

Мірні піпетки 2 кл. ГОСТ 20292–74

Об'єм (V_i), мл	1	2	5	10	20
$S_{МП}$, %	1.0	1.0	1.0	1.0	0.4

Мірні колби 2 кл. ГОСТ 1770–74

Об'єм (V_i), мл	50	100	200	500	1000	2000
$S_{МК}$, %	0,2	0,2	0,15	0,06	0,06	0,05

Температурна складова похибки

$(T \pm \Delta T)$, °C	20 ± 5
S_T , %	0.103

Практика здійснення МЛЕ підтвердила доцільність вибору мірного посуду і кількості етапів розчинення КР так, щоб сумарна відносна похибка S_T приготованого розчину не перевищувала $\pm 2\%$.

Висновок. Достовірність вимірювань під час МЛЕ залежить від багатьох чинників процесу вимірювань.

Врахування складової похибки під час приготування КР дасть змогу підвищити точність МЛЕ.

1. *Постанова Кабінету Міністрів України від 30.03.1998 р. № 391 “Про затвердження положення про державну систему моніторингу довкілля”, п.14.*
 2. *Друзюк В.М., Сидорко І.І. Державний метрологічний нагляд. Міжлабораторний експеримент-основа єдності вимірювань // Вимірвальна техніка та метрологія. – 2001. – № 58. – С. 129–132.*
 3. *ГОСТ 8.315–97 Стандартные образцы состава и свойств веществ и материалов.*
 4. *Інструкція про порядок перевірки точності результатів вимірювань у вимірвальних лабораторіях (ІМУ15-99). Затверджена наказом Держстандарту України 12.08.99 р. за № 99, затверджена Мін'юстом України 2.12.99 р. за №833/4126.*

УДК 536.532

МЕТРОЛОГІЧНА ПЕРЕВІРКА СЕНСОРІВ ТЕМПЕРАТУРИ В УМОВАХ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

© Володимир Цигика, Ігор Курітник, 2003

Університет в Бельско-Бяла, кафедра “Електротехніка і автоматика”,
вул. Віллова, 2, 43309, Бельско-Бяла, Польща

Розглянуто спосіб перевірки термоелектричних сенсорів за допомогою нагрівання змінним електричним струмом з одночасним вимірюванням постійної термо-ЕРС компенсаційним методом. Область можливого застосування – контроль термонар в умовах експлуатації, що актуальний, коли демонтаж сенсорів з об'єкта ускладнений або неможливий.

Рассмотрен способ поверки термоэлектрических сенсоров посредством нагрева переменным электрическим током при одновременном измерении постоянной термо-ЭДС компенсационным методом. Область возможного применения – контроль термонар в условиях эксплуатации, что является актуальным для случаев усложненности или невозможности демонтажа сенсоров из объекта.

The method of checking of the thermoelectric sensors by heating by an alternating current with simultaneous measurements of the thermo-electromotive force is considered. This method can be used for control of the thermoelectric sensors of the temperature under operating conditions. Especially, this is actual in the cases, when removing sensors from an object is complicated or impossible.

Постановка проблеми. Перевірка (тестування, верифікація) термоелектричних сенсорів (ТС) температури здійснюється здебільшого в лабораторних умовах. Використовується один з двох методів: перевірка за реперними точками або перевірка порівнянням. Для

першого методу, який є найточнішим, потрібні чисті метали, що використовуються як реперні точки Міжнародної температурної шкали МТШ–90. Температури стану фазової рівноваги між твердою і рідкою фазами деяких точок такі: цинк – 419,523 °С, алюміній –

660,323 °С, срібло – 961,78 °С, золото – 1064,18 °С [1]. Для перевірки за реперними точками використовуються декілька технологій реалізації реперної точки: у графітовому тиглі, який поміщається в шахтну піч; за допомогою дротинки (пластинки), якою з'єднуються термоелектроди.

Аналіз рішень. Найбільша точність досягається, якщо використовується графітовий тигль, поміщений в шахтну піч. Реперна точка цинку за умови застосування дуже чистого цинку (99,9999 % Zn) відтворюється з похибкою до 0,2 мК, алюмінію і срібла – 1 мК [2]. А взагалі МТШ–90 відтворює термодинамічну температуру з похибкою ± 7 мК, якщо 900 К. Реперні точки та інтерполяційні прилади призначені для відтворення МТШ–90, а також міжнародних порівнянь.

Для перевірки технічних засобів вимірювання температури призначені зразкові (контрольні) прилади і використовується перевірка порівнянням. Зразкові засоби вимірювань на основі платинородієвої термопари ПР10/0 мають три розряди. Так, перший (найкращий) розряд в діапазоні 300–1100 °С має похибку 0,25–0,6 °С, третій – відповідно 0,8–2,0 °С [3].

ТС, як і їх чутливі елементи – термопари, які тривалий час знаходилися в об'єкті при високих температурах, нема сенсу перевіряти в лабораторних умовах. Термоелектроди стають неоднорідними за довжиною, а термо-ЕРС залежить від розкладу температури вздовж термопари. Відтворити саме такий розклад в лабораторії практично неможливо. Тому велике значення має перевірка ТС в умовах експлуатації. У [4] запропоновано пристрій для перевірки ТС, який вміщає контейнер з реперним матеріалом. Деталі контейнера виконано із термоелектродних матеріалів. Аналогічне запропоновано в роботах [5, 6].

Для перевірки порівнянням використовуються зразковий сенсор, термостати та потенціометр. Цікавим напрямком є нагрівання сенсорів електричним струмом, що застосовується як тестове збурення [7]. Однак, якщо є принципова можливість, слід констатувати складність практичної реалізації запропонованих способів стосовно ТС.

Метою роботи є спрощення методологій та засобів реалізації перевірки термоелектричних сенсорів.

Розглянуто порівняно простий спосіб контролю ТС за допомогою тестування змінним електричним струмом з одночасним вимірюванням термо-ЕРС компенсаційним методом. Для тестового нагрівання ТС використовують зрівноважений міст змінного струму.

Принципова електрична схема пристрою для контролю ТС наведена на рисунку.

На схемі термопари тестованого E_x і зразкового E_0 ТС, електроопір яких R_x та R_0 , ввімкнені послідовно в плече моста змінного струму. Як мілівольтметр використовують потенціометр постійного струму. Умова зрівноваженості моста $C_1(R_x + R_0) = C_2 \cdot R$, де R – електроопір магазину опорів. Якщо виконується ця умова, змінний струм через нуль-індикатор потенціометра не протікає. Як нуль-індикатор потенціометра використовують гальванометр магнітоелектричної системи. Якщо міст розбалансовано, стрілка гальванометра починає вібрувати, що дає змогу контролювати ступінь зрівноваженості мостової схеми. Живиться схема від ферорезонансного стабілізатора напруги (елементи L_1, L_2, C).

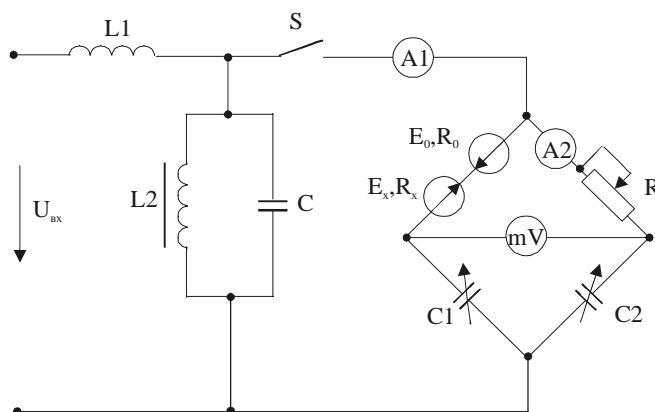
Струм плечей моста регулюють, змінюючи ємності C_1, C_2 , які також відіграють роль роздільних конденсаторів, що відмежовують вимірювальне коло постійного струму від кола електронагрівача. Змінний струм, який контролюється амперметрами A_1 та A_2 , не повинен перевищувати допустиме для цього діаметра термоелектродів значення.

Нагрівання легко регулюється в широкому діапазоні температур: якщо необхідно, ΔT може становити 100 °С і більше. Але треба враховувати можливу температурну залежність коефіцієнта термо-ЕРС $\alpha(\Delta T)$, тому оптимальне значення ΔT становить 20–30 °С.

Перевірка ТС полягає у вимірюванні напруги $U' = U_x - U_0$ до пропускання змінного струму через диференціальне увімкнення термопар та напруги $U'' = U'_x - U'_0$ після досягнення усталеного режиму нагрівання електрострумом. Значення $\Delta U = U'_x - U'_0$ порівнюють з пороговим значенням ΔU_{nop} і роблять висновок про придатність ТС. Порогове значення різниці термо-ЕРС ΔU_{nop} встановлюють для конкретного типу ТС та умов експлуатації емпірично.

Комутація вимірювального та нагрівного кіл при цьому способі тестування термопар не потрібна, отже, вимірювання виконують після досягнення усталеного (стаціонарного) режиму. Але цей спосіб дає змогу вивчати також інерційні властивості ТС.

Запропонований спосіб і пристрій можна використати і для визначення температури T_x тестованого



Принципова схема пристрою для контролю ТС

ТС. Вважатимемо, що приріст температури ΔT термопар тестованого і зразкового ТС однаковий. Нехай U_0, U_x – термо-ЕРС зразкового і тестованого ТС до теплової дії струму, U'_0, U'_x – термо-ЕРС після досягнення усталеного режиму нагрівання електро-струмом. Змінюючи полярність увімкнення зразкового ТС, вимірюємо:

$$U_1 = U'_x + U'_0; \quad U_2 = U'_x - U'_0.$$

Розрахуємо значення U'_x та U'_0 :

$$U'_x = \frac{1}{2}(U_1 + U_2); \quad U'_0 = \frac{1}{2}(U_1 - U_2).$$

Отже, прирости напруг

$$\Delta U_0 = U'_0 - U_0; \quad \Delta U_x = U'_x - U_x.$$

Якщо використовується стабілізована змінна напруга живлення з відповідним коефіцієнтом стабілізації, прирости напруг ΔU_0 та ΔU_x можна безпосередньо виміряти, по чергово вмикаючи термопари в мостову схему.

Враховуючи, що $\Delta U_0 = \alpha_0 \Delta T$; $\Delta U_x = \alpha_x \Delta T$,

$$\text{знайдемо } \alpha_x = \frac{\alpha_0 \Delta U_x}{\Delta U_0}; \quad T_x = \frac{U_x}{\alpha_x}.$$

Поправки, зумовлені відмінністю ΔT зразкового і тестованого ТС, якщо вони вносять істотну похибку, можна визначити емпірично для конкретних ТС чи розрахувати. Зокрема, при температурній зміні електроопору R_x справджується співвідношення $\Delta T_0 / T_x = R_0 / R_x$ (без урахування тепловіддачі).

Отже, $\alpha_x = \frac{\alpha_0 \Delta U_x}{\Delta U_0} \cdot \frac{R_0}{R_x}$. Значення R_0 та R_x вимірюють мостовим методом.

Використовуючи принципову особливість – нагрівання змінним струмом з одночасним вимірюванням постійної термо-ЕРС – можна розробити модифікації цього способу: розташування тестованого і зразкового ТС в суміжних плечах моста; нагрівання зразкового ТС до досягнення значення термо-ЕРС тестованого тощо.

Вимірювання, виконані для ТС типу ТХК (з хромель-копелевими термопарами) ідентичної конструкції, один з яких був поміщений в нагрівачі, а інший знаходився при кімнатній температурі, показали, що запропонований спосіб дає змогу ефективно тестувати термоелектричні перетворювачі без їх демонтажу з об'єкта, використовуючи найчутливіші і найточніші методи вимірювання – компенсаційний та мостовий. Пристрій для тестування не містить складних елементів і приладів і може бути компактно виготовлений у переносному варіанті на базі стандартного потенціометра постійного струму.

1. Preston-Thomas H. *The International Temperature Scale of 1990 (ITS-90)* // *Metrologia*. – 1990. – P. 4–10. 2. Michalski L., Eckersdorf K., Kucharski I. *Termometria. Przyrządy i metody*. – Łódź: WPL, 1998. 3. Куритный И.П., Бурханов Г.С., Стадник Б.И. *Материалы высокотемпературной термометрии*. – М., 1986. 4. А.с. № 1415082 (СССР). *Устройство для проверки термоэлектрических преобразователей* / А.А. Саченко, В.Ю. Мильченко, И.П. Куритный, В.В. Кочан. – Опубл. в Б.И., 1988, № 29. 5. Ronsin H., Elgourdou M. *Extension of the minicell thermocouple calibration technique to the palladium fixed point* / *Tempmeko-96*. – Levrotto-Bella, Torino. – P. 189–194. 6. Lehman H., Bernhard F. *Self-calibration thermocouples* / *Tempmeko-96*. – Levrotto-Bella, Torino. – P. 195–206. 7. Куритник И.П. *Верифікація термоелектричних сенсорів температури без їх демонтажу з об'єкта* // *Вимірвальна техніка та метрологія*. – 2000. – Вип. 57. – С. 118–120.