

## СТРУКТУРА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ЗБОРУ І ОБРОБКИ СЕНСОРНИХ ДАНИХ ТА ЇЇ ДОСЛІДЖЕННЯ

© Кочан Р., 2004

**There is proposed structure of intelligent system of sensors' data acquisition and processing which provide predefined precision accuracy of input physical quantity measurement using non-precision measurement components by application formulated here intelligent functions. The means of testing of intelligent data acquisition and processing systems also are presented in this paper. The results of prototype of thermocouple-based intelligent data acquisition system testing are presented.**

**Постановка проблеми.** Підвищення точності знаходження фізичних величин в промисловості та наукових дослідженнях є важливою задачею. Однак для сучасних систем збору і обробки сенсорних даних (СЗОСД) співвідношення допустимих похибок сенсора і каналу збору сенсорних даних (КЗСД) досягає декількох десятків. Зокрема, похибка КЗСД сенсорів температури ведучих фірм [1, 2] не перевищує  $0,5^{\circ}\text{C}$  для термопар і  $0,1...0,01^{\circ}\text{C}$  для термометрів опору, похибка самих термопар досягає  $3...10^{\circ}\text{C}$  [3], а термометрів опору —  $0,2...1^{\circ}\text{C}$  [4]. Тому підвищення точності КЗСД не веде до підвищення точності визначення температури.

**Аналіз останніх досліджень.** Конструктивно-технологічні методи підвищення точності сенсорів вимагають затрат на фундаментальні дослідження і не гарантують позитивного результату. Перспективнішими є структурно-алгоритмічні методи, які полягають у корекції похибок елементів КЗСД. Однак індивідуальна підстройка характеристики перетворення (ХП) КЗСД під сенсор [5, 6] не забезпечує істотного підвищення точності через значний дрейф сенсорів [6...8]. Для підвищення точності визначення фізичних величин використовують періодичну перевірку сенсорів або їх калібрування [6, 9]. Однак для досягнення малої похибки необхідна висока частота перевірок/калібрувань що значно підвищує трудомісткість збору сенсорних даних. Крім того, деякі взірцеві засоби, зокрема калібратор температури [9, 10], мають обмежену кількість реалізацій взірцевої величини. Для зменшення трудомісткості за рахунок збільшення міжповірного / міжкалібрувального інтервалу, використовують прогноз дрейфу сенсорів за індивідуальними матмоделями. Ці матмоделі будують за результатами калібрувань або перевірок сенсорів [11]. Отже, СЗОСД адаптується до умов експлуатації та параметрів своїх елементів. Але дрейфи описуються функціями зі значною випадковою складовою. Тому для підвищення якості прогнозу, згідно з [12, 13], доцільне використання методів штучного інтелекту, зокрема, нейронних мереж. Це покращує характеристики самоадаптації до дрейфу сенсорів за рахунок самонавчання нейронних мереж.

Але корекція домінуючої складової сумарної похибки КЗСД — похибки сенсора, збільшує відносний внесок у сумарну похибку похибок інших компонентів. Методам вдосконалення і корекції похибок цих компонентів (підсилювачів, АЦП тощо), присвячена велика кількість публікацій, але вони не узгоджені між собою і з корекцією похибок сенсорів. Окреме використання різних методів підвищення точності збільшує складність СЗОСД і підвищує трудомісткість обслуговування. Оптимальна взаємодія цих методів забезпечить мінімальні затрати і цілеспрямовану зміну параметрів СЗОСД для забезпечення високої точності визначення фізичної величини.

**Задачі досліджень.** Метою цієї статі є створення і дослідження структури СЗОСД, яка забезпечує високу точність визначення вхідної фізичної величини при використанні елементів каналу збору даних низької точності. Необхідно розв'язати задачі оптимальної взаємодії методів підвищення точності різних елементів КЗСД для отримання результату заданої точності. Необхідно також розробити засоби дослідження такої СЗОСД і подати результати самих досліджень.

**Виклад основного матеріалу.** СЗОСД, яка забезпечує сформульовані вище властивості, є інтелектуальною системою [14], тому спочатку необхідно сформулювати її інтелектуальні функції.

**1. Інтелектуальні функції СЗОСД.** В [15] сформульовано інтелектуальні функції, які забезпечують корекцію похибок термопар в системі точного вимірювання температури. Вони передбачають прогнозування поправок на дрейф ХП термопар за індивідуальними матмоделями, які уточнюються за результатами періодичних повірок / калібрувань. Для визначення міжповірного інтервалу оцінюють поточну похибку КЗСД за матмоделями похибок прогнозу. При перевищенні похибкою КЗСД допустимого значення система звертається до оператора для проведення чергової повірки / калібрування. Такий набір інтелектуальних функцій дає змогу підвищити точність визначення дійсних значень температури. Однак корекція похибок інших компонентів КЗСД передбачена тільки шляхом корекції похибки КЗСД загалом. Це не забезпечує максимального підвищення точності (особливо при повірці КЗСД взірцевим сенсором, під'єднаним до одного з КЗСД цієї самої системи) та зниження трудомісткості, особливо, якщо швидкість дрейфу інших компонентів КЗСД співмірна з швидкістю дрейфу термопар. Крім того, набір інтелектуальних функцій [15] не реалізує різні стратегії підвищення точності КЗСД, що веде до одноманітності поведінки інтелектуальної системи.

Для усунення вказаних недоліків необхідно розширити інтелектуальні функції СЗОСД, сформульовані в [15]. Інтелектуальна СЗОСД повинна забезпечити:

1. Постійну корекцію отримуваних результатів шляхом індивідуального прогнозу поправок всіх елементів КЗСД (включаючи сенсор), згідно з побудованими під час експлуатації СЗОСД матмоделей поправками цих елементів, які враховують вхідну та впливні фізичні величини, а також час експлуатації.

2. Постійне індивідуальне прогнозування похибок матмоделей прогнозу поправок всіх елементів КЗСД (для яких в п. 1 прогнозувалися поправки), згідно з побудованими в процесі експлуатації СЗОСД матмоделями похибок, що відображають неадекватність матмоделей прогнозу поправок дійсній похибці відповідних елементів КЗСД.

3. Постійне визначення індивідуальної сумарної похибки кожного отриманого результату (на основі прогнозованих в п. 2 похибок прогнозу поправок елементів КЗСД та границь допустимих похибок інших елементів) і порівняння її з запланованою допустимою похибкою визначення фізичної величини.

4. Якщо індивідуальна сумарна похибка одержаного результату перевищує заплановану допустиму похибку визначення фізичної величини, то аналізують ефективність можливих заходів, які ведуть до уточнення матмоделей прогнозу поправок і похибок цих поправок (наприклад, повірка або калібрування) для кожного елемента, а також затрат на їх виконання, і приймається рішення про проведення заходу для того елемента КЗСД, який забезпечує достатнє підвищення точності при мінімумі затрат.

5. Виконання рішення, прийнятого в п. 4 (наприклад, повірка або калібрування вибраного елемента КЗСД) і отримання поточних значень дійсної похибки цього елемента.

6. Уточнення матмоделей прогнозів поправки і похибки цієї поправки для вибраного елемента КЗСД і заміну неактуальних математичних моделей.

Для реалізації сформульованих інтелектуальних функцій необхідно розробити нову структуру інтелектуальної СЗОСД і виконати її дослідження.

**2. Структура інтелектуальної СЗОСД.** Зниження сумарної похибки КЗСД інтелектуальної СЗОСД до запланованого рівня можливе за рахунок реалізації запропонованих інтелектуальних функцій. Для їх виконання інтелектуальна СЗОСД (рис. 1) повинна мати в своєму складі такі підсистеми [16]:

1. Індивідуального прогнозу поправок елементів КЗСД і корекції отримуваних результатів.
2. Оцінки поточної похибки кожного елемента КЗСД і сумарної похибки КЗСД (EEVS).
3. Аналізу і прийняття рішень про засоби підвищення точності елементів КЗСД (ADS).
4. Реалізації прийнятого рішення (RefC) за допомогою набору взірцевих засобів.



поправок *Error of correction factor* та інтервалів часу від останньої повірки / калібрування (зберігаються в CDB), значення поточного часу (надходить з таймера Timer), а також значень впливних величин  $F$  (надходить з FMC).

2. Оцінює поточне значення сумарної похибки фізичної величини  $T^* \Delta$  на базі поточних похибок кожного елемента КЗСД, визначених при виконанні попереднього пункту.

Результатом роботи EEVS є оцінка поточної похибки  $\Delta$  значення фізичної величини  $T^*$ . Слід зазначити важливість високоякісної роботи EEVS для поведінки інтелектуальної СЗОСД. Завищення  $\Delta$  веде до передчасного спрацювання підсистеми аналізу і прийняття рішень ADS і нераціонального використання ресурсів СЗОСД, а заниження веде до метрологічної відмови — СЗОСД не забезпечує заданої похибки фізичної величини  $T^*$ .

Підсистеми DC і EEVS постійно обчислюють значення фізичних величин  $T^*$  і відповідні їм похибки  $\Delta$ . Значення  $\Delta$  використовує підсистема аналізу і прийняття рішень ADS для вибору методів і засобів підвищення точності елементів КЗСД. ADS стежить за тим, щоби індивідуальна похибка  $\Delta$  фізичної величини  $T^*$  не перевищувала заплановану допустиму похибку по кожному КЗСД. Якщо  $\Delta$  перевищує допустиму похибку, то ADS визначає той елемент КЗСД, повірка / калібрування якого дасть змогу достатньо підвищити точність КЗСД при мінімальних затратах. Алгоритм роботи ADS подано на рис. 2.

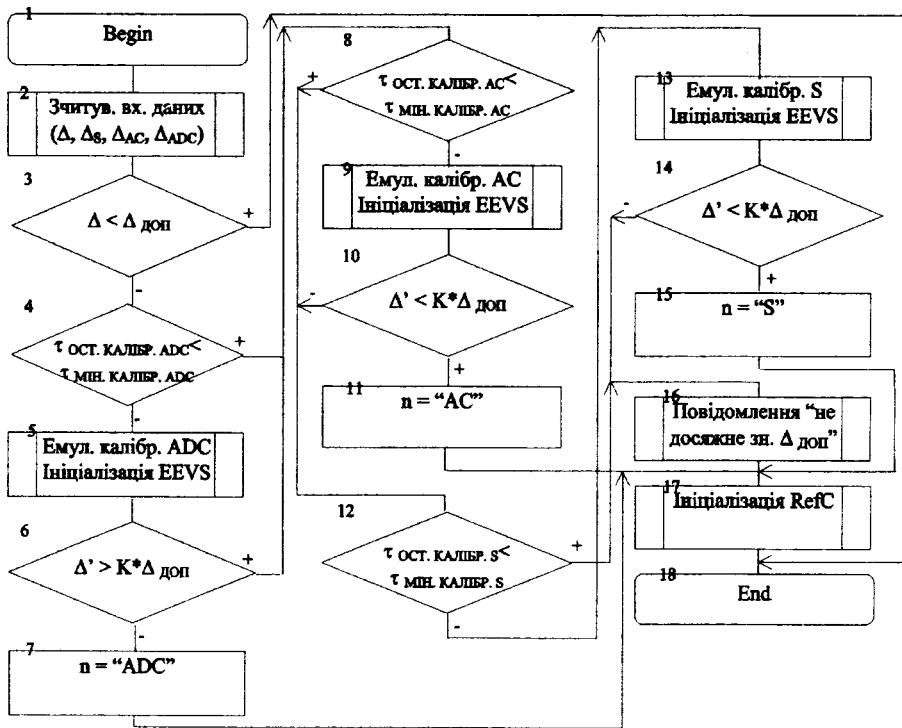


Рис. 2. Алгоритм роботи підсистеми аналізу і прийняття рішень ADS

В процесі роботи ADS повинна розрахувати декілька варіантів повірок / калібрувань різних елементів КЗСД. Для цього ADS взаємодіє з EEVS, яка оцінює сумарну похибку КЗСД  $\Delta$  для запропонованих ADS варіантів повірок / калібрувань елементів КЗСД. На вхід ADS також надходять  $\Delta_s, \Delta_{AC}, \Delta_{ADC}$  — відповідно похибки сенсора, AC, ADC, розраховані EEVS;  $\Delta_{доп}$  — допустима сумарна похибка КЗСД;  $\tau_{мін.калбр. S}, \tau_{мін.калбр. AC}, \tau_{мін.калбр. ADC}$  — мінімальний міжповірний інтервал відповідних елементів КЗСД. Після зчитування вхідних даних ADS перевіряє, чи похибка КЗСД не перевищила допустиму (блок 3). При перевищенні аналізують, який саме елемент КЗСД доцільно повірити / калібрувати. Блоки 4...8, 9...13 і 14...18 аналізують доцільність повірки / калі-

брування ADC, AC і S. Спочатку перевіряється умова витримки мінімального міжповірного інтервалу (блоки 4, 9, 14), бо надто часте калібрування через вплив випадкової похибки не веде до підвищення точності. Далі імітується повірка / калібрування відповідного елемента КЗСД (блоки 5, 10, 15) за допомогою EEVS, яка оцінює відповідну сумарну похибку КЗСД  $\Delta'$  (блоки 6, 11, 16). ADS перевіряє (блоки 7, 12, 17), чи після імітованої повірки / калібрування похибка КЗСД  $\Delta'$  буде перевищувати допустиму похибку  $\Delta_{\text{доп}}$  з деяким запасом ( $K$  — коефіцієнт запасу, який відбиває довірчу імовірність  $\Delta'$ ). У разі справдження цієї умови приймається рішення про повірку / калібрування цього елемента КЗСД (блоки 8, 13, 18) та ініціалізується RefC (блок 20), на який надходить код відповідного взірцевого засобу. Якщо забезпечити достатню точність не вдається, то виконується блок 19, який інформує про це споживача значень фізичної величини  $T^*$ . Отже, підсистема ADS реалізує тактику підвищення точності КЗСД до заданого рівня. Після вибору оптимального варіанта повірки / калібрування ADS подає команду на його виконання підсистемі реалізації прийнятого рішення RefC. RefC керує набором взірцевих апаратних засобів  $T_{\text{REF}}$  (взірцевий сенсор або калібратор фізичної величини),  $e_{\text{REF}}$  (джерело взірцевого інформаційного сигналу сенсора) і  $E_{\text{REF}}$  (джерело взірцевого сигналу вхідної величини ADC), які забезпечують повірку / калібрування відповідних елементів КЗСД. Крім того, DC отримує команду на реалізацію тільки алгоритмів зменшення випадкової складової похибки. Результат повірки / калібрування надходить на підсистемі побудови математичних моделей прогнозу поправки CFPS і похибки цієї поправки ECFPS.

Для більшості елементів КЗСД повірка / калібрування може бути автоматичною. Але деякі елементи вимагають узгодження повірки / калібрування з оператором. Наприклад, використання температурного калібратора вимагає переривання технологічного процесу в термоагрегаті та переведення його в режим стаціонарного нагріву або охолодження [9]. Повірка сенсорів температури на місці експлуатації вимагає встановлення взірцевого сенсора [8]. У такому разі RefC звертається до оператора і очікує його рішення.

Підсистема побудови математичних моделей прогнозу поправки CFPS починає роботу після отримання від підсистеми DC результатів повірки / калібрування елемента КЗСД, що підлягав повірці або калібруванню. Для цього елемента вона виконує такі операції:

1. Будує нову матмодель прогнозу поправки (або модернізує наявну) з використанням як поточних, так і попередніх результатів повірок / калібрувань, а також номінальних ХП (зберігаються в полях *Nominal conversion characteristic CDB*). Як показано в [13], власне в CFPS доцільно використовувати нейронні мережі, зокрема доцільно використати методи додаткової апроксимуючої нейронної мережі та інтеграції історичних даних [17].

2. Оновлює поля *Correction factor parameters CDB*. Використовуючи нейронну мережу, в поля *Correction factor parameters* записують її структуру і вагові коефіцієнти нейронів.

Підсистема побудови математичних моделей прогнозу похибки поправки ECFPS працює одночасно з підсистемою CFPS і виконує аналогічні до неї операції:

1. Будує нову матмодель прогнозу похибки поправки (або модернізує наявну) з використанням як поточних, так і попередніх результатів повірок / калібрувань (вони надходять з полів *Error of correction factor CDB*). Крім того, на ECFPS з полів *CDB Correction factor parameters* надходять параметри попередніх матмоделей прогнозу поправки і значення поточного часу з таймера Timer. Прогноз похибки поправки також доцільно виконувати за допомогою нейронних мереж.

2. Оновлює поля *Error of correction factor* бази даних CDB, що належать до того елемента КЗСД, який підлягав повірці або калібруванню.

Описана структура інтелектуальної СЗОСД дає змогу будувати точні СЗОСД, використовуючи неточні елементи. Вона може реалізувати дві стратегії підвищення точності КЗСД щодо критеріїв трудомісткість-точність:

1. Забезпечення мінімуму затрат при заданій наперед точності КЗСД (тобто при обґрунтованій заданій сумарній похибці визначення фізичної величини).

2. Досягнення максимальної точності при заданих наперед затратах на її забезпечення (тобто у разі обмежень на допустиму кількість повірок / калібрувань елементів КЗСД, наприклад, кількість реалізацій взірцевої температури калібратором [9, 10]).

Першу стратегію реалізує алгоритм рис. 2, якщо: (i) операції перевірки варіантів повірки / калібрування елементів КЗСД розміщені у послідовності зростання їх трудомісткості; (ii) запланована допустима похибка фізичної величини відповідає заданій наперед точності КЗСД. Зменшення затрат на реалізацію цієї стратегії досягається за рахунок використання високоякісних методів прогнозу поправок і їх похибок, наприклад, описаних у [12, 13, 17].

Використання першої стратегії доцільне тільки тоді, коли необхідний рівень точності можна достовірно визначити (наприклад, в електронній промисловості за законами Фіка). Але дослідження впливу похибки визначення параметрів техпроцесів на параметри продукції часто не здійснюються. В такому випадку друга стратегія, в поєднанні з аналізом ціни і допустимої собівартості, є перспективною. Під час її реалізації підсистема ADS повинна проаналізувати можливі варіанти зміни похибки КЗСД перед початком експлуатації. На його основі ADS повинна запланувати значення допустимої похибки визначення фізичної величини даним КЗСД і майбутні моменти повірок / калібрувань. Такий аналіз і планування можливі тільки на основі узагальнення досвіду експлуатації КЗСД у певних умовах. Тому переходу до другої стратегії повинен передувати період експлуатації інтелектуальної СЗОСД із застосуванням першої стратегії та збереженням даних про повірку / калібрування елементів КЗСД в цих умовах. Крім того, при реалізації другої стратегії, необхідний поточний аналіз відповідності рівня затрат і досягнутої точності запланованим значенням та періодична корекція параметрів матмоделей, використаних для попереднього планування.

**4.3. Засоби експериментальних досліджень інтелектуальних СЗОСД.** Запропонована структура була досліджена на інтелектуальній СЗОСД ISIS, яка була розроблена згідно з грантом INTAS-97-0606 [12, 13, 16]. Варто відзначити, що, при виключно експериментальних дослідженнях, варіанти параметрів похибок елементів КЗСД обмежені наявним обладнанням (неможливо дослідити інші варіанти амплітуди, швидкості та форми дрейфу ХП елементів КЗСД). Крім того, такі дослідження трудомісткі та довготривалі. Наприклад, для дослідження КЗСД з чотирьох елементів (див. рис. 1) і чотирьох варіантів швидкості дрейфу за чотирма видами функції дрейфу необхідно досліджувати одночасно 64 різні КЗСД упродовж експлуатації сенсорів. Тому для досліджень було використано напівнатурне імітаційне моделювання з пришвидшеним масштабом часу.

Для досліджень ISIS використано спеціально розроблений метрологічний програмний тест (МПТ) [18]. Спрощена структура МПТ подана на рис. 3. Він складається з трьох частин — програми формування тестових сигналів для дослідження КЗСД, драйвера цифро-аналогових перетворювачів імітації похибок елементів КЗСД і програми обробки результатів. Програма формування тестових сигналів складається з таких підпрограм:

1. Формування масиву точок дослідження вхідної фізичної величини МТД ФВ.
2. Формування масиву похибок і впливних величин МП і ВВ.
3. Послідовного перетворення масиву точок дослідження вхідної фізичної величини в сигнали сенсора S, аналогової схеми АС, аналого-цифрового перетворювача АСД відповідно до їх номінальних ХП — НХП S, НХП АС і НХП АСД.

4. Визначення поточного значення похибок і дії впливних величин для сенсора S, аналогової схеми АС, аналого-цифрового перетворювача АСД (відповідно до їх параметрів, заданих в МП і ВВ) — П і ВВ S, П і ВВ АС, П і ВВ АСД.

Відповідно до [18], підпрограми НХП S, НХП АС і НХП АСД спиралися на ХП, нормовані стандартами і технічними описами, а підпрограми П і ВВ S, П і ВВ АС, П і ВВ АСД — на нормовані границі допустимих похибок. Дрейфи компонентів КЗСД імітувалися за допомогою математичних моделей [16], які містили такі складові:

- основні тренди дрейфу (поліноми третього порядку з випадковими коефіцієнтами);

- коливання основних трендів (синусоїди з випадковими частотою і амплітудою);
- випадкові похибки з нормальним законом розподілу.

Програма обробки результатів тестування видає на виході залежності від часу експлуатації (пришвидшеного) дійсних (формованих МПТ) і прогнозованих ISIS поправок кожного компонента КЗСД, дійсних (формованих МПТ) і прогнозованих ISIS похибок поправок кожного компонента КЗСД, а також сумарної похибки.

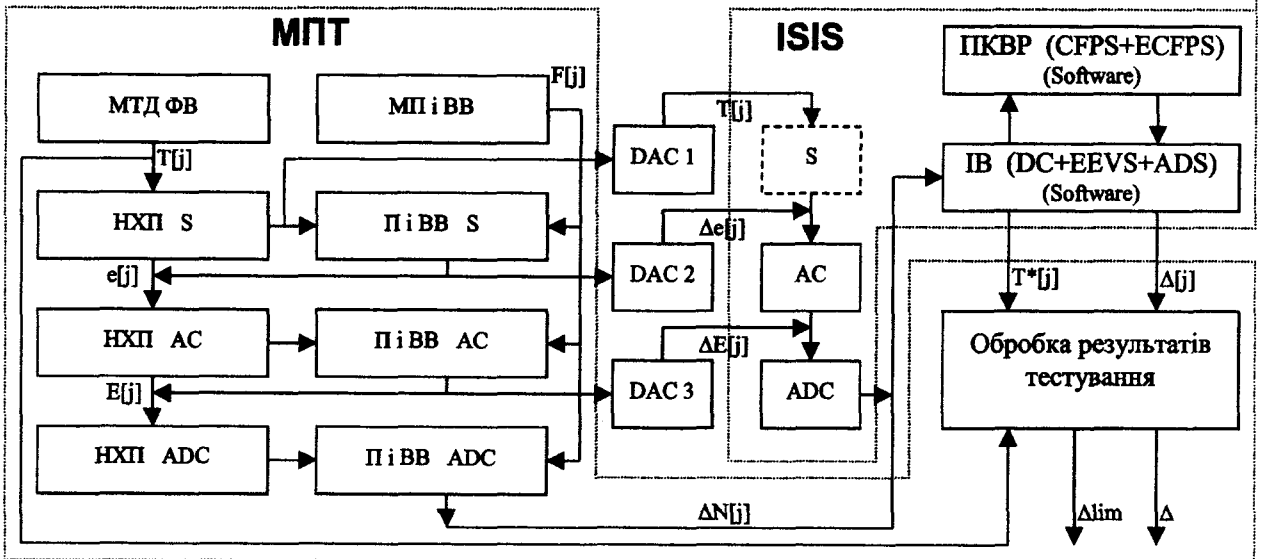


Рис. 3. Тестування ISIS за допомогою метрологічного програмного тесту

**4.4. Результати експериментальних досліджень інтелектуальних СЗОСД.** Результати експериментальних досліджень інтелектуальної СЗОСД ISIS подані на рис. 4. На графіках на осі абсцис відкладено час експлуатації (години), а на осі ординат — похибку ( $^{\circ}\text{C}$ ). На верхньому графіку представлено криві, які імітують дрейфи сенсора (крива 1, приблизно відповідає дрейфу термопар типу ХА) і АЦП (крива 2), а також їх сума (крива 3). Для імітації впливу завад загального і нормального виду швидкість дрейфу АЦП має порівняно великі коливання (синусоїдна складова) і збільшену випадкову складову. Криві 4 і 5 відображають прогнозовані поправки КЗСД (результат роботи підсистем CFPS і DC) для режимів з фіксованих міжповірних інтервалах із заданою допустимою похибкою.

Криві 6 на середньому графіку рис. 4 відображають результати прогнозу похибки КЗСД (результат роботи підсистем ECFPS і EEVS) при фіксованих міжповірних інтервалах (10 год для АЦП, 100 год для сенсора). Як видно з графіка, прогнозована похибка КЗСД не перевищує запланованої допустимої похибки  $0,4^{\circ}\text{C}$  (крім першого міжповірного інтервалу 100 год, коли CFPS ще не може працювати). Крива 7 (дійсна похибка) не перевищує межі допуску і прогнозу упродовж всього часу експлуатації. Але криві 6 прогнозованої похибки з часом перестають досягати допустимої похибки  $0,4^{\circ}\text{C}$  — підсистема CFPS в процесі самонавчання адаптується до дрейфу і забезпечує прогноз з надлишковою точністю. Тому при фіксованих міжповірних інтервалах ресурси СЗОСД використовуються нерационально.

Криві 8 на нижньому графіку рис. 4 відображають результати прогнозу похибки КЗСД (результат роботи підсистем ECFPS і EEVS) при адаптивних міжповірних інтервалах (обмежені їх мінімальні значення — 10 год для АЦП, 50 год для сенсора). Як видно з графіка, прогнозована похибка КЗСД теж не перевищує запланованої допустимої похибки  $0,4^{\circ}\text{C}$ . Але крива 9 (дійсна похибка), хоч не виходить за межі допуску упродовж всього часу експлуатації, іноді трохи виходить за межі прогнозу. Однак кількість калібрувань АЦП значно менша, а міжповірний інтервал сенсора зростає спочатку до 150 год, а потім до 300 і 400 год. Криві 8 прогнозованої похибки

постійно досягають границі допустимої похибки  $0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  — підсистема ADS підтримує заплановану точність КЗСД, ресурси СЗОСД використовуються раціонально, поточна трудомісткість експлуатації СЗОСД з часом падає за рахунок самоадаптації системи.

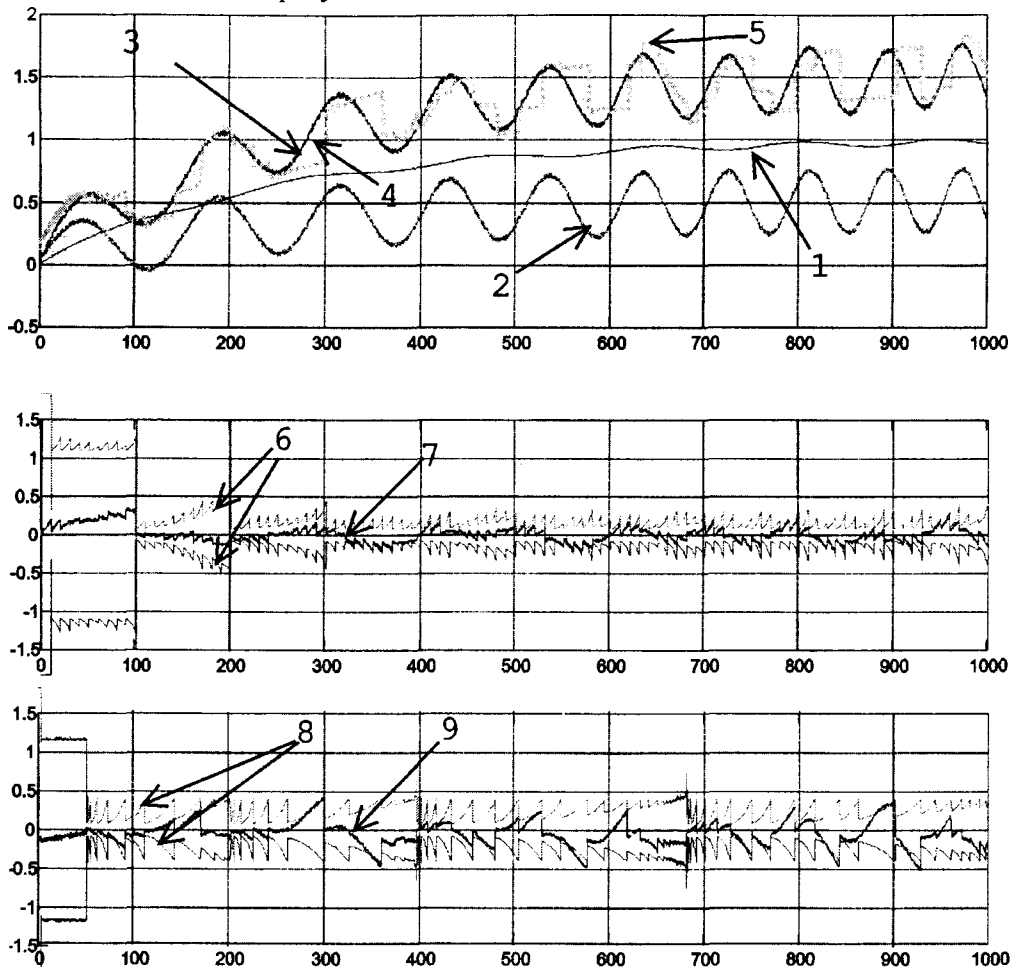


Рис. 4. Результати експериментальних досліджень похибок інтелектуальної СЗОСД ISIS

**Висновки.** Як видно з результатів досліджень, запропонована структура СЗОСД забезпечує задану точність визначення вхідної фізичної величини навіть у разі використання елементів КЗСД зі значним часовим дрейфом. Запропонована структура забезпечує таку взаємодію методів підвищення точності елементів КЗСД, яка необхідна для отримання результату заданої точності з мінімальними затратами. Для виконання інтелектуальних функцій така СЗОСД вимагає значних обчислювальних ресурсів. Тому при роботі СЗОСД в комп'ютерній мережі частину інтелектуальних функцій доцільно передати на сервер (зокрема, підсистеми CFPS і ECFPS, що вимагають для навчання нейронних мереж найбільше ресурсів), а для поточної обробки даних використати мережевий процесор (NCAP) з дистанційним перепрограмуванням [19], який відповідає стандарту IEEE-1451. Тому запропонована структура є перспективною для дистрибутивних інтелектуальних СЗОСД для прецизійних технологій або СЗОСД, сенсори яких працюють у важких умовах.

**Подяки.** Робота, подана в цій статті, виконана згідно з проектом UE-2534-TE03 “Investigation of the Intelligent Properties of Re-Configurable Network Capable Application Processor in Adaptive Distributed Instrumentation and Control Systems” який фінансується U. S. Civilian Research & Development Foundation.

1. [www.thermo-electra.com](http://www.thermo-electra.com). 2. [www.fluke.com](http://www.fluke.com). 3. International standard IEC 584-2. 4. International standard IEC 751. 5. [www.ni.com](http://www.ni.com). 6. Саченко А.А., Твердый Е.Я. Совершенствование методов измерения температуры. — К., 1983. 7. Датчики для измерения температуры в



промышленности / Г.В. Самсонов, А.И. Куц, О.А. Кюздени и др. — К., 1977.. 8. Kortvelyessy L. *Thermoelement Praxis*. — Vulkan-Verlag, Essen, 1981. — S. 498. 9. Саченко А.А., Мильченко В.Ю., Кочан В.В. Измерение температуры датчиками со встроенными калибраторами. — М., 1986. 10. 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. 11. Саченко А.А. Разработка методов повышения точности и создание систем прецизионного измерения температур в промышленных технологиях: Автореф. ... д-ра техн. Наук. — Ленинград, ЛЭТИ, 1988. 12. Golovko V., Grandinetti L., Kochan V., Laopoulos T., Sachenko A., Turchenko V., Tymchyshyn V. *Approach of an Intelligent Sensing Instrumentation Structure Development. Proceedings of the IEEE International Workshop on Intelligent Signal Processing, Budapest, Hungary, 4—7 September, 1999*. — P. 336—341. 13. Sachenko A., Kochan V., Kochan R., Turchenko V., Tsahouridis K. 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. 14. Finkelstein L. *Intelligent and knowledge based instrumentation — an examination of basic concepts, Measurement, Vol.14, № 1, 1994*. — P. 23—29. 15. Березький О.М., Кочан В.В. Засоби вимірювання температури з елементами штучного інтелекту // *Вимірювальна техніка та метрологія*. — Львів, 1998. — № 53. — С. 142—146. 16. 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*. 17. Патент № 50830 Україна, МПК 7 G06F15/18. Спосіб формування навчальної вибірки прогнозуючої дрейф пристрою збору даних нейронної мережі / А. Саченко, В. Кочан, В. Турченко, В. (BY) Головко, Ю. (BY) Савицький, Т. (GR) Лаопулос. — Заявлено 04.01.2000; Опубл. 15.11.2002. — 14. — С. 18. 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. 19. Kochan R., Kochan V., Lee K., Sachenko A. *Approach to Improvement the Network Capable Application Processor, Compatible with IEEE1451 Standard. Proc. of second IEEE international workshop on Intelligent Data Acquisition and Advancing Computing Systems (IDAACS'2003), September 9—11, 2003, Lviv, Ukraine*. — P. 437—441.

УДК 532.137:681.2

Г. Крих

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра автоматизації теплових і хімічних процесів

## КОНТРОЛЬ РЕОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛІВ У СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ ЕНЕРГООЩАДНИМИ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

© Крих Г., 2004

**The application of hydrodynamic devices for a measurement of rheological parameters of food materials in automatic control systems by technological processes is justified with the purpose of an increase of energy consumption on their realization.**

Більшість технологічних процесів харчової промисловості полягає у механічній чи теплофізичній обробці сировини і напівфабрикатів. До таких процесів належать подрібнення і перемішування, відтискання і формування, штампування, випікання, випарювання тощо. Критерієм змін, які відбуваються в харчових дисперсних системах в умовах інтенсивних механічних впливів, є