

# Метрологія та вимірювальна техніка

УДК 623.004.67

О.Ю. Кучерявенко, А.М. Науменко

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

## ПОКАЗНИКИ ТЕПЛОВОЇ ІНЕРЦІЇ ТЕРМОПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

Аналізуються методи визначення показників теплової інерції термоперетворювачів. Розглядається принцип вимірювання нестационарної температури при різниці температури термоперетворювача від температури об'єкта вимірювання, що характеризує здатність протидіяти зміні температури за встановлений час, а також існуючі методи визначення показників теплової інерції і шляхи знаходження інших, більш точніших, швидких, стабільніших.

**Ключові слова:** тепла інерція, термоперетворювач, теплообмін, щільність.

### Вступ

**Постановка задачі.** Відомо, що тіла змінюють свою температуру при впливі зовнішніх умов не миттєво. Отже при вимірюванні температури швидкодіючих процесів з'являється додаткова складова похибки вимірювання, що визначається показниками теплової інерції термоперетворювачів. Тому вдосконалення визначення показників теплової інерції є актуально при характеристиці здатності термоперетворювача змінювати температуру за встановлений час.

**Аналіз літератури.** В відомій літературі [1 – 6] розглядаються методи вимірювання температури на базі термоперетворювачів, але в цій літературі не визначаються питання, що пов'язані з дослідженням теплової інерції термоперетворювача.

**Мета статті.** Дослідити методи вимірювання показників теплової інерції термоперетворювача на базі завантаження двох різних температур в одну середу за визначений час, розглянути похибки, що виникають у процесі вимірень та їх вплив на результати визначення теплової інерції.

### Основний матеріал

Усі тіла володіють тепловою інерцією – тобто, здатністю тіл змінювати свою температуру при зміні температури навколишньої середи не миттєво, а з деяким запізненням. У зв'язку з цим при змінній нестационарної, наприклад, температури, що підвищується, спостерігається відставання температури термоперетворювача від температури об'єкта вимірювання.

Теплова інерція термоперетворювача характеризується показником теплової інерції  $\varepsilon$ , зазвичай виражається в секундах.

Для визначення показників теплової інерції  $\varepsilon$  термоперетворювач з температурою  $t_n$  занурюють в середу з температурою  $t_c$  і спостерігають процес зміни температури термоперетворювача з протягом часу.

Згідно розробленої Г.М. Кондратьовим теорії регулярного теплового режиму початкова стадія зміни температури термоперетворювача, що підпорядковується важкому закону, через деякий час переходить в стадію так званого регулярного режиму 1-го роду. Цей режим характеризується тим, що усі точки термоперетворювача вимірюють свою температуру в однаковому темпі, а процес зміни температури термоперетворювача  $t_T$  підпорядковується експоненціальному закону:

$$t_c - t_\tau = (t_c - t_0) e^{-\frac{\tau - \tau_0}{\varepsilon}}, \quad (1)$$

де  $\tau_0$  – момент часу настання регулярного режиму;  $t_0$  – температура термоперетворювача в момент настання регулярного режиму. Якщо після заступлення регулярного режиму взяти два будь-які моменти часу  $\tau_1$  і  $\tau_2$  і відповідні їм температури термоперетворювачів  $t_1$  і  $t_2$ , то, використовуючи формулу (1), можна скласти наступне рівняння:

$$t_c - t_2 = (t_c - t_1) e^{-\frac{\tau_2 - \tau_1}{\varepsilon}}. \quad (2)$$

Логарифмуючи вираз (2), отримуємо формулу для визначення показника теплової інерції:

$$\varepsilon = \frac{\tau_2 - \tau_1}{\ln(t_c - t_1) - \ln(t_c - t_2)}. \quad (3)$$

В графіку залежності  $\ln(t_c - t_n)$  від часу  $\tau$  регулярному режиму відповідає дільниця (рис. 1, а). На рис. 1, б, приведена залежність зміни температури термоперетворювача (перехідна функція) при розташуванні його в середовищі з температурою  $t_n$ , прийнятої за початок відрахування по вісі температур, в середовищі з температурою  $t_c$ .

На рисунку значенню показника теплової інерції відповідає час, протягом якого показання термоперетворювача складає 63% від встановленого зна-

чення температури  $t_c$ . Протягом часу, рівного  $3\varepsilon$ , показання термоперетворювача відрізняється не більш, ніж на 5%, а при  $5\varepsilon$  – не більш, ніж на 1%.

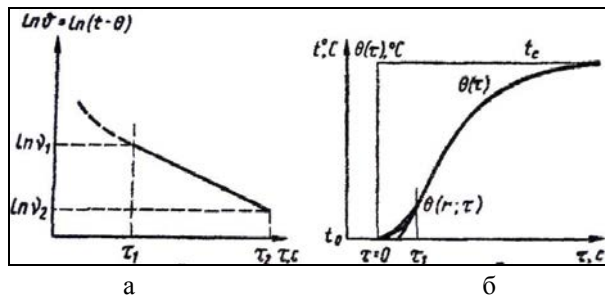


Рис. 1. Перехідна функція термоперетворювача

На значення показника теплової інерції впливають наступні основні фактори:

- повна теплоємність і поверхня термоперетворювача  $F$ , через яку відбувається теплообмін термоперетворювача з навколишнім середовищем;
- коефіцієнт теплообміну термоперетворювача з навколишнім середовищем;
- температуропровідність:

$$a = \lambda / \rho c,$$

де  $\rho$  – щільність;  $c$  – питома теплоємність.

При однакових інших умовах зі збільшенням теплоємності термоперетворювача показник теплової інерції зростає і навпаки, зі збільшенням кожної з величин  $F$ ,  $\alpha$  і  $a$  – зменшується. Значення теплоємності  $c$ , площі поверхні  $F$  і температуропровідності, а термоперетворювачі для не дуже широкого температурного діапазону можуть вважатися постійними. Коефіцієнт теплообміну  $\alpha$  залежить від параметру середовища, умови теплообміну і може змінюватися в дуже широких межах, відповідно зміни значення  $\varepsilon$ .

При зміні температури середовища з постійною швидкістю температури термоперетворювача відстає від температури середовища на постійне значення, пропорційне швидкості зміни температури вимірюемого середовища і значенню показника теплової інерції  $\varepsilon$  тепло перетворювача. В цьому випадку встановлюється регулярний режим 2-го роду, при

якому значення  $\varepsilon_2$  декілька відрізняється від значення  $\varepsilon$ , певного при регулярному режимі 1-го роду. Однак для більшості реальних термоперетворювачів і умов вимірювань ця відміна невелика, тому при розрахунках можна використовувати значення показника  $\varepsilon$ . Таким чином, при лінійній зміні температури середовища різниця між температурою середовища  $t_c$  і температурою термоперетворювача  $t_T$  визначається за формулою:

$$t_c - t_T = (\Delta t / \Delta \tau) \cdot \varepsilon, \quad (4)$$

де  $\Delta t / \Delta \tau$  – швидкість зміни температури середовища,  $K / c^{-1}$ .

## Висновки

1. Проведений аналіз дає можливість застосувати методи визначення показників теплової інерції термоперетворювача, що засновані на порівнянні двох різних температур за певний час з подальшим обчисленням за допомогою зазначених формул.
2. Встановлення нормованих метрологічних характеристик, визначення показників теплової інерції термоперетворювача дає можливість визначити її похибку, що дає можливість скорегувати результат вимірювання та підвищити його та достовірність.

## Список літератури

1. Поліщук Э.С. Вимірювальні перетворювачі / Э.С. Поліщук. – Вища школа 2003 р.
2. Яришев М.Л. Теоретичні основи вимірювання нестационарних температур / М.Л. Яришев. – Л.: Енергія, 1967.
3. Фарсане Н.Г. Технологічні виміри й прилади / Н.Г. Фарсане, Л.В. Іллясов. – Г.: Вища школа, 1999. – 340 с.
4. Линеверг Ф. Вимірювання температур в техніці / Ф. Линеверг. – М.: Металургія, 1980.
5. Гордов А.М. Основи пірометрії / А.М. Гордов. – М.: Металургія, 1971.
6. Вимір електричних і неелектричних величин / М.М. Євтіхєв та ін. – Г.: Энергоатом издат, 1988. – 210 с.

Надійшла до редколегії 25.09.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Б. Кононов, Харківський університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків.

## ПОКАЗАТЕЛЬ ТЕПЛОЙ ИНЕРЦИИ ТЕРМОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Е.Ю. Кучерявенко, А.Н. Науменко

*Анализируются методы определения показателей тепловой инерции термопреобразователей. Рассматривается принцип измерения нестационарной температуры при разнице температуры термопреобразователя от температуры объекта измерения, что характеризует способность опираться изменения температуры за определенное время. А также существующие методы определения показателей тепловой инерции и пути нахождения других, более точных, быстрых, стабильных*

**Ключевые слова:** тепловая инерция, термопреобразователь теплообмен, плотность.

## FACTOR TO HEAT INERTIA OF THE THERMOCONVERTER

О.У. Kucheryavenko, A.N. Naumenko

*They Are Analysed methods of the determination of the factors to heat inertia of the thermoelements. The principle of the measurement transitional temperature is Considered at difference of the temperature of the thermoelement from the temperature of the object of the measurement that characterizes the ability to lean change the temperature for determined time. As well as existing methods of the determination of the factors to heat inertia and way of the finding others, more exact, quick, stable*

**Keywords:** heat inertia, thermoconverter, thermoexchange, density.