

УДК 536.531, 519.8

О. Кочан¹, канд. техн. наук; Г. Сапожник¹, канд. істор. наук;
В. Паучок¹, канд. техн. наук; І. Майків²

¹Тернопільський національний економічний університет

²Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНОГО ПРОГРАМНОГО ТЕСТУ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КАНАЛУ ТЕМПЕРАТУРИ

Резюме. Запропоновано структуру вдосконаленого метрологічного програмного тесту шляхом введення в його структуру нових блоків, що дають змогу враховувати вплив специфічних похибок термоелектричного перетворювача з керованим профілем температурного поля. В такому вигляді він стає придатним для імітації вимірювального каналу, який використовує ТЕР з КППП і створює можливість дослідження метрологічних характеристик такого вимірювального каналу. Крім того, наведено результати досліджень і дано рекомендації щодо подальшого зменшення похибки вимірювання температури.

Ключові слова: термоелектричний перетворювач з керованим профілем температурного поля, метрологічний програмний тест, неоднорідність термоелектродів.

O.Kochan, I. Maykiv, H. Sapojnyk, V. Pauchok

IMPROVED METROLOGICAL SOFTWARE TEST FOR TEMPERATURE MEASUREMENTS

Summary. Modern measuring channels of measurement and control systems become more complex. This complicates the process of determining metrological characteristics of such systems due to the rapid growth of the amount of experimental investigations. Nowadays the model simulation is often used to solve this problem [1 ... 3] and allows to speed up the metrological investigations. There was suggested the creation of specialized software – metrological software tests (MST) [4, 5]. MST contains blanks simulation models of typical components of measuring channels. These models contain specific errors of relevant components of the system units. They take into account the mentioned above errors effect on measurement results during modeling process.

The signal is sent to the corresponding input of MST component. It makes possible the investigation of considered set of components reaction on the corresponding errors and estimate efficiency of the available in the measuring channel means of decreasing of those errors. Thus, the MST allows investigation of the efficiency of methods and means of correcting errors for different conditions and environments.

Available MST allows to investigate only measuring channels, in which the error from the acquired thermoelectric heterogeneity of thermocouples is adjusted according to the method considered in [7, 8]. That is why MST should be appropriately modified.

The aim of the proposed paper is to improve the MST described in [4, 5] to be able to apply improved MPT for investigations of the measuring channel that use TBS with CPTF.

The structure of the proposed MST measuring channel of temperature measurements that uses TBS with CPTF is presented in Fig. 1. The MST similar to the MST is considered to be described in [4 ... 6], the same additive error model of measuring channel components. The structure of the measuring channel itself and digital to analog converters that can directly interact with components of the measuring channel is shown in the top of Fig. 1. The most important part of the MST is the sets forming software located in the middle of Fig. 1.

Each MST block simulates only one property of a component of the measuring channel then blocks are grouped by components (below each component of the measuring channel of the top part of Fig. 1 "its own" blocks of MST). The blocks that simulate main error are located in the top row. These errors are split into

components. Additional errors caused by the temperature and time of exploitation are located below. The errors caused by the additional parameters are located in the next row. The only difference is that additional block – block of thermoelectric heterogeneity is built-in structure of conventional MST. If any error consists of separate components, these components are placed below it. The lowest row are blocks of nominal conversion characteristic (CC) of components. The thermocouple is split into two subcomponents (hot and cold junctions). CC of switch is considered to be equal to one.

However, the profile of temperature field of the main thermocouple TBS with CPTF is not constantly stable. It changes under influence of:

1. Non ideal design of TBS with CPTF.

2. Errors of built-in multi-channel temperature control subsystem, which supports and stabilizes the profile of the temperature field along main thermocouple of TBS with CPTF.

The structure of MST for research of measuring channel that use TBS with CPTF as it was shown in [4, 5], MST consist of three relatively independent units:

1. Software for creating sets of test signals (codes). These codes correspond to output signals of components of the measuring channel, whose work is simulated by MST;

2. Software for providing communication with considered measuring channel that delivers the generated set of test signals to the inputs of the respective components, and also receives and stores the measurement;

3. Software for processing the results obtained during the investigations.

Key words: thermocouple based sensor with controlled profile of temperature field ,metrological program test, heterogeneity of thermoelectrodes.

Умовні позначення:

МПТ – метрологічний програмний тест;

ТЕП з КІТТТ – термоелектричний перетворювач з керованим профілем температурного поля.

Вступ. Ускладнення вимірювальних каналів інформаційно-вимірювальних та керуючих систем, особливо за рахунок підсистем корекції різного роду похибок, утруднює процес визначення метрологічних характеристик таких систем за рахунок різкого зростання об'єму необхідних досліджень та часу їх проведення.

Огляд публікацій та відомих рішень. На сьогодні для вирішення цієї задачі часто використовують імітаційне та напівнатурне моделювання [1...3]. В [4, 5] для прискорення метрологічних досліджень запропоновано створення спеціалізованих програмних засобів –МПТ, що містять заготовки імітаційних моделей типових вузлів вимірювальних каналів відповідних систем, які враховують характерні складові похибки вузлів, що входять у ці вимірювальні канали. Такий МПТ дає можливість імітувати різні значення окремих складових похибки компонентів вимірювального каналу, закони їх розподілу, співвідношення між ними, а також дію величин, які впливають, зокрема, на часовий і температурний дрейф [4, 5]. Вихідний сигнал МПТ, відповідний до бажаного набору компонентів досліджуваного вимірювального каналу, подається на вхід відповідного компонента, що дає можливість дослідження реакції бажаного набору компонентів на похибки, властиві імітованій частині вимірювального каналу та оцінювання ефективності наявних у вимірювальному каналі засобів боротьби з цими похибками. Таким чином, МПТ дозволяє довільно імітувати характер різних складових похибки компонентів вимірювального каналу, а головне – досліджувати ефективність методів і засобів корекції похибок для умов, які важко відтворити експериментально. Тому застосування МПТ дає можливість значно простіше і швидше визначити метрологічні характеристики вимірювального каналу.

В [4, 5] показано, що внутрішня структура МПТ, для створення можливості ефективних досліджень, повинна відповідати структурі досліджуваного вимірювального каналу. При цьому набір імітаційних моделей похибок має відповідати дійсним похибкам компонентів вимірювального каналу. Відповідно до цього, для дослідження вимірювальних каналів, куди входять термоелектричні первинні перетворювачі, термопари яких мають значну, набуту в процесі тривалої експлуатації, термоелектричну неоднорідність електродів, слід до складу МПТ включити відповідні імітаційні моделі. В [6] було розроблено МПТ для таких вимірювальних каналів, однак цей він дозволяв дослідити лише вимірювальні канали, в яких похибка від набутої термоелектричної неоднорідності термопар коригується згідно з методом, описаним у [7, 8]. Тому для дослідження метрологічних характеристик вимірювальних каналів, в яких вплив набутої термоелектричної неоднорідності термопар на результат вимірювання температури компенсується згідно з [9], МПТ необхідно відповідним чином модифікувати. Така модифікація необхідна для дослідження метрологічних характеристик вимірювальних каналів, які використовують ТЕП з КПТП [10]. Аналітичне дослідження похибки ТЕП з КПТП в усіх режимах роботи надто складне, а відповідні експериментальні дослідження вимагають дорогого спеціалізованого обладнання, зокрема печі, профіль температурного поля якої можна встановлювати довільним чином у широких межах з достатньою точністю.

Метою статті є вдосконалення описаного в [4, 5] МПТ таким чином, щоби він імітував вимірювальний канал, який використовує ТЕП з КПТП і створював можливість дослідження метрологічних характеристик такого вимірювального каналу як у процесі його проектування (шляхом імітаційного моделювання), так і в процесі напівнатурних експериментів.

Структура пропонованого МПТ вимірювального каналу, що включає ТЕП з КПТП, зображена на рис. 1. Для цього МПТ, аналогічно як і для МПТ, описаних у [4...6], оптимальною визнана адитивна модель дії похибок на компоненти вимірювального каналу.

У верхній частині рис. 1 представлена структура самого вимірювального каналу і цифро-аналогові перетворювачі, які можуть безпосередньо взаємодіяти з компонентами вимірювального каналу. Власне структура найважливішої частини МПТ – програми формування наборів тестових сигналів (кодів) – займає середню частину рис. 1. Кожен блок МПТ імітує одну властивість одного компонента вимірювального каналу. Блоки згруповані за компонентами (під кожним компонентом вимірювального каналу з верхньої частини рис. 1 розміщено “його” блоки МПТ) і за імітованими властивостями. Верхній ряд займають блоки імітації основної похибки, розбиті на складові відповідно до компонента, нижче ідуть додаткові похибки (температурні й часові), потім – похибки від додаткових параметрів. Якщо деяка похибка має окремі складові, вони розміщені нижче за неї. Найнижчий ряд – блоки відтворення номінальних функцій перетворення (ФП) компонентів, де враховано розбиття термопари на два субкомпоненти (робочий кінець і вільні кінці), а також рівність одиниці номінальної ФП комутатора.

Як бачимо з рис. 1, в МПТ передбачено імітування термоелектричної неоднорідності електродів термопар (блок Неоднор у другій колонці другого ряду похибок), однак в

[4, 5] не описана його реалізація та методика використання. Складність створення відповідної моделі полягає в залежності похибки неоднорідності від змін профілю температурного поля вздовж електродів термопар. Тому необхідно спочатку розробити модель процесу накопичення неоднорідності електродів термопар у процесі експлуатації.

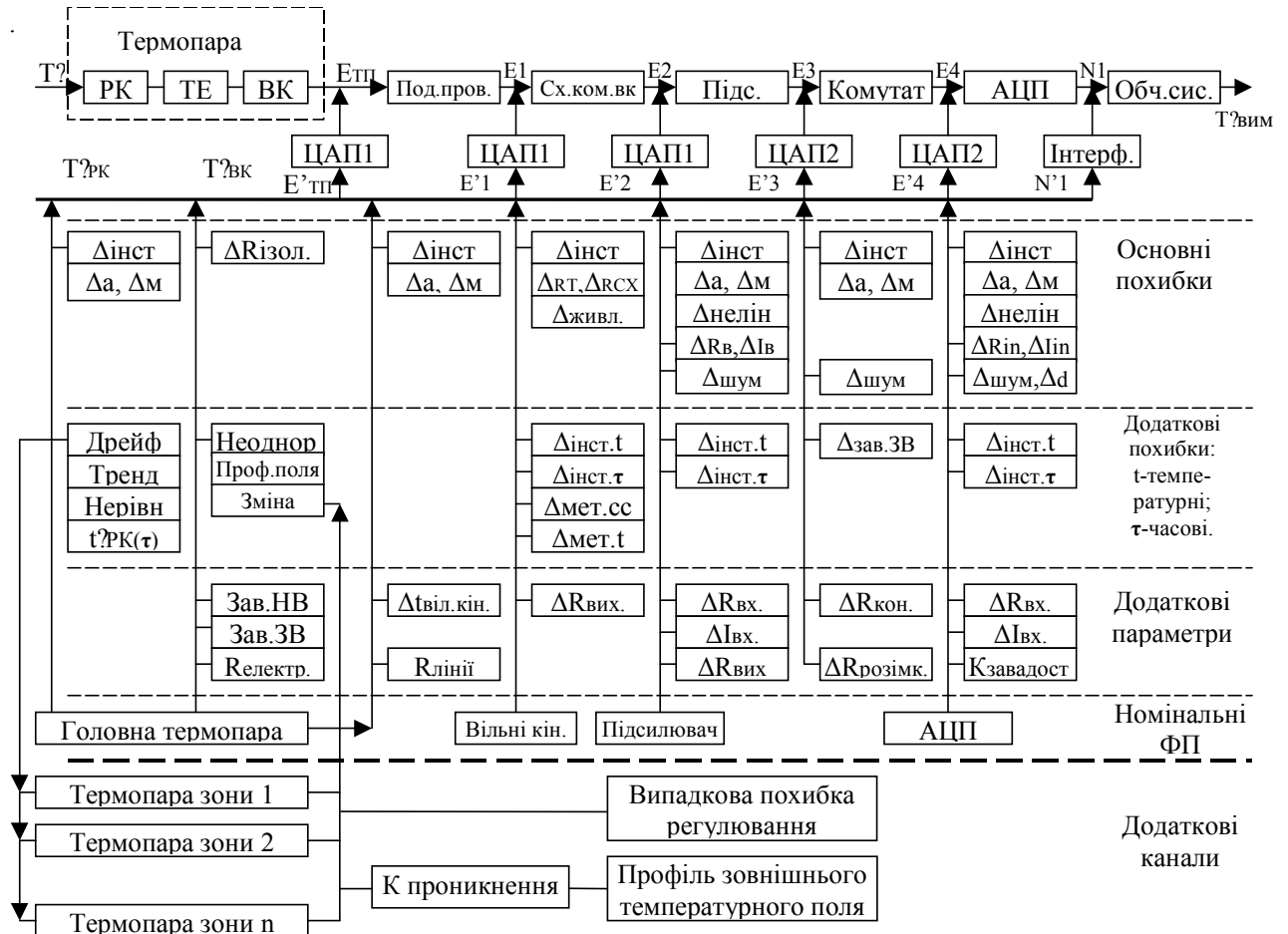


Рисунок 1. Структура МПТ вимірювального каналу, що включає ТЕП з КПТП

Figure 1. Design of Metrological Software Test which uses TBSCPTF

Як показано у [9, 10], ТЕП з КПТП, навіть при великій термоелектричній неоднорідності електродів головної термопарі (з допомогою якої й проводиться вимірювання температури об'єкта), в ідеальному випадку забезпечує повну відсутність впливу профілю температурного поля об'єкта на результат вимірювання температури. Це досягається за рахунок вбудованої багатоканальної підсистеми регулювання температури, яка включає ряд термопар і нагрівачів, розміщених уздовж термоелектродів головної термопарі таким чином, що вони уздовж них створюють власний профіль температурного поля, незалежний від змін профілю температурного поля об'єкта. Власне температурне поле, в ідеальному випадку, стабілізує профіль температурного поля вздовж електродів головної термопарі, тобто не дозволяє похибці неоднорідності електродів головної термопарі проявити себе.

Однак профіль температурного поля головної термопарі ТЕП з КПТП не залишається строго стабільним. На нього впливають:

1. Неідеальність конструкції ТЕП з КПТП (зміни профілю зовнішнього температурного поля “проникають” всередину ТЕП з КПТП і змінюють профіль температурного поля вздовж електродів головної термопари).

2. Похибки підтримки (стабілізації) профілю температурного поля ТЕП з КПТП вбудованою багатоканальною підсистемою регулювання температури. Ці похибки визначаються:

- похибками вимірювальних каналів термопар, що вимірюють профіль власного температурного поля ТЕП з КПТП (відхиленнями їх ФП від номінальних, а також температурним і часовим дрейфами їх ФП);
- похибками регулювання, що визначаються неідеальним налаштуванням самих регуляторів. Слід відзначити, що ТЕП з КПТП є багатозонним об’єктом регулювання з доволі тісним тепловим зв’язком між зонами. Це вимагає застосування спеціальних складних законів регулювання [11], обчислювальна складність яких надто велика для вимірювально-керуючих систем на базі мікроконтролерів [12], в яких планувалося використовувати ТЕП з КПТП. У [13] запропоновано спрощений метод керування профілем температурного поля ТЕП з КПТП, вплив якого на похибку результату вимірювання температури доцільно дослідити з допомогою розробленого МПТ.

Слід відзначити, що перелічені вище причини відхилення реального профілю температурного поля відносно заданого впливають на похибку результату вимірювання температури опосередковано, через вплив на похибку головної термопари ТЕП з КПТП. Тому вони є “похибками від похибки”, тобто їх вплив значний. Це дозволяє не ставити високих вимог до точності розроблених у подальшому моделей, що імітують вплив перелічених вище факторів.

Представлені в [14, 15] експериментальні дослідження макета ТЕП з КПТП показали, що значення “коефіцієнта проникнення” зовнішнього температурного поля у внутрішню область (до електродів головної термопари) не перевищують $K_{PRON} \leq 0,05$, тобто зміна зовнішнього температурного поля на 100°C викликає зміну профілю внутрішнього температурного поля не більше, ніж на 5°C . Тому при дослідженні похибки ТЕП з КПТП з допомогою МПТ можна використати $K_{PRON} = \overline{0,01...0,1}$ як межі при перерахунку імітованих змін зовнішньої температури у зміни профілю внутрішнього температурного поля.

Похибка встановлення профілю температурного поля ТЕП з КПТП, яка визначається відхиленнями ФП термопар, що вимірюють температуру окремих зон, від номінальних не викликає похибки вимірювання температури від набутої неоднорідності головної термопари. Адже похибка неоднорідності головної термопари проявляється лише при зміні профілю температурного поля вздовж її електродів. А невелике постійне відхилення профілю температурного поля від ідеального проявлення цієї похибки, згідно з [14], не викликає.

Систематичну повільну зміну профілю температурного поля вздовж електродів головної термопари викликає лише дрейф ФП термопар, що вимірюють температуру окремих зон. Однак, якщо для підвищення точності вимірювання температури об’єкта використовують корекцію похибки головної термопари від часового дрейфу її ФП під дією температури експлуатації шляхом її періодичної перевірки або калібрування [16,

17], то вплив на результат вимірювання дрейфу термопар, що вимірюють температуру окремих зон, у момент повірки або калібрування усувається – нове значення поправки включає в себе складову, викликану часовим дрейфом термоперетворювача в цілому.

Таким чином, в МПТ індивідуальні відхилення ФП термопар, що вимірюють температуру зон, не слід враховувати, а їх дрейф за час між повірками або калібруваннями можна імітувати іншими реалізаціями залежностей, які описують дрейф головної термопари. Згідно з [4, 5] загальний тренд дрейфу Δ_D можна імітувати добутком поліномів третього порядку з двома аргументами – температурою T та часом τ експлуатації, причому $\Delta_D = 0$ при нульових аргументах

$$\Delta_D = (b_{D1}r_1T + c_{D1}r_2T^2 + d_{D1}r_3T^3) \cdot (b_{D2}r_4\tau + c_{D2}r_5\tau^2 + d_{D2}r_6\tau^3), \quad (1)$$

де $b_{D1}, c_{D1}, d_{D1}, b_{D2}, c_{D2}, d_{D2}$ – коефіцієнти поліномів;

$r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6$ – випадкові числа в діапазоні від нуля до одиниці, $r_N \in [-0,5; +0,5]$.

Максимальне значення реалізацій кривої Δ_D згідно з прийнятою в [4, 5] методикою перевіряється на не перевищення заданої користувачем границі Δ_{DL} для допустимих температур $0...T$ і часу експлуатації $0...t$. Нерівномірність дрейфу імітується згідно з [4, 5] накладанням на загальний тренд Δ_D додаткової синусоїдальної складової Δ_{IR} , яка для кожної реалізації дрейфу має індивідуальні амплітуду U_{AD} , частоту F_D і початкову фазу φ_D . В МПТ вони встановлюються користувачем як максимальні значення згідно з

$$\Delta_{IRi} = U_{AD}r_7 \sin(2\pi F_D(1 + kr_8) + \varphi_D r_9), \quad (2)$$

де r_7, r_8, r_9 – випадкові числа в діапазоні від нуля до одиниці; $r_N \in [-0,5; +0,5]$.

Похибка підсистеми регулювання температури окремих зон має складний характер. При нормальній роботі підсистеми регулювання математичне сподівання температури всіх зон дорівнює заданій, тобто систематична похибка підсистеми регулювання близька до нуля. Однак значний тепловий зв'язок між зонами, що прилягають одна до одної, зумовлює схильність підсистеми регулювання до самозбудження (автогенерації). Тому похибці Δ_{REG} підсистеми регулювання властивий випадковий характер, що являє собою періодичну осциляцію біля значення заданої температури зони. При цьому між випадковими похибками окремих зон існує значна кореляція (через тепловий зв'язок зон), але її врахування не дає ніяких переваг при компенсації похибки результату вимірювання температури головною термопарою, тому її недоцільно враховувати при роботі МПТ. Отже, для передбаченої імітації похибки підтримання температури окремих зон можна використати просту модель

$$\Delta_{REG} = \Delta_{REG_MAX} \times r_{10}, \quad (3)$$

де Δ_{REG_MAX} – максимальна похибка регулювання; r_{10} – випадкове число в діапазоні від нуля до одиниці, $r_N \in [-0,5; +0,5]$.

Слід відзначити, що метод регулювання [13], використаний для керування профілем температурного поля ТЕП з КПТП, передбачає зміну керуючої дії тільки після закінчення перехідного процесу встановлення температури після попередньої

зміни керуючої дії. Сам перехідний процес являє собою плавну зміну температури всіх зон згідно з експонентою. В МПТ це моделюється лінійною зміною поточної температури всіх зон від заданого раніше згідно з (3) відхилення температури зон до аналогічного відхилення в наступному циклі, яке теж задається згідно з (3).

Таким чином, ми розглянули всі складові моделі похибки вимірювального каналу температури, що включає ТЕП з КПТП. Це дає можливість побудови структури МПТ, яка дозволить провести метрологічні дослідження ТЕП з КПТП.

Як було вказано в [4, 5], МПТ має складатися з трьох відносно незалежних частин:

1. Програми формування наборів тестових сигналів (кодів), що відповідають вихідним сигналам тих компонентів вимірювального каналу, робота яких імітується МПТ.

2. Програми забезпечення зв'язку з досліджуваним вимірювальним каналом, що подає сформований набір тестових сигналів на входи відповідних його компонентів, а також приймає і запам'ятовує результати вимірювання.

3. Програми опрацювання результатів, отриманих під час дії на компоненти досліджуваного вимірювального каналу тестових сигналів.

Представлена на рис. 1 вдосконалена структура відповідає першій частині МПТ. Вона придатна для проведення метрологічних досліджень вимірювального каналу температури, що включає ТЕП з КПТП. В більшій частині вона аналогічна структурі МПТ, запропонованій в [4, 5], однак передбачає імітацію роботи підсистеми регулювання температури окремих зон. Для цього введено додаткові канали від 1 до n (нижній ряд блоків, відділених потовщеною штриховою лінією).

Кожен додатковий канал імітує вимірювальний канал однієї зони. Він аналогічний до вимірювального каналу головної термопарі (верхні ряди блоків рис. 1) за виключенням блоку Неоднор та температури, яку вимірюють “термопарі зон”. Розроблений варіант МПТ не враховує впливу на похибку вимірювання температури об'єкта похибки від набутої неоднорідності термопар, які використовуються в підсистемі регулювання. Як було вказано раніше, похибки “термопар зон” є “похибками компенсації похибки”, тому для спрощення МПТ їх неоднорідність не враховується.

Головними факторами, що впливають на профіль температурного поля вздовж електродів головної термопарі ТЕП з КПТП і вплив яких досліджується з допомогою пропонованого варіанта МПТ, є випадкова похибка регулювання та вплив зовнішнього температурного поля. Випадкова похибка регулювання імітується для кожної зони окремо згідно з (3). Початковий та кінцевий профіль зовнішнього температурного поля задається користувачем відповідно до мети даного експерименту шляхом записування значень початкової, проміжних та кінцевої температури кожної зони. Ці значення через задане значення “коефіцієнта проникнення” впливають на температуру кожної зони, яка вимірюється “термопарами зон” (див. рис. 1).

Під час тестування необхідно провести дослідження метрологічних характеристик вимірювального каналу при всіх допустимих комбінаціях похибок і величин, які на них впливають. Багатократний запуск першої частини МПТ завдяки цілеспрямованому вибору параметрів похибок може забезпечити перебір усіх комбінацій похибок і величин, що на них впливають. Однак це вимагає формування

дуже багатьох наборів тестових сигналів і настільки збільшує час і трудомісткість процесу тестування, що навіть використання МПТ не вирішує завдання дослідження метрологічних характеристик каналу вимірювання температури. Тому доцільно використовувати тестування з використанням випадкових параметрів похибок, передбачене в МПТ. Тоді процес формування наборів тестових сигналів значно спрощується, а кількість необхідних дослідів зменшується. Ця кількість визначається не всіма комбінаціями похибок компонентів вимірювального каналу і величин, які на них впливають, а кількістю, достатньою для досягнення заданої статистичної надійності результатів. За замовчуванням у процесі експерименту для кожного набору профілів температурної зони імітується сто реалізацій комбінацій похибок кожного компонента всіх вимірювальних каналів та випадкової похибки регулювання.

Друга частина МПТ – програма зв'язку з досліджуванним вимірювальним каналом – при метрологічних дослідженнях вимірювального каналу, що включає ТЕП з КПТП, залишається без змін. Третя частина МПТ – програма опрацювання результатів – може теж залишатися без змін. Тоді буде досліджена сумарна похибка вимірювального каналу (якщо сформовані набори тестових сигналів включають усі похибки і величини, які на них впливають). Однак при необхідності визначення саме похибки неоднорідності термопар від впливу змін профілю температурного поля вздовж електродів процес формування наборів тестових сигналів повинен бути змінений – треба задати всі складові похибки вузлів вимірювального каналу (крім тих, що відносяться до похибки неоднорідності), які б дорівнювали нулю. В такому випадку і процес опрацювання результатів повинен бути змінений – у результаті опрацювання ми повинні отримати залежності похибки неоднорідності від змін зовнішнього температурного поля і від тривалості міжповірного інтервалу.

Проведені з допомогою вдосконаленого МПТ імітаційні дослідження ТЕП з КПТП показали, що:

1. Похибки термопар підсистеми регулювання ТЕП з КПТП настільки мало впливають на залишкову похибку від набутої неоднорідності головної термопари, що їх впливом можна нехтувати.

2. Похибка від впливу змін зовнішнього профілю температурного поля об'єкта на профіль температурного поля головної термопари (тобто від “проникнення” змін зовнішньої температури всередину ТЕП з КПТП) дуже залежить від досконалості конструкції ТЕП з КПТП. Для макета, представленого у [14, 15], вона стає суттєвою тільки при значних змінах профілю температурного поля об'єкта (при зміні температури поверхні ТЕП з КПТП на 50 ... 150°C).

3. Великий вплив на похибку вимірювального каналу, який використовує ТЕП з КПТП, має похибка регулювання (керування профілем його температурного поля), яка призводить до значного зростання випадкової складової похибки вимірювання температури.

4. Випадкова складова похибки вимірювання температури може збільшити похибку її вимірювання. При корекції похибки головної термопари, згідно з [17], шляхом комбінації її перевірки або калібрування та прогнозу (для збільшення міжповірного інтервалу) похибка прогнозу сильно залежить від випадкової похибки

вимірювання. Навіть запропоновані в [18, 19] нейромережеві методи прогнозу стійкіші до впливу випадкової похибки, погіршують у цих умовах свої властивості.

Висновки. Удосконалений МПТ дозволяє проводити метрологічні дослідження вимірювальних каналів температури з урахуванням похибок не тільки широковживаних первинних вимірювальних перетворювачів – термоелектричних, а й специфічних похибок останніх, зокрема похибки від набутої в процесі довготривалої експлуатації неоднорідності електродів їх термопар. При цьому можливі метрологічні дослідження вимірювальних каналів, що використовують новий вид термоелектричних перетворювачів, запропонованих в [9, 10] – ТЕП з КППП, в яких похибка неоднорідності електродів головної термопари, що вимірює температуру об’єкта, не може себе повністю проявити. Проведені імітаційні дослідження показали, що:

1. Запропонована в [14] конструкція ТЕП з КППП для багатьох застосувань надто складна й нетехнологічна. Доцільно розробити методи оптимізації конструкції ТЕП з КППП відповідно до умов його застосування.
2. Для зменшення випадкової похибки вимірювання температури з допомогою ТЕП з КППП доцільно вдосконалити метод регулювання температури зон.

Conclusions. Improved MST includes both the common errors of thermocouples and more specific ones. In this particular MST, the error of thermoelectric heterogeneity of thermocouple’s electrodes is built-in. This allows take into consideration all errors for metrological investigations of measuring channels of temperature. Considered in this paper improved structure of MST provides investigation of a new type of temperature sensors – TBS with CPTF [9, 10]. In such type of sensors the error of the acquired during lasting exploitation thermoelectric heterogeneity of electrodes cannot fully appear itself. Simulation studies have shown:

1. Proposed design of TBS with CPTF is difficult for multi-purpose application and is to design. It is reasonable to design the TBS with CPTF according to the conditions of its application and operation.
2. To decrease the random error for measuring taking advantage of TBS with CPTF it is reasonable to improve the method of temperature zon

Список використаної літератури

1. Цветков, Э.И. Применение методов имитационного моделирования для метрологического анализа процессорных измерительных средств и их блоков [Текст] / Э.И. Цветков, Г.Н. Хуснутдинов, В.С. Соболев и др. // Измерения, контроль, автоматизация. – 1987. – № 1. – С. 3–14.
2. Система имитационного моделирования процессорных измерительных средств (СИМПРИС) [Текст] / Э.И. Цветков, Г.Н. Хуснутдинов, В.С. Соболев, М.М. Лубочкин // Тез. докл. Всесоюз. конф. "Системные исследования и автоматизация в МО и управлении качеством". – Львов: – НПО "Система", – 1986. – С. 86–87.
3. Соболев, В.С. Программное обеспечение современных систем сбора и обработки измерительной информации [Текст] / В.С. Соболев // Измерения, контроль, автоматизация в журн. «Приборы и системы управления». – 1998. – № 1. – С. 55–63.
4. Кочан, Р.В. Тестування інтелектуальних систем збору даних з допомогою метрологічного програмного тесту [Текст] /Р.В. Кочан // Вісник Національного університету „Львівська політехніка”. Секція „Автоматика, вимірювання та керування”. – 2004. – №500. – С. 9–18.
5. Кочан, Р. В. Удосконалення компонентів прецизійних розподілених інформаційно-вимірювальних систем: автореф. дис.... канд. техн. наук: спец. 05.11.16 “Інформаційно-вимірювальні системи” [Текст] /Р. В. Кочан. – Львів, 2005. – 16 с.

6. Васильків, Н.М. Вдосконалення метрологічного програмного тесту в комп'ютерних системах вимірювання температури [Текст] / Н.М. Васильків // Комп'ютинг. – 2010. – Том 9. – Вип.2 – С. 175–182.
7. Пат. 92192 Україна, МПК G01K 7/02. Спосіб корекції похибки неоднорідності термодатчиків [Текст] / Васильків М., Кочан О.В., Кочан В.В. – № a200805623; заявл. 29.04.2008; опубл. 10.11.09, Бюл. №21.
8. Васильків, Н.М. Метод корекції похибки вимірювання температури неоднорідними термодатчиками [Текст] / Н.М. Васильків // Вісник Хмельницького університету. – 2010. – №2. – С. 168–173.
9. Пат. № 97464 Україна, G01k. Термоелектричний перетворювач [Текст] / Кочан О.В., Кочан Р.В.; – заявник і патентовласник НДІ Інтелектуальних комп'ютерних систем. Заявл. 22.02.2007.
10. Кочан, О.В. Термоелектричний перетворювач з керованим профілем температурного поля [Текст] / О.В. Кочан // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – 2008. – №2. – С. 102–108.
11. Соболев, А. В. Повышение точности регулирования температурного поля путем совершенствования алгоритма управления многозонным термическим объектом: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06 [Текст] / Соболев Андрей Владимирович. – Рыбинск, 2004. – 159 с.
12. Кочан, О.В. Оцінка похибки вимірювання температури з допомогою термоелектричного перетворювача з керованим профілем температурного поля [Текст] / О.В. Кочан, Р.В. Кочан // Вісник Хмельницького національного університету. – 2007. – №2. – Том 1 «Технічні науки». – С. 237–241.
13. Кочан, О.В. Мікроконтролерний метод керування профілем температурного поля [Текст] / О.В. Кочан, Р.В. Кочан // Вісник Національного університету “Львівська політехніка”. Комп'ютерні системи та мережі. – 2008. – № 630. – С. 67–76.
14. Кочан, О.В. Термоелектричний перетворювач з керованим профілем температурного поля: автореф. дис.... канд. техн. наук: спец. 05.11.04 – прилади і методи вимірювання теплових величин [Текст] / О.В. Кочан. – Львів, 2011. – 20 с.
15. Васильків, Н.М. Стенд дослідження термоелектричних перетворювачів з керованим профілем температурного поля [Текст] / Н.М. Васильків, О.В. Кочан, В.Я. Яскілка // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – 2009. – №1. – С. 122–130.
16. Саченко, А.А. Разработка методов повышения точности и создание систем прецизионного измерения температуры для промышленных технологий: дис.... доктора техн. наук: 05.11.16 [Текст] / Саченко Анатолий Алексеевич. – Ленинград, 1988. – 278с.
17. Березький, О.М. Системи вимірювання температури з елементами штучного інтелекту: автореф. дис. канд. техн. наук: спец. 05.11.04 "Прилади та методи вимірювання теплових величин" [Текст] / О.М. Березький. – Львів, 1996. – 20 с.
18. Пат. №50830 Україна, МПК 7 G06F15/18. Спосіб формування навчальної вибірки прогнозуючої дрейф пристрою збору даних нейронної мережі [Текст] / Саченко А., Кочан В., Турченко В., (Україна) Головка В., Савицький Ю. (Білорусь), Лаопулос Т. (Греція); – заявл. 04.01.2000; опубл. 15.11.2002. – 14 с.
19. Турченко, В.О. Нейромережеві методи і засоби підвищення ефективності дистрибутивних мереж збору та обробки сенсорних даних: автореф. дис.... канд. техн. наук: спец. 05.13.13 «Обчислювальні машини, системи, мережі» [Текст] / В.О. Турченко. – Львів, 2001. – 16 с.

Отримано 29.10.2012