



УКРАЇНА

(19) UA (11) 92192 (13) C2  
(51) МПК (2009)  
G01K 7/02МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

## (54) СПОСІБ КОРЕКЦІЇ ПОХИБКИ НЕОДНОРІДНОСТІ ТЕРМОПАР

1

2

(21) а200805623

(22) 29.04.2008

(24) 11.10.2010

(46) 11.10.2010, Бюл.№ 19, 2010 р.

(72) ВАСИЛЬКІВ НАДІЯ МИХАЙЛІВНА, КОЧАН  
ОРЕСТ ВОЛОДИМИРОВИЧ, КОЧАН ВОЛОДИМИР  
ВОЛОДИМИРОВИЧ(73) ВАСИЛЬКІВ НАДІЯ МИХАЙЛІВНА, КОЧАН  
ОРЕСТ ВОЛОДИМИРОВИЧ, КОЧАН ВОЛОДИМИР  
ВОЛОДИМИРОВИЧ

(56) RU 2307345 C1; 27.09.2007

RU 2217735 C1; 27.11.2003

JP 57191524 A; 25.11.1982

US 6158885; 12.12.2000

JP 4318431 A; 10.11.1992

JP 1018033 A; 20.01.1989

RU 2093819 C1; 20.10.2007

(57) Спосіб корекції похибки неоднорідності термопар, що полягає у періодичному знаходженні дійсного значення сумарної похибки термопар шляхом перевірки термопар за допомогою повірної печі та взірцевого засобу вимірювання температури, такого як взірцева термопара, і побудові індивідуальної математичної моделі прогнозу похибки неоднорідності термопар як суми похибок окремих ділянок її електродів, при цьому коригування

за результатами згаданого знаходження дійсного значення сумарної похибки здійснюють шляхом розподілу відхилення результату прогнозу сумарної похибки термопар від її дійсного значення між похибками згаданих окремих ділянок, який відрізняється тим, що проводять декілька процедур перевірки термопар, при кожній з яких змінюють профіль температурного поля вздовж електродів термопар, для чого змінюють уставки регулювання додаткових регуляторів температури та змінюють глибину занурення термопар, що перевіряється, кожного разу вимірюють температуру термопарою, що перевіряється, та взірцевою термопарою і запам'ятовують ці значення вимірюваних температур, а також значення прогнозованих для цих профілів температурного поля індивідуальними математичними моделями похибок окремих ділянок електродів термопар і їх сумарне відхилення від різниці результатів вимірювання температури термопарою, що перевіряється, і взірцевою термопарою, потім розподіляють це відхилення між окремими ділянками за допомогою нейронної мережі таким чином, щоб сумарне відхилення результатів прогнозу від знайдених дійсних значень похибки було мінімальним для всіх профілів температурного поля перевірки.

Запропонований спосіб корекції відноситься до вимірювальної техніки та метрології. Він визначає доцільну послідовність дій для підвищення точності вимірювання температури з допомогою термоелектричних перетворювачів (ТЕП), що мають значну набуту термоелектричну неоднорідність, шляхом створення індивідуальної математичної моделі похибки термоелектричної неоднорідності електродів термопар, яка входить в їх склад.

Основою ТЕП є термопара [1], що представляє собою два провідники (термоелектроди), виготовлені з різних металів або сплавів, з'єднані одними з кінців (робочий кінець). Інші, не з'єднані між собою кінці, називають вільними кінцями. ТЕП [1, 2] звичайно містять термопару, захисний чохол, ізоляційні (звичайно, керамічні) втулки (буси) та

головку, в якій розміщені контакти (клеми), до яких під'єднують вільні кінці термопар і які служать виходом ТЕП. Різні типи таких ТЕП на сьогодні забезпечують вимірювання температур в діапазоні 600...2500°C з точністю, вищою за інші типи давачів.

Однак похибки термопар досить великі. Наприклад, для термопар типу ПП (платина - платина +10% родію), що на сьогодні мають найвищу точність, границя основної допустимої похибки при 1000°C досягає 2,4°C [2, 3]. Термопары з благородних металів мають в 2...3 рази вищі похибки. Наприклад, для термопар типу ХА (хромель-алюмель) границя основної допустимої похибки при 1000°C досягає 7,4°C [2, 3].

Для підвищення точності вимірювання температури використовують індивідуальну характерис-

(13) C2

(11) 92192

(19) UA

тику перетворення (ХП) термопар, для чого проводять її повірку, визначають індивідуальні поправки і, при експлуатації, виконують корекцію похибки ТЕР за допомогою цих поправок [4]. Але цей спосіб вимагає досить частої повірки термопар або ТЕР в цілому через відносно значний часовий дрейф термопар під дією високої температури експлуатації [2, 5...7]. Тому доцільною є побудова на базі отриманих результатів повірок індивідуальної математичної моделі дрейфу, яка дозволяє прогнозувати дрейф за тривалий міжповірний інтервал [8...10].

Але, як показано в [11], згадані способи можуть не дати значного підвищення точності при використанні термопар, які довго перебували в експлуатації. Це пов'язано з явищем термоелектричної неоднорідності термоелектродів. Воно полягає в тому, що питома термо-е.р.с. окремих ділянок термоелектродів термопар, які тривалий час перебували під дією високої температури експлуатації, змінюється (дрейфує) через поступове зростання рівня забруднень термоелектродів (дифузія домішок, окислення) і міжкристалічних напружень. Зміна питомої термо-е.р.с. зазвичай пропорційна температурі експлуатації ділянки і залежить від часу експлуатації, рівня забруднень середовища вимірювання температури та індивідуальних особливостей кристалічної ґратки термоелектродів. Це веде, по-перше, до зміни ХП термопар під час експлуатації (їх часовий дрейф, описаний в [2, 5...7]), і, по-друге, до того, що е.р.с. термопар, які вже експлуатувалися, є функцією не тільки різниці температур між робочим і вільними кінцями. Профіль температурного поля вздовж термоелектродів стає додатковою впливаючою величиною, яка і визначає похибку неоднорідності. Це означає, що знайдена при повірці коригуюча поправка (в температурному полі печі, в якій проводилася повірка) не обов'язково відповідає похибці ТЕР в робочих умовах (в температурному полі об'єкта експлуатації). Тому, як вказано в [11], явище термоелектричної неоднорідності термопар, які вже експлуатувалися, суттєво обмежує можливості корекції похибок термопар за допомогою їх повірки. Такий стан привів до появи кількох способів підвищення точності корекції похибок неоднорідних термопар:

1. Повірка ТЕР в температурному полі, що відтворює профіль поля експлуатації [12]. Це дозволяє зменшити вплив неоднорідності тільки в тому випадку, коли профіль температурного поля експлуатації відомий і незмінний (стабільний), тобто має обмежене застосування.

2. Повірка ТЕР безпосередньо на місці експлуатації з допомогою спеціального температурного калібратора [13, 14]. Такий спосіб зменшує вплив неоднорідності при змінах профілю температурного поля в процесі експлуатації, однак вимагає слідкування за цими змінами і проведення калібрування після виникнення кожної суттєвої зміни (і додаткового дослідження, які зміни є в кожному окремому випадку суттєвими). Крім того, температурні калібратори поки що не випускаються.

3. Повірка ТЕР безпосередньо на місці експлуатації з допомогою взірцевої термопар, яка

вставляється в спеціально передбачений канал чохла [15]. Такий спосіб по суті еквівалентний попередньому і має всі його недоліки, його перевага тільки в тому, що взірцеві термопарі випускаються і широко застосовуються органами Держкомспоживстандарту.

4. Оснащення ТЕР, що складається з чохла і головної термопар, декількома підсистемами регулювання температури, кожна з яких складається із додаткової термопар, пристрою керування і нагрівача, причому ці додаткові термопарі та відповідні їм нагрівачі зміщені по осі відносно головної термопар [16]. Така конструкція дозволяє встановити вздовж термоелектродів головної термопар свій профіль температурного поля, незалежний від профілів температурних полів повірки та експлуатації. Через це похибка від неоднорідності термоелектродів головної термопарі не може себе проявити. Однак такий спосіб зменшення похибки вимірювання температури вимагає як значного ускладнення конструкції ТЕР за рахунок додаткових нагрівачів, так і системи вимірювання температури з його допомогою за рахунок декількох каналів керування нагрівачами. Таким чином цей спосіб вимагає значних додаткових затрат на його реалізацію.

5. Повірка ТЕР в температурному полі, яке не відтворює профіль поля експлуатації, однак отримує значення поправки перераховується в температурне поле експлуатації [12, 17, 18]. Такий спосіб дозволяє зменшити вплив неоднорідності не тільки в тому випадку, коли профіль температурного поля експлуатації стабільний, а і при його змінах в процесі експлуатації. Але він вимагає, по-перше, постійного контролю поточного профілю температурного поля вздовж термоелектродів з допомогою додаткових датчиків температури (наприклад, термопар), по-друге, виявлення критеріїв розподілу сумарної похибки ТЕР спочатку між двома електродами термопар, а потім - між всіма ділянками кожного електрода [19]. Ці критерії залежать від матеріалу термоелектродів, забруднень, характерних для даного місця експлуатації і часу експлуатації ТЕР. При невідповідності прийнятих критеріїв дійсним, виникає методична похибка корекції, яка може не знизити, а підвищити похибку вимірювання температури. Задача виявлення адекватних критеріїв розподілу сумарної похибки ТЕР є дуже трудомісткою. Для її вирішення необхідне проведення великого числа додаткових експериментів власне для даних умов експлуатації. Не менш важкою є задача оцінки похибки вимірювання температури після проведення корекції. Тому такий спосіб корекції похибок неоднорідності є досить трудомістким і, в загальному, не є надійним.

Прототипом пропонованого способу корекції похибки неоднорідності термопар є описаний в п. 5 попереднього абзацу спосіб, що передбачає повірку термопар або ТЕР в цілому у відомому (контрольованому) температурному полі, профіль якого відрізняється від профілю температурного поля експлуатації, та наступний перерахунок отриманого під час повірки дійсного значення похибки термопар в розрахункове значення похибки

ки, яке відповідає від профілю температурного поля експлуатації. [12, 17, 18].

Метою винаходу є створення такого способу корекції похибки неоднорідності термопар, який забезпечує високу точність і надійність без необхідності відтворення в повірній печі профілю температурного поля експлуатації, без значного ускладнення самого ТЕП, без великого об'єму додаткових експериментів, для різних умов експлуатації.

Суть пропонованого способу корекції похибки неоднорідності термопар полягає у періодичному знаходженні дійсного значення сумарної похибки термопар, побудові індивідуальної математичної моделі прогнозу похибки неоднорідності та її корекції за знайденими дійсними значеннями сумарної похибки термопар. При цьому дійсні значення сумарної похибки термопар знаходять, наприклад, шляхом повірки термопар або ТЕП в цілому з допомогою повірної печі та взірцевого засобу вимірювання температури, наприклад, взірцевої термопар. Індивідуальну математичну модель прогнозу похибки неоднорідності термопар будують у вигляді суми похибок окремих ділянок її електродів. Корекція за результатами згаданого знаходження дійсного значення сумарної похибки реалізується шляхом розподілу відхилення результату прогнозу сумарної похибки термопар від її дійсного значення між похибками згаданих окремих ділянок. Особливістю пропонованого способу є те, що повірку проводять при декількох профілях температурного поля вздовж електродів термопар, які реалізуються повірною піччю. Розподіл відхилення результатів прогнозів сумарної похибки термопар від її дійсних значень в цих профілях температурного поля між окремими ділянками проводять згідно деякого зваженого критерію. Цей критерій повинен враховувати максимальну кількість впливаючих на похибку індивідуальної математичної моделі прогнозу величин, наприклад, температуру експлуатації ділянок, значення градієнту температурного поля експлуатації, тип забруднень в умовах експлуатації, дисперсію результатів досліджень дрейфу в умовах експлуатації ділянок, тощо. Вагові коефіцієнти критерію знаходять дослідним шляхом з умови мінімуму суми відхилення результатів прогнозу від знайдених дійсних значень похибки для всіх профілів температурного поля повірки.

Побудована індивідуальна математична модель прогнозу похибки неоднорідності буде відповідати дійсному розподілу похибок між ділянками електродів термопар через те, що для різних температурних полів вона буде відтворювати дійсну похибку термопар (знайдену експериментальним шляхом). Якщо би розподіл похибок між ділянками електродів термопар не відповідав дійсному, то для різних температурних полів не можна було би забезпечити мінімум сумарної похибки термопар. Таким чином, отримавши для кожної ділянки електродів термопар ряд дійсних значень похибок, які їм властиві, можна побудувати індивідуальні математичні моделі, які зможуть прогнозувати похибки неоднорідності кожної ділянки зокрема з достатньо високою достовірністю і точністю. Для цього

доцільно використати, наприклад, нейромережеві методи прогнозу, досліджені в [10].

Слід також відзначити відносну простоту реалізації способу. По відношенню до прототипу сам ТЕП (як основний пристрій, що реалізує пропонований спосіб) не ускладнюється. Пропонований ТЕП, як і прототип, вимагає вимірювання поточних параметрів профілю температурного поля вздовж електродів з допомогою або власних (вбудованих), або зовнішніх засобів. Як вбудовані засоби можна використати, наприклад, додаткові термопарі (або інші давачі температури), розміщені в корпусі ТЕП і зміщені по осі відносно головної термопарі, яка власне вимірює температуру об'єкта. Перелічені засоби можуть не входити в склад самого ТЕП, тоді їх слід вважати зовнішніми. Також можливе використання багатозонної термопарі [1]. Таким чином, для реалізації пропонованого способу необхідно ускладнити тільки повірну піч, яка може обслуговувати сотні робочих термопар. Ускладнення повірної печі не буде значним - зміну профілю температурного поля повірної печі можна реалізувати шляхом зміни глибини занурення термопар або ТЕП, що повіряються. Правда така зміна не міняє значення градієнта температурного поля вздовж електродів, тому доцільно оснастити повірну піч додатковим нагрівачем, давачем температури та регулятором, тоді стає можливим поєднання змін значення градієнта температурного поля вздовж електродів зі зміною глибини занурення термопар або ТЕП, що повіряються.

Решта операцій пропонованого способу виконуються обчислювальним шляхом, тобто не вимагають іншого додаткового обладнання, крім засобу обчислення (мікроконтролера або комп'ютера), які зазвичай і так присутні в складі сучасних вимірювально-керуючих систем.

Таким чином, пропонований спосіб дозволяє забезпечити високу точність і надійність корекції для різних умов експлуатації без великого об'єму додаткових експериментів, тобто досягти мету винаходу. При цьому вилучення хоча би однієї операції робить спосіб непрацездатним.

Суть пропонованого способу корекції похибки неоднорідності термопар пояснює Фіг.1, де представлено схематичне зображення засобів повірки для реалізації пропонованого способу, Фіг.2, де представлено варіанти профілів температурних полів при повірці та Фіг.3, де представлено один з варіантів реалізації процедури розподілу похибки корекції таким чином, щоби сумарне відхилення результатів прогнозу від знайдених дійсних значень було мінімальним для всіх профілів температурного поля повірки за допомогою штучних нейронних мереж.

На Фіг.1 схематично зображено головну термопару ГТ, що повіряється в повірній печі, яка складається з головного нагрівача ГНП і давача температури ДТП, підключених відповідно до входу і входу регулятора температури РТ. Для зміни градієнту температурного поля повірки передбачено додатковий нагрівач ДНП і додатковий давач температури ДДТП, також підключені до регулятора температури РТ. Крім того, градієнт температурного поля повірки ГТ міняється шляхом

зміни глибини її занурення, тобто просторового розміщення ГТ відносно ГНП і ДНП. В повірній печі розміщено також взірцевий давач температури, наприклад, взірцеву термопару ВТ, підключену до входу взірцевого засобу вимірювання термо- е.р.с. ВЗВ, до якого підключено також вихід термопар ГТ.

На Фіг.1 не зображені:

1. Засоби компенсації або корекції впливу температури вільних кінців ГТ і ВТ. Вони потрібні та їх похибка, як і при реалізації інших способів повірки термопар, суттєво впливає на похибку повірки, але до пропонованого способу вони відношення не мають;

2. Засоби вимірювання поточних параметрів профілю температурного поля вздовж електродів ГТ. Ці засоби потрібні, похибка визначення температур ділянок ГТ прямо впливає на похибку побудови індивідуальних математичних моделей прогнозу похибки неоднорідності. Тому, для забезпечення вищої точності вимірювання температури, теоретично доцільно використовувати власні (вбудовані) засоби вимірювання поточних параметрів профілю температурного поля електродів ГТ через те, що вони ж будуть використовуватися при експлуатації ТЕП і вплив їх похибки взаємно компенсується. Однак похибка від вимірювання поточних параметрів профілю температурного поля вздовж електродів при корекції неоднорідності є величиною другої степені малості, тому можливе і використання засобів вимірювання поточних параметрів профілю температурного поля печі, які належать самій печі.

На Фіг.2 схематично зображено варіанти профілів температурних полів при повірці, які реалізовані за рахунок трьох варіантів глибини занурення при двох градієнтах температурного поля повірки - при ввімкненому і вимкненому додатковому нагрівачі ДНП. Можлива значно більша кількість варіантів комбінацій при використанні декількох нагрівачів або при підтриманні заданої різниці температур між ГНП і ДНП.

Для пояснення процедури розподілу похибки корекції таким чином, щоби сумарне відхилення результатів прогнозу від знайдених дійсних значень було мінімальним для всіх профілів температурного поля повірки визначимо математичні основи корекції похибки неоднорідності термопар. В результаті повірки термопар або ТЕП в повірній печі з деяким профілем температурного поля отримуємо дійсне значення її термо- е.р.с.  $E_{TCR}$ , яке є сумою номінального значення  $E_{TCN}$  і дійсного відхилення від нього  $\Delta E_{TCR}$

$$E_{TCR} = E_{TCN} + \Delta E_{TCR}$$

В той же час поточна корекція похибки неоднорідності ведеться шляхом прогнозу цієї похибки  $\Delta E_{TCR}$  згідно математичної моделі, яка представляє собою суму моделей похибок всіх ділянок

$$\Delta E_{TCR} = \sum_{k=1}^n \Delta E_{TE1Pk} + \sum_{k=1}^n \Delta E_{TE2Pk}$$

Тому можна записати аналогічне співвідношення для прогнозованого значення термо- е.р.с.  $E_{TCP}$

$$E_{TCP} = E_{TCN} + \Delta E_{TCP}$$

В ідеальному випадку дійсне  $E_{TCR}$  і прогнозоване  $E_{TCP}$  значення термо- е.р.с. повинні співпадати, тобто  $\Delta E_{TCR} = \Delta E_{TCP}$ . Однак реально виникає похибка прогнозу  $\Delta \Delta E_{TCR}$ , яку можна визначити як

$$\Delta \Delta E_{TCR} = \Delta E_{TCP} - \Delta E_{TCR}$$

Основною задачею пропонованого способу корекції похибки неоднорідності термопар є такий розподіл знайденої за результатами повірки похибки прогнозу  $\Delta \Delta E_{TCR}$  між  $n$  окремими ділянками прогнозу обох електродів, щоби звести в наступний міжповірний інтервал похибку прогнозу  $\Delta \Delta E_{TCR}$  до нуля. Для цього спочатку необхідно розподілити  $\Delta \Delta E_{TCR}$  між двома електродами термопар згідно критерію  $K_1$

$$\Delta \Delta E_{TCR} = \Delta \Delta E_{TE1P} + \Delta \Delta E_{TE2P} = K_1 \Delta \Delta E_{TCP} + (1 - K_1) \Delta \Delta E_{TCR}$$

Далі необхідно розподілити сумарні похибки кожного з електродів термопар  $\Delta \Delta E_{TE1P}$  і  $\Delta \Delta E_{TE2P}$  між  $n$  окремими ділянками цих електродів згідно критерію  $K_2$

$$\Delta \Delta E_{TE1Pk} = \sum_{k=1}^n K_{21k} \Delta \Delta E_{TE1P}$$

$$\Delta \Delta E_{TE2Pk} = \sum_{k=1}^n K_{22k} \Delta \Delta E_{TE2P}$$

Критерії  $K_{21k}$  і  $K_{22k}$  повинні задовольняти мову

$$\sum_{k=1}^n K_{21k} = 1,$$

$$\sum_{k=1}^n K_{22k} = 1.$$

Задача знаходження значень  $K_{21k}$  і  $K_{22k}$  аналітичними методами є дуже складною, тому пропонується використати для її вирішення штучні нейронні мережі. Як відомо, штучні нейронні мережі, зокрема, трирівневий перцептрон, мають хороші узагальнюючі властивості. На Фіг.3 представлено структуру вузла, який реалізує процедуру розподілу похибки корекції  $\Delta \Delta E_{TCR}$ , тобто знаходження значень  $K_{21k}$  і  $K_{22k}$  таким чином, щоби сумарне відхилення результатів прогнозу від знайдених дійсних значень  $\Delta \Delta E_{TCR}$  було мінімальним для всіх профілів температурного поля повірки. Похибки обох електродів термопар слабо корельовані. Хоча їх значення і залежать від одних і тих же забруднень, які поступають з оточуючої атмосфери, ці забруднення по різному діють на кожен електрод, крім того, електроди мають значні індивідуальні особливості реакції на зовнішні забруднення. Крім того, дрейф ХП термопар, а значить і неоднорідність їх електродів, залежить не тільки від зовнішніх забруднень, а і від внутрішніх процесів (окислення, міграція, ріст міжкристалічних напружень). В зв'язку з тим, трирівневий перцептрон, представлений на Фіг.3, розділений поелектродно - він складається з двох частин, об'єднаних одним вихідним нейроном ВихН. Крім вихідного нейрону ВихН, в склад нейронної мережі входять декілька вхідних нейронів  $VxH1 \dots VxHn$  і декілька нейронів схованого рівня  $CxH1 \dots CxHj$ . Вхідні нейрони  $VxH1 \dots VxHn$  виконують тільки розподільчі функції. Кількість вхідних нейронів  $n$  повинна відповідати

кількості ділянок прогнозу дрейфу, на які розбито кожен електрод.

Основні узагальнюючі властивості мають нейрони схованого рівня  $SxH1...SxHj$ . Їх вихідний сигнал  $h_j$  визначається добутком зваженої суми на функцію активації з врахуванням зміщення  $T_j$

$$h_j = F \left( \sum_{i=1}^m w_{ij} \times X_{ij} - T_j \right),$$

де  $w_{ij}$  - ваговий коефіцієнт  $i$ -того входу  $j$ -того нейрона;  $X_{ij}$  - значення, яке поступає на  $i$ -тий вхід  $j$ -того нейрона з вхідних нейронів;  $F(.)$  - функція активації, однакова для всіх нейронів схованого рівня - як функцію активації в даному випадку доцільно використовувати сигмоїду

$F = \frac{1}{1 + e^{-x}}$ .

$$F = \frac{1}{1 + e^{-x}}$$

Кількість нейронів схованого рівня  $j$  вибирається експериментально, однак вона не повинна перевищувати половини від кількості профілів температурних полів, при яких проводилася перевірка, інакше трирівневий перцептрон втрачає узагальнюючі властивості (починає проявлятися його схильність до перетворення в асоціативну пам'ять).

Вихідний нейрон  $VixH$  - лінійний, тобто його функція активації рівна одиниці.

Штучна нейронна мережа навчається за результатами перевірки. При цьому на її вхід по чергово подаються вектори навчання. Кожен вектор складається з результатів прогнозу дрейфу для кожної ділянки обох електродів для деякого профілю температурного поля перевірки (подаються на вхідні нейрони) і результату перевірки (дійсного відхилення  $\Delta E_{TCR}$ ). З цим дійсним відхиленням  $\Delta E_{TCR}$  порівнюється значення, обчислене на виході штучної нейронної мережі. Отримана різниця служить для цілеспрямованої зміни вагових коефіцієнтів відповідно до алгоритму навчання нейронних мереж (back propagation).

В результаті багатьох циклів навчання нейронної мережі відхилення обчислених на виході штучної нейронної мережі значень будуть мінімально відрізнятися від отриманих експериментальним шляхом при перевірці дійсних відхилень ХП термопари від номінальних  $\Delta E_{TCR}$ , тобто буде виконана остання операція запропонованого способу. При цьому навчена нейронна мережа містить в собі в неявному виді коефіцієнти  $K_1$ ,  $K_{21k}$  і  $K_{22k}$ . Така навчена нейронна мережа власне і повинна бути використана при прогнозі похибки термопари під час експлуатації для корекції похибки неоднорідності.

Як видно з викладеного, виконання операцій запропонованого способу дозволить значно підвищити точність корекції похибок неоднорідності через те, що прогнозовані для кожної ділянки похибки будуть давати сумарний результат, який відповідає дійсній похибці термопари в цілому при різних профілях температурного поля. Для цього необхідно виконати всі операції запропонованого способу корекції, вилучення хоч однієї з них різко збільшує похибку корекції, тобто знижує точність вимірювання температури.

Запропонований спосіб корекції похибки неоднорідності термопар може знайти застосування в прецизійних системах вимірювання температури (а також в системах керування, адже підсистема вимірювання є їх обов'язковою складовою), що використовують корекцію похибок термопар для зменшення похибки вимірювання температури. Найефективнішим, з точки зору підвищення точності вимірювання температури, буде застосування запропонованого способу корекції в тих прецизійних термоагрегатах, умови тепловіддачі яких змінюються в процесі їх експлуатації. Зокрема, у великогабаритних термоагрегатах, які працюють поза приміщенням - доменних, мартенівських та інших металургійних печах, енергоблоках великої потужності, профіль температурного поля яких залежить від генерованої потужності, печі термообробки деталей великих габаритів, а також дифузійних печах в електронній промисловості [20] та ін.

В зв'язку з тим, що на сьогодні системи вимірювання температури прецизійних термоагрегатів базуються на засобах обчислювальної техніки, для реалізації запропонованого способу корекції немає необхідності в значних додаткових апаратних затратах.

1. Гордов А.Н. Основы пирометрии. - М.: Металлургия, 1971.

2. Приборы для измерения температуры контактным способом / Под ред. Р.В. Бычковского. - Львов.: Вища школа, 1979.

3. ГОСТ 3044-84. Преобразователи термоэлектрические. Номинальные статистические характеристики преобразования. - М.: Изд-во стандартов, 1984.

4. А.с. 352152 СРСР. Устройство для измерения температуры. А.А. Саченко, К.М. Обелевская, Л.В. Заничковская и др.; Опубл. 1972, Бюл. №28.

5. Датчики для измерения температуры в промышленности / Г.В. Самсонов, А.И. Киц, О.А. Кюздени и др. - Киев: Наукова думка, 1972.

6. Саченко А.А., Кочан В.В., Мильченко В.Ю., Чирка М.И., Карачка А.Ф. Экспериментальные исследования неустойчивости градуировочных характеристик термоэлектрических преобразователей градуировки хромель - алюмель // Измерительная техника. - 1985. - № 10. - С. 28, 29.

7. Рогельберг И.Л., Нужнов А.Г., Покровская Г.Н. и др. Стабильность термоэлектродвижущей силы термопар хромель - алюмель при нагреве на воздухе при температурах до 1200°C // Исследование сплавов для термопар: Сб. трудов института Гипроцветметобработка.- М.: Металлургия, 1967. Т.11. Вип.24.- С.54-65.

8. Саченко А.А. Разработка методов повышения точности и создание систем прецизионного измерения температур в промышленных технологиях: Автореферат диссертации на соискание ученой степени д.т.н. - Ленинград, ЛЭТИ, 1988.

9. Березький О.М. Засоби вимірювання температури з елементами штучного інтелекту. Автореферат дис. ... канд. техн. наук 05.11.05 ДУ "Львівська політехніка", 1996.

10. Саченко А., Кочан В., Турченко В, Головки В. (BY), Савицький Ю. (BY), Лаопулос Т. (GR).

Спосіб формування навчальної вибірки прогнозуючої дрейф пристрою збору даних нейронної мережі. Патент №50830 Україна, МПК 7 G06F15/18, Заявлено 04.01.2000; Опубл. 15.11.2002. - 14с.

11. Киренков И.И. Некоторые законы термоэлектрической неоднородности // Труды метрологических институтов СССР. Исследования в области температурных измерений. «Энергия», Ленинградское отд-ние, 1975, вып 171 (231). С.11-15.

12. Мильченко В.Ю. Исследование методов и разработка средств поверки термоэлектрических преобразователей из благородных металлов. Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н. по специальности 05.11.15 - М., ВНИИФТРИ, 1984.

13. Alf Hundves, Henz G. Buschfort. Self calibrating temperature sensing probe and probe - indicator combination-United State Patent 3.499.340. 73-1, G01 - 15/00.

14. Саченко А.А., Мильченко В.Ю., Кочан В.В. Измерение температуры датчиками со встроенными калибраторами. - М.: Энергоатомиздат, 1986.

15. Kortvelyessy L. Thermoement Praxis.- Vulkan-Verlag, Essen, 1981.

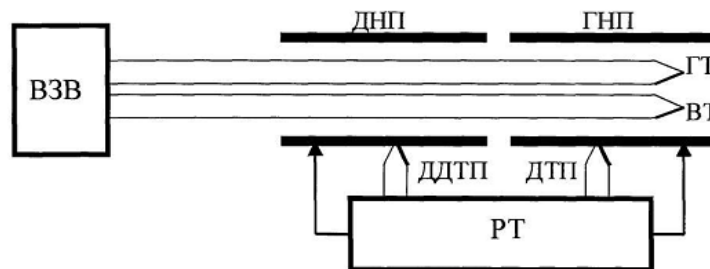
16. Кочан О.В., Кочан Р.В. G01K 7/02. Термоэлектрический перетворювач. Заявка на патент України №a200701855, заявлено 22.02.2007.

17. Чирка М.І. Підвищення точності вимірювання температури термоелектричними перетворювачами в нерівномірних теплових полях. Автореферат дисертації на здобуття вченого ступеня к.т.н. по спеціальності 05.11.04 - Прилади та методи вимірювання теплових величин. - Львів, Державний університет "Львівська політехніка", 1997.

18. Мильченко В.Ю., Саченко А.А. Метод определения дрейфа характеристик термоэлектрических преобразователей в произвольном температурном поле // Метрология.- 1988. - N8. - С.43-49.

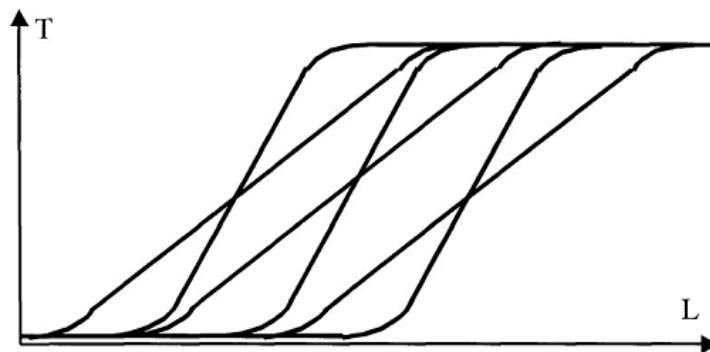
19. М.І. Чирка, Н.М. Васильків, Р.В. Кочан. Метод підвищення точності прогнозування нестабільності характеристик перетворення термоелектричних перетворювачів. // Вісник ТАНГ. Економікоматематичне моделювання. - 1999. - №6. - С.37-42.

20. Дерлиця М.Й., Піговський Ю.Р. Пасічник Р.М., Кочан В.В. Удосконалена система керування багатозонними термоагрегатами. // Вісник Ттехнологічного університету Поділля. №2 2004 / Частина 1, Том 1. С.30-33.



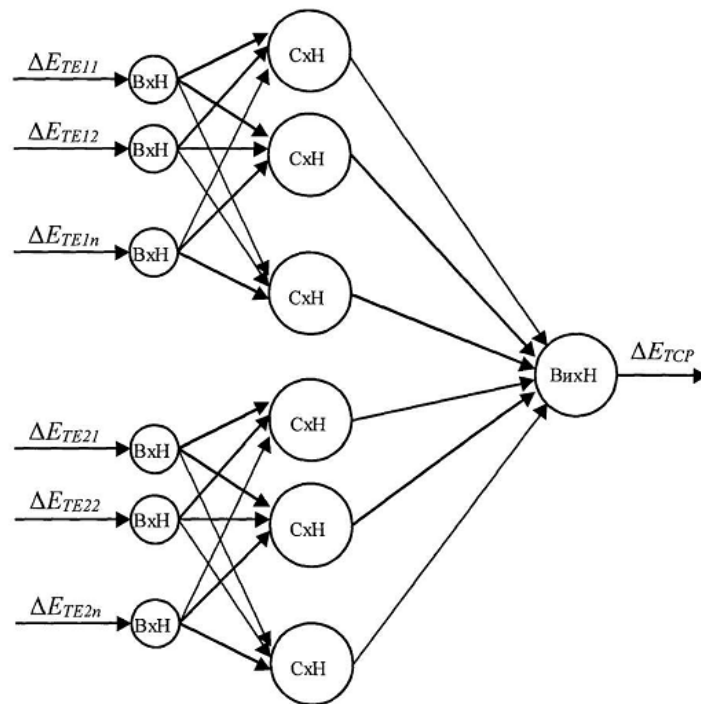
Фіг. 1

Схематичне зображення повірної печі.



Фіг. 2

Варіанти профілів температурних полів при повірці.



Фіг. 3

Структура штучної нейронної мережі для розподілу похибки корекції.