

**С.І. КОНДРАШОВ**, д-р техн. наук, професор НТУ «ХПІ»  
**Т.В. ЧУНІХІНА**, канд. техн. наук, доцент НТУ «ХПІ»

## **АНАЛІЗ ДИНАМІЧНОЇ СКЛАДОВОЇ ПОХИБКИ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ПРИ ЗДІЙСНЕННІ РЕПЕРНОГО РЕЛЯЦІЙНО-РІЗНИЦЕВОГО КОНТРОЛЮ МХ ТЕП**

Статья посвящена исследованию динамической погрешности измерения температуры при реализации бездемонтажного реперного реляционно-разностного метода контроля метрологических характеристик термоэлектрических преобразователей. Проведен расчет динамической погрешности при тестовом контроле термодпары градуировки хромель-копель.

The paper is devoted to the research of the dynamical error of the reper relative-difference method of the non-dismantling test check of the thermoelectrical converters' metrological characteristics. The dynamical error of the test check of the thermoelectrical converter (the nominal statistic characteristic of convert – L) with the choiced input data was defined.

Точнісні характеристики (ТХ) первинних вимірювальних перетворювачів (ПВП) у значній мірі визначають точність вимірювальних каналів автоматизованих інформаційних систем контролю і керування (АІСКК) та безпеку контрольованих об'єктів. З іншого боку, необхідність довготривалої безперервної роботи вимірювальних перетворювачів на об'єкті у складі АІСКК не дозволяє їх демонтувати для здійснення періодичної перевірки. Ці факти обумовлюють необхідність розробки і дослідження бездемонтажних методів контролю метрологічних характеристик (МХ) електричних вимірювальних перетворювачів, які б дозволили здійснювати поточний контроль і корекцію метрологічних характеристик вимірювальних перетворювачів з нелінійними функціями перетворення (ФП) у процесі їх роботи на об'єкті.

Стосовно до термоелектричних перетворювачів (ТЕП) можна виділити дві групи бездемонтажних методів контролю їх метрологічних характеристик – методи калібраторів [1, 2] та тестові структурно-алгоритмічні методи, які базуються на використанні ефектів Джоуля та Пельтьє [3]. Об'єднання методів калібраторів і тестових впливів надало можливість позбавитись їх недоліків. Результатом синтезу зазначених методів став новий реперний реляційно-різницевий спосіб бездемонтажного контролю ТХ ТЕП [4], суть якого полягає у створенні тестових впливів на термодпару за рахунок ефектів Пельтьє і Джоуля в околах робочої та реперної точок реальної ФП ТЕП.

Метою даною статті є дослідження динамічної похибки, яка зумовлена зміною температури контрольованого об'єкту під час здійснення на термодпару тестових впливів. До теперішнього часу розробниками систем бездемонтажного тестового контролю метрологічних

характеристик електричних вимірювальних перетворювачів подібні дослідження не проводилися.

Оцінка дійсного значення вимірюваної температури при реалізації запропонованого реперного реляційно-різницевого контролю розраховується за формулою

$$T_X = \frac{(E_X^{III} - E_X^{II})(E_\Phi^{III} + E_\Phi^{II} - 2E_\Phi^I)^2}{(E_\Phi^{III} - E_\Phi^{II})(E_X^{III} + E_X^{II} - 2E_X^I)^2} T_\Phi, \quad (1)$$

де  $E_X^I$ ,  $E_\Phi^I$  – значення вихідного сигналу ТЕП при вимірюванні невідомої температури  $T_X$  та номінальної  $T_\Phi$ , відповідно;

$E_X^{II}$ ,  $E_X^{III}$  – значення вихідного сигналу ТЕП після здійснення тестових впливів на термопару в околі робочої точки;

$E_\Phi^{II}$ ,  $E_\Phi^{III}$  – значення вихідного сигналу ТЕП після здійснення тестових впливів на термопару в околі номінальної точки.

Тестові впливи за запропонованим способом проводяться в околі двох точок – робочої  $T_X$  та номінальної  $T_n$ , за яку прийнято температуру фазового переходу реперного матеріалу. Передбачається, що на протязі часу здійснення тестового контролю в околі точки  $T_n$  температура фазового переходу залишається сталою, тому можна вважати, що прирощення сигналу в околі номінальної точки не будуть мати динамічної похибки. Тоді формула (1) переписується таким чином

$$T_X = \frac{(E_X^{III} - E_X^{II})}{(E_X^{III} + E_X^{II} - 2E_X^I)^2} \cdot c \cdot T_n,$$

$$\text{де } c = \frac{(E_n^{III} + E_n^{II} - 2E_n^I)^2}{(E_n^{III} - E_n^{II})} - \text{співмножник у формулі (1), вільний}$$

від динамічної похибки.

Переписемо формулу (1) через різниці першого порядку, враховуючи, що  $E_X^{III} + E_X^{II} - 2E_X^I = (E_X^{III} - E_X^I) + (E_X^{II} - E_X^I)$

$$T_X = \frac{\Delta y_2 - \Delta y_3}{(\Delta y_2 + \Delta y_3)^2} \cdot c \cdot T_n, \quad (2)$$

де  $\Delta y_2$  – прирощення вихідного сигналу ТЕП після нагрівання термопари;

$\Delta y_3$  – прирощення вихідного сигналу ТЕП після охолодження термопари;

$T_n$  – температура фазового переходу реперного матеріалу.

Вимірювана температура  $T_X$  представляє собою результати нелінійних опосередкованих вимірювань. Абсолютну похибку вимірювання температури  $T_X$  з урахуванням того, що різниці першого порядку формули (2) мають динамічні похибки, можна обчислити, користуючись методикою обробки опосередкованих вимірювань [5]

$$\Delta_{dyn} T_X = \sum_{k=1}^2 \frac{\partial T_X}{\partial \Delta y_k} \Delta_{dyn} (\Delta y_k), \quad (3)$$

де  $\Delta y_k$  – різниці першого порядку формули (4.18);

$\Delta_{dyn} (\Delta y_k)$  – динамічні похибки вимірювання різниць першого порядку.

Динамічну похибку при вимірюванні різниці першого порядку  $\Delta y_2$  можна обчислити з виразу

$$\Delta_{dyn} (\Delta y_2) = \frac{\partial \Delta y_2}{\partial t} \cdot t_2 = \alpha \cdot t_2, \quad (4)$$

де  $\alpha$  – швидкість зміни різниці першого порядку від зміни вимірюваної температури;

$t_2$  – час нагрівання термомпери від значення  $E_X''$  до  $E_X'''$ .

Динамічну похибку при вимірюванні різниці першого порядку  $\Delta y_3$  можна обчислити з виразу

$$\Delta_{dyn} (\Delta y_3) = \frac{\partial \Delta y_3}{\partial t} \cdot t_1 = \alpha \cdot t_1, \quad (5)$$

де  $\alpha$  – швидкість зміни різниці першого порядку від зміни температури;

$t_1$  – час охолодження термомпери від значення  $E_X'$  до  $E_X''$ .

Обчислимо часткові похідні по різницям першого порядку  $\Delta y_k$ :

$$\frac{\partial T_X}{\partial (\Delta y_2)} = \frac{3\Delta y_3^2 + 2\Delta y_2 \Delta y_3 - \Delta y_2^2}{(\Delta y_2 + \Delta y_3)^4} \cdot c \cdot T_n,$$

$$\frac{\partial T_X}{\partial (\Delta y_3)} = \frac{\Delta y_3^2 - 2\Delta y_2 \Delta y_3 - 3\Delta y_2^2}{(\Delta y_2 + \Delta y_3)^4} \cdot c \cdot T_n.$$

Перейдемо до відносного значення динамічної похибки вимірювання температури шляхом ділення часткових похідних (4.19) на  $T_X$

$$\delta_{dyn} T_X = \frac{\alpha}{(\Delta y_2 - \Delta y_3)(\Delta y_2 + \Delta y_3)^2} \left[ t_2 (3\Delta y_3^2 + 2\Delta y_2 \Delta y_3 - \Delta y_2^2) + t_1 (\Delta y_3^2 - 2\Delta y_2 \Delta y_3 - 3\Delta y_2^2) \right]. \quad (6)$$

Розрахуємо динамічну похибку за такими вихідними даними: термопара градування хромель-копель [6],  $T_X = 300^{\circ}\text{C}$ , значення тестів  $\theta_1 = 10^{\circ}\text{C}$ ,  $\theta_2 = -7^{\circ}\text{C}$ ,  $t_1 = 40\text{c}$ ,  $t_2 = 100\text{c}$ .

Формула (6) набуде вигляду

$$\delta_{dyn} T_X = -1,045 \cdot \alpha. \quad (7)$$

З формули (7) розрахуємо допустиму швидкість зміни різниці першого порядку від зміни вимірюваної температури, щоб значення динамічної похибки вимірювання температури дорівнювало

$$\delta_{dyn} T_X = 0,2\% = 0,002. \text{ Тоді з (7) отримаємо } \alpha = \frac{0,002}{1,045} \approx 0,002 \left[ \frac{\text{мкВ}}{\text{c}} \right].$$

Враховуючи, що чутливість термопари  $S \approx 60 \left[ \frac{\text{мкВ}}{^{\circ}\text{C}} \right]$ , визначимо

швидкість зміни різниці першого порядку у перерахунку на  $^{\circ}\text{C}$

$$\alpha' = \frac{\alpha}{S} = \frac{0,002}{60} = 0,33 \cdot 10^{-4} \left[ \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{c}} \right].$$

За час тестування  $t = 100\text{c}$  допустиме прирощення температури при вимірюванні різниці першого порядку не повинно бути більшим  $0,3 \cdot 10^{-2} (^{\circ}\text{C})$ .

Таким чином, проведені дослідження надали можливість визначити швидкість зміни різниці першого порядку для забезпечення значення динамічної похибки на рівні 0,2%. Такі швидкості зміни вимірюваної температури відповідають інерційності термоелектричних перетворювачів занурюваного типу зі сталими часу  $\tau = (5 \div 10)$  хвилин.

**Список літератури:** 1. А.с. 1796919 А1 СССР, МКИ<sup>3</sup> G 01 K 7/02. Способ определения температуры / Ю.В. Поздняков, В.Н. Учанин, Ю.М. Мирош, В.Р. Фесенко (СССР). – № 4866630/10; заявл. 21.06.90; опубл. 23.02.93, Бюл. № 7. 2. Поверка датчиков температуры на объекте (бездемонтажная поверка). Термопара со встроенной реперной точкой [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.temperatures.ru>. 3. Головка Д.Б., Скрипник Ю.О., Хімичева Г.І. Структурно – алгоритмічні методи підвищення точності вимірювання температури. – К.: ФАДА ЛТД, 1999, - 206 с. 4. Патент 45037 А України, МПК G 01 K 7/02 Спосіб вимірювання температури та пристрій для його здійснення/ Діденко К.І., Кондрашов С.І., Чуніхіна Т.В. - № 2001031746. Заявлено 15.03.2001. Рішення від 24.12.2001. Опубл. 15.03.2002; Бюл. № 3. – 2 с. 5. МИ 2083 – 90. Государственная система обеспечения единства измерений. Рекомендация. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценка их погрешностей. 6. ДСТУ 2834-94 (ГОСТ 3044-94) Преобразователи термоэлектрические. Номинальные статические характеристики преобразования. Введен 01.01.1997.

*Надійшла до редколегії 21.12.2010*