

Новосибирск 1982. 12. Борен К., Хафмен Д. Поглощение и рассеяние света малыми частицами – М., 1986. 13 Waxler R.M., Weir C.E. Effect of hydrostatic pressure on the refractive indices of some solids // J. Res. Bur. Standards. – 1965. – A 69, No. 4. – P. 325–333. 14. Поверхностные свойства твердых тел / Под. ред. М. Грина. – М., 1972. 15. Сопрунюк П.М., Юзевич В.Н. Моделювання фізичних процесів взаємодії електромагнітних хвиль видимого та інфрачервоного діапазону з вугільним пилом // Відбір та обробка інформації. Зб. наук. пр. 1996. – Вип. 10 (86). – С. 44–49. 16. Таблицы физических величин: Справочник. – М., 1976. 17. Price C.W., Hirth J.P. Surface energy and surface stress tensor in an atomistic model // Surface science. – 1976. – Vol. 57, No. 2 – P. 509–522.

УДК 681.3

Р.В. Кочан

Тернопільська академія народного господарства,  
Інститут комп'ютерних інформаційних технологій

## ТЕСТУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ ЗБИРАННЯ ДАНИХ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТРОЛОГІЧНОГО ПРОГРАМНОГО ТЕСТУ

© Кочан Р.В., 2004

Проаналізовано особливості інтелектуальних систем збирання і обробки даних, які вимагають застосування імітаційного моделювання і пришвидшеного масштабу часу для метрологічних досліджень. Запропоновано структуру спеціалізованого програмного засобу – метрологічного програмного тесту – для досліджень інтелектуальних систем збирання і обробки даних від термопар. Наведено результати дослідження інтелектуальних і звичайних систем з використанням метрологічного програмного тесту.

The properties of intelligent data acquisition systems which demands simulation in the accelerated time scale during metrology testing are analyzed. Also there is proposed structure of the specialized software routine – metrology software test – for investigation of intelligent data acquisition systems using thermocouples. There are presented results of ordinary and intelligent data acquisition systems testing using metrology software test.

### 1. Вступ

Реальна точність вимірювання фізичних величин за допомогою сенсорів і прецизійних систем збирання даних (СЗД) визначається, здебільшого, похибкою сенсора. Точність вимірювання сигналів сенсорів за допомогою СЗД провідних фірм в декілька десятків разів вища за точність відповідних сенсорів. Наприклад, допустимі відхилення реальної характеристики перетворення (ХП) поширених нових термопар типу К класу 1 досягають 4 °С при вимірюванні температури 1000 °С [1]. А похибка вимірювання вихідного сигналу цих термопар за допомогою поширених блоків дистрибутивних СЗД FP–TC–120 фірми National Instrument не перевищує 0,35 °С [2].

Відомі спроби настроювання ХП вимірювального каналу (ВК) на ХП сенсора в згаданих СЗД-блоках [2] не забезпечують тривалого підвищення точності ВК через значний часовий дрейф ХП сенсора під час експлуатації. Методи коригування похибок сенсорів на базі прогнозу їх дрейфу мають порівняно низьку надійність в реальних умовах експлуатації. Це пов'язано з індивідуальним характером дрейфу сенсорів і його доволі великою випадковою складовою. Надійні методи підвищення точності всього ВК – періодична перевірка [3] або калібрування сенсорів [4] на місці експлуатації – досить трудомісткі. Перспективним є поєднання цих методів за допомогою побудови індивідуальних математичних моделей (ММ) коригування похибок сенсорів [5]. Такі системи, які

адаптують властивості ВК до умов експлуатації для забезпечення заданого рівня точності вимірювання, називають інтелектуальними СЗД (ІСЗД) [6]. Висока якість прогнозу дрейфу дає змогу значно зменшити кількість перевірок/калібрувань. Тому для прогнозу використовують методи штучного інтелекту [5].

Прецизійні ІСЗД здатні оцінювати метрологічні властивості своїх ВК і особливості об'єктів вимірювання. Метою такої оцінки є забезпечення заданої високої точності вимірювання для кожного ВК, незважаючи на великі похибки його компонентів. Оцінивши ІСЗД, цілеспрямовано адаптують структуру апаратного забезпечення кожного ВК та алгоритму обробки результатів його вимірювання до умов вимірювання [7]. ІСЗД можуть значно покращувати свої адаптивні властивості за рахунок самонавчання [8]. Тому, на відміну від традиційних вимірювальних систем, похибка ВК ІСЗД під час експлуатації може навіть зменшуватися [9]. Поява ІСЗД вимагає розробки адекватних засобів їх метрологічного забезпечення. Цілеспрямована адаптація апаратного та програмного забезпечення передбачає аналіз варіантів і прийняття рішення про оптимальну поведінку у цих умовах. Тому метрологічна атестація ІСЗД повинна також передбачати дослідження адекватності та доцільності прийнятих рішень в різних умовах експлуатації з урахуванням різних властивостей компонентів ВК [10].

Відомі методи метрологічних досліджень і нормування похибок не висвітлюють розглянутих особливостей ІСЗД. Зрозуміло, що оцінка повного набору метрологічних характеристик ІСЗД виключно експериментально була б дуже трудомісткою. Крім того, час, необхідний для її виконання, був би співмірним з часом експлуатації ІСЗД. Тому для більшості метрологічних досліджень ІСЗД необхідне дослідження імітаційних моделей ІСЗД або часткова заміна компонентів ВК імітаційними моделями. Для цього необхідно розробити спеціальний програмний засіб – метрологічний програмний тест (МПТ) [10], який дав би змогу виконувати метрологічні дослідження ІСЗД з урахуванням їх особливостей. МПТ повинен забезпечувати дослідження метрологічних характеристик ВК усіх засобів вимірювання певної фізичної величини, зокрема ІСЗД, на всіх етапах їх життєвого циклу – під час їх розроблення, випробування, випуску з виробництва, метрологічної атестації, зокрема, на місці експлуатації та періодичної перевірки. Хоча, як зазначалося в [10], під час метрологічних досліджень реальних ІСЗД МПТ необхідно застосовувати в комбінації з експериментальними дослідженнями.

## **2. Структура метрологічного програмного тесту ВК температури**

Метрологічне дослідження ВК складається з двох етапів: (і) визначення реакції досліджуваного ВК під час дії заданих вимірюваних і впливних величин; (іі) визначення метрологічних характеристик ВК. Для зменшення тривалості метрологічних досліджень необхідно забезпечити виконання визначених завдань в пришвидшеному масштабі часу. Тому формування наборів тестових кодів повинно спиратися на фізичний час, під дією якого змінюються вимірювальні та впливні величини, а також параметри компонентів ВК. Однак тестові коди повинні виводитися у пришвидшеному масштабі часу. Але пришвидшення масштабу часу не повинно стосуватися величин, дія яких жорстко прив'язана до фізичного часу (наприклад, завади).

Як показано в [11], МПТ повинен складатися з трьох порівняно незалежних частин:

1. Програми, що формує набір тестових кодів, які відповідають вихідним сигналам компонентів ВК. Метою роботи цієї програми є формування такого повного набору тестових кодів, який імітує як номінальні характеристики перетворення компонентів ВК, так і їх похибки у нормальних та робочих умовах експлуатації, а також дію основних видів впливних величин і завод. Надалі ці коди (у вигляді аналогового сигналу або цифрового коду) повинні надходити на входи відповідних наступних компонентів досліджуваного ВК [10]. Необхідне дослідження метрологічних характеристик ВК при різних комбінаціях нормальних і робочих умов експлуатації всіх його компонентів.

Набір тестових кодів (зокрема, номінальні значення фізичної величини та мітки часу) доцільно формувати як поля бази даних.

2. Програми, що забезпечує зв'язок з досліджуванним засобом вимірювання, яка повинна забезпечити: (i) подачу тестових кодів, які входять в сформований першою програмою набір, на вхід відповідних компонентів досліджуваного ВК у відповідні моменти часу з урахуванням масштабу часу дослідження; (ii) приймання і запам'ятовування результатів вимірювання, отриманих під дією поданих тестових кодів.

3. Програми, що обробляє результати вимірювання, які отримані внаслідок дії на досліджуваний ВК (або його окремі компоненти) наборів тестових кодів. Ці тестові коди були сформовані раніше першою програмою і містяться в файлі бази даних тестових кодів. Результати дії цих тестових кодів записані у відповідних полях цього самого файла другою програмою. Відхилення результатів вимірювання від заданих значень фізичної величини визначає похибку ВК. Номінальні значення впливних величини з врахуванням міток часу визначають умови виникнення цієї похибки.

Програма формування набору тестових кодів повинна являти собою набір ММ компонентів ВК, об'єднаних в загальну ММ ВК. ММ-компоненти ВК повинні як відтворювати їх метрологічні властивості достатньо повно, так і забезпечувати їх комплексну або селективну імітацію у будь-яких умовах експлуатації та дії впливних величин, тобто виконувати вимоги, сформульовані в [12]. Загальна ММ ВК повинна забезпечувати можливість детальних досліджень впливу на сумарну похибку вимірювання окремих складових похибки всіх компонентів ВК. Повинна бути забезпечена можливість використання МПТ не тільки при повній імітації ВК, а і при взаємодії МПТ з реальними компонентами ВК [10].

Структура першої програми, яка входить в МПТ ВК температури за допомогою термопар, подана на рис 1. Вона складається з ММ термопари [12], лінії зв'язку СL, схеми компенсації температури вільних кінців СJCS, аналогового вимірювального перетворювача (підсилювача) АМС, комутатора МUX, аналого-цифрового перетворювача АDС та обчислювального компонента СС. Структура, зображена на рис. 1, відповідає багатоканальній системі вимірювання температури (до кожної термопари під'єднано індивідуальний нормувальний перетворювач *signal condition amplifier*). Для адаптації цієї структури до багатоточкової системи (комутатор сигналів низького рівня під'єднує термопари до входу підсилювача або АЦП низького рівня) необхідно змінити послідовність блоків АМС і МUX.

Всі ММ розроблені аналогічно до ММ термопари, описаної в [12], з використанням методики, поданої в [13]. До складу МПТ входять ММ, які формують:

- номінальні ХП всіх компонентів ВК (для комутатора номінальна ХП дорівнює 1, тому на рис. 1 вона не зображена);
- інструментальні похибки  $\Delta_{INSTR}$  у нормальних умовах експлуатації (характерні складові кожного компонента ВК перелічені під відповідними блоками);
- похибки від вхідного опору і струму  $\Delta_{RIN}, \Delta_{IIN}$ , а також шуму  $\Delta_{NOISE}$  ;
- додаткові похибки від дії відхилення температури експлуатації від нормальних умов  $\Delta_{INSTR} t^{\circ}$  та часу експлуатації  $\Delta_{INSTR} \tau$  ;
- методичних похибок СJCS, які спричинені невідповідністю температури вільних кінців термопари температурі сенсора, який входить в СJCS  $\Delta_{MET} t^{\circ}$  а також невідповідності характеристики перетворення самої схеми СJCS характеристикі перетворення термопари  $\Delta_{MET} CC$ ;
- похибки від впливу струмів витоку комутатора  $\Delta_{UALLOW}$ .

Крім того, в МПТ входять ММ, які формують допоміжні параметри компонентів ВК, необхідні для розрахунку деяких складових похибки. Наприклад, похибки від вхідного опору АМС визначають як  $\Delta_{RINAMC} = U_{OUTCJCS} * R_{OUTCJCS} / (R_{INAMC} + R_{OUTCJCS})$ , а від вхідного струму – як  $\Delta_{IINAMC} = I_{INAMC} * R_{OUTCJCS}$ .

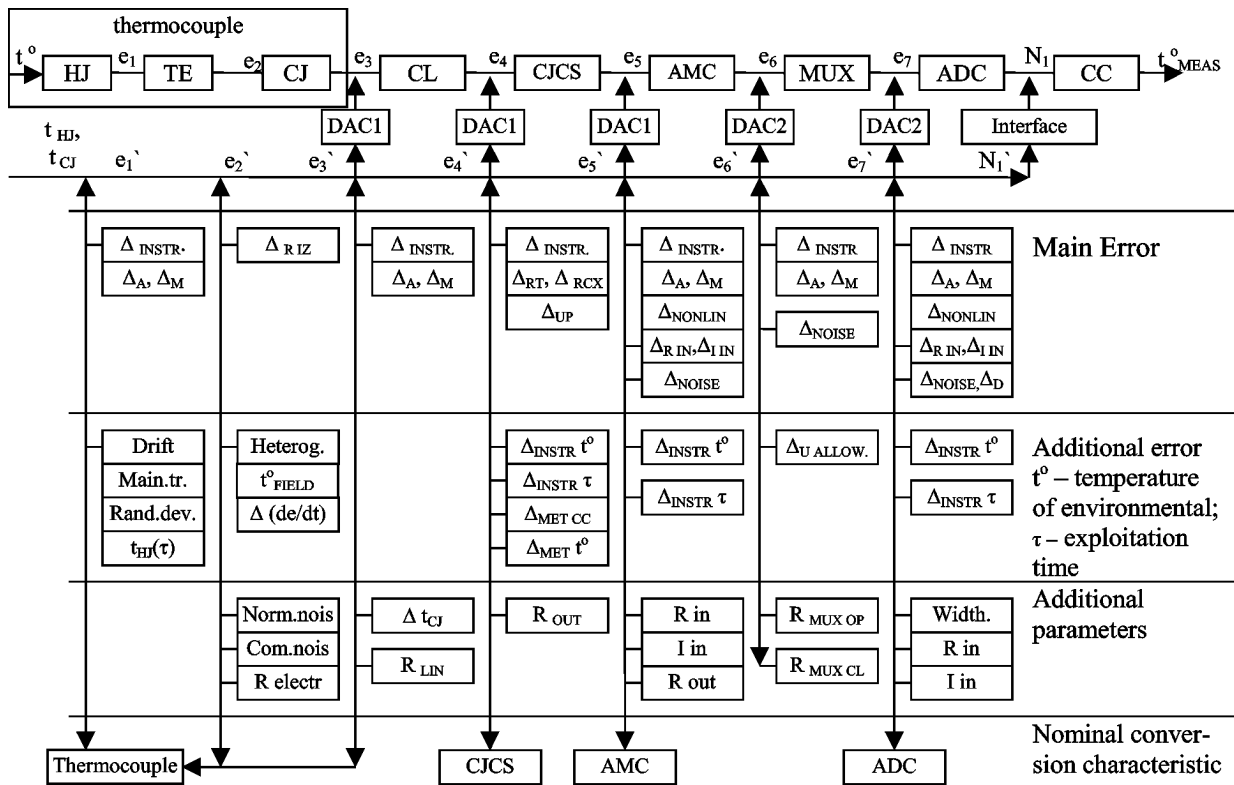


Рис. 1. Структура метрологічного програмного тесту вимірювального каналу температури за допомогою термопар

Друга програма, що входить до складу МПТ, забезпечує подання тестових кодів на вибраний вхід досліджуваного ВК. При дослідженнях реального ВК або його частини вона являє собою драйвер відповідного цифроаналогового перетворювача [14]. Під час досліджень моделі ВК ця програма повинна забезпечити взаємодію з цією моделлю.

Вимоги до програми обробки результатів вимірювання можна сформулювати, проаналізувавши заданий спосіб нормування метрологічних характеристик ВК. Однак, як показано у вступі, традиційні методи нормування метрологічних характеристик ВК не відображають адекватно особливості ІСЗД. Зокрема, ці методи не передбачають можливості підвищення точності вимірювання під час експлуатації системи внаслідок самоадаптації, та покращання адаптаційних можливостей за рахунок самонавчання. Тому для аналізу вимог до програми обробки результатів вимірювання розглянемо, як процеси самоадаптації та самонавчання впливають на похибку ВК під час експлуатації ІСЗД.

### 3. Експериментальні дослідження впливу самоадаптації та самонавчання на похибку вимірювального каналу

Процеси самоадаптації та самонавчання в ІСЗД спрямовані на покращання їх параметрів, зокрема на підвищення точності результатів вимірювання коригуванням похибок компонентів ВК. Таке коригування базується на ММ-коригуванні. Типові ММ мають параметри, спільні для компонентів певного типу, і не відображають індивідуальних особливостей конкретних компонентів ВК. Тому для досягнення високої точності ІСЗД необхідно використовувати, здебільшого, індивідуальні ММ компонентів ВК, побудовані під час експлуатації. Отже, похибка ВК в ІСЗД залежить: (i) від часу експлуатації; (ii) від здатності ІСЗД будувати індивідуальні ММ компонентів ВК; (iii) від якості побудованих ММ. Останні властивості ІСЗД визначаються особливостями організації процесів самоадаптації та самонавчання в них.

Експериментальні дослідження метрологічних характеристик ІСЗД за допомогою розробленого МПТ виконувалися на ІСЗД ІСІС, яка розроблена згідно з грантом INTAS-OPEN-97-0606. Їх основним завданням було дослідження характеру часових змін сумарної похибки ВК за рахунок дії самоадаптації та самонавчання і визначення переваг інтелектуальних систем. Застосування МПТ дало можливість виконання таких досліджень не в реальному масштабі часу, а в пришвидшеному режимі.

Дослідження виконували на прикладі каналу вимірювання температури за допомогою термопар типу К. ВК температури ІСІС складався з восьмиканального комутатора на герконових реле (паразитні термо-Е. Р. С.  $\leq 1 \mu\text{V}$ ), шістнадцятирозрядного аналого-цифрового перетворювача напруги низького рівня (похибка  $\leq 0.02\%$ , діапазони 15 і 60 mV) [16], контролера з дистанційним перепрограмуванням [17] для поточного коригування похибок компонентів ВК та ІВМ-сумісного комп'ютера-сервера для навчання нейронних мереж (НМ) прогнозу дрейфу термопар типу К [8]. Одночасно досліджувалися 6 ВК. Ще два ВК використовували для автоматичного встановлення нуля і калібрування АЦП. Загальна кількість досліджених випадкових варіантів комбінацій похибок ВК – 120, тривалість одного дослідження становила 20 хв (еквівалент приблизно 1000 год експлуатації). МПТ імітував термопару типу К згідно з його ММ, описаною в [12]. Як метод підвищення точності ІСІС була вибрана періодична перевірка термопар типу К термопарами типу S, похибка яких не перевищувала  $1,1^\circ\text{C}$  [18]. Термопари типу S теж імітувалися МПТ.

ММ термопари типу К передбачала відтворення:

1. Номінальної ХП термопари типу К відповідно до даних [18].
2. Випадкового початкового відхилення реальної ХП термопари типу К від номінальної відповідно до стандарту [18].
3. Часового дрейфу ХП термопар типу К при індивідуальних фіксованих температурах експлуатації різних ВК згідно з ММ-дрейфом [12]. Ця ММ відображала вплив на дрейф різних чинників і передбачала відтворення:
  - 3.1 Систематичного тренду дрейфу. Швидкість дрейфу відповідала [19].
  - 3.2 Випадкового індивідуального відхилення від основного тренду.
  - 3.3 Випадкової індивідуальної періодичної зміни швидкості основного тренду.
  - 3.4 Випадкової індивідуальної похибки теплопередачі при перевірці термопари типу К за допомогою термопари типу S.
4. Впливу температури вільних кінців (для спрощення досліджень похибки компенсації температури вільних кінців не імітувалися).

Результати експериментальних досліджень характеру часових змін сумарної похибки ВК зображені на рис. 2–6. Горизонтальні прямі на цих рисунках відображають допустимі похибки окремих компонентів досліджуваного ВК. Значення цих похибок вказані на рисунках. На рис. 2 наведено результати досліджень ІСІС в “неінтелектуальному” режимі. Всі засоби коригування похибок компонентів ВК були відключені. Як видно, крива зміни сумарної похибки ВК відображає поступове зростання максимальної похибки вимірювання температури відповідно до дрейфу ХП термопар типу К.

На рис. 3 наведено результати досліджень похибки ІСІС за умови періодичної перевірки термопар типу К за допомогою взірцевих термопар типу S. Як видно, максимальна сумарна похибка ВК періодично поступово наростає за рахунок дрейфу термопар, а потім падає до рівня похибки перевірки. Похибка перевірки визначається допустимою похибкою взірцевої термопари і випадковими похибками ВК. Традиційні методи нормування похибок встановлюють межу похибки ВК на рівні максимальних значень похибки перед перевіркою. Такий метод нормування похибки відображає товста штрихова лінія на рис. 3. Тривалість міжперевірочного інтервалу вибирають відповідно до середньої швидкості дрейфу і допустимого значення похибки вимірювання температури. Оскільки характер зміни швидкості дрейфу термопар в конкретних умовах достовірно

не відомий, доцільно вибрати постійне значення міжперевірального інтервалу, як на рис. 3. Для збільшення міжперевірального інтервалу при зменшенні швидкості дрейфу термопар внаслідок тривалої експлуатації необхідно аналізувати результати перевірки. Це еквівалентно введенню додаткової “інтелектуальної” функції в алгоритм обробки результатів вимірювань.

На рис. 4 наведено результати досліджень похибки ІСІС при періодичній перевірці термопар типу К і прогнозі їх дрейфу за допомогою прогнозуючої НМ. Слід зауважити, що масштаб похибки на цьому і подальших рисунках змінено. Для навчання прогнозуючої НМ необхідно 25...50 результатів перевірки. Тому упродовж накопичення цих результатів перевірки система веде себе аналогічно до попереднього варіанта. Далі похибка різко падає за рахунок високоякісного прогнозу дрейфу термопар. Це дає змогу в 5...7 разів збільшити міжперевірний інтервал без втрати високої точності вимірювання. Як видно з рис. 4, при встановленні допустимої похибки ІСІС в цьому режимі необхідні нові методи нормування похибок. Ці методи повинні враховувати наявність цілком різних періодів роботи ІСІС – без прогнозу і з прогнозом дрейфу. Встановлення допустимої похибки аналогічним методом, як і в попередньому режимі, повністю ігнорує переваги такої інтелектуальної функції, як прогноз.

На рис. 5 наведено результати досліджень похибки ІСІС при періодичній перевірці термопар типу К і прогнозі за допомогою прогнозуючої і додаткової апроксимуючої НМ [20]. Додаткова НМ при навчанні апроксимує результати 5–6 результатів перевірок і розраховує проміжні значення і формує достатню навчальну вибірку для прогнозуючої НМ. Як видно з рис. 5, період накопичення інформації про дрейф термопар різко скорочується.

На рис. 6 наведено результати досліджень похибки ІСІС при періодичній перевірці термопар типу К і прогнозі з використанням методу інтеграції історичних даних [9, 15]. Інтеграція за допомогою НМ історичних даних про перевірку інших термопар дає змогу вже після першого міжперевірального інтервалу отримати достатньо даних для навчання апроксимуючої НМ. Тому такий режим роботи ІСІС характеризується коротким періодом накопичення інформації про дрейф термопар – не більше ніж один міжперевірний інтервал. Однак, як видно з рис. 6, цей метод не забезпечує отримання прогнозу, точність якого еквівалентна прогнозу за дійсними результатами перевірки. Тому далі, під час експлуатації, результати інтеграції історичних даних треба замінити на результати дійсних перевірок. Як зрозуміло з рис. 5 і 6, характер зміни похибки ІСІС в цих режимах роботи практично виключає можливість використання традиційних методів нормування похибок.

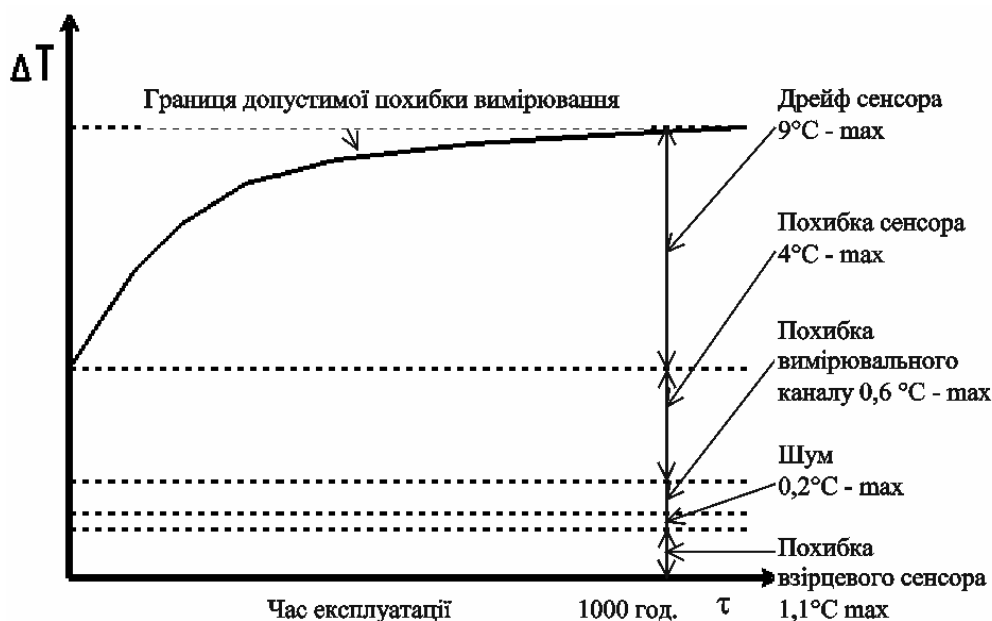


Рис. 2. Тестування “неінтелектуального” режиму

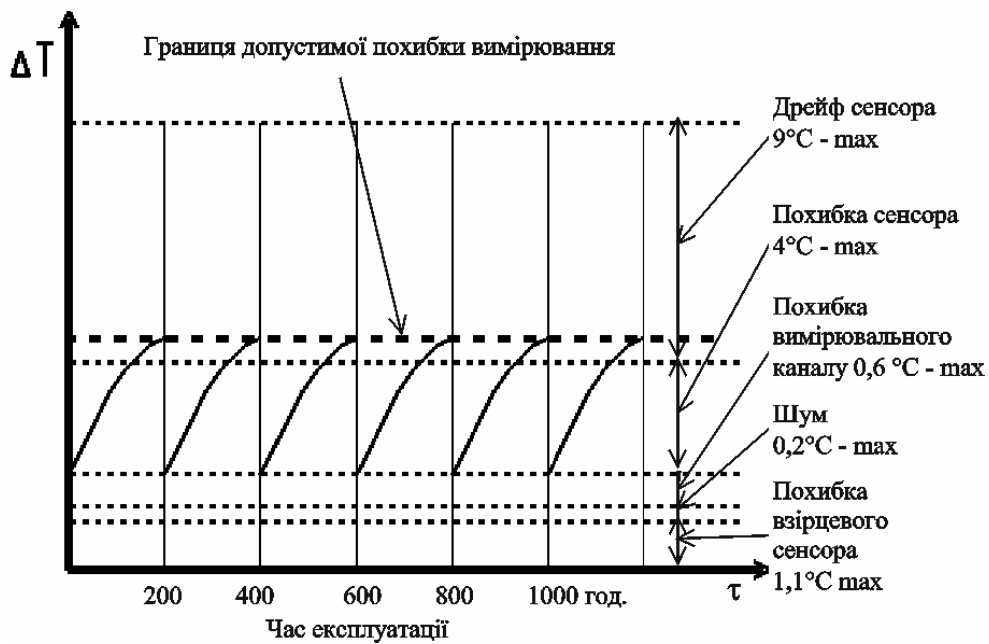


Рис. 3. Періодична перевірка робочої термопару за взірцевою

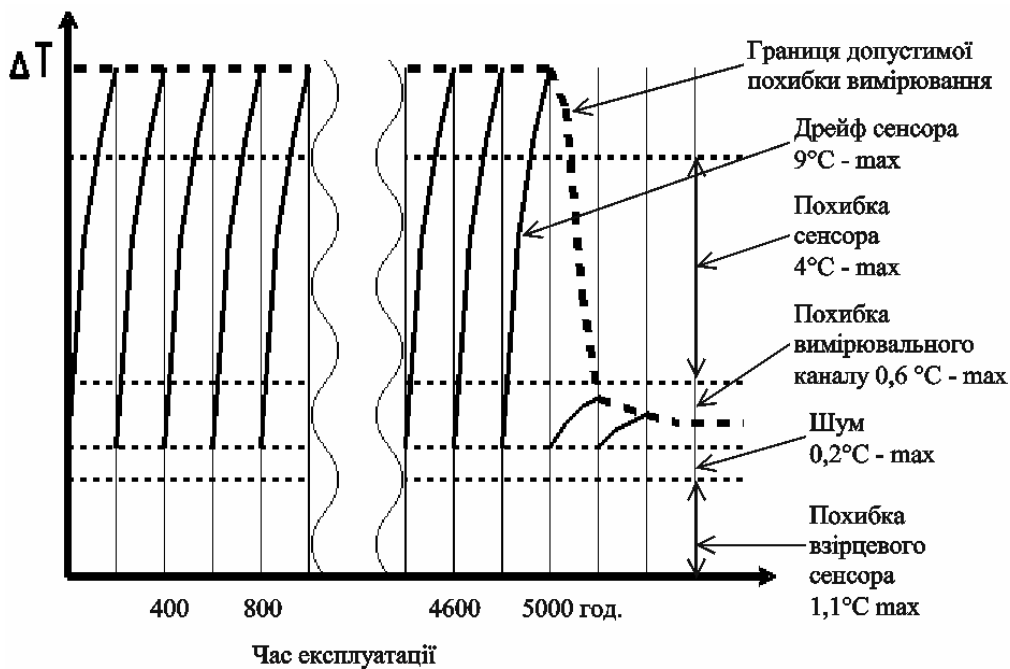


Рис. 4. Періодична перевірка термопару та прогнозування дрейфу за допомогою АНМ

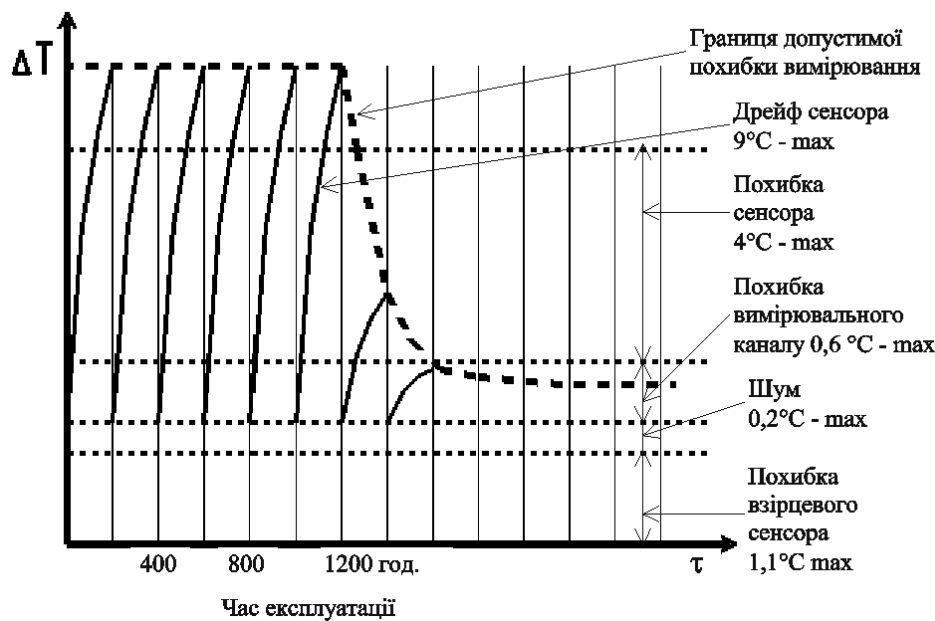


Рис. 5. Періодична перевірка термопар та прогнозування дрейфу двома АНМ

Аналіз результатів досліджень свідчить, що можна виділити три періоди побудови індивідуальних ММ коригування похибок компонентів ВК:

1. Період первинного накопичення інформації про похибки компонентів ВК. Упродовж цього періоду похибка ВК визначається частотою його перевірок/калібрувань. Однак властивості самоадаптації та самонавчання ІСЗД ще не мають впливу на похибку. Тому похибка ВК залишається порівняно високою.

2. Період вдосконалення індивідуальних ММ коригування похибок компонентів ВК, упродовж якого похибка ВК поступово зменшується. Властивості самоадаптації та самонавчання ІСЗД починають відчутно впливати на похибку ВК. Однак ММ коригування похибок компонентів ВК ще не мають високої точності внаслідок дефіциту інформації про характер похибок компонентів ВК. Тому вплив засобів штучного інтелекту на точність ІСЗД в цьому періоді проявляється не повністю.

3. Період поступового уточнення індивідуальних ММ коригування похибок компонентів ВК, коли властивості самоадаптації та самонавчання ІСЗД максимально впливають на похибку ВК. Тому похибка ВК мінімальна. Значно сповільнюється темп зменшення похибки ВК, що пов'язано з тим, що використаний метод побудови індивідуальних ММ коригування вичерпує свої можливості. Однак подальша експлуатація ВК вимагає хоча би періодичних перевірок/калібрувань для забезпечення надійності коригування похибок ВК. Результати цих перевірок/калібрувань уможливають подальше незначне підвищення точності ВК.

Розглянутий аналіз залежності похибки ВК від часу експлуатації характерний для початкового періоду роботи ІСЗД. Тоді самонавчання ІСЗД ще не може повною мірою впливати на похибку ВК. Під час довготривалої експлуатації ІСЗД самонавчання дає змогу покращити саму побудову ММ коригування. Крива зміни похибки ВК від часу експлуатації для ІСЗД, яка давно експлуатується на цьому об'єкті вимірювання, не буде відповідати кривій зміни похибки нової ІСЗД. Періоди первинного накопичення інформації та вдосконалення за наявності історичних даних і при застосуванні відповідних методів прогнозу [9, 15] будуть набагато коротші. Наприклад, при заміні деякого компонента ВК (зокрема, сенсора) самонавчання дасть змогу: (i) використати накопичені під час його експлуатації дані як історичні дані про похибку однотипних компонентів ВК в аналогічних умовах експлуатації для пришвидшення побудови індивідуальної ММ коригування [9, 15]; (ii) скоротити час вибору форми ММ коригування; (iii) зменшити ризик при виборі оптимального міжперевірочного інтервалу. Для досліджень міжперевірочний інтервал задавався постійним, але рис. 5, 6 показують, що для коригування похибок сенсорів ІСЗД така стратегія неекономна. Тому надалі доцільно в ІСЗД ввести підсистему прогнозу міжперевірочного інтервалу.



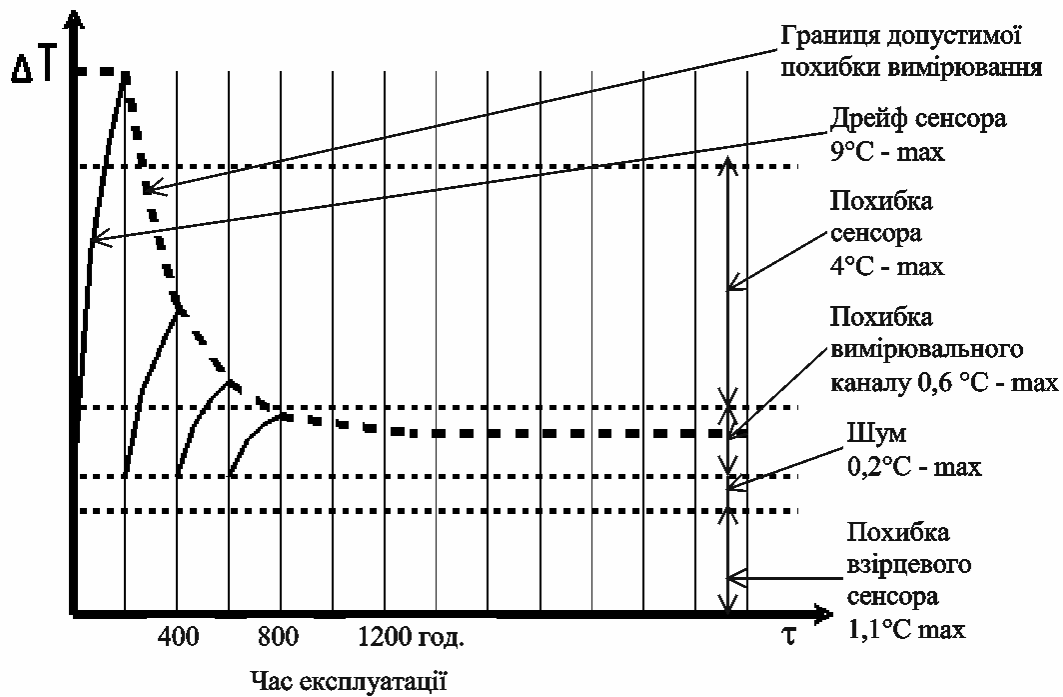


Рис. 6. Періодична перевірка термопар з прогнозуванням дрейфу методом інтеграції історичних даних

#### 4. Висновки

Запропонований підхід до побудови МПТ дає змогу спростити дослідження особливостей метрологічних характеристик ІСЗД. Отримувані за допомогою розроблених МПТ результати метрологічних досліджень дають змогу в пришвидшеному масштабі часу:

- побудувати криві зміни границь похибки досліджуваної ІСЗД під час початкової та подальшої експлуатації;
- виявити типові для цієї ІСЗД тривалості інтервалів первинного накопичення інформації та вдосконалення ММ коригування;
- оцінити роботу підсистеми коригування похибок різного роду і її можливості в різних умовах експлуатації;
- оцінити досконалість системи прийняття рішень ІСЗД, що формує її доцільну поведінку в заданих умовах;
- оцінити затрати, необхідні для реалізації вибраної ІСЗД стратегії і вдосконалити її;
- зафіксувати в документації ІСЗД часову зміну границі їх допустимої похибки;
- визначити оптимальний час початку експлуатації ВК;
- оцінити переваги власне інтелектуальних систем.

Комплекс таких метрологічних та економічних характеристик дає змогу об'єктивно оцінити переваги і недоліки різних типів ІСЗД.

*Робота, описана в цій статті виконана згідно з проектом PST.CLG.977647 "Development of Precision Control System for Thermal Objects Control", який фінансується NATO згідно з грантом Linkage Collaborative Grants Program.*

1. ГОСТ 3044-84. Термометры термоэлектрические. Градуировочные характеристики. М.: 1989. 2. National Instruments. The Measurement and Automation Catalog. 2002. 3. Kortvelyessy, L. Thermoelement Praxis.- Vulkan-Verlag, Essen, 1981. 4. Bernhard F., Bohun D., Augustin S., Mammen H., Donin A. Using Self Calibrated Thermocouples with Bench Mark Material at Temperatures 500... 650 °C

in Steam Generators. Abstracts of the 8-th International Conference on Temperature and Thermal Measurements Temperature'2003. Lviv, Ukraine, September 17-19. 2003. P. 16–17. 5. Sachenko A., Kochan V., Kochan R., Turchenko V., K. Tsahouridis and Th. Laopoulos. Error Compensation in an Intelligent Sensing Instrumentation System, Proceedings of the IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference IMTC/2001, Budapest, Hungary, May 21-23, 2001. P. 869 – 875. 6. Цветков Э.И. Процессорные средства измерения. Л. 1989. 7. Golovko V., Grandinetti L., Kochan V., Laopoulos T., Sachenko A., Turchenko V., Tymchyshyn V. “Approach of an Intelligent Sensing Instrumentation Structure Development”, Proceedings of IEEE International Workshop on Intelligent Signal Processing, Budapest (Hungary), 1999. P. 336–341. 8. Турченко В., Кочан Р., Карачка А. Застосування нейронних мереж для прогнозування дрейфу характеристик перетворення сенсорів // Вісник Тернопільського державного технічного університету ім. І. Пулюя, 2000. Том 5. № 4. С. 102–108. 9. Sachenko A., Kochan V., Turchenko V., Golovko V., Savitsky Y., Dunets A., Laopoulos T. Sensor Errors Prediction Using Neural Networks, Proceedings of the IEEE-INNS-ENNS International Joint Conference on Neural Networks IJCNN'2000, Como, Italy, July 24-27, 2000, vol. IV, P. 441-446. 10 Kochan R., Sachenko A., Daponte P., Sobolev V., Kochan V. Design of Embedded Metrology Subsystem for Intelligent Sensing Instrumentation Structure. 19th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference IMTC/2002, Anchorage AK (USA), 21-23 May 2002. 11. Kochan R. Approach to Development Metrological Software Test for Verification Intelligent Instrumentation. Proceedings of the Second IEEE International Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications IDAACS'2003. Lviv, Ukraine, September 8-10, 2003. P. 168...173. 12. Kochan R., Sachenko A., Kochan V., Pasichnyk R. Development of the Simulation Model of Thermocouples. Proceedings of the 20th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference IMTC/2003, Vail, CO, USA, 20-22 May 2003. P. 1673...1677. 13. Соболев В. Метрологическое сопровождение результатов измерений в интеллектуальных измерительных системах. Автореферат дис. д-ра техн. наук 1999. 14. Кочан Р. Двохкаскадний цифроаналоговий перетворювач для метрологічних досліджень. Тези 8-ї Міжнародної конференції Температура-2003. Львів, 17–19 жовтня 2003, с. 73. 15. Патент №50830 Україна, МПК 7 G06F15/18. Спосіб формування навчальної вибірки, прогноуючої дрейф пристрою збору даних нейронної мережі / Саченко А., Кочан В., Турченко В., Головка В. (BY), Савіцький Ю. (BY), Лаоуполос Т. (GR). – Заявлено 04.01.2000; Опубл. 15.11.2002. – 14 с. 16. Kochan R., Berezky O., Karachka A. Development of the integrating analog to digital converter for distributive data acquisition systems with improved noise immunity. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. February 2002, Number 1, Volume 51, pp. 96 – 101. 17. Sachenko A., Kochan V., Turchenko V., Tymchyshyn V., Vasylykiv N., Intelligent Nodes for Distributed Sensor Network, 16th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference IMTC/1999, Venice, Italy, 1999, pp.1479-1484. 18. Isothermal Technology Limited (ISOTECH). Temperature calibration with ISOTECH Block Baths. User Manual. (www.isotech.co.uk). 19. Приборы для измерения температуры контактным способом. Спр. – Львов, 1978. 20. Golovko V., Savitsky J., Sachenko A., Kochan V., Turchenko V., Laopoulos T., Grandinetti L. Intelligent System for Prediction of Sensor Drift // Proceedings International Conference on Neural Networks and Artificial Intelligence (ICNNAI'99). – Brest (Belarus). – 1999. – P. 126-135.