

П.І. Скоропад, Я.Т. Луцик, В.В. Паракуда
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОНКОПЛІВКОВИХ ТЕРМОЕЛЕМЕНТІВ

© Скоропад П.І., Луцик Я.Т., Паракуда В.В., 2009

Запропоновано та проаналізовано методи визначення динамічних і теплофізичних властивостей тонкоплівкових термоелементів.

It was offered and analyzed the methods of determination of dynamical and warmly physical properties of thin thermocouples.

Вступ. Сьогодні дослідження як в галузі фундаментальних наук, так і в промисловості зумовлюють високий рівень вимог до точності та надійності первинних засобів вимірювання температури. Зasadничими вимогами, зокрема, є простота конструкції термоперетворювача, його низька термічна інерційність, малі розміри, висока надійність під час експлуатації в агресивних середовищах при високих значеннях температури та тиску.

З огляду задоволення згаданих вище вимог одними з найкращих є тонкоплівкові мікротермоелементи, котрі широко застосовуються, зокрема, навіть у ядерній енергетиці [1].

Мета та завдання роботи. При вимірюванні швидкозмінних температур для зменшення теплової інерційності використовують тонкоплівкові термоелементи з незахищеним робочим з'єднанням. Під час прецизійного вимірювання температури поверхні особливо треба пам'ятати, що спотворення температурного поля переважно залежить від співвідношення теплопровідностей матеріалів досліджуваного об'єкта та термоперетворювача, а також від геометрії робочого з'єднання термоперетворювача.

Також треба пам'ятати, що коли при вимірюванні температури поверхні домінує похибка, викликана спотворенням температурного поля об'єкта, то при вимірюванні температури навколишнього середовища на перший план виходить похибка, що спричиняється, як правило, тепловою інерційністю термоперетворювача.

А отже, з метою розширення сфери застосування згаданих вище термоелементів, необхідні додаткові дослідження їхніх динамічних характеристик та теплофізичних властивостей матеріалів термоелементів.

Динамічні характеристики. Відомо, що негативний вплив термічної інерційності термоперетворювачів, особливо при вимірюванні нестационарних температур, спричиняє, зокрема, зниження амплітуди вимірюваних пульсацій та їхнє відставання за фазою стосовно реального стану.

Традиційно в термометрії вважають, що теплова інерційність термоперетворювача залежить переважно від його розмірів, конструктивних особливостей та теплофізичних властивостей матеріалів конструкції. Зазвичай теплова інерційність термоперетворювача розглядається у моделі регулярного режиму та характеризується сталою часу термоперетворювача – ϵ .

На підставі тривалих лабораторних досліджень, з метою визначення теплової інерційності тонкоплівкових мікротермоелементів, нами отримано емпіричні залежності для визначення сталої часу термоперетворювача в широкому діапазоні умов експлуатації:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_\alpha = \varepsilon_0 (1 + A/Bi), \quad (1)$$

де ε_0 – стала часу саме тонкоплівкового мікротермоелемента, ε_α – стала часу, що характеризує певні умови теплообміну, $A = (2.9...3.0)$ – емпіричний коефіцієнт, Bi – число Біо.

Стосовно сталої часу самого тонкоплівкового мікротермоелемента, то її значення можна отримати згідно з наведеною залежністю:

$$\varepsilon_0 = \frac{l^2}{a} \cdot \frac{1}{B^2}, \quad (2)$$

де l – характеристичний розмір з'єднання термоперетворювача; a – коефіцієнт температуропровідності з'єднання термоперетворювача; $B = (2.4...2.5)$ – емпіричний коефіцієнт.

Маючи значення сталої часу термоперетворювача, легко можемо визначити його амплітудно-частотну $T(F)$ та фазочастотну $\varphi(F)$ характеристики:

$$T(F) = 1/\sqrt{1 + F^2}; \quad \varphi(F) = -\arctg F, \quad (3)$$

де $F = \omega\varepsilon$ – відносна частота.

Теплофізичні властивості. Під час дослідження теплопровідності твердих тіл у формі штабки широко застосовують нестационарний метод, що ґрунтується на розв'язанні наведеного нижче рівняння:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \cdot \frac{\partial^2 \tau}{\partial x^2} \quad (4)$$

Розглянемо випадок для нескінченної штабки з товщиною R та початковою температурою t_0 за таких граничних умов: з одного боку штабки температура змінюється за лінійним законом, а з іншого – діє джерело тепла, що характеризується сталим значенням створюваного теплового потоку q :

$$-\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{q}{\lambda} \cdot \frac{\partial t}{\partial x} \Big|_{x=R}, \quad (5)$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності.

На підставі залежності (5) отримаємо вираз для визначення коефіцієнта теплопровідності λ :

$$\lambda = q \cdot \frac{(x_2 - x_1)}{\Delta t' - \Delta t}, \quad (6)$$

Цей метод апробований авторами з метою визначення коефіцієнта теплопровідності λ ізотропних тонкоплівкових термоелектродів. Для цього випадку (див. рисунок), вимірюваний тепловий потік q (від джерела тепла сталої потужності) спрямовується вздовж досліджуваних тонких плівок, котрі, з метою підвищення точності визначення значення коефіцієнта теплопровідності λ , збираються в пакет.

Пакування окремих тонкоплівкових термоелектродів спричиняє їхнє взаємне теплове екранування. Окрім того, бічні поверхні досліджуваного пакета повинні бути теплоізовані, а самі вимірювання необхідно виконувати у вакуумній камері.

Згадані вище заходи дають змогу розглядати пакетовані тонкоплівкові термоелементи як адіабатично ізовані стержень скінченної довжини. Тоді отримана для нескінченної штабки залежність (6) буде справедлива і для стержня скінченної довжини.

Необхідно додатково зазначити, що при реалізації конкретного пристрою для визначення значення λ матеріалів тонкоплівкових термоелектродів необхідно дотримуватися таких вимог:

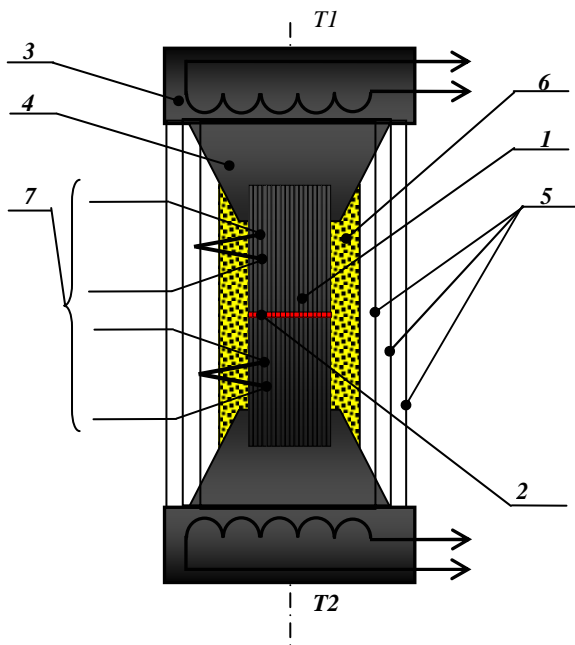


Схема устави для визначення значення λ тонкоплівкових матеріалів: 1 – пакет; 2 – нагрівник центральний; 3 – нагрівник торчаковий; 4 – затискач; 5 – терморадіаційні екрани; 6 – теплова ізоляція; 7 – диференційні термоперетворювачі

– поміж плівками, посередині пакета, вмонтувати джерело тепла сталої потужності (центральный нагрівник);

– торчаки пакета закріпити в затискачах, що підігріваються, які виготовляють з матеріалу з високою теплопровідністю;

– різницю температур на пакеті вимірювати за допомогою диференційних термоперетворювачів;

– довжину пакета ($L \approx 25...50$ мм) вибирають з огляду одержання необхідного перепаду температури ($\Delta T \approx 20...30$ К) та усунення впливу крайових ефектів на результат вимірювання диференційних термоперетворювачів;

– всі нагрівники живити стабілізованим постійним струмом;

– з метою зменшення теплових втрат через терморадіаційне випромінювання бічні сторони пакета треба екранувати терморадіаційними екранами.

За умови виконання згаданих вище вимог залежність для визначення значення λ матеріалів тонкоплівкових термоелектродів остаточно набуде вигляду:

$$\lambda = \frac{P}{S \cdot \left(\frac{\Delta t'_1 - \Delta t_1}{\delta_1} + \frac{\Delta t'_2 - \Delta t_2}{\delta_2} \right)}, \quad (7)$$

де P – потужність центрального нагрівника; S – площа поперечного перерізу пакета; δ_1 і δ_2 – відстані між диференційними термоперетворювачами; Δt і $\Delta t'$ – перепади температури, відповідно, якщо увімкнене та вимкнене джерело тепла сталої потужності.

Висновки. Використовувані нині плівкові термоелементи, за умови належного термодинамічного контакту з досліджуваною поверхнею, дають змогу практично без спотворення температурного поля використовувати їх для прецизійного вимірювання температури поверхні.

При створенні устави згідно із запропонованою методикою та згаданими вище вимогами похибка визначення значення λ матеріалів тонкоплівкових термоелектродів залежить переважно від точності градування диференційних термоелектричних термоперетворювачів, а також від класу апаратури, що використовується при вимірюваннях лінійних розмірів, потужності центрального нагрівника, термо-ЕРС термоелектричних термоперетворювачів, як і від відхилення реальних умов від заданих граничних та не перевищує значення ± 1.0 %.

1. Hashemian H.M. *Effects of normal aging on calibration and response time of nuclear plant resistance temperature detectors and pressure sensors // Nuclear Safety. 1994. – № 2.*