

/ Т.О. Заведюк // Матеріали міжнародної проблемно-наукової міжгалузевої конференції "Інформаційні проблеми комп'ютерних систем, юриспруденції, енергетики, економіки, моделювання та управління (ПНМК-2011)". – 2011р. – Бучач – С. 73–77.

6. Николайчук Я.М. Теория джерел інформації / Николайчук Я.М. – Тернопіль, ТНЕУ. – 2008. – 536 с.

7. Акушский И.Я. Машинная арифметика в остаточных классах / И.Я. Акушский, Д.И. Юдицкий. – М. : Сов. радио. – 1968. – 460 с.

Надійшла 23.6.2012 р.

Рецензент: д.т.н. Горбійчук М.І.

УДК 536.532

Н.М. ВАСИЛЬКІВ, В.В. КОЧАН, О.В. КОЧАН, М.І. ЧИРКА

Тернопільський національний економічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НЕРІВНОМІРНОСТІ ДРЕЙФУ ТЕРМОПАР НА ПОХИБКУ КОРЕКЦІЇ ЇХ НЕОДНОРІДНОСТІ

Розглянуто методику та результати дослідження похибки методу корекції похибки вимірювання температури термопарами, що мають значну, набуту в процесі тривалої експлуатації при високій температурі, термоелектричну неоднорідність електродів.

Methodology and results of research of error of method of correction of error of measuring of temperature are considered by thermocouples, that have considerable, purchased in the process of the protracted exploitation at a high temperature, thermo-electric heterogeneity of electrodes.

Ключові слова: дрейф термопар, корекція неоднорідності.

Вступ

Традиційно для вимірювання температури в діапазоні вище 500°C в промисловості використовуються в основному термоелектричні перетворювачі (ТЕП), чутливим елементом яких є термопари [1, 2]. Останнім часом інтенсивно розроблялися давачі (сенсори) високих температур на основі іншого принципу дії (оптоволоконні, лазерні, термошумові), але вони поки що не можуть конкурувати з термоелектричними перетворювачами, не зважаючи на відносно велику похибку ТЕП, яка, як правило, домінує серед похибок інших компонентів вимірювального каналу [3-5], що змушує шукати методи її зменшення.

Відомими є методи корекції багатьох похибок термоелектричних перетворювачів, як-от від початкового розкиду функцій перетворення (ФП) [6], від часового дрейфу їх ФП під дією температури експлуатації шляхом групового та індивідуального прогнозу цього дрейфу за міжповірний або міжкалібрувальний інтервал [5, 7, 8], від впливу температури вільних кінців [9] тощо. Однак однією з найбільш небезпечних похибок термопар є похибка від набутої в процесі тривалої експлуатації термоелектричної неоднорідності їх електродів [10, 11]. Ця похибка проявляє себе як залежність термо-е.р.с., генерованої термопарою, яка тривалий час експлуатувалася, не тільки від температур робочого та вільного кінців, а й від профілю температурного поля вздовж термоелектродів.

Механізм впливу набутої неоднорідності електродів термопар на генеровану термо-е.р.с.

Механізм впливу набутої неоднорідності електродів термопар на генеровану термо-е.р.с. пояснює рис. 1.

На рис. 1,а) представлено термопару, наприклад, типу хромель-алюмель (ХА). Ця термопара експлуатується в температурному полі об'єкта, профіль якого задано лінією ABCD. За рахунок того, що за тривалий час експлуатації t термоелектроди деградували (окислення їх компонентів, дифузія домішок, рекристалізація та інше, див. [10]), ФП ділянки, наприклад, l_i відхиляється від номінальної. Згідно з [12], для часу t та температури t , рівної температурі T_i експлуатації ділянки l_i , відхилення ΔT її ФП від номінальної мають вигляд, представлений на рис. 1,б)

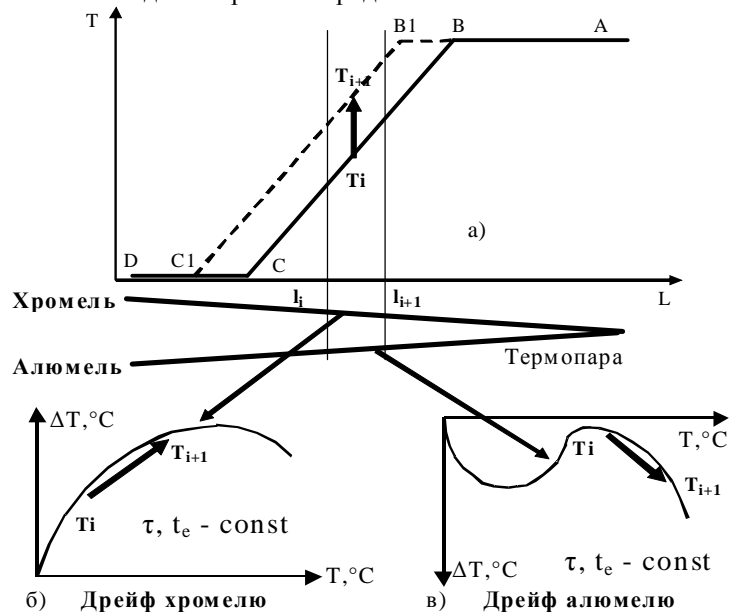


Рис. 1. Механізм впливу набутої термоелектричної неоднорідності електродів термопар на генеровану термо-е.р.с.

та 1,в). Якщо профіль температурного поля вздовж термоелектродів змінився, наприклад, став AB1C1D, то

ділянка l_i з температури T_i постійної експлуатації перейшла в температуру T_{i+1} . В такому разі відхилення ФП обох термоелектродів ділянки l_i від номінальної ФП зміниться – для обох термоелектродів це відхилення з властивості для температури T_i стане таким, яке властиве температурі T_{i+1} (див. рис. 1,б) та 1,в)), зміни відхилень ФП показані стрілками). Такі ж процеси зміни відхилення ФП від номінальної пройдуть для всіх інших ділянок обох термоелектродів, що знаходилися або потрапили в зону градієнту температури. В результаті генерована термопарою термо-е.р.с. зміниться, не дивлячись на те, що, згідно рис. 1,а), температури робочого і вільних кінців залишаться постійними – виникне похибка вимірювання температури, викликана термоелектричною неоднорідністю електродів термопари.

Така властивість термопар, які експлуатувалися тривалий час, привела до зробленого в [11] висновку, що похибки термопар взагалі не можна коригувати. Спроби зменшити похибку від набутої неоднорідності [13, 14] привели до висновку, що корекцію дрейфу ФП необхідно вести для кожної ділянки термоелектродів окремо, шляхом прогнозу їх дрейфу за індивідуальною математичною моделлю. Але для забезпечення достатньої точності такого тривалого індивідуального прогнозу дрейфу ФП ділянок необхідно його періодично коригувати за результатами визначення дійсного відхилення ФП від номінальної. Однак перевірка термопари або її калібрування дозволяють отримати тільки сумарну похибку ФП всіх ділянок, яку необхідно розподілити між ними. У [15] було запропоновано три можливі емпіричні критерії розподілу сумарної похибки між моделями дрейфу окремих ділянок, але ці критерії експериментально не підтверджені, а неправильний критерій може не тільки не зменшити вплив на результат вимірювання температури похибки від набутої неоднорідності, а й збільшити її за рахунок зростання похибки прогнозу. Але проведений в [16] аналіз властивостей похибки від набутої неоднорідності дав змогу розробити методи корекції похибки від набутої неоднорідності та її компенсації [17, 18]. У [17, 19] запропоновано метод корекції цієї похибки, що базується на експериментальних дослідженнях похибки термоелектричного перетворювача, проведених під час його періодичної перевірки в температурних полях різного профілю.

Метою даної статті є дослідження невиключеної (залишкової, не скоригованої) похибки методу корекції похибки від набутої неоднорідності в процесі експлуатації термоелектричної неоднорідності термопар [17, 19], викликаної індивідуальною нерівномірністю процесу дрейфу ФП окремих ділянок їх електродів.

Метод корекції похибки від набутої термоелектричної неоднорідності термопар

Основна ідея запропонованого в [17, 19] методу полягає в тому, що, якщо визначену при повірці ТЕП сумарну похибку прогнозу дрейфу його ФП розподілити між ділянками його термопари правильно і провести корекцію індивідуальних математичних моделей дрейфу ФП ділянок, то похибка в різних профілях температурного поля буде прямувати до нуля. Це означає, що, якщо розбити кожен термоелектрод на N ділянок і повірити ТЕП в $2N$ профілях температурного поля (тобто, якщо кількість профілів температурного поля перевірки відповідає кількості ділянок, на які розбито обидва термоелектроди), то можна однозначно визначити поправочні коефіцієнти $K_1^X \dots K_N^X$ для всіх ділянок хромелю та $K_1^A \dots K_N^A$ для всіх ділянок алюмелю, які зведуть практично до нуля похибку прогнозу індивідуальних математичних моделей дрейфу ФП всіх ділянок обох термоелектродів. Для цього необхідно розв'язати систему наступних лінійних рівнянь:

$$\begin{cases} K_1^X \Delta_{1-1}^X + K_2^X \Delta_{1-2}^X + \dots + K_N^X \Delta_{1-N}^X + K_1^A \Delta_{1-1}^A + K_2^A \Delta_{1-2}^A + \dots + K_N^A \Delta_{1-N}^A = \Delta_1^D \\ K_1^X \Delta_{2-1}^X + K_2^X \Delta_{2-2}^X + \dots + K_N^X \Delta_{2-N}^X + K_1^A \Delta_{2-1}^A + K_2^A \Delta_{2-2}^A + \dots + K_N^A \Delta_{2-N}^A = \Delta_2^D \\ \text{LL} \\ K_1^X \Delta_{2N-1}^X + K_2^X \Delta_{2N-2}^X + \dots + K_N^X \Delta_{2N-N}^X + K_1^A \Delta_{2N-1}^A + K_2^A \Delta_{2N-2}^A + \dots + K_N^A \Delta_{2N-N}^A = \Delta_{2N}^D \end{cases} \quad (1)$$

де $\Delta_{1-1}^X \dots \Delta_{1-N}^X$ – прогноз індивідуальних математичних моделей дрейфу ФП ділянок від 1 до N хромелю в першому профілі температурного поля перевірки;

$\Delta_{2N-1}^X \dots \Delta_{2N-N}^X$ – прогноз індивідуальних математичних моделей дрейфу ФП ділянок від 1 до N хромелю в профілі $2N$ температурного поля перевірки;

$\Delta_{1-1}^A \dots \Delta_{1-N}^A$ – прогноз індивідуальних математичних моделей дрейфу ФП ділянок від 1 до N алюмелю в першому профілі температурного поля перевірки;

$\Delta_{2N-1}^A \dots \Delta_{2N-N}^A$ – прогноз індивідуальних математичних моделей дрейфу ФП ділянок від 1 до N алюмелю в профілі $2N$ температурного поля перевірки;

$\Delta_1^D \dots \Delta_{2N}^D$ – дійсне відхилення ФП ТЕП від номінальної в профілях від 1 до N температурного поля перевірки.

Основним недоліком описаного методу є велика трудомісткість такої періодичної перевірки ТЕП. При цьому виникає протиріччя. Критерієм розбиття термоелектродів на ділянки є умова, що в межах ділянки дрейф ФП є однаковим. Тому для підвищення точності прогнозу кількість ділянок N слід збільшувати. Тоді індивідуальні математичні моделі дрейфу ділянок можуть адекватніше описати характер їх дрейфу ФП. Однак при зростанні N значно збільшується кількість профілів температурного поля перевірки, тобто зростає

її трудомісткість.

У [17, 19], для зниження трудомісткості методу, пропонується використати узагальнюючі властивості нейронних мереж. Навчальна вибірка для нейронної мережі формується наступним чином. Кожен вектор складається за результатами повірки ТЕП в одному профілі температурного поля. На вхідні нейрони нейронної мережі подаються поточні для даного профілю температурного поля значення температури всіх ділянок термопар (при цьому необхідно витримувати завжди однакову відповідність між номером ділянки та номером вхідного нейрона). На вихід подається відхилення результату прогнозу сумарної похибки всіх ділянок термопар від дійсної її похибки для даного профілю температурного поля (отриманої в результаті повірки термопар).

Нейромережевий метод, використаний для методу корекції похибки від набутої термоелектричної неоднорідності термопар, дозволяє суттєво, в декілька разів знизити трудомісткість повірки. Однак він має свої обмеження. Однією з впливаючих на похибку пропонованого методу величин є нерівномірність дрейфу ФП ділянок термоелектродів. Тому необхідно дослідити невиключену похибку пропонованого методу корекції похибки від набутої в процесі експлуатації термоелектричної неоднорідності термопар, викликану індивідуальною нерівномірністю процесу дрейфу ФП окремих ділянок їх електродів.

Методика дослідження невиключеної похибки пропонованого методу

Експериментальні дослідження пропонованого методу не дозволяють в достатній мірі дослідити його метрологічні характеристики. Отримані в умовах одного або декількох експериментальних стендів конкретні реалізації дрейфу ФП ТЕП принципово обмежені та не вичерпують можливих умов їх експлуатації. Аналітичні дослідження похибки пропонованого методу вимагають побудови комплексу математичних моделей дрейфу ФП ділянок термоелектродів, які б відповідали можливим варіантам умов експлуатації термоелектричних перетворювачів. Тому оптимальним методом дослідження метрологічних характеристик пропонованого методу є імітаційне моделювання.

Основою для формування навчальних вибірок для нейронної мережі при проведенні даних досліджень були результати оцінки похибок термопар в різних профілях температурного поля, представлені в [20], які, в свою чергу, базувалися на апроксимації результатів експериментальних досліджень [12]. При цьому кожен термоелектрод розбивався на 24 ділянки. Отримані в [20] значення похибки від набутої при експлуатації протягом 1000 годин термоелектричної неоднорідності електродів термопар типу ХА з діаметром електродів 1,2 мм відповідають повірці у 46 профілях температурного поля відносно початкового профілю температурного поля експлуатації. Для проведення дослідження відібрано значення похибки від набутої термоелектричної неоднорідності при зміні глибини занурення електродів термопар, тобто згідно з [20], при експлуатації ТЕП в найбільш небезпечному, з точки зору прояву похибки від набутої термоелектричної неоднорідності, режимі.

Максимальна навчальна вибірка, яка, згідно з [20], імітує результати повірки неоднорідної термопар при зміні глибини її занурення, складається з 28 стрічок, створених шляхом паралельного зсуву профілю температурного поля на 50°C. Кожна стрічка навчальної вибірки імітує результат повірки в одному профілі температурного поля вздовж термоелектродів. Наступні 28 стрічок займає тестова вибірка, яка повністю повторює максимальну навчальну вибірку. Її призначенням є визначення похибки корекції набутої неоднорідності запропонованим методом при зменшенні числа необхідних повірок.

Кожна i -а ділянка термоелектрода має індивідуальну нерівномірність дрейфу ФП, яку можна імітувати синусоїдою заданої амплітуди, яка має частоту, що змінюється у певних межах випадковим чином, і фазу, яка теж змінюється випадковим чином. Таку математичну модель можна представити у вигляді формули:

$$U_{NR} = r1 \cdot A \sin((w_{MIN} + r2 \cdot \Delta_w) + r3 \cdot 2p), \quad (2)$$

де U_{NR} – поточне значення термо-е.р.с. нерівномірності дрейфу довільної ділянки;

A , w_{MIN} , $2p$ – амплітуда та початкові частота і фаза синусоїди, яка визначає термо-е.р.с. нерівномірності дрейфу довільної ділянки;

$r1$, $r2$, $r3$ – випадкові числа з рівномірним законом розподілу в діапазоні від нуля до одиниці, $r \in [0;1]$.

Для дослідження похибки від зменшення числа необхідних повірок кількість стрічок навчальної вибірки скорочується з 28 до 21-ої, 14-ти і 7-и стрічок, що імітує відповідне зменшення кількості повірок в 4 рази. Зменшення кількості стрічок навчальної вибірки проводилося завжди однаково – вилученням що четвертої стрічки, що другої стрічки, вилученням трьох стрічок з кожних чотирьох. При цьому тестова вибірка завжди залишалася незмінною. Таким чином, при навчанні нейронної мережі на скороченій вибірці, тестова вибірка забезпечує дослідження похибки відтворення нейронною мережею результатів невиконаних повірок.

Як нейронну мережу, вибрано тришаровий персептрон [21]. Його вхідні нейрони виконують тільки розподільчі функції. Їх кількість відповідає кількості ділянок, на які розбито обидва термоелектроди – 48. Основні узагальнюючі властивості мають нейрони схованого рівня. Як функцію активації в даному дослідженні використано сигмоїду. Кількість нейронів схованого шару вибрана експериментально,

виявилось, що достатньо трьох нейронів схованого шару. Така кількість менша половини кількості профілів температурних полів, при яких проводилася перевірка, тому немає небезпеки втрати перцептроном узагальнюючих властивостей (прояву схильності перцептрона до перетворення в асоціативну пам'ять). Вихідний нейрон – лінійний, тобто його функція активації рівна одиниці. Штучна нейронна мережа навчалася згідно з алгоритмом зворотного поширення похибки (back propagation) [21] за методом Левенберга-Маркуарта. Максимальна кількість епох навчання – 4000 (час навчання приблизно чотири хвилини).

Результати досліджень

Початковий профіль температурного поля вздовж термоелектродів неоднорідної термопари сформовано наступним чином:

- ділянки від 1 до 8 – нульова температура (немає дрейфу ФП ТЕП);
- ділянки від 9 до 16 – градієнт температури 100°C на кожен ділянку (дрейф ФП ТЕП згідно з [12]);
- ділянки від 17 до 24 – температура 800°C (дрейф ФП ТЕП згідно [12]).

Зміна профілю температурного поля при імітації експериментального дослідження (перівки) неоднорідної термопари проводиться кроками по 50°C, тоді отримуємо 28 профілів температурного поля перевірки (ділянки 1 і 24 залишаються при початкових температурах).

На рис. 2 представлено залежність невиключеної похибки корекції похибки від набутої неоднорідності від кількості перевірок при амплітуді індивідуальної нерівномірності похибки від набутої неоднорідності 5% від її максимального значення. Як видно з графіка, середнє значення похибки корекції незначне, а максимальна похибка досить велика і відносно мало залежить від кількості перевірок.

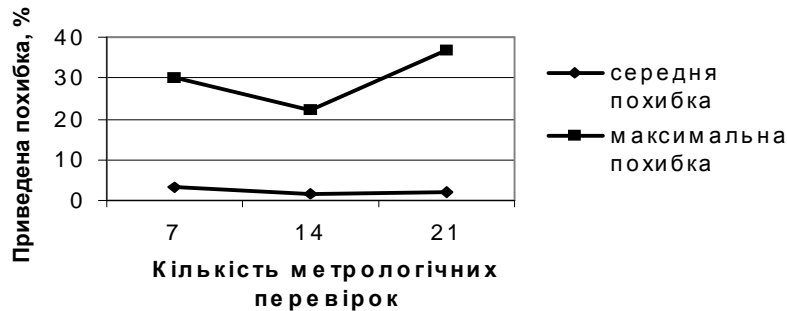


Рис. 2. Залежність невиключеної похибки корекції похибки від набутої неоднорідності від кількості перевірок при максимальній нерівномірності дрейфу 5%

На рис. 3 представлено індивідуальні реалізації залежності невиключеної похибки корекції похибки від набутої неоднорідності для семи перевірок. По осі абсцис відкладені кроки зміни профілю температурного поля, по осі ординат відкладені значення невиключеної похибки корекції похибки від зміни профілю температурного поля вздовж термоелектродів, приведені до максимального значення $\Delta_1^D \dots \Delta_{2N}^D$ цієї похибки при даному дослідженні. Як видно з рис. 3, основна маса похибок не перевищує 10%, максимальні відхилення групуються поблизу країв графіків, які відповідають дуже великим змінам профілю температурного поля. На рис. 4 представлено залежність невиключеної похибки корекції похибки від набутої неоднорідності від кількості перевірок при амплітуді індивідуальної нерівномірності похибки від набутої неоднорідності 10% від її максимального значення.

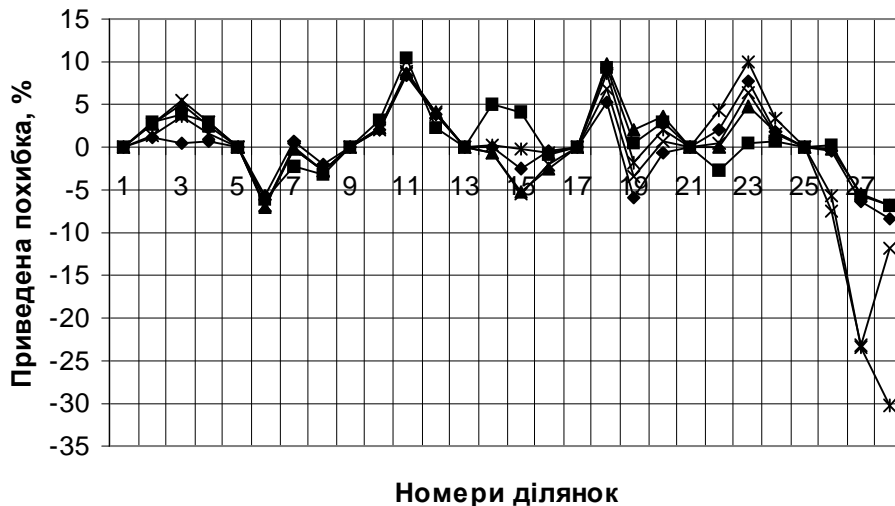


Рис. 3. Невиключена похибка корекції неоднорідності при максимальній нерівномірності швидкості дрейфу 5% для 7 перевірок (середня похибка 3,2%, максимальна 30%)

Як видно з графіка рис. 4, середнє значення похибки корекції також незначне, а максимальна похибка досить велика і пропорційна максимальній кількості повірок (хоча можна було би очікувати зворотної залежності). Як це видно з рис. 5, де представлено індивідуальні реалізації залежності похибки корекції похибки від набутої неоднорідності для семи повірок, максимальна похибка не перевищує 15% і розподілена по всіх профілях температурного поля.

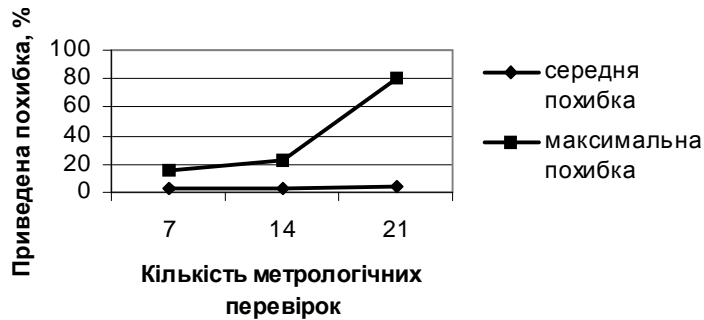


Рис. 4. Залежність невиключеної похибки корекції похибки від набутої неоднорідності від кількості повірок при максимальній нерівномірності дрейфу 10%

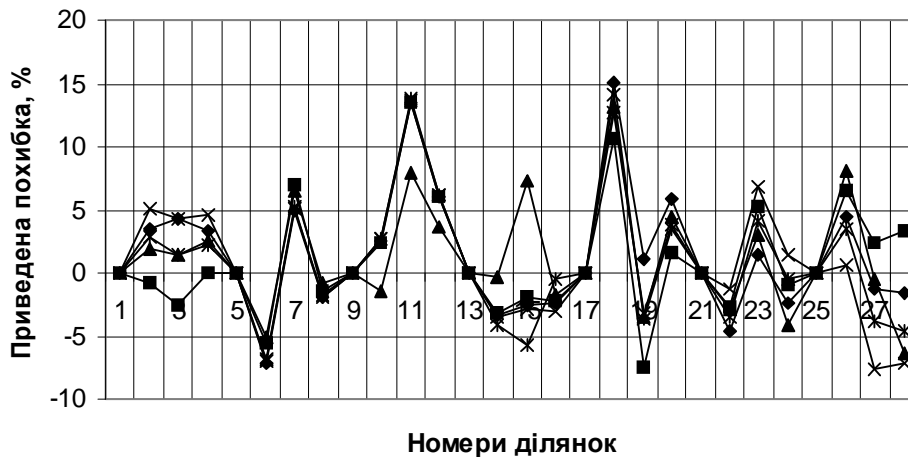


Рис. 5. Невиключена похибка корекції неоднорідності при максимальній нерівномірності швидкості дрейфу 10% для 7 повірок (середня похибка 3,3%, максимальна 15%)

На рис. 6 представлено залежність похибки корекції похибки від набутої неоднорідності від кількості повірок при амплітуді індивідуальної нерівномірності похибки від набутої неоднорідності 15% від її максимального значення. Як видно з графіка рис. 6, середнє значення похибки корекції залишається невеликим (не більше 5%) і, практично, не залежить від кількості повірок. Максимальна похибка також відносно невелика і слабо змінюється. При цьому, як це видно з рис. 7, де представлено індивідуальні реалізації залежності похибки корекції похибки від набутої неоднорідності для семи повірок, максимальна похибка цілком не обов'язково відповідає максимальній зміні профілю температурного поля.

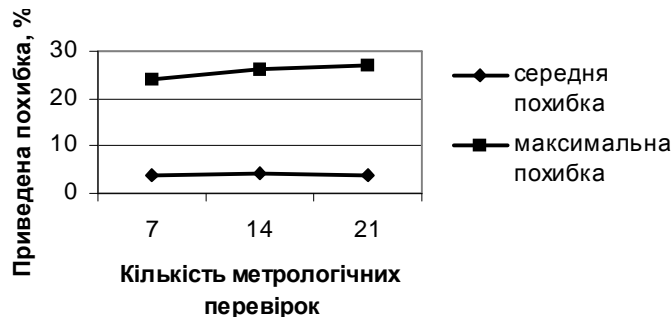


Рис. 6. Залежність невиключеної похибки корекції похибки від набутої неоднорідності від кількості повірок при максимальній нерівномірності дрейфу 15%



Рис. 7. Невиключена похибка корекції неоднорідності при максимальній нерівномірності швидкості дрейфу 15% для 7 повірок (середня похибка 3,9%, максимальна 24%)

На рис. 8 представлено гістограму розподілу невиключеної похибки корекції похибки від набутої неоднорідності термопар для максимальної нерівномірності дрейфу до 15% і при скороченні кількості профілів полів повірок до 7 (тобто для максимально складного випадку). Як видно з рис. 8, закон розподілу похибки корекції можна вважати наближеним до нормального, імовірність великих відхилень обчислених нейронною мережею значень від результатів повірки досить мала.

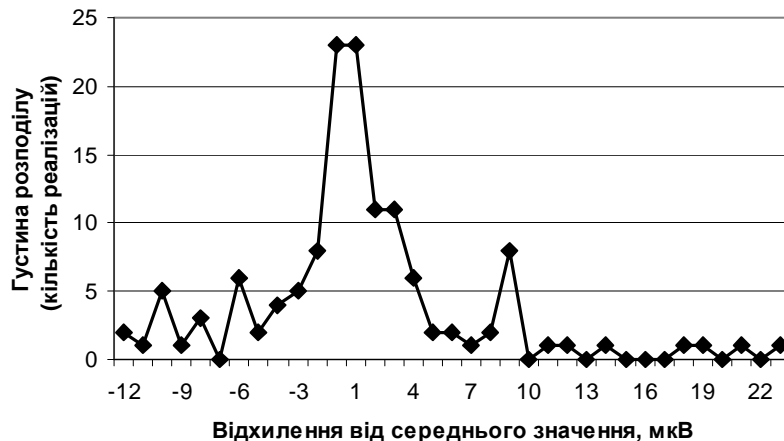


Рис. 8. Гістограма розподілу невиключеної абсолютної похибки корекції для індивідуальної нерівномірності дрейфу

Середньоквадратичне відхилення S для окремої реалізації може бути визначене за формулою [22]:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - M)^2} \approx 6mV, \quad (4)$$

де $X_i - M$ – абсолютні значення похибки корекції похибки від набутої неоднорідності.

Обчислення показали, що оцінка невиключеної похибки корекції, визначена як $\pm 3S$, становить $\pm 18,5$ мкВ, тобто 95% значень невиключеної похибки при корекції похибки від набутої неоднорідності після проведення процедури корекції входять в межі $\pm 18,5$ мкВ або $\pm 0,46^\circ\text{C}$, а оцінка невиключеної похибки для довірчої імовірності $P = 0,9$ становить ± 12 мкВ або $\pm 0,3^\circ\text{C}$.

Висновки

З наведених вище результатів дослідження запропонованого в [17, 19] методу корекції похибки від набутої в процесі тривалої експлуатації термоелектричних перетворювачів термоелектричної неоднорідності електродів термопар можна зробити наступні висновки:

1. Запропонований метод корекції похибки від набутої неоднорідності електродів термопар забезпечує проведення корекції при наявності індивідуальної нерівномірності дрейфу їх окремих ділянок.

2. При дослідженні похибок запропонованого методу було використано найпростішу та найкраще вивчену нейронну мережу – тришаровий перцептрон, який забезпечив проведення корекції при значному (в чотири рази) зменшенні кількості необхідних повірок.

3. Мінімальне значення вибраної при імітаційних дослідженнях кількості необхідних повірок – сім – зумовлене як обмеженнями методу корекції, так і властивостями самого тришарового перцептрона (як

відомо [21], при малій кількості векторів навчальної вибірки тришаровий перцептрон перестає навчатися).

4. Незважаючи на використання найпростішої нейронної мережі, запропонований метод дозволяє забезпечити значне підвищення точності вимірювання температури за наявності індивідуальної нерівномірності дрейфу окремих ділянок термоелектродів.

5. Закон розподілу невиключеної похибки корекції похибки від набутої неоднорідності термопар при наявності індивідуальної нерівномірності дрейфу їх окремих ділянок близький до нормального.

6. Максимальна невиключена похибка корекції від індивідуальної нерівномірності дрейфу ділянок термоелектродів до 15% від максимального дрейфу на рівні 3σ не перевищує $0,46^{\circ}\text{C}$, при нерівномірності вищій за 15% значно зростає кількість великих відхилень від прогнозованого нейронною мережею значень поправок.

7. В більшості випадків можна стверджувати, що похибка від набутої неоднорідності термоелектродів з допомогою запропонованого методу може бути зменшена в 3...6 разів.

8. Поодинокі великі відхилення прогнозованих нейронною мережею значень поправок від потрібних значень можна в деякій мірі пояснити використанням для реалізації запропонованого методу найпростішої нейронної мережі – тришарового перцептрона. Складніші структури нейронних мереж, зокрема нейронні мережі, що використовують радіально-базисні функції, можуть дати кращий ефект.

Література

1. Гордов А.Н. Основы пирометрии / Гордов А.Н. – М. : Металлургия, 1971. – 447 с.
2. Southworth D.J. Temperature Calibration with Isotech Block Baths / Southworth D.J. – Handbook of Isothermal Corporation Limited 1999.
3. Перетворювачі термоелектричні. Номінальні статичні характеристики перетворення : ДСТУ 2837-94. – [Чинний від 1986-04-01] – К. : Держстандарт України, 1994. – (Національний стандарт України)
4. International standard Thermocouples : IEC 584-2. – Geneve, 1982 (Міжнародний стандарт)
5. Саченко А.А. Разработка методов повышения точности и создание систем прецизионного измерения температур в промышленных технологиях : автореф. дис. на соискание науч. степени докт. техн. наук : спец. 05.11.16 “Информационно-вычислительные системы” / А.А.Саченко. – Ленинград, 1988. – 32 с.
6. Саченко А.А. Совершенствование методов измерения температуры / А.А. Саченко, Е.Я. Твердый. – К. : Техніка, 1983. – 104 с.
7. Березький О.М. Системи вимірювання температури з елементами штучного інтелекту : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.11.04 “Прилади та методи вимірювання теплових величин» / О.М. Березький. – Львів, 1996. – 20 с.
8. Турченко В.О. Нейромережеві методи і засоби підвищення ефективності дистрибутивних мереж збору та обробки сенсорних даних : автореф. дис на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.13.13. «Обчислювальні машини, системи, мережі» / В.О. Турченко. – Львів, 2001. – 16 с.
9. Белоусов И.А. Повышение точности многоканальных измерительных устройств с термоэлектрическими преобразователями : автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук : 05.11.05 «Методы и средства измерения электрических и магнитных величин» / И.А. Белоусов. – Львов, 1991. – 20 с.
10. Павлов Б.П. Термоэлектрическая неоднородность электродов термопар / Павлов Б.П. – М. : Изд-во стандартов, 1979. – 109 с.
11. Кириков И.И. Некоторые законы термоэлектрической неоднородности / И.И. Кириков // Исследование в области температурных измерений. – М. : ВНИИМ. – 1976. – С. 11-15.
12. Рогельберг И.Л. Стабильность термоэлектродвижущей силы термопар хромель-алюмель при нагреве на воздухе при температурах до 1200°C / [Рогельберг И.Л., Нужнов А.Г., Покровская Г.Н. и др.] – Исследование сплавов для термопар. – М. : Металлургия, 1967. – Вып. 24. – Т. 2. – С. 54-65.
13. Мильченко В.Ю. Исследование методов и разработка средств поверки термоэлектрических преобразователей из неблагородных металлов : автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук : спец. 05.11.15 «Метрологическое обеспечение по отраслям» / В.Ю. Мильченко. – Москва, 1984. – 25 с.
14. Чирка М.І. Підвищення точності вимірювання температури термоелектричними перетворювачами в нерівномірних теплових полях : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.11.04 "Прилади та методи вимірювання теплових величин" / М.І. Чирка. – Львів, 1997. – 20 с.
15. Чирка М.І. Моделювання підвищення точності прогнозування нестабільності характеристик перетворення термоелектричних перетворювачів / М.І. Чирка, Н.М. Васильків, Р.В. Кочан // Вісник ТАНГ. Економіко-математичне моделювання. – 1999. – № 2 (6). – С. 26-31.
16. Дослідження похибки вимірювання температури від набутої термоелектричної неоднорідності електродів термопар / Н.М. Васильків, О.В. Кочан, В.В. Кочан, А.О. Саченко // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2009. – № 70. – С. 110–117.
17. Пат. 92192 Україна, МПК (2009) G01K 7/02. Спосіб корекції похибки неоднорідності термопар / Н.М. Васильків, О.В. Кочан, В.В. Кочан – № а200805623 ; заявл. 29.04.2008 ; опубл. 11.10.2010, Бюл. № 19, 2010.
18. Пат. 97464 Україна, МПК G01K 15/00. Термоелектричний перетворювач / Кочан О.В., Кочан

19. Васильків Н.М. Метод корекції похибки вимірювання температури неоднорідними термопарами / Н.М. Васильків // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2010. – № 2. – С. 168-173.

20. Васильків Н. Дослідження впливу змін профілю температурного поля на похибку вимірювання температури неоднорідними термопарами / Н. Васильків, О. Кочан // Вісник Тернопільського національного технічного університету. – 2010. – Т. 15. – № 2. – С. 146-153.

21. Kroese V. An Introduction to Neural Networks. – Amsterdam: University of Amsterdam, 1996. – 120 p.

22. Дорожовець М. Опрацювання результатів вимірювань : [навч. посібник] / Дорожовець М. – Львів : Вид-во Національного університету “Львівська Політехніка”, 2007. – 624 с.

Надійшла 5.6.2012 р.

Рецензент: д.т.н. Саченко А.О.

УДК 519.7

А.А. ШИЯН

Вінницький національний технічний університет

ОПТИМІЗАЦІЯ ДІЯЛЬНОСТІ АГЕНТІВ В ІНФОРМАЦІЙНИХ ТА ТЕЛЕКОМУТАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЧИМИ ТА ОРГАНІЗАЦІЙНИМИ СТРУКТУРАМИ

Описано методи для оптимізації діяльності агентів в задачах створення інформаційних та телекомунікаційних систем для управління виробничими та організаційними структурами з урахуванням наявності типів діяльності. Наведено методи для необхідної модифікації результатів теорії рефлексивних ігор.

The methods for optimization of agents' activity in problems on design of information and telecommunication system for control in industrial and organizational structures for the types of activities are described. The methods for modify the results of the theory of reflexive games are obtained.

Ключові слова: виробничі структури, організаційні структури, багатоагентні системи, рефлексивні ігри, оптимізація.

Вступ

Виробничі та організаційні структури є традиційним об'єктом дослідження в теорії управління. Задачі створення потужних інформаційних та телекомунікаційних систем для автоматизації управління в таких системах вимагають врахування специфічних особливостей людської компоненти. Найголовнішою такою особливістю є здатність людей-операторів до узгодження своїх дій та прийняття рішення у відповідності до цього.

Таким чином, розробка інформаційних та телекомунікаційних систем для управління виробничими та організаційними структурами, які включають в себе моделі прийняття рішення людиною в якості складового елемента, є актуальною науковою та важливою практичною задачею.

Огляд літератури та постановка задачі

Основна задача побудови інформаційних та телекомунікаційних систем для управління організаційними системами полягає в моделюванні її людської компоненти [1]. Загальна модель для управління в організаційних системах зводиться до моделі прийняття рішень людиною-оператором (агентом, гравцем, «активним елементом» – використовуються різні терміни) [1, 2]. З метою моделювання діяльності людини-оператора вводяться два простори. Перший – це простір A можливих для вибору стратегій людини. Другий – це простір A_0 результатів діяльності людини (результатів виконання відповідних стратегій).

Тоді діяльність людини-оператора може бути представлена певним оператором a , який діє з простору A в простір A_0 : $a: A @ A_0$.

У випадку, коли маємо багатоагентну систему (систему, що включає в себе багато людей-операторів, які приймають рішення), то узгодження інтересів агентів здійснюється на основі теорії ігор [1–4].

В [5, 6] побудовано математичний апарат для моделювання діяльності людини-оператора, передовсім – управлінської. Для цього розроблено універсальний метод для розбиття простору A можливих для вибору стратегій та простору A_0 результатів діяльності людини на вісім непересічних класів, які названі компонентами інформаційного простору. Далі побудовано новий клас математичних операторів, що діють в цих просторах $a: A @ A_0$. Ці оператори названі двокомпонентними абстрактними інформаційними автоматами (2AIA). Показано, що мінімальна кількість різних операторів, які здатні повністю описати довільну діяльність над просторами A та A_0 складає 16 різних типів 2AIA.

Таким чином, внаслідок того, що кожен із типів 2AIA здатний при здійсненні діяльності відбрати стратегії лише із певної підмножини простору можливих стратегій A та здійснювати діяльність лише в рамках певної підмножини простору A_0 , виникає задача про необхідність модифікації існуючих результатів теорії ігор.

Метою статті є опис модифікації результатів теорії рефлексивних ігор, яка необхідна для їх