

*О.П.Гук, к.т.н. (Львівське НВО „Термоприлад”),
О.М.Микитюк, к.с.-з.н. (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності),
С.П.Яцишин, к.т.н., доцент (Національний університет „Львівська політехніка”)*

ОСОБЛИВОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУР ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИМИ ПЕРЕТВОРЮВАЧАМИ НА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯХ

Розглянуто особливості вимірювання температур термоелектричними перетворювачами на атомних енергетичних станціях, пожежо- та вибухонебезпечних об'єктах нової техніки. Підвищення точності вимірювання температури дозволяє експлуатацію об'єктів за вищої енергетичної ефективності, що досягається запровадженням оригінальної методики стабілізації номінальних статичних характеристик перетворювачів.

Вступ. Вимірювання широкого діапазону температур в умовах енергонапружених об'єктів, до прикладу атомних електростанцій, з допомогою контактних термоелектричних перетворювачів температури (далі - ПТ) протягом тривалого (до 20000 год) часу, поставило проблему їх верифікації «in situ» або прогнозування змін показів та введення поправки в номінальні статичні характеристики (НСХ).

Матеріал чутливого елемента (далі ЧЕ) під впливом контрольованого середовища істотно змінює свій термодинамічний стан, що впливає на НСХ ПТ, оскільки при зміні контрольованої температури ЧЕ переводиться у нестационарний неврівноважений термодинамічний стан. Реальні неврівноважені процеси встановлення, принаймні стаціонарного стану, мають певну спрямованість і супроводжуються необоротними явищами, тобто змінами, які не повністю усуваються протилежно спрямованими процесами такого самого характеру. Тому НСХ термоелектричних ПТ змінюється, зумовлюючи похибку вимірювання, яка не уточнюється в процесі експлуатації ПТ на атомних електростанціях [1].

Постановка задачі. Термоелектричні ефекти, на яких ґрунтується робота ПТ, визначаються особливостями протікання вихрових термоелектричних струмів [2]. Формування останніх відображає реальність процесів перенесення потоків заряду та тепла у мікрооб'ємах речовини і описується на основі термодинамічного підходу. Квантово-енергетичні обмеження згаданих процесів визначають підстави застосування статистичних підходів до їх розгляду і обґрунтовують виникнення шумових ефектів, що, зокрема, позначається на стабільності НСХ ПТ [3]. Для спрощеної оцінки енергетичних процесів, які відбуваються у матеріалі ЧЕ, можна скористатися узагальненими рівняннями термодинаміки [4, 5].

Мета досліджень полягає у визначенні термодинамічно обґрунтованих методів покращення стабільності НСХ термоелектричних ПТ, які експлуатуються у складних енергетично-напружених умовах, що виключають можливість їх перевірки.

Експериментальні дослідження проведено на кабельних ПТ типу ХА діаметрів 1,5 ... 8 мм, з діаметрами термоелектродів відповідно 0,15 ... 1,2 мм. Оскільки термодинамічно обґрунтовані методи передбачають, насамперед, енергетичну дію на ЧЕ ПТ «in situ», то вивчали, в першу чергу, вплив електричного струму, який можна безпосередньо підвести до електродів ПТ, зумовивши виділення у них потужності.

Для цього використано контрольну термопару ПП-1 з термоелектродами діаметром 0,5 мм, потенціометр постійного струму, горизонтальну трубчасту піч та ряд допоміжних засобів. Досліджувані ПТ типу ТХА-2388 М з контрольною термопарою, з допомогою якої замірювали температуру, встановлювали у захисній кварцовій трубці в піч. По електродах досліджуваних термопар пропускали струм з можливістю його регулювання. Питомий електричний опір хромелю та алюмелю становив відповідно 0,67 та 0,32 Ом мм²/м.

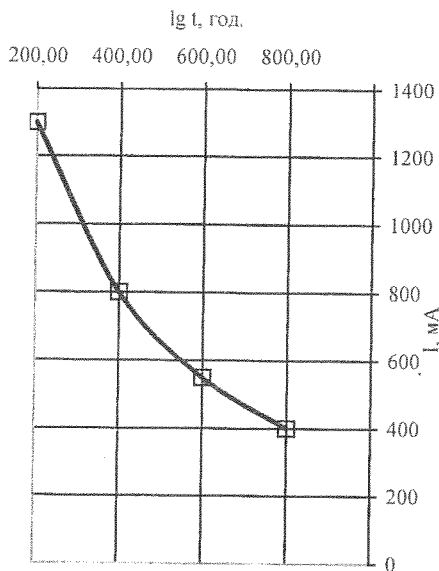


Рис.1. Залежність струму „відновлення” I від тривалості нагріву t термоелектродів ПТ при температурі 1012 ... 1100 К

Тривалість експлуатації ПТ до моменту їх стабілізації досягала 800 годин за 1200 К для кабелю діаметром 8-мм та 500 годин за 950 К для кабелю 4,5 мм.

Вибирали такий режим прогріву струмом досліджуваних ПТ, щоб температура гарячого з'єднання зростала на 30 ... 40 К. До прикладу, за температури у пічці 1100 К струм 400 мА забезпечував додатковий нагрів гарячого з'єднання ПТ із кабелю діаметром 4,5 мм на 22 К, а за температури пічки 1012 К струм 400 мА - такий самий нагрів уже кабелю діаметром 1,5 мм. За певної тривалості нагріву, як показали дослідження, істотно відновлювалась вихідна НСХ досліджуваного ПТ на відміну від контрольного ПТ, через який струм не пропускали. Таким чином, була розроблена методика стабілізації номінальних статичних характеристик перетворювачів в залежності від діаметра кабелю, часу експлуатації ПТ.

Оскільки ПТ за призначенням мав бути працездатним протягом ресурсу роботи, то, виходячи з технологічних можливостей, зупинились на періодичній дії струмом.

На основі проведених досліджень практично реалізовано метод стабілізації НСХ кабельних ПТ шляхом періодичної дії струмом на термоелектроди ПТ, що можна виконувати без демонтажу ПТ із контрольованого об'єкта. Сутність зазначеного підходу полягає у зміні на протилежні (порівняно з періодом вимірювання) напрямків поширення радіальних потоків тепло- та масоперенесення, що сприяло утримуванию НСХ у певному заданому полі допусків можливих змін. Для цього електричне коло термопар ПТ періодично перемикали шляхом пропускання струму в режим відновлення НСХ, що змінилися за попередній період експлуатації. Для відомих радіуса r та питомого опору ρ дротів вибрано тривалість t_e пропускання електричного струму I , розраховану за виразом:

$$t_e = \frac{10C}{I^2} \frac{r^2}{\rho} t_c \cdot \exp \left[-\frac{E_a}{k} \left(\frac{1}{T_e} - \frac{1}{T_h} \right) \right],$$

де C - коефіцієнт, рівний 0,008...0,016; t_c - тривалість експлуатації термопари до моменту відпалювання струмом; k - коефіцієнт приведення розмірностей у систему СІ; T_e - температура експлуатації; T_h - температура термообробки; E_a - енергія активації дифузійних змін, що визначається переважно домішковими атомами, зокрема нікелю, і рівна 0,8 еВ.

У цілому, проведені дослідження дозволили визначити співвідношення між роботою ПТ у режимі вимірювання та у режимі відновлення НСХ (табл.1).

Таблиця 1

Температурно-часові особливості стабілізації у процесі експлуатації ПТ

| Характеристика ПТ | Температура, К | Тривалість, год. |
|-------------------|----------------|---|
| ХА | 1100 | 0...0,05 $t_{рес}$, через кожні 100 год нагрівання струмом протягом 10 год до перегрівання гарячого з'єднання на 30-40 К |
| | 1200 | 0...0,05 $t_{рес}$, через кожні 100 год нагрівання струмом протягом 10 год до перегрівання гарячого з'єднання на 25-35 К |
| | 1300 | 0...0,05 $t_{рес}$, через кожні 100 год нагрівання струмом протягом 10 год до перегрівання гарячого з'єднання на 20-30 К |

У результаті, метрологічна надійність кабельних ПТ за температур 1100...1300 К в умовах періодичного відпалу струмом збільшилась у 3...4 рази: зміни НСХ порівняно з контрольними ПТ зменшились від 2,5... 2,8 % до 0,6 ... 0,9 %, тобто з ~30 К до ~10 К.

Феноменологічне обґрунтування. Реологічне рівняння стану [5] базується на теорії деформування Вайсенберга у межах класичної термодинаміки ($dS \rightarrow 0$). За ним сума змін роботи зовнішніх сил A , вільної енергії F та дисипованого тепла Q_{dis} термодинамічної системи за одиницю часу прямує до нуля (взагалі робота зовнішніх сил A виражається добутком механічних напружень σ на швидкість деформування $\frac{d\varepsilon}{dt}$):

$$\frac{dF(\sigma; \varepsilon)}{dt} + \frac{dQ_{dis}(\varepsilon; d\varepsilon/dt; \sigma; d\sigma/dt)}{dt} = \frac{dA}{dt}$$
. Коли на матеріал ЧЕ не діють зовнішні сили або коли вони незначні ($\frac{dA}{dt} \rightarrow 0$), можна вивчати проблеми надійності ПТ, у

тому числі метрологічної надійності, зіставленням змін вільної енергії з розсіюваним теплом. Зміни вільної енергії ЧЕ, виражені через зміни передавальної функції Z (напруги) ПТ:

$$\frac{dF}{d\sigma} \left/ \frac{dZ}{d\sigma} \frac{dZ}{dt} + \frac{dQ_{dis}(\varepsilon; d\varepsilon/dt; \sigma; d\sigma/dt)}{dt} = 0 \right.$$
. Зміни вільної енергії та зміни НСХ

(за модулем) не залежать від того, поглинається тепло чи виділяється, що описується

$$C \left(\frac{dZ}{dt} \right)^{-1} \left| = \left| \frac{dQ_{dis}}{dt} \right| \right.$$
, де C – стала.

У разі поглинання тепла модульне значення режиму вимірювання береться зі знаком "+", а в разі виділення тепла модульне значення режиму нагріву струмом – зі знаком "-", так що їх сума становить 0: $\left(\frac{dZ}{dt} \right) \Big|_+ + \left(\frac{dZ}{dt} \right) \Big|_- = 0$. Звідки, за однакових термодинамічних параметрів T ; p зміни НСХ ПТ у часі - протилежні за знаком для обох режимів. Регулюючи потужність виділення (потужність поглинання тепла міняти не можемо, оскільки ця величина задається характеристиками контрольованого об'єкта), можна цілеспрямовано впливати на службові характеристики ПТ і стабілізувати їх на певному заданому рівні, що й було підтверджено експериментально.

Методологічно близьким був метод попередніх досліджень допустимих змін НСХ ПТ в процесі експлуатації [7], а саме при відпалюванні ЧЕ ПТ у межах 1,05...1,15 заданої ТУ температури експлуатації протягом часу, приблизно на порядок меншого від заданого ресурсу роботи. Як виявилось, зміни НСХ при згаданому відпалюванні відповідали змінам НСХ при експлуатації. Температура відпалювання визначалась з умови забезпечення однакового дифузійного пробігу атомів компонентів матеріалу ЧЕ: $x = (Dt)^{1/2}$, де $D = D_0 \exp(-aT)$ для умов відпалювання та експлуатації.

Висновки.

- Ефективні методи дії на ПТ, призначені для експлуатації у об'єктах атомної енергетики з високою метрологічною надійністю, полягають у створенні умов для відновлення їх НСХ без демонтуювання. Періодичне пропускання електричного струму по ЧЕ або/ї їх попереднє відпалювання у дещо жорсткішому температурному режимі порівняно із заданим ТУ сприяло покращенню метрологічної надійності.

- Згадані заходи дозволили:

- у 3...4 рази підвищити метрологічну надійність ПТ за 1100...1300 К: зміни НСХ порівняно з невідпаленими ПТ зменшились від 2,5... 2,8 % до 0,6 ... 0,9 % т або у перерахунку на температуру від ~ 30 К до ~ 10 К);

- в 1,5... 2,5 рази підвищити надійність ПТ типу ТХА-2388М (нижня межа ймовірності безвідмовної роботи для ресурсу роботи 2000 год і 8000 год становила відповідно 0,9885 та 0,968) за заданої температури експлуатації або підвищити їх оптимальну температуру експлуатації на 90-110 К за незмінної надійності;
- істотно, у 2...3 рази, зменшити тривалість ресурсних випробувань, що дозволило скоротити загальну тривалість розробки ПТ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Guk O.P., Stadnyk B.I., Yatsyshyn S.P. Long life cable thermoelectric convertors. Reliability problems // Thermoelectricity. - # 2. - 2004. - P. 70-74.
2. Лусте О.Я. Фізика вихрових термоелементів і вимірювальних приладів на їх основі. Автореферат дис. докт.фіз.-мат.наук. - Чернівці. - 2003. - 40 с.
3. Стадник Б.І., Яцишин С.П. Електромеханохімічні шуми перетворювачів температури // Термоелектрика. - № 1. - 2003. - С.56-64.
4. Новиков И.И. Термодинамические аспекты пластического деформирования и разрушения металлов // Физико-механические и теплофизические свойства металлов. - Москва: Наука. - 1976. - С.176-179.
5. Скороход В.В. Реологические основы теории спекания. - Киев. - Наукова думка. - 1972. - 191 с.
6. Лахоцкий Т.В., Литвинов В.С., Пасичный О.В. и др. Влияние дефектности проволоки на долговечность тела накала // Светотехника. - 1984. - № 8. - С.14-15.
7. Бардыла В.М., Гук А.П., Копаницкий М.В. Диагностика термоэлектрических преобразователей без демонтажа и измерение температуры при длительных дестабилизирующих воздействиях // Тезисы докладов 1-ой Всероссийской конф-ии по проблемам термометрии. Россия. - Подольск. - 2001. - С.45.

УДК 614.843(075.32)

*С.П. Назарчук, к.т.н., член-кор ПТАНУ, Я.В. Панів
(Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

ПІДВИЩЕННЯ ЗАХИСТУ ОСОБОВОГО СКЛАДУ ПРИ ПОЖЕЖОГАСІННІ ЗА ДОПОМОГОЮ РУЧНОГО ПОЖЕЖНОГО СТВОЛА МАРКИ РС-70.

Дана стаття присвячена актуальній проблемі захисту особового складу підрозділів МНС України при гасінні пожеж з допомогою ручних пожежних стволів. Для її вирішення пропонується комплектувати пожежні стволи РС-70 фігурною насадкою, яка формує компактний струмінь води для гасіння пожежі та одночасно створює захисну водяну завісу. Проведено аналітичні та числові розрахунки основних параметрів даної фігурної насадки.

Постановка проблеми. Питання захисту особового складу від небезпечних факторів пожеж завжди є актуальне. Усі небезпечні фактори ускладнюють процес ліквідації пожеж і, що найголовніше, загрожують життю та здоров'ю особового складу пожежно-рятувальної служби МНС України. Одним з них є теплове випромінювання від вогнища пожежі.

Аналіз існуючих засобів захисту. Для захисту від даного випромінювання розроблено спеціальне озброєння та обладнання, зокрема захисний одяг та прилади для формування захисної завіси. Захисний одяг не завжди є ефективним захистом, адже параметри деяких