовлений у корпусі висотою 5.5 мм та діаметром 4.9 мм. Слід зазначити, що для інших номіналів ТП змонтованих в

аналогічному корпусі дані досліджень можуть дещо відрізнятись. Однак, метою експериментальних досліджень було встановлення самого факту впливу корпусу ТП на розташування термопари і нагрівника в ньому.

### Узгодження опору термопари ТП з опором навантаження.

Питання про вибір оптимального режиму роботи ТП достатньо повно і давно розглянуто в [3]. Однак, розробники ТП не завжди враховують важливість узгодження опору термопари з опором навантаження. Тому є зміст, ще раз окремо зупинитися на цьому питанні.

Вираз для електричної потужності  $P_{вих}$ , яку розвиває термопара на навантаженні  $r$  можна записати у вигляді:

$$P_{вих} = (E - I_m \cdot R_m) \cdot I_m = E_n \cdot I_m \quad (1)$$

де  $R_m$ ,  $I_m$  – опір і номінальний струм термопари, а  $E_n$  напруга на навантаженні  $r$ .

Перетворимо вираз (1), виразивши його через відношення опорів термопари  $R_m$  і навантаження  $r$ .

$$P_{вих} = \frac{E_n^2}{R_T} \frac{1}{(m+2+\frac{1}{m})} \quad (2),$$

де  $m = \frac{r}{R_T}$ .

На рис. 2 показано графік залежності максимальної потужності термопари  $w$  від  $m$ , на якому для зручності значення  $E_T$  і  $R_T$  прийняті рівними 1.

Як видно з рис. 2 максимальна потужність, що виділяється на навантаженні, спостерігається при  $m = 1$ .

При зміні опору термопари в межах  $0.6 \leq m \leq 2$  зменшення потужності не перевищує 10 %. Отже при розробці ТП для досягнення високих метрологічних параметрів величина опору термопари може відхилитися від заданої величини в указаних вище межах.

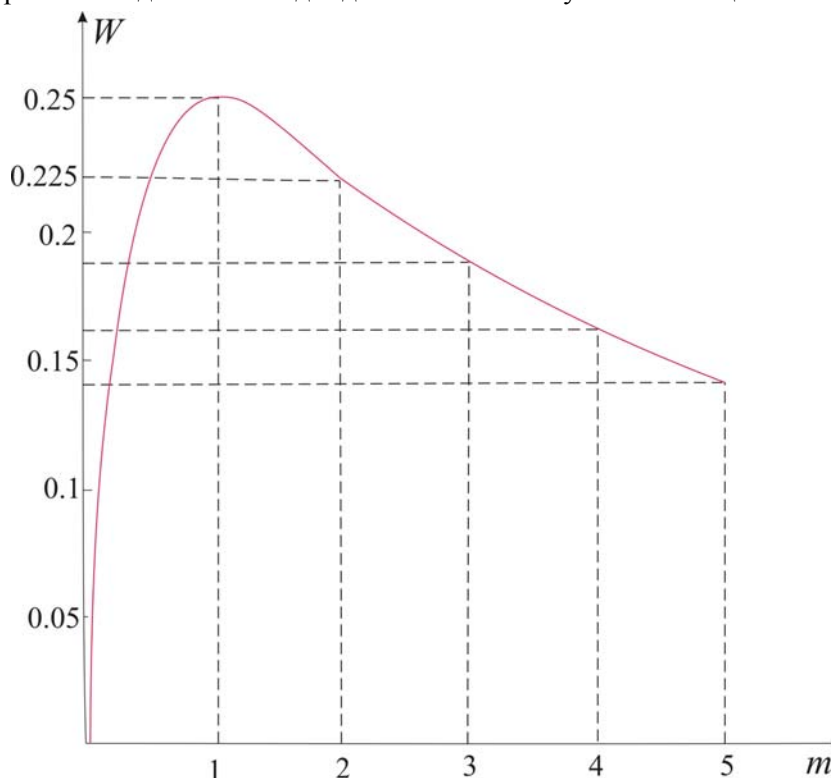


Рис. 2. Графік залежності  $w$  від  $m$

### Оптимізація нагрівника і термопари.

Суттєвого підвищення вольт-ватної чутливості ТП можна досягнути за рахунок покращання ефективності використання тепла, що виділяється нагрівником. У роботі [4] досліджувався варіант застосування нагрівника зі змінним по довжині опором, з метою максимальної концентрації тепла в точці контакту нагрівника і спаю термопари. За оцінками, зробленими в [4], такий підхід дозволяє збільшити температуру в точці контакту спаю термопари з нагрівником майже в 2 рази. На основі цих результатів досліджень були створені кілька конструкцій ТП з нагрівниками зі змінним поперечним перерізом. Такі ТП досліджувались на повітрі, в ксеноні і у вакуумі на установці ВУП-4А при тиску  $10^{-4}$  мм.рт.ст. Результати експериментів наведені в таблиці 1. Для порівняння в таблиці 1 подані параметри виробу, прийнятого в якості аналогу – ТП 2101.

*Таблиця*

*Параметри ТП*

Тип або конструкція ТП	Усереднені значення параметрів ТП							
	$R_n$ , ом не більше	$R_m$ , ом не більше	$E_m$ на повітрі не менше	$S_w$ на повітрі В/Вт	$E_m$ в ксеноні, мВ	$S_w$ в ксеноні, мВ	$E_m$ у вакуумі, мВ	$S_w$ , у вакуумі, мВ
ТП 2401 (АЮЖ 3.360.009 ТУ)	12	7	-	-	8	8	-	-
ТП з профільним нагрівником	16	10	3.0	7.5	5.2	13	7.2	18
ТП зі збірним нагрівником	16	10	2.8	7	4.4	11	6.4	16
ТП з підвищеним опором термопари	16	20 40	3.2 3.6	8 9	6.0 7.2	15 12	8.8 12	22 90

З таблиці видно, що суттєвого підвищення вольт-ватної чутливості ТП можна добитися шляхом вакуумізації його робочого об'єму. Однак, у цьому випадку проблемою стає наявність вакуумнощільного корпусу для ТП. Однак, створення такого корпусу не розв'яже задачі. Необхідно буде провести ряд досліджень в умовах вакууму, що може вимагати розроблення нової технології отримання такого матеріалу та методів його дослідження.

З точки зору практичних застосувань цікавим є варіант конструкції ТП зі збільшеним опором термопари. Як видно з таблиці 1, чутливість такого ТА при  $R_m = 40$  Ом досягає 30 В/Вт, істотно перевищуючи чутливість ТП, у яких термопара має  $R_m = 10$  Ом.

Проблемою в широкому застосуванні ТП з підвищеним опором є технологічна складність виготовлення мікромініатюрних термопар з поперечним перерізом віток на рівні  $15 \times 15$  мкм, у даний час технологія виготовлення таких виробів, в основному, базується на використанні ручної праці.

### Висновки.

1. Встановлено залежність чутливості термоперетворювача від взаємного розташування термопари нагрівника і корпусу для перетворювача ТП 46014.

2. При узгодженні опору навантаження і термопари високі метрологічні параметри ТП досягаються, коли співвідношення їх опорів  $m$  знаходяться в межах  $0,6 \leq m \leq 2$ .

### Література

1. Микитюк П.Д., Микитюк О.Ю. До питання вибору матеріалу термопари для термоперетворювачів метрологічного призначення. /П.Д. Микитюк, О.Ю. Микитюк.//Термоелектрика.-2019.№ с./
2. Микитюк П. Д. Про вплив термопари на розподіл температури в нагрівнику вимірювального термоперетворювача / П. Д. Микитюк, О. Ю. Микитюк. // Термоелектрика. – 2018. – №1. – С. 64–59.
3. Анатычук Л. И. Термоэлементы и термоэлектрические устройства / Л. И. Анатычук. – Київ: Наукова думка, 1979. – 766 с.
4. Микитюк П. Д. Розподіл температури в нагрівнику зі змінним поперечним перерізом у термоелектричному перетворювачі / П. Д. Микитюк, О. Ю. Микитюк. // Термоелектрика. – 2018. – №2. – С. 79–74.

Надійшла до редакції 18.07.2019

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

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

<sup>2</sup>Черновицкий национальный университет  
имени Юрия Федьковича, ул. Коцюбинского,  
2, Черновцы, 58012, Украина;

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

### **О НЕКОТОРЫХ ВАРИАНТАХ УЛУЧШЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ**

*Исследована зависимость чувствительности термопреобразователя от взаимного расположения его конструктивных элементов. Подтверждена важность оптимального согласования сопротивления термопары с сопротивлением нагревателя для каждого конкретного применения термопреобразователя и целесообразность оптимизации элементов его конструкции. Библ. 4, рис. 2, табл. 1.*

**Ключевые слова:** термоэлектрический преобразователь, термопара, нагреватель, чувствительность.

**P.D. Mykytiuk.** *cand. phys.-math. sciences*<sup>1,2</sup>,  
**O.Yu. Mykytiuk.** *cand. phys.-math. sciences, docent*<sup>3</sup>,

<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>Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University,  
2, Kotsiubynsky str., Chernivtsi, 58012, Ukraine;

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

## SOME OPTIONS FOR IMPROVING PARAMETERS OF THERMOELECTRIC CONVERTERS

*The sensitivity of thermal converter as a function of mutual arrangement of its structural elements was investigated. The importance of optimally matching the resistances of thermocouple and heater for each specific application of thermal converter and the advisability of optimizing its structural elements were confirmed. Tabl. 1, Fig. 2, Bibl. 6.*

**Key words:** thermoelectric converter, thermocouple, heater, sensitivity.

### References

1. Mykytiuk P.D., Mykytiuk O.Yu. (2019). In reference to the choice of thermocouple material for metrological-purpose thermal converters. *J. Thermoelectricity*
2. Mykytiuk P.D., Mykytiuk O.Yu. (2018). Impact of thermocouple on temperature distribution in the heater of measuring thermal converter. *J. Thermoelectricity*, 1, 64–59.
3. Anatykhuk L.I. (1979). *Termoelementy i termoelektricheskiye ustroystva [Thermoelements and thermoelectric devices]*. Kyiv: Naukova dumka [in Russian].
4. Mykytiuk P.D., Mykytiuk O.Yu. (2018). Temperature distribution in a heater with a resistance variable along its length in thermoelectric converter. *J. Thermoelectricity*, 2, 79–74.

Submitted 18.07.2019