

ми максимального обертового моменту, додаткового кількісного зв'язку між діаметрами виступів та осьовими довжинами фрикційних виступів шукати немає необхідності тому, що випадок $d_1 = 0$ приводить до іншої форми фрикційних поверхонь, що ще раз підтверджує доцільність геометричного співвідношення (2) для передавання максимального обертового моменту.

Література

1. Пискунов Н.С. Дифференциальное и интегральное исчисления для втузов. ТЛ – М.: Наука, 1978. – 456 с.
2. Ряховский О.А., Иванов С.С. Справочник по муфтам. – Л.: Политехника, 1991. – 384 с.
3. А.С 1781479 СССР МКИ Р16Д 7/02,13/64. Дисковая фрикционная муфта/ С.Г. Калинин, П.В. Карнаух, В.А. Малащенко (СССР), № 4949999/27, Заявлено 27.06.91. Опубл. 15.12.92. Бюл., № 46, 1992. – 4 с.
4. Патент на изобретение RU 2017023, МКИР16Д13/64. Дисковая фрикционная муфта/ П.В. Карнаух, У.К. Мазепа (Украина), № 5038218/27; Заявлено 19.02.92. Опубл. 30.07.94. – 4 с.
5. Карнаух П.В. Статичні навантаження на фрикційних дисках муфт з криволінійними поверхнями тертя// 3б. статей за матеріалами III науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів та студентів академії 24 березня-16 квітня 1997 р. Частина четверта. Механізація і автоматизація. – Рівне: Вид-во УДАВГ. – 1997. – С. 5-7.
6. Малащенко В.О. Муфти приводів. Конструкції та приклади розрахунків. – Львів: НУ "Львівська політехніка", 2006. – 196 с.
7. Малащенко В.О., Мартинців М.П., Пінчук А.В. Розподіл питомого тиску на бокових поверхнях кілець фрикційної муфти підвищеної навантажувальної здатності// Наук. вісник УДАУ. – 2005, вип. 15.2. – С. 51-56.
8. Малащенко В.О., Пінчук А.В. Дискова фрикційна муфта. Патент України, № 53242А. Бюл., № 1, 2003.

УДК 536.532

Доц. В.О. Фединець, канд. техн. наук –
НУ "Львівська політехніка"

РОЗРАХУНОК ОПТИМАЛЬНИХ РЕЖИМІВ ПОВІРКИ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ ТЕРМОПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

Виконано аналіз взаємозв'язку вимірюваних і залежних від часу значень температури термоперетворювача, дійсних значень температури та значень інших теплових факторів, що мають місце при повірці, а також проведено аналіз похибок, що виникають при повірці високотемпературних термоперетворювачів.

Ключові слова: повірка, похибка, температура, термоперетворювач.

Assist. prof. V.O. Fedynets – NU "L'viv's'ka Politekhnik"

Calculation of optimum modes of checking of high-temperature converters of temperature

The analysis of interrelation of the values of temperature of the converter of temperature measured and dependent on time, the valid values of temperature and values of other thermal factors having a place at checking is executed, and also is lead (carried out) the analysis of the errors arising at checking of high-temperature converters of temperature.

Keywords: checking, error, temperature, the converter of temperature.

Вступ

При експлуатації високотемпературних термоперетворювачів, особливо з великим ресурсом роботи, виникає необхідність в періодичній повірці статичної характеристики для уточнення її відхилення в часі і вплив на ста-

тичну характеристику експлуатаційних факторів: тиску, вібрації, хімічної взаємодії з вимірюваним середовищем, іонізаційного випромінювання, тощо.

Повірку і градування можна здійснювати шляхом порівняння зі зразковими термоперетворювачами або по фіксованих (реперних) точках [1]. При всіх повірках необхідно слідкувати за тим, щоб були виключені похибки вимірювання за рахунок підведення або відведення тепла.

Повірку термоперетворювачів методом їх порівняння зі зразковим можна здійснювати при будь-якій температурі, якщо температура вимірюваного середовища є достатньо постійною. Процес повірки здійснюється в рідинних термостатах або трубчастих печах. Повірку по фіксованих (реперних) точках найпростіше проводити при температурі топлення льоду. Крім цього прийняті вимірювання в потрібній точці води, при температурі кипіння води, а також при температурах (точках) затвердіння металів – олова, цинку, срібла, золота та інших.

З двох розглянутих методів повірки більш точним і надійним є метод по фіксованих (реперних) точках при умові хімічної чистоти компоненту розплаву. При цьому виключається похибка зразкового термоперетворювача. Значення температури повірки, що відповідає "площині" показів контрольного термоперетворювача приймається рівним відповідному значенню за Міжнародною температурною шкалою МТШ-90 для даного компонента. Повірка за даним методом дає можливість визначити похибку термоперетворювача тільки при одному значенні температури і використовується тільки в тих випадках, коли необхідно звести до мінімуму похибку повірки.

Мета роботи

На основі теоретичних та експериментальних досліджень виконати розрахунок оптимальних режимів повірки високотемпературних термоперетворювачів, провести аналіз похибок, що виникають при повірці. За отриманими результатами запропонувати шляхи досягнення оптимальних режимів повірки і шляхи зменшення похибок, що виникають при повірці.

Виклад основного матеріалу

Для повірки термоперетворювачів з температурним діапазоном до 1000 °C на практиці більш поширеним є метод порівняння зі зразковим термоперетворювачем, який дає можливість визначити значення похибки термоперетворювача, що повіряється, в широкому діапазоні температур. При цьому необхідно враховувати також, що для високотемпературних термоперетворювачів повірку здійснюють при температурах 100 °C і вище, оскільки при невисоких температурах їх вихідний сигнал є незначним. Крім того, повірку бажано проводити в кількох точках робочого діапазону, включаючи температуру верхнього значення діапазону для встановлення можливих нелінійних відхилень по діапазону. Повірка при верхньому значенні температури робочого діапазону необхідна і для встановлення похибок від зменшення електричного опору ізоляції і від зміненої внутрішньої структури термоелектродів. При високих температурах збільшується і похибка за рахунок теплопровідності термоперетворювача, яку розглянемо більш детально.

Внаслідок тепловідведення по корпусу термоперетворювача і по термоелектродних та з'єднуючих провідниках по його довжині встановлюється нерівномірний розподіл температури. Вплив тепловідведення в першому наближенні можна оцінити, розглядаючи процес теплообміну між вимірюваним середовищем і термоперетворювачем, виконаним у вигляді однорідного стержня, консольно закріпленого на стінці арматури, що має певне значення температури [2-4].

Вираз для похибки за рахунок тепловідведення має вид:

$$\Delta t = \frac{t_0 - t_c}{chL\sqrt{\frac{4\alpha}{d\lambda}}}, \quad (1)$$

де: t_0 – температура вимірюваного середовища; t_c – температура термоперетворювача в точці кріплення його до стінки арматури; L , d – відповідно глибина занурення і діаметр робочої ділянки термоперетворювача; α – коефіцієнт конвективної тепловіддачі від середовища до чутливого елемента; λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу чутливого елемента.

При незмінних значеннях α , d і λ для даного термоперетворювача похибка його за рахунок тепловідведення визначається глибиною занурення L . Диференціюючи вираз (1) по L визначимо її значення, що відповідає максимуму похибки Δt_T :

$$\frac{d(\Delta t_T)}{dL} = \frac{(t_0 - t_c) \cdot \sqrt{\frac{4\alpha}{d\lambda}} \cdot \left(e^{-L\sqrt{\frac{4\alpha}{d\lambda}}} - e^{L\sqrt{\frac{4\alpha}{d\lambda}}} \right)}{2chL\sqrt{\frac{4\alpha}{d\lambda}}}. \quad (2)$$

Прирівнюючи вираз (2) до нуля знаходимо, що максимум значень Δt_T відповідає $L = 0$. Тобто, для зменшення похибки за рахунок теплопровідності термоперетворювача при повірці необхідно збільшувати глибину занурення L . Оптимальним з точки зору практики вважається варіант, при якому $L = \ell / 2$, де ℓ – довжина нагрівача пічки.

В загальному випадку, похибка при повірці конкретного термоперетворювача може бути ідентифікована як сума складових:

- допустима інструментальна похибка вимірювального тракту Δ_B ;
- допустима динамічна похибка вимірювань термоперетворювача $\Delta_{1д}$ і зразкового засобу вимірювань $\Delta_{2д}$;
- допустима методична похибка вимірювань термоперетворювача $\Delta_{1м}$ і зразкового засобу вимірювань $\Delta_{2м}$;
- допустима похибка передачі температурної шкали зразковим засобом вимірювань σ .

При стаціонарному температурному процесі, яким є процес повірки і тривалості операції вимірювання динамічними похибками $\Delta_{1д}$ і $\Delta_{2д}$ можна нехтувати. Шляхом відповідного вибору засобів вимірювання, по можливості, можна знизити інструментальну похибку вимірювального тракту Δ_B . Таким

чином, сумарна допустима похибка при повірці будь-якої конструкції термоперетворювача розподіляється між методичною похибкою Δ_m і похибкою передачі температурної шкали σ .

Методична похибка в кожному конкретному випадку зводиться до визначення величини похибки від тепловідведення для даного типу термоперетворювача за виразом (1).

Похибка передачі температурної шкали σ в основному визначається випадковою похибкою при порівнянні показів термоперетворювача, що повіряється, і зразкового засобу вимірювання. Одним із шляхів зменшення величини σ при вибраному певному зразковому засобі є збільшення числа вимірювань. При цьому, як відомо [5] $\sigma_n = \sigma / n$, де σ – похибка одного вимірювання; n – кількість вимірювань.

Кількість вимірювань при повірці на нижньому і верхньому діапазоні температур може бути різною через різні значення інформаційного сигналу на цих діапазонах. З підвищенням температури кількість вимірювань може бути зменшено через збільшення рівня інформаційного сигналу, що, як відомо [6], понижує випадкову похибку окремого вимірювання. Таким чином, на кожному діапазоні температур кількість вимірювань можна оптимізувати при заданому значенні похибки σ .

В загальному випадку взаємозв'язок вимірюваних і залежних від часу значень температури термоперетворювача $t_r(\tau)$, дійсних значень температури $t(\tau)$ і значень інших теплових факторів $f_i(\tau)$, що діють в процесі повірки, можна виразити залежністю:

$$T_r(p) = Y_t(p) \cdot T(p) + \sum_{i=1}^n Y_i(p) \cdot F_i(p) + F_{\text{поч}}(p), \quad (3)$$

де: $T_r(p)$ і $T(p)$ – зображення (по Лапласу) вимірюваної при повірці $t_r(\tau)$ і дійсної $t(\tau)$ температур; $F_i(p)$ – зображення i -го теплового впливу $f_i(\tau)$; $i = 1, 2, \dots, n$; n – кількість впливів; $Y_t(p)$ і $Y_i(p)$ – функції передачі термоперетворювача по відношенню до впливу температури пічки, в якій здійснюється повірка, і інших теплових впливах; p – параметр перетворення Лапласа. Складова $F_{\text{поч}}(p)$ враховує вплив початкових умов теплообміну (початкового розподілу температур в термоперетворювачі і в пічці), її роль з протіканням часу постійно зменшується і стає настільки малою, що нею можна нехтувати.

Залежність (3) отримуємо на основі диференціальних рівнянь теплообміну системи "термоперетворювач – пічка, в якій проводиться повірка".

За допомогою залежності (3) можна отримати ряд інших характеристик, які в явному вигляді визначають реакцію термоперетворювача на деякі впливи спеціального виду:

- рівняння перехідного процесу, що визначає зміну температури чутливого елемента термоперетворювача $t_r(\tau)$ при ступінчастій дії основного впливу $t(\tau)$ і інших впливів $f_i(\tau)$;

- рівняння перехідної або імпульсної перехідної характеристики, коли впливи $t(\tau)$ і $f_i(\tau)$ задаються у вигляді одиничної або δ -функції (функції Дірака);
- рівняння частотних функцій передачі, що визначають реакцію термоперетворювача на гармонічний вплив циклічної частоти ω , з яких можна знайти вирази для амплітудної і фазової частотних характеристик.

В стаціонарних умовах теплообміну, яким є процес повірки, з залежності (3) можна знайти статичну характеристику термоперетворювача $t_{\text{ст}}$:

$$t_{\text{ст}} = y_t \cdot t + \sum_{i=1}^n y_i \cdot f_i, \quad (4)$$

що визначає величину сигналу на виході термоперетворювача (температуру його чутливого елемента) залежно від вхідних стаціонарних впливів t і f_i . У рівнянні (4) y_t і y_i – коефіцієнти передачі, отримані з функцій передачі $Y_t(p)$ і $Y_i(p)$:

$$y_t = \lim_{p \rightarrow 0} Y_t(p), \quad y_i = \lim_{p \rightarrow 0} Y_i(p). \quad (5)$$

З (4) і (5) вираз для статичної характеристики термоперетворювача $\Delta_{\text{ст}}$ можна записати у вигляді:

$$\Delta_{\text{ст}} = t_{\text{ст}} - t = (y_t - 1)t + \sum_{i=1}^n y_i \cdot f_i. \quad (6)$$

При $\Delta_{\text{ст}}=0$ статична характеристика термоперетворювача переходить в його номінальну статичну характеристику.

Загальні зауваження

Через велику різноманітність умов і вимог до точності термоперетворювачів, що повіряються, визначити чіткі критерії чи рекомендації з вибору математичної моделі в загальному випадку є неможливим. Однією з основних вимог можна вважати відносну простоту моделі, тобто простоту структури характеристик термоперетворювача для оцінки його похибок. Разом з тим модель повинна бути досить інформативною і відображати найбільш істотні риси взаємодії термоперетворювача з об'єктом, в якому проводиться вимірювання температури. Тобто, повинен дотримуватися розумний оптимум між строгістю задавання моделі термоперетворювача і формою представлення розрахункових рішень.

Необхідно відмітити також, що рівняння теплообміну виводяться при неминучій схематизації процесу і містять ряд коефіцієнтів, значення яких задаються з високою похибкою (5...20 % і більше). Тому введення розрахункових поправок в результати вимірювань при повірці є ефективними в тих випадках, коли похибки порівняно невеликі. Якщо оцінка виявляє більші значення похибок, то уточнення експериментальних даних шляхом введення розрахункових поправок є малонадійним.

Практичну оцінку похибок доцільно проводити послідовно починаючи з елементарних оцінок, а потім переходити до обліку впливаючих факторів другого і вищого порядків.

Висновки

Для зменшення похибки, що виникає при повірці термоперетворювачів, необхідно, виходячи з рівнянь (3-6) збільшити значення коефіцієнта y_t і зменшити значення функції f_t та коефіцієнта y_i . Коефіцієнт y_t визначається в основному впливом температурного поля пічки, в якій проводиться повірка, а також інструментальною похибкою апаратури, що фіксує температуру зразкового термоперетворювача. Тому збільшення однорідності температурного поля і зменшення інструментальної похибки вимірювальних приладів призводить до збільшення коефіцієнта y_t .

Значення функції f_t і коефіцієнта y_i визначаються сторонніми тепловими впливами. Тому для їх зменшення необхідно забезпечити мінімальну теплопередачу згідно з (1) вздовж термоперетворювача і збільшити електричний опір ізоляції (для зменшення похибки за рахунок шунтування вимірювального кола).

Зменшення випадкових похибок досягається збільшенням кількості вимірювань, особливо при повірці в нижній частині температурного діапазону, де рівень корисного сигналу невеликий, а також збільшується вплив сторонніх факторів – електромагнітних наводок, імпульсних завад, тощо.

Література

1. Еращенко О.А. и др. Температурные измерения: Справочник. – К.: Советский теплотехник, 1984. – 496 с.
2. Ярышев Н.А. Теоретические основы измерения нестационарных температур. – Л.: Нева, 1987. – 364 с.
3. Гордов А.Н. Основы пирометрии. – М.: Наука, 1971. – 365 с.
4. Фединець В.О. Вплив конструкції і способу монтажу первинних термоперетворювачів на похибку вимірювання температури енергоносіїв в трубопроводах// Транспортування, контроль якості та облік енергоносіїв. – Львів: Сяйво, 1998. – 236 с.
5. Основы метрологии и электрические измерения/ Б.Я. Авдеев, Е.М. Антонюк, Е.М. Душин и др.; Под ред. Е.М. Душина. – Л.: Нева, 1987. – 264 с.
6. Цветков Э.И. Основы теории статистических измерений. – Л.: Нева, 1986. – 268 с.

УДК 504.064.4:625.07 Аспір. С.Я. Хруник – НУ "Львівська політехніка";
ст. викл. О.Т. Мазурак, канд. техн. наук; доц. А.В. Мазурак,
канд. техн. наук; ст. викл. С.В. Зубик, канд. техн. наук – Львівський ДАУ

ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ ТА БЕЗПЕКИ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ВИДІВ ПАЛИВА ПІД ЧАС ВИГОТОВЛЕННЯ ПРОДУКЦІЇ З МІНЕРАЛЬНОЇ СИРОВИНИ

Досліджено проблему використання альтернативних видів палива, зокрема спалювання відходів у цементних печах і пов'язані з цим викиди канцерогенів – діоксинів і фуранів у довкілля, проаналізовано основні джерела їх утворення у Львівській області й підраховано річну емісію від виготовлення продукції з мінеральної сировини.

Ключові слова: утилізація відходів, емісія, канцерогени, діоксини, фурани, клінкер, цементний пил печі.