

1. Jampurin N.P. Formirovanie precizionnyh chastot signalov.- Nizhnij Novgorod:Nizhegorodskij gos.teh.universitet, 2003,-187s.
2. Shapiro D.N., Pain A.A. Osnovy teorii sinteza chastot.-M.:Radio i svjaz', 1981.-264 s.
3. Ryzhkov A.V., Popov V.N. Sintezatory chastot v tehnikе radiosvjazi.-M.:Radio i svjaz',1991 -263s.
4. Polikarovs'kih O.I. Zastosuvannja novogo teoretiko-chislovogo bazisu dlja pobudovi visokoshvidkistnih obchisljuval'nih sintezatoriv chastoti (DDS) //Vimirjuval'na ta obchisljuval'na tehnika v tehnologichnih procesah.-2013.-№1.-S.20-27.

Рецензія/Peer review : 21.7.2013 р.

Надрукована/Printed :14.10.2013 р.

УДК 536.532

О. КОЧАН, В. КОЧАН, Н. ВАСИЛЬКІВ, О. РОЩУПКІН

Тернопільський національний економічний університет

## ДОСЛІДЖЕННЯ НЕВИКЛЮЧЕНОЇ ПОХИБКИ НЕОДНОРІДНОСТІ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА З КЕРОВАНИМ ПРОФІЛЕМ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ

*Анотація:* Досліджено залежність невиключеної похибки термоелектричного перетворювача з керованим профілем температурного поля (ТЕП з КПТП), який має значну набуту в процесі тривалої експлуатації неоднорідність термоелектродів, від зміни профілю температурного поля об'єкта вимірювання.

*Ключові слова:* термомари, похибка вимірювання температури, термоелектрична неоднорідність, термоелектричний перетворювач з керованим профілем температурного поля.

O.KOCHAN, V.KOCHAN, N.VASYLKIV, O. ROSCHUPKIN

Ternopol National Economical University

## INVESTIGATION OF NOT EXCLUDED INHOMOGENEITY ERROR OF THERMOCOUPLES WITH CONTROLLED PROFILE OF TEMPERATURE FIELD

*Abstract – The methods of correction and compensation of thermocouples errors are considered in this paper, especially methods directed against the most dangerous error – error caused by acquired during long operation inhomogeneity of thermoelectrodes. The most effective method which doesn't allow inhomogeneity error to appear itself is considered in the paper too. This method is implemented using a new type of sensors – thermocouple based sensors with controlled profile of temperature field (TBS with CPTF). This sensor contains additional temperature field control subsystems. Such subsystems makes possible set of temperature and maintaining the temperature field along thermoelectrodes for sensor itself. Error due to inhomogeneity of thermoelectrodes cannot appear as changes in temperature field are impossible because stabilization of temperature field along thermoelectrodes of the main thermocouple. But temperature field control subsystems have some error as well as addition thermocouples so that temperature field along electrodes of the main thermocouple is maintained with some error which lead to residual error due to acquired inhomogeneity. The authors of the paper invented the method of modeling for investigation of this error. Function of error of thermocouples is considered as a product of two functions. One of these functions depends just on time, while the other depends just on coordinate. All mathematical models of error due to inhomogeneity and drift of conversion characteristic of type K thermocouples are proved. The authors analyzed all errors of thermocouples and their affect on error of temperature field maintenance. It is proved that additional coefficients should be used in mathematical model of drift of CC to fix it because its experimental values are underestimated due to methodic of the experiment. The property of equality of maximum values of the drift of CC and error due to inhomogeneity is used for the correction coefficient calculation. The authors investigated the dependence of residual error due to inhomogeneity of a TBS with CPTF with considerable acquired during long operation on changes of temperature field of a measured object using the models of errors mentioned above. Graphs of the dependence of residual error due to inhomogeneity on changes of temperature field and the most dangerous modes of thermocouples' operation are pointed. Modes of effective use of TBS with CPTF are investigated as well. This modeling investigation shows that if temperature field changes on more than 7 Centigrade residual error due to inhomogeneity of TBS with CPTF is less than error due to inhomogeneity of usual thermocouples.*

*Key words:* thermocouples, temperature measurement error, thermoelectric inhomogeneity, thermocouple based sensor with controlled profile of temperature field.

### Постановка задачі

Незважаючи на широке розповсюдження термоелектричних перетворювачів на базі термомар при вимірюванні температур 500...1300°C, методи [1...4] корекції їх похибок, які зазвичай домінують [1] у вимірювальному каналі [5, 6], залишаються мало розповсюдженими. Однією з причин цього є вплив на результат вимірювання похибки, викликаной набутою в процесі тривалої експлуатації неоднорідністю їх термоелектродів [7, 8], що проявляється як залежність генерованої термопарою термо-е.р.с. від профілю температурного поля вздовж термоелектродів (навіть при незмінних температурах робочого і вільних кінців). Це послужило основою до висновку [7], що похибки термомар не можна коригувати. Але дослідження, приведені в [9], дозволили запропонувати методи зменшення впливу на термо-е.р.с. набутої неоднорідності електродів термомар. Реалізацією одного з цих методів є термоелектричний перетворювач з керованим профілем температурного поля (ТЕП з КПТП) [10, 11], де навмисне створений з допомогою додаткових підсистем регулювання температури заданий (сталий, незалежний від профілю температурного поля об'єкта) профіль температури вздовж електродів термомари, яка вимірює температуру об'єкта (головної термомари), не дає змоги набутій термоелектричній неоднорідності проявити себе. Теоретично в ТЕП з КПТП вплив неоднорідності електродів головної термомари на результат вимірювання повністю усунуто (незважаючи на зміни профілю температурного поля об'єкта, профіль температурного поля вздовж

електродів головної термопари утримується незмінним), але неідеальність конструкції та підсистем регулювання веде до того, що похибка від набутої неоднорідності компенсується не повністю.

Метою статті є дослідження невиключеної (залишкової) похибки вимірювання температури з допомогою ТЕП з КППП, зумовленої його недосконалістю, тобто впливом змін профілю температурного поля об'єкта на термо-е.р.с. головної термопари, незважаючи на стабілізацію профілю температурного поля вздовж її термоелектродів.

**Методика дослідження невиключеної похибки**

Результати дослідження похибки вимірювання температури від набутої неоднорідності термопар у літературних джерелах не описані. Тому слід розробити спеціальну методику непрямой оцінки цієї похибки. Її основою можуть бути висновки, зроблені у [8, 12]. Там показано, що похибки від неоднорідності та часового дрейфу термопар є наслідками одного явища – деградаційних процесів в термоелектродах. Тому для оцінки похибки від неоднорідності можна використати результати експериментального визначення дрейфу термопар під дією високих температур. Найповніші результати цих досліджень для термопар типу ХА приведені в [13]. Спочатку апроксимуємо зміни функції перетворення (ФП) термопар досліджених при температурі робочого з'єдну 800°C. Через те, що невиключена похибка впливає на результат вимірювання температури як величина другого порядку малості, похибка апроксимації може бути досить великою. Основною вимогою до апроксимаційних функцій в нашому випадку буде їх простота та можливість диференціювання в довільній точці.

Як відомо з [14 - 16], для термопар, що експлуатуються в стаціонарних термоагрегатах, зміна ФП  $\Delta E$  в основному залежить від трьох змінних – температури  $t_e$  експлуатації (при якій дана ділянка термопар знаходиться постійно), часу експлуатації  $\tau_e$  та поточної температури  $t_d$  (температури діапазону), при якій дана ділянка опиниться в результаті зміни профілю температурного поля, тобто –  $\Delta E = f(t_e, \tau_e, t_d)$ . Але таку функцію важко апроксимувати через обмежену кількість результатів експериментальних досліджень. Тому в [12] запропоновано використати функцію двох змінних виду  $\Delta E = k \cdot f(t_e) \cdot \phi(t_d)$ , в якій функції  $f(t_e)$ ,  $\phi(t_d)$  рівні нулю відповідно при  $t_e = 0$  або  $t_d = 0$ , а оцінку похибки проводити для фіксованого часу експлуатації. В такому випадку для апроксимації функції дрейфу термопар типу ХА дані [15] достатні. Згідно [15], для термопар, що вимірюють температуру 800°C, дрейф хромелевого та алюмелевого електродів при 1000 годинах експлуатації описується функціями виду

$$\Delta E_X^{1000} = 0,035 \sqrt{t_e} (-4,6 \cdot 10^{-7} t_d^3 + 0,275 \cdot 10^{-3} t_d^2 + 0,213 \cdot t_d) \mu V \tag{1}$$

$$\Delta E_A^{1000} = 0,035 \sqrt{t_e} (-4 \cdot 10^{-9} t_d^4 + 0,71 \cdot 10^{-5} t_d^3 - 0,38 \cdot 10^{-2} t_d^2 + 0,715 \cdot t_d) \mu V \tag{2}$$

Для оцінки похибки від набутої неоднорідності, аналогічно до [16 - 18], розіб'ємо обидва електроди термопар на 24 однакові ділянки (рис. 1), а також введемо наступні припущення:

Температура з'єдну порівняння становить 0°C. При цій температурі експлуатуються ділянки від 1 до 8.

Температура робочого з'єдну становить 800°C. При цій температурі експлуатації ділянки від 17 до 24.

Температурне поле рівномірно змінюється від 0°C до 800°C. В зоні температурного градієнту перебувають ділянки від 9 до 16. Різниця температур між початком і кінцем і-тої ділянки  $\Delta t = t_i - t_{i-1} = 100^\circ C$ .

Ділянки по своїй довжині однорідні (похибка від набутої неоднорідності в межах однієї ділянки відсутня).

За температуру експлуатації  $t_e$  приймається середнє арифметичне значення з температур експлуатації початку та кінця ділянки до зміни профілю температурного поля.

За температуру діапазону  $t_d$  приймається середнє арифметичне значення з температур експлуатації початку та кінця ділянки після зміни профілю температурного поля.

Похибка термоелектродів від набутої неоднорідності буде рівна зміні генерованої термо-е.р.с., наприклад, при зміні профілю температурного поля з А,В,С,Д до А,В1,С1,Д. Причиною зміни термо-е.р.с., згідно [8, 9], є неоднаковість відхилення реальної ФП від номінальної для різних температур діапазону  $t_d$ , яке оцінимо наступним чином.

На першому етапі обчислимо відхилення ФП хромелевого  $\Delta E_X$  і алюмелевого  $\Delta E_A$  термоелектродів від номінальної до зміни профілю температурного поля з А,В,С,Д до А,В1,С1,Д, тобто при умові  $t_{di} = t_{ei}$ . Це означає, що температура кожної ділянки поки що залишається незмінною. Обчислити відхилення  $\Delta E_X$  і  $\Delta E_A$  можна за формулою

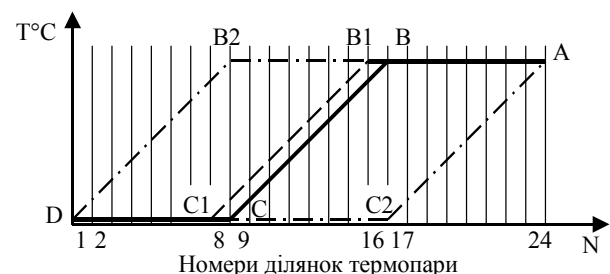


Рис. 1. Розбиття електродів неоднорідної термопар на ділянки

$$\Delta E = \sum_{i=1}^{24} \Delta E_i = \sum_{i=1}^{24} \Delta e_i(t_{ei}, t_{di}) \cdot \Delta t_i, \quad (3)$$

де  $\Delta E_i$  – відхилення термо-е.р.с.  $i$ -тої ділянки відповідного термоелектрода від номінальної;  $t_{ei}, t_{di}$  – температури експлуатації та діапазону  $i$ -тої ділянки відповідного термоелектрода;  $\Delta e_i(t_{ei}, t_{di})$  – відхилення питомої термо-е.р.с.  $i$ -тої ділянки відповідного термоелектрода;  $\Delta t_i$  – різниця температур між початком і кінцем ділянки, згідно прийнятих припущень  $\Delta t_i = 100^\circ\text{C}$ .

Значення дрейфу питомої термо-е.р.с.  $\Delta e_i(t_{ei}, t_{di})$  можна визначити з (1), (2) як їх часткові похідні по температурі діапазону  $t_d$ . Для хромелевого та алюмелевого електродів отримаємо відповідно –

$$\Delta e_X^{1000} = 0,035 \times \sqrt{t_e} \times (-13,8 \times 10^{-7} \times t_d^2 + 0,55 \times 10^{-3} \times t_d + 0,213) \mu\text{V} / ^\circ\text{C}, \quad (4)$$

$$\Delta e_A^{1000} = 0,035 \times \sqrt{t_e} \times (-16 \times 10^{-9} \times t_d^3 + 2,73 \times 10^{-5} \times t_d^2 - 0,76 \times 10^{-2} \times t_d + 0,715) \mu\text{V} / ^\circ\text{C}. \quad (5)$$

На другому етапі обчислимо відхилення ФП хромелевого  $\Delta E_X$  і алюмелевого  $\Delta E_A$  термоелектродів від номінальної після зміни профілю температурного поля з А,В,С,Д до А,В1,С1,Д, тобто при умові  $t_{di} \neq t_{ei}$ . Це означає, що температура  $t_{di}$  ділянок 8...16 змінилася, а температура всіх інших ділянок залишається незмінною. В цьому випадку обчислити відхилення  $\Delta E_X$  і  $\Delta E_A$  можна за формулою (3), підставивши в (4), (5) відповідне значення  $t_{di}$ . Різниця відхилень ФП хромелевого  $\Delta E_X$  і алюмелевого  $\Delta E_A$  електродів термопари від номінальної, визначена до і після зміни профілю температурного поля, відповідає похибці від набутої ними термоелектричної неоднорідності.

Для побудови функції похибки від набутої неоднорідності від зміни профілю температурного поля слід повторити другий етап обчислень для отримання всіх значень похибки, що відповідають переміщенню профілю температурного поля спочатку до ділянки 1 (до профілю поля А,В2,Д), а потім до ділянки 24 (до профілю поля А,С2,Д). В результаті отримаємо залежність похибки від набутої неоднорідності термоелектродів при зміні занурення термопари. Через те, що, згідно прийнятих припущень, ділянки 1...8 експлуатуються при  $0^\circ\text{C}$ , а дрейф ФП термопари при такій температурі, згідно [13], рівний нулю, то при зміні профілю температурного поля до А,В2,Д, отримаємо відновлення початкової ФП термопари – адже в такому випадку термо-е.р.с. створюють лише ділянки 1...8, що експлуатувалися не при високій температурі, а перебували при  $0^\circ\text{C}$ . При переміщенні профілю температурного поля до А,С2,Д отримаємо максимальне значення дрейфу ФП термопари (якщо дрейф пропорційний температурі експлуатації) – тоді термо-е.р.с. створюють лише ділянки 17...24, що експлуатувалися при найвищій температурі. Таким чином, різниця похибок неоднорідності для крайніх випадків рівна, згідно [8], одночасно максимальним похибкам неоднорідності та дрейфу ФП термопари.

Однак, отримані таким шляхом максимальні значення дрейфів хромелевого  $\Delta E_X$  і алюмелевого  $\Delta E_A$  електродів не відповідають експериментальним дослідженням [13], що послужили основою для апроксимацій (2) і (3). Це пов'язано з тим, що при апроксимації результати експериментальних досліджень [13] були прирівняні до максимального значення дрейфу, а при традиційних експериментальних дослідженнях дрейфу термопари розміщують в сталому температурному полі та вимірюють зміну їх термо-е.р.с. Як було показано у [8], такі дослідження дають занижені значення дрейфу через те, що, згідно [13], швидкість дрейфу залежить від температури експлуатації, а отримані при традиційних дослідженнях значення дрейфу термопар містять суму дрейфів ділянок, розміщених як при високих, так і при низьких температурах.

Основою для приведення у відповідність значень похибки набутої неоднорідності та дрейфу ФП термопар використаємо очевидну з даних [13] подібність кривих дрейфу термоелектродів для різних температур і часу експлуатації. Тому введемо коефіцієнти пропорційності  $K_p$ , рівні відношенню експериментально визначеного в [13] дрейфу ФП кожного термоелектрода  $\Delta E_{DR}^{t_{max}}$  для максимальної температури експлуатації (і для відповідного часу експлуатації) до обчисленої максимальної похибки набутої неоднорідності  $\Delta E_{NEOD}$  даного термоелектрода

$$K_p = \frac{\Delta E_{DR}^{t_{max}}}{\Delta E_{NEOD}}. \quad (6)$$

Таким чином, формули (4), (5) при використанні слід множити на відповідний  $K_p$  і отриманий з допомогою описаної методики максимальний дрейф буде відповідати результатам експерименту [13].

Приведена вище методика дає змогу оцінити похибку від набутої неоднорідності для звичайних термопар, для ТЕП з КПТП її слід відповідно адаптувати. Підсистеми керування температурою, розміщені вздовж електродів головної термопари, протидіють зміні профілю температурного поля електродів головної термопари, не дивлячись на зміну зовнішнього температурного поля. Тому при обчисленні відхилення ФП хромелевого  $\Delta E_X$  і алюмелевого  $\Delta E_A$  електродів від номінальної після зміни профілю температурного

поля, виконується умова  $t_{di} \approx t_{ei}$ , а не умова  $t_{di} \neq t_{ei}$ . Однак різниця температур  $\Delta t_i = t_{di} - t_{ei}$  все таки не рівна нулю, що зумовлює некомпенсовану похибку неоднорідності. Різниця температур  $\Delta t_i = t_{di} - t_{ei}$  визначається, згідно [17], впливом зовнішнього температурного поля на внутрішнє та похибкою керування профілем температурного поля. Ці похибки були експериментально досліджені у [18].

Вплив зовнішнього профілю температурного поля на внутрішній  $\Delta t_p$  визначається добутком зміни зовнішньої температури  $\Delta t_z$  на визначений у [18] коефіцієнт проникнення  $K_{REAL}$ . Зміна  $\Delta t_z$  для ділянок ТЕП з КППП, що розміщені в зоні зміни профілю зовнішнього температурного поля, буде визначатися зміною  $\Delta t_{MAX}$  тої ділянки, для якої зміна зовнішнього поля максимальна. Інші ділянки будуть мати меншу зміну і будуть покриті цією максимальною зміною. Для макетного взірця ТЕП з КППП визначений у [18] коефіцієнт проникнення  $K_{REAL} \leq 0,04$ .

Похибка керування профілем температурного поля  $\Delta t_K$ , досліджена у [19], досягає для макетного взірця 1,3°C. Слід відзначити, що  $\Delta t_K$  буде випадковою і буде накладатися на похибку впливу зовнішнього профілю температурного поля на внутрішнє  $\Delta t_p$  як шум вищої частоти. Тоді для визначення максимального значення невиключеної похибки від набутої неоднорідності значення температури діапазону  $t_{di}$  слід розраховувати за формулою

$$t_{di} = t_{ei} + 2\Delta t_K + \Delta t_p. \quad (7)$$

При обчисленні значення невиключеної похибки від набутої неоднорідності, у формули (4), (5) як значення  $t_{ei}$  для ділянок вище 8-ої слід підставляти 800°C бо підсистеми керування профілем температурного поля ТЕП з КППП, для компенсації максимальних змін профілю зовнішнього температурного поля, утримують профіль А,В2,Д.

#### Результати дослідження невиключеної похибки від неоднорідності

Згідно приведеної вище методики оцінено похибки від набутої неоднорідності термоелектродів від зміни профілю зовнішнього температурного поля як окремо для хромелевого і алюмелевого термоелектродів, так і для термопари типу ХА в цілому, а також ТЕП з КППП. Давачі експлуатувалися при температурі робочого з'єднання 800°C і профілі температурного поля А,В,С,Д (див. рис. 1) на протязі 1000 годин.

На рис. 2, 3 і 4 показано залежності похибки від набутої неоднорідності відповідно хромелевого та алюмелевого електродів, а також звичайної термопари типу ХА. Коефіцієнти пропорційності  $K_p$ , визначені згідно (6), рівні 2,11 для хромелю і 1,39 для алюмелю відповідно. Як видно з графіків рис. 2, 3 і 4, максимальна термо-е.р.с. неоднорідності сягає 250, 190 і 430 мкВ. Останнє значення термо-е.р.с. приблизно відповідає похибці від набутої неоднорідності 11°C.



Рис. 2. Похибка від набутої неоднорідності хромелевого електроду звичайної термопари

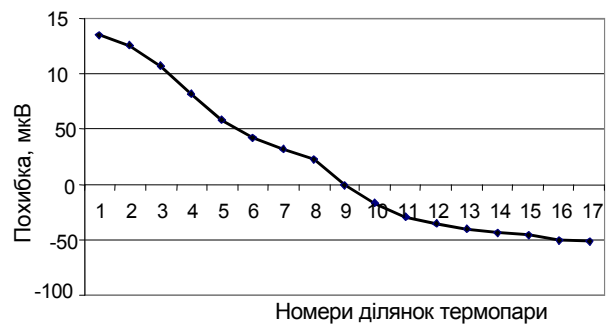


Рис. 3. Похибка від набутої неоднорідності алюмелевого електроду звичайної термопари

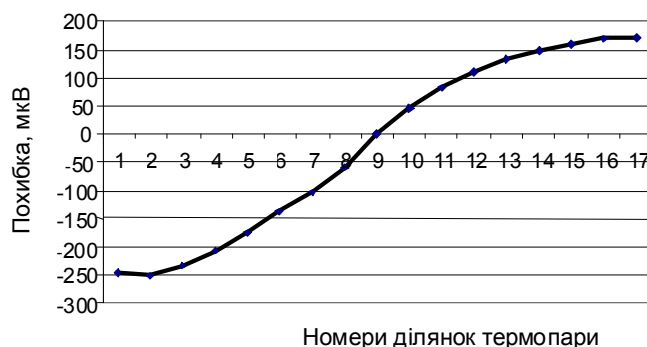


Рис. 4. Похибка від набутої неоднорідності звичайної термопари типу ХА при 1000 годинах експлуатації при температурі 800°C

На рис. 5, 6 і 7 показано залежності невиключеної похибки від неоднорідності хромелевого та алюмелевого електродів ТЕП з КПТП, а також ТЕП з КПТП в цілому. Як видно з графіків, максимальна невиключена похибка сягає 4, 3 і 7 мкВ. Останнє значення термо-е.р.с. приблизно відповідає невиключеній похибці від неоднорідності 0,18°C.



Рис. 5. Невиключена похибка від неоднорідності хромелю в ТЕП з КПТП

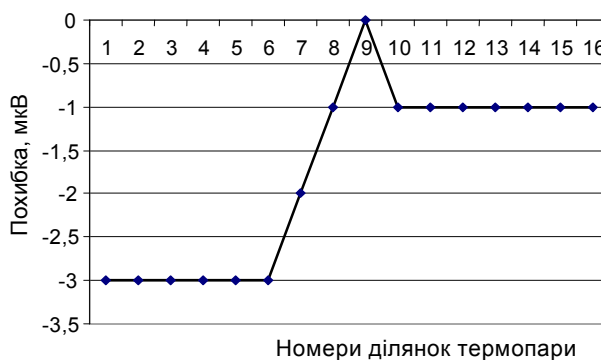


Рис. 6. Невиключена похибка від неоднорідності алюмелю в ТЕП з КПТП

Слід відзначити, що, незважаючи на високу ефективність компенсації похибки головної термопарі ТЕП з КПТП від набутої неоднорідності, при сталому профілі температурного поля об'єкта вимірювання ця похибка для звичайних термопар є меншою. Адже для ТЕП з КПТП похибка керування профілем температурного поля діє завжди, тому навіть при строго сталому профілі температурного поля об'єкта невиключена похибка від неоднорідності себе проявляє. Тому доцільно дослідити коефіцієнт ефективності ТЕП з КПТП і визначити межі, коли його слід використовувати.

Коефіцієнт ефективності  $K_{EF}$  ТЕП з КПТП можна визначити виходячи з відношення похибки звичайної термопарі  $\Delta_{TEP}$  до похибки ТЕП з КПТП  $\Delta_{TEPKPTP}$  для заданої зміни профілю температурного поля об'єкта. Графіки залежності  $K_{EF}$  від зміни профілю температурного поля подано на рис. 8, звідки видно, що найвищу ефективність ТЕП з КПТП забезпечує при великих змінах профілю температурного поля. Межею доцільності його використання є умова  $K_{EF} = 1$ . З рис. 8 межу  $K_{EF} = 1$  визначити важко, тому відповідні межі вказані в таблиці 4.1.



Рис. 7. Невиключена похибка від неоднорідності головної термопарі ТЕП з КПТП



Рис. 8. Коефіцієнт ефективності застосування ТЕП з КПТП

Як видно з таблиці 1, межі доцільного використання ТЕП з КПТП відповідають доволі малим змінам профілю температурного поля, що підтверджує його ефективність при компенсації впливу похибки від набутої в процесі тривалої експлуатації термоелектричної неоднорідності електродів термопарі на результат вимірювання температури.

Межі зміни профілю температурного поля об'єкта вимірювання, вище яких доцільно використати ТЕП з КПТП

**Висновки**

Аналізуючи представлені в статті дані, можна зробити наступні висновки:

Значення максимальної похибки вимірювання температури від набутої в процесі тривалої експлуатації термоелектричної неоднорідності для звичайних термопар може перевищувати 10°C, чим не

Таблиця 1

Напрямок зміни профілю температурного поля	
До зльоту порівняння	До робочого зльоту
7°C	6,5°C

можна нехтувати;

Максимальна чутливість як звичайних термопар, так і ТЕП з КППП до зміни профілю температурного поля об'єкта вимірювання характерна для малих змін профілю, що сприяє максимальному впливу похибки від набутої термоелектричної неоднорідності на результат вимірювання температури і робить цю похибку ще небезпечнішою;

Ефективність запропонованого ТЕП з КППП доволі висока – максимальне значення похибки від набутої термоелектричної неоднорідності термоелектродів головної термопари зменшується в декілька десятків разів.

Висока ефективність компенсації похибки від набутої термоелектричної неоднорідності дає змогу впевнено, з високою надійністю, використовувати всі методи корекції дрейфу, запропоновані в [1, 3, 4];

Висока ефективність ТЕП з КППП підтверджена вище для відносно великих змін профілю температурного поля об'єкта вимірювання. Вона досягнута за рахунок відносно великої конструктивної складності запропонованої конструктивної схеми ТЕП з КППП [10 - 12]. Але недослідженою залишається залежність невиключеної похибки від набутої термоелектричної неоднорідності головної термопари ТЕП з КППП від його конструктивної складності для заданих змін профілю температурного поля об'єкта. Необхідно створити теоретичні засади проектування ТЕП з КППП для забезпечення необхідної точності результатів вимірювання температури в заданих умовах.

При стабільному профілі температурного поля ТЕП з КППП мають більшу похибку ніж класичні ТЕП через вплив похибки системи регулювання температури, її зменшення розширює межі ефективного застосування ТЕП з КППП.

### Література

1. Саченко А.А. Разработка методов повышения точности и создание систем прецизионного измерения температуры для промышленных технологий: дис. ... доктора техн. наук : 05.11.16 / Саченко Анатолий Алексеевич. – Ленинград, 1988. – 278 с.
2. Кочан В.В. Электрические измерители температуры повышенной точности со встроенными калибраторами : автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.11.05 «Методы и средства измерения электрических и магнитных величин» / В.В. Кочан. – Киев, 1989. – 18 с.
3. Березький О.М. Системи вимірювання температури з елементами штучного інтелекту: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.11.04 "Прилади та методи вимірювання теплових величин" / О.М. Березький. – Львів, 1996. – 20 с.
4. Турченко В.О. Нейромережеві методи і засоби підвищення ефективності дистрибутивних мереж збору та обробки сенсорних даних: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.13.13 «Обчислювальні машини, системи, мережі» / В.О. Турченко. – Львів, 2001. – 16 с.
5. Fluke and Philips Catalog. 2006.
6. Енциклопедія термометрії / Я.Т. Луцик, Л.К. Буняк, Ю.К. Рудавський, Б.І. Стадник. – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2003. – 428 с.
7. Киренков И.И. Некоторые законы термоэлектрической неоднородности/ И.И. Киренков // Исследование в области температурных измерений: Сб.тр. – Москва: ВНИИМ. – 1976. – С. 11-15.
8. Кочан О.В. Оцінка максимальної похибки неоднорідних термопар / О.В. Кочан, Р.В. Кочан, В.Я. Яскілка, Н.М.Васильків // Вісник Тернопільського Державного Технічного Університету. – 2007. - №1 - С. 122-129.
9. Н.М. Васильків Дослідження похибки вимірювання температури від набутої термоелектричної неоднорідності / Н.М. Васильків, О.В. Кочан В.В. Кочан А.О. Саченко.// Вимірювальна техніка та метрологія. – 2009. – №70. – С. 110–117.
10. Пат. № 97464 Україна, G01k. Термоелектричний перетворювач / Кочан О.В., Кочан Р.В. - Заявник і патентовласник НДІ Інтелектуальних комп'ютерних сис-тем. Заявл. 22.02.2007.
11. Кочан О.В. Термоелектричний перетворювач з керованим профілем температурного поля / Кочан О.В. // Вісник Тернопільського Державного Технічного Університету. - 2008. - N2. - С. 102-108.
12. Кочан О.В. Термоелектричний перетворювач з керованим профілем температурного поля: дисертація на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.11.04 "Прилади та методи вимірювання теплових величин"/ О.В. Кочан - Львів, 2010. – 155 с.
13. Рогельберг Н.А. Изменения термоэлектрической силы проволок из хромеля и алюмеля при нагреве на воздухе при 800°C продолжительностью до 10000 ч. Том III./Рогельберг Н.А.,Пигидина Э.Н.,Покровская Г.Н.и др.– Сб. Исследование сплавов для термопар.–Труды института Гипроцветметобработка. – Москва: Металлургия,1969.
14. Мильченко В.Ю. Исследование методов и разработка средств поверки термоэлектрических преобразователей из благородных металлов: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук : спец. 05.11.15 «Метрологическое обеспечение по отраслям»/ В.Ю. Мильченко. – Москва, - 1984. – 25 с.
15. Чирка М.І. Підвищення точності вимірювання температури термоелектричними перетворювачами в нерівномірних теплових полях : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.11.04 "Прилади та методи вимірювання теплових величин" / М.І. Чирка. – Львів, 1997. – 20 с.

16. Васильків Н.М. Підвищення точності вимірювання температури термopарамі в процесі експлуатації: дисертація на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.11.04 "Прилади та методи вимірювання теплових величин" / Н.М. Васильків - Львів, 2010. – 158 с.

17. Кочан О.В. Аналіз похибки вимірювання температури термоелектричним перетворювачем з керованим профілем температурного поля / О.В. Кочан // Науковий Вісник ЧНУ. Фізика. Електроніка. - 2008. - №423. - С. 124-129.

18. Н.М. Васильків, О.В. Кочан, В.Я. Яскілка. Стенд дослідження термоелектричних перетворювачів з керованим профілем температурного поля / Н.М. Васильків, О.В. Кочан, В.Я. Яскілка // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – 2009. - №1. - С. 122-130.

19. Кочан О.В. Оцінка похибки вимірювання температури з допомогою термоелектричного перетворювача з керованим профілем температурного поля / О.В. Кочан, Р.В. Кочан // Вісник Хмельницького національного університету. – 2007. - №2, том 1 технічні науки. - С. 237-241.

20. Кочан О.В. Термоелектричний перетворювач з корекцією похибки неоднорідності / О.В. Кочан // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2008. - випуск 68. – С. 144-153.

#### References

1. Sachenko A.A. Razrabotka metodov povyshenija tochnosti i sozdanie sistem precizionnogo izmerenija temperatury dlja promyshlennyh tehnologij: dis. ... doktora tehn. nauk : 05.11.16 / Sachenko Anatolij Alekseevich. – Leningrad, 1988. – 278 s.

2. Kochan V.V. Jelektricheskie izmeriteli temperatury povyshenoj tochnosti so vstroennymi kalibratorami : avtoref. dis. na soiskanie uchenoj stepeni kand. tehn. nauk: 05.11.05 «Metody i sredstva izmerenija jelektricheskikh i magnitnyh velichin» / V.V. Kochan. – Kiev, 1989. – 18 s.

3. Berez'kyj O.M. Systemy vymirjuvannja temperatury z elementamy shtuchnogo intelektu: avtoref. dys. na zdobuttja nauk. stupenja kand. tehn. nauk: spec. 05.11.04 "Prylady ta metody vymirjuvannja teplovyh velychyn" / O.M. Berez'kyj. – L'viv, 1996. – 20 s.

4. Turchenko V.O. Nejromerezhevi metody i zasoby pidvyshhennja efektyvnosti dystributyvnyh merezh zboru ta obrobky sensoryh danyh: avtoref. dys. na zdobuttja nauk. stupenja kand. tehn. nauk: spec. 05.13.13 «Obchysljuval'ni mashyny, systemy, merezhi» / V.O. Turchenko. – L'viv, 2001. – 16 s.

5. Fluke and Philips Catalog, 2006.

6. Encyklopedija termometrii / Ja.T. Lucyk, L.K. Bunjak, Ju.K. Rudavs'kyj, B.I. Stadnyk. – L'viv: Vydavnytstvo Nacional'nogo universytetu "L'vivs'ka politehnika", 2003. – 428 s.

7. Kirenkov I.I. Nekotorye zakony termoelektricheskoy neodnorodnosti/ I.I. Kirenkov // Issledovanie v oblasti temperaturnyh izmerenij: Sb.tr. – Moskva: VNIIM. – 1976. – S. 11-15.

8. Kochan O.V. Ocinka maksimal'noi' pohybky neodnorodnyh termopar / O.V. Kochan, R.V. Kochan, V.Ja. Jaskilka, N.M. Vasy'l'kiv // Visnyk Ternopil'skogo Derzhavnogo Tehnichnogo Universytetu. – 2007. - №1 - С. 122-129.

9. N.M. Vasy'l'kiv Doslidzhennja pohybky vymirjuvannja temperatury vid nabutoi' termoelektrychnoi' neodnorodnosti / N.M. Vasy'l'kiv, O.V. Kochan V.V. Kochan A.O. Sachenko // Vymirjuval'na tehnika ta metrologija. – 2009. – №70. – S. 110–117.

10. Pat. № 97464 Ukraїna, G01k. Termoelektrychnyj peretvorjuvach / Kochan O.V., Kochan R.V. - Zajavnyk i patentovlasnyk NDI Intelektual'nyh komp'juternyh sys-tem. Zajavl. 22.02.2007.

11. Kochan O.V. Termoelektrychnyj peretvorjuvach z kерованим профілем температурного поля / Kochan O.V. // Visnyk Ternopil'skogo Derzhavnogo Tehnichnogo Universytetu. - 2008. - N2. - S. 102-108.

12. Kochan O.V. Termoelektrychnyj peretvorjuvach z kерованим профілем температурного поля: dysertacija na zdobuttja nauk. stupenja kand. tehn. nauk: spec. 05.11.04 "Prylady ta metody vymirjuvannja teplovyh velychyn" / O.V. Kochan - L'viv, 2010. – 155 s.

13. Rogel'berg N.A. Izmenenija termoelektricheskoy sily provolok iz hromelja i aljumelja pri nagreve na vozduhe pri 800°S prodolzhitel'nost'ju do 10000 ch. Tom III/Rogel'berg N.A., Pigidina Je.N., Pokrovskaja G.N.i dr. – Sb. Issledovanie splavov dlja termopar.–Trudy instituta Giprocvetmetobrabotka. – Moskva: Metallurgija, 1969.

14. Mil'chenko V.Ju. Issledovanie metodov i razrabotka sredstv poverki termoelektricheskikh preobrazovatelej iz neblagorodnyh metallov: avtoref. dis. na soiskanie uchenoj stepeni kand. tehn. nauk : spec. 05.11.15 «Metrologicheskoe obespechenie po otrasljam»/ V.Ju. Mil'chenko. – Moskva, - 1984. – 25 s.

15. Chyrka M.I. Pidvyshhennja tochnosti vymirjuvannja temperatury termoelektrychnymy peretvorjuvachamy v nerivnomirnyh teplovyh poljah : avtoref. dys. na zdobuttja nauk. stupenja kand. tehn. nauk: spec. 05.11.04 "Prylady ta metody vymirjuvannja teplovyh velychyn" / M.I. Chyrka. – L'viv, 1997. – 20 s.

16. Vasy'l'kiv N.M. Pidvyshhennja tochnosti vymirjuvannja temperatury termoparamy v procesi ekspluatacii: dysertacija na zdobuttja nauk. stupenja kand. tehn. nauk: spec. 05.11.04 "Prylady ta metody vymirjuvannja teplovyh velychyn" / N.M. Vasy'l'kiv - L'viv, 2010. – 158 s.

17. Kochan O.V. Analiz pohybky vymirjuvannja temperatury termoelektrychnym peretvorjuvachem z kерованим профілем температурного поля / O.V. Kochan // Naukovyj Visnyk ChNU. Fyzyka. Elektronika. - 2008. - №423. - S. 124-129.

18. N.M. Vasy'l'kiv, O.V. Kochan, V.Ja. Jaskilka. Stend doslidzhennja termoelektrychnykh peretvorjuvachiv z kерованим профілем температурного поля / N.M. Vasy'l'kiv, O.V. Kochan, V.Ja. Jaskilka // Visnyk Ternopil'skogo derzhavnogo tehnichnogo universytetu. – 2009. - №1. - S. 122-130.

19. Kochan O.V. Ocinka pohybky vymirjuvannja temperatury z dopomogou termoelektrychnogo peretvorjuvacha z kерованим профілем температурного поля / O.V. Kochan, R.V. Kochan // Visnyk Hmel'nyc'kogo nacional'nogo universytetu. – 2007. - №2, том 1 технічні науки. - S. 237-241.

20. Kochan O.V. Termoelektrychnyj peretvorjuvach z korekcijeju pohybky neodnorodnosti / O.V. Kochan // Vymirjuval'na tehnika ta metrologija. – 2008. - vypusk 68. – С. 144-153.

Рецензія/Peer review : 24.7.2013 р.

Надрукована/Printed :24.10.2013 р.