УДК 621.317;681.3.06

О. Березький, Н. Васильків, М. Чирка

ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЯ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ

На основі сформульованих інтелектуальних функцій засобів вимірювання температури з елементами штучного інтелекту, синтезована узагальнена структурна схема засобу вимірювання температури, що дозволила створити адаптивні системи точного вимірювання температури з самонавчанням.

Умовні позначення

t	- значення виміряної температури;
Δtd	- задана допустима похибка вимірювання ;
Δt	- дійсне (поточне) значення похибки вимірювання температури;
$\rho_i(t,\tau)$	- індивідуальна поправка;
Ei	- виміряне значення термо-е.р.с. ТЕП;
$E_н$	- номінальне значення термо-е.р.с ТЕП;
$\Delta E_{дрі}\ (t,\tau)$	- індивідуальний дрейф ХП ТЕП;
$\Delta(\Delta E_{др})$	-похибка дрейфу ТЕП;
$\Delta_{ТВК}$	- залишкова похибка компенсації температури вільних кінців (ТВК) ;
$\Delta E_{ет}$	-залишкова похибка корекції електричного тракту ;
$\Delta E_{взрj}$	-похибка взірцевого ТЕП;
τ	-час експлуатації ТЕП.

ВСТУП

Метою даної статті є розгляд питань, викликаних виникненням засобів вимірювання (ЗВ) фізичних величин, які рекламуються як "інтелектуальні". Для розвитку даного напряму вдосконалення ЗВ необхідно сформулювати

мінімальний набір функцій, які повинен виконувати інтелектуальний ЗВ, точніше ЗВ із елементами штучного інтелекту (ШІ), та синтезувати на їх основі відповідну узагальнену структурну схему. Застосування ШІ у ЗВ розглянуто на прикладі ЗВ температури за допомогою термоелектричних перетворювачів (ТЕП).

ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ У ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ

Традиційно поняття інтелекту нерозривно пов'язано з людиною, якій задатки інтелекту властиві від народження. Однак, породжені людиною знання можуть мати різну ступінь новизни - від якісно нових знань (відкриття, винахід) до відносно нових знань (уточнення відомих закономірностей для конкретних випадків).

Розвиток технічних систем привів до імітації деяких інтелектуальних функцій людини технічними системами (ТС), що дістало назву "штучного інтелекту" (ШІ). Розрізняють два рівні ШІ [1]. Перший рівень відповідає рівню середнього спеціаліста, що пройшов курс навчання в школі, інституті, практичній роботі, розуміє зміст понять, знає закономірності і факти в певній обмеженій області техніки. У своїй роботі такий середній спеціаліст має справу в основному з відносно новими знаннями, які він здобуває через накопичення нових фактів. Така діяльність на нинішний день може бути імітована ТС. Накопичення нових фактів приводить до виявлення нових закономірностей - відносно нових знань, тобто до підвищення "грамотності" ТС, адаптації її до умов експлуатації, самонавчання з метою досконалішого виконання своїх функцій. Другий рівень передбачає здобуття якісно нових знань, тобто наявність властивостей, які здатні подавати, опрацьовувати та породжувати нові знання із множини знань, які є в наявності (моделювання процесів мислення людини). Для такого рівня поки що відсутня навіть теоретична база, тому ШІ на сьогоднішній день можна розуміти як "грамотність" відповідних ТС.

Питання створення інтелектуальних ТС виникло у 80-ті роки [2]. Спочатку його пов'язували з наявністю процесора [3]. Найбільших успіхів було досягнуто у створенні довідково-інформаційних систем, які використовують як базу різні експертні системи. Такі системи не просто подають інформацію згідно запиту, а вміють сортувати її та відбирати відповідно до заданої споживачем мети. Взагалі, поняття ШІ (як і поняття "інтелект") завжди пов'язували з досягненням якоїсь мети [4]. Це значить, що алгоритм роботи ЗВ із елементами ШІ (який визначає їх "поведінку") повинен будуватися відповідно до мети, пов'язаної з функцією вимірювання. Під інтелектуальними ЗВ необхідно розуміти ті, що мають властивість при обмеженій участі людини виконувати певні інтелектуальні функції при отриманні, накопичуванні і поданні знань про стан об'єкта дослідження на основі експерименту [5]. Основними напрямками інтелектуалізації є: 1) процеси вимірювання, контролю, діагностики; 2) процеси планування; 3) метрологічні функції; 4) сервісні функції. В [6] рівень інтелекту визначається можливістю поєднання апріорної і поточної інформації для виконання алгоритмів вимірювання з відповідною якістю. Виділено п'ять рівнів інтелекту ЗВ та показано, що ЗВ з високим рівнем інтелекту повинні вміщувати в собі базу вимірювальних знань, математичні моделі об'єктів вимірювання, рівняння вимірювання та впливаючих факторів, метрологічну оцінку алгоритмів і інтелектульний інтерфейс. Огляд основних понять в інтелектуальних ЗВ та вимог до них приводиться також в [7,8]. ШІ вже

застосовується у ТС для планування і сервісу. Ряд фірм (Fluke) пропонують "інтелектуальні засоби узгодження з об'єктом" (блок 2400B, Fluke and Philips Catalog, 1992). Однак, вони не мають властивостей, які можна було б вважати інтелектуальними по відношенню до функції вимірювання. В них не передбачені цілеспрямовані дії для досягнення пов'язаної з вимірюванням мети, вони не оцінюють свою поведінку і не змінюють її для вдосконалення процесу вимірювання. Тому, згідно [8] і сказаного вище, вони не можуть вважатися "інтелектуальними".

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ФУНКЦІЇ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ З ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИМИ ПЕРЕТВОРЮВАЧАМИ

ЗВ температури з елементами ШІ будемо називати ІЗВТ. Метою їх функціонування повинно бути вимірювання температури із заданою метрологічною якістю - заданою допустимою похибкою вимірювання Δtd. Для цього вони повинні подавати результат вимірювання у вигляді $t \pm \Delta t$, де t - значення виміряної температури, а Δt - дійсне (поточне) значення похибки вимірювання температури, і забезпечувати постійне виконання співвідношення $\Delta t < \Delta td$. Для його постійного виконання ІЗВТ необхідно не тільки знати похибки всіх елементів вимірювального каналу, а також прогнозувати їх зміни. При цьому похибка ІЗВТ буде залежати від вдалого вибору алгоритмів прогнозу, тобто похибка прогнозу буде служити критерієм вибору конкретного алгоритму прогнозу. Якщо Δt стає більшим від Δtd, ІЗВТ повинен мати можливість зменшити Δt за рахунок зменшення домінуючих складових Δt. В загальному ІЗВТ повинні мати властивість прогнозувати власну поведінку (вибір режимів та алгоритмів корекції похибок) з метою забезпечення необхідних метрологічних характеристик процесу вимірювання, зокрема точності. Для забезпечення $\Delta t < \Delta td$ для малих значень Δtd, необхідно в ІЗВТ передбачити широке використання структурно-алгоритмічних методів підвищення точності - калібрування елементів вимірювального каналу та коригування їх похибок шляхом прогнозування дрейфу [9]. Відомо, що в ЗВ температури звичайно домінуючою є похибка давача, тому на її коригування слід звернути особливу увагу. Однак, при коригуванні похибок ТЕП, домінуючою стає похибка електричного тракту (через низьку чутливість ТЕП), тому в ІЗВТ вона теж повинна бути зменшена. Сформулюємо інтелектуальні функції ІЗВТ, який використовує як давачі ТЕП:

1. Постійне індивідуальне прогнозування поправки $\rho_i(t,\tau)$ ТЕП в залежності від температури t і часу τ його експлуатації (визначається за математичною моделлю, побудованою в процесі роботи ТЕП) і відповідній корекції результату вимірювання:

$$\left\{\rho_i(t,\tau) = -(E_i - E_н) = -(\Delta E_{дрі}(t,\tau))\right\}, \quad i = \overline{1,N}, \qquad (1)$$

де $\Delta E_{дрі}$ (t,τ) - прогноз індивідуального дрейфу ХП ТЕП; Ei - виміряне значення термо-е.р.с.; $E_н$ - номінальна термо-е.р.с.

2. Постійне індивідуальне прогнозування похибки прогнозу дрейфу ТЕП $\Delta(\Delta E_{др})_i$ згідно моделі похибки (побудованої в процесі роботи ТЕП), що відображає неадекватність моделі дрейфу $\Delta E_{дрі}(t,\tau)$ дійсній похибці ТЕП $\Delta E_{пові}$:

$$\{\Delta(\Delta E_{дрі}) = \Delta E_{дрі}(t,\tau) - \Delta E_{пові})\}, \quad i = \overline{1,N} \qquad (2)$$

3. Постійна корекція похибки електричного тракту (ЕТ) та індивідуальне визначення сумарної похибки вимірювання температури Δt_i (згідно залишкових похибок компенсації температури вільних кінців (ТВК) $\Delta_{ТВК}$, ЕТ $\Delta E_{ет}$ і $\Delta(\Delta E_{др})_i$) та порівняння її з допустимою похибкою Δtd:

$$\Delta_{ti} = \Delta_{ТВК} \cdot \Delta E_{ЕТ} \cdot \Delta(\Delta E_{др})_i\}, \quad i = \overline{1,N} \qquad (3)$$

$$\{\Delta_{ti} \le \Delta_{td}\}, \quad i = \overline{1,N} \qquad (4)$$

4. Видача повідомлення оператору та перехід ІЗВТ в тимчасовий інтерактивний режим роботи для уточнення математичних моделей дрейфу і його похибки, коли умова (4) не виконується.

5. Уточнення математичної моделі дрейфу за результатами повірки (при температурі t_j в момент часу τ_k) за взірцевим ТЕП (що має похибку $\Delta E_{взрj}$) або калібрування

$$\{\Delta E_{д рі}(t,\tau) \rightarrow \Delta E_{д рі}'(t,\tau)\}, \quad i = \overline{1,N} \qquad (5)$$

$$\Delta E_{д рі}'(t_j,\tau_k) = \Delta E_{пові} = (\Delta E_{взрj} \cdot \Delta E_{ЕТ} \cdot \Delta E_{ЕТ}) \qquad (6)$$

6.Уточнення математичної моделі прогнозу похибки дрейфу за результатами повірки згідно п.5 з похибкою згідно (6):

$$\{\Delta(\Delta E_{д рі}(t,\tau)) \rightarrow \Delta(\Delta E_{д рі}'(t,\tau))\}, \quad i = \overline{1,N} \qquad (7)$$

ЗВ температури, який виконує перелічені функції буде забезпечувати постійний контроль власної похибки вимірювання та адаптацію процесу прогнозу дрейфу метрологічних характеристик свого вимірювального каналу до швидкості дрейфу на основі самонавчання з метою забезпечення необхідної точності вимірювання, тобто буде інтелектуальним. Слід зауважити, що приведений вище перелік функцій є мінімальним, він може бути розширеним за рахунок функцій додаткового погашення завад, врахування похибок теплового походження (пов'язаними з взаємодією давача з об'єктом вимірювання) та зменшенням впливу інших складових похибки вимірювання температури, якими не можна знехтувати.

СИНТЕЗ УЗАГАЛЬНЕНОЇ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ІЗВТ

На основі запропонованих інтелектуальних функцій синтезовано узагальнену структурну схему ІЗВТ (рис.1), що складається з двох каналів - вимірювального ВК (давачі ТС, комутатор Км, аналого-цифровий перетворювач АЦП, вимірювальний перетворювач компенсації температури вільних кінців ВП, обчислювальний пристрій ОП) та корегуючого КК (пристрій прогнозу дрейфу давачів ППДД, пристрій обрахунку і внесення поправок ПОВП, пристрій прогнозу похибки дрейфу давачів ПППДД, пристрій визначення похибок електричного тракту ПВПЕТ, таймер часу експлуатації Т, блок взірцевих сигналів БВС, суматор См2, пристрій

задавання допустимої похибки ПЗДП, компаратор Кп) каналів. БВС складається із пристрою калібрування ПК, пристрою повірки за взірцевим давачем ППВД та джерела взірцевих напруг ДВН. Функцію 1 виконують ППДД та ПОВП, 2 - ПППДД, 3 та 4 - См2, Кп та ПЗДП на основі виміряної термо-е.р.с. (Вх1 та Вх2) і часу (вихід Т). При виконанні функцій 5-7 оператор задає метод повірки - задіює ПК або ППВД. Одночасно ДВН формує взірцевий еквівалент температури повірки. Виходячи із сформульованих функцій ІЗВТ, необхідно передбачити два режими її роботи:

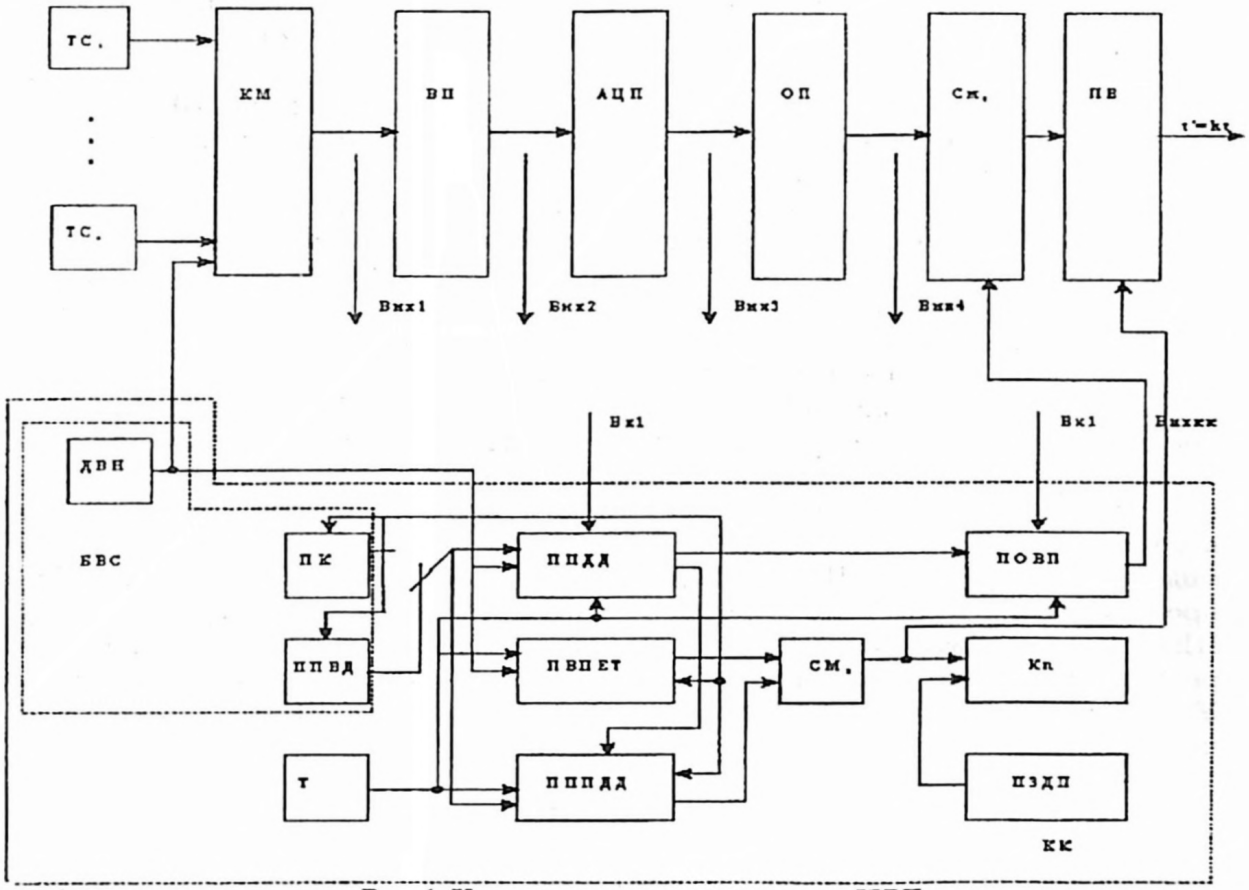


Рис. 1. Узагальнена структурна схема ІЗВТ

ТС - давачі;
Км - комутатор;
АЦП - аналого-цифровий перетворювач;
ВП - вимірювальний перетворювач компенсації температури вільних кінців;
ОП - обчислювальний пристрій;
ППДД - пристрій прогнозу дрейфу давачів;
ПОВП - пристрій обрахунку та внесення поправок;
ПППДД - пристрій прогнозу похибки дрейфу давачів;
ПВПЕТ - пристрій визначення похибок елетричного тракту;
Т - таймер часу експлуатації ТЕП;
БВС - блок взірцевих сигналів;
См1, См2 - суматори;
ПЗДП - пристрій задавання допустимої похибки;
Кп - компаратор;
ПК - пристрій калібрування;
ППВД - пристрій повірки за взірцевим давачем;
ДВН - джерело взірцевих напруг.

1) режим ВИМІРЮВАННЯ (функції 1-4) з постійним індивідуальним прогнозуванням дрейфу та похибки прогнозу дрейфу давачів, а також похибок компонентів ЕТ і введенням індивідуальної поправки для кожного каналу. Термо-е.р.с. ТЕП, після перетворення ВК в код, сумується суматором См 1 з кодом поправки, який поступає з виходу КК. Сигнал, який несе інформацію про температуру, поступає з одного із виходів ВК (Вих 1...4) на ППДД та ПОВП. ППДД формує $\Delta E_{др}(t,\tau)$, а ПОВП обчислює значення поправки $\rho_i(t,\tau)$. ПППДД на основі часу експлуатації, отриманого від таймера Т і сигналу Вх1 обчислює похибку прогнозу дрейфу давача, яка поступає на суматор См1, на другий вхід якого поступає похибка ЕТ. Сумарна похибка порівнюється компаратором Кп з допустимою, яка задається пристроєм задання допустимої похибки ПЗДП.

У разі перевищення поточною похибкою допустимої ІЗВТ видає повідомлення оператору з вимогою проведення заходів із коригування похибок ТЕП (калібрування або повірка).

2) режим УТОЧНЕННЯ ПРОГНОЗУ методом взірцевих сигналів (повірка за взірцевим ТЕП або калібрування за допомогою температурного калібратора), в якому виконуються функції 5-6. У цьому режимі метод повірки та взірцевий засіб (ТЕП чи калібратор) задає оператор, тобто задіює ПК або ППВД, забезпечує добрий тепловий контакт взірцевого засобу з робочим кінцем відповідного ТЕП, і, при калібруванні, переводить об'єкт в режим постійного нагріву або охолодження. ПК або ППВД ідентифікує період, під час якого температура робочого кінця ТЕП змінюється з не більшою заданої швидкістю, і фіксує значення цієї температури. Процес повторюється для всіх температур повірки. На основі результатів вимірювання температури в точках повірки та їх взірцевих еквівалентів ППДД уточнює математичну модель дрейфу ХП ТЕП, а ПППДД уточнює математичну модель похибки прогнозу дрейфу ХП ТЕП. Повірка ЕТ не вимагає втручання оператора, тому ПВПЕТ проводить установку нуля та калібрування ЕТ незалежно за результатами вимірювання напруги ДВН. Після завершення режиму УТОЧНЕННЯ ПРОГНОЗУ ІЗВТ повертається в режим ВИМІРЮВАННЯ (з прогнозом).

РЕАЛІЗАЦІЯ

Запропоновані інтелектульні функції та узагальнена структурна схема ІЗВТ лягли в основу побудови інтелектуального контролера температури печей гартування інструменту із високолегованих сталей, побудованого за двохрівневою структурою: перший рівень - контролер на базі однокристальної мікро-ЕОМ, другий рівень - персональна ЕОМ (типу IBM). Це дозволило досягнути наступних технічних характеристик:

Діапазон вимірювання температури ..... 500-1300°С
Математична модель: прогнозу дрейфу ТЕП ..... поліном 2-го степеня
прогнозу похибки дрейфу ТЕП ..... поліном 2-го степеня
Метод підвищення точності ..... повірка по взірцевому ТЕП
Границя основної допустимої похибки , °С 1.5
Чутливість ..... 0.1°С
Максимальна кількість каналів 32

ВИСНОВКИ

1. На основі сформульованих функцій штучного інтелекту в засобах вимірювання запропоновані інтелектуальні функції засобів вимірювання температури з ТЕП.
2. На основі запропонованих інтелектуальних функцій синтезована узагальнена структурна схема засобу вимірювання температури з елементами штучного інтелекту і описаний алгоритм його роботи.
3. Даний підхід був реалізований в розробленому інтелектуальному контролері температури печей гартування інструменту із високолегованих сталей.

Summary. The article deals with application of artifical ihtelligent in temperature measurement means.In it the intellectual function of temperature measurement means are formulated and developped general structure steme on the baze of which adaptiv systems of presise temperature measurement with self -teating are made.

Літратура

1. Андон Ф.И., Захарова Э.Г., Резниченко В.А., Яшунин А.Е. Интеллектуализация информационных систем // Управляющие системы и машины.- 1987. - №6.-С. 84-92.
2. Иванов В.Н. Интеллектуальные средства измерений//ПСУ.- 1986.-№2.-С.21-23.
3. Искусственный интеллект. Кн. 1. Системы общения и экспертные системы : Справочник /Под ред.Э.В. Попова.-М.: Радио и связь, 1990.-464 с.
4. Левин Р., Дранг Д., Эдельсон Б. Практическое введение в технологию исскуственного интеллекта и экспертных систем с иллюстрациями на Бейсике. / Пер. с англ. - М.: Финансы и статистика, 1990.-239 с.
5. Цапенко М. П. Интеллектуальные функции измерительных информацонных систем // ПСУ.- 1992.- № 2.-С.16-19.
6. Цветков Э.И. Процессорные измерительные средства Л.: Энергоатомиздат, 1989.-224 с.
7. Финкельстайн Л. Интеллектуальные, основанные на знаниях средства измерений. Обзор основных понятий// ПСУ.- 1995.- № 11.-С.23-27.
8. Стадник Б.І., Василик Ю.М. Інтелектуальні давачі. // Вісник Державного університету "Львівська Політехніка", 1995.-№292.-С.29-35.
9. Саченко А.А., Мильченко В.Ю., Кочан В.В. Измерение температуры датчиками со встроенными калибраторами. - М.: Энергоатомиздат,1986.-96 с.