

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА"

На правах рукопису

Березький Олег Миколайович

УДК 681.586*36

**ЗАСОБИ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ З ЕЛЕМЕНТАМИ
ІНТУИТИВНОГО ІНТЕЛЕКТУ**

Спеціальність 05.11.04 - Прилади та методи
вимірювання теплових величин

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів - 1996

Дисертація в рукописі

Робота виконана на кафедрі інформаційно-обчислювальних систем та управління Тернопільської академії народного господарства.

Науковий керівник : доктор технічних наук, професор
Саченко Анатолій Олексійович

Офіційні опоненти : доктор технічних наук, професор
Столярчук Петро Гаврилович

кандидат технічних наук, доцент
Літвіх Віктор Вікторович

Провідне підприємство: Державний науково-дослідний
інститут "Система", м. Львів

Захист відбудеться 1 листопада 1996р. о 14 год. на
засіданні спеціалізованої вченої ради Д 04.06.11 при
Державному університеті "Львівська політехніка"
(290013, Львів-13, вул. Ст. Бандери, 12).

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці
Державного університету "Львівська політехніка" (Львів,
вул. Професорська, 1).

Автореферат розісланий Звересне 1996р.

Вчений секретар спеціалізованої
ради, кандидат технічних наук



Я. Т. Луцик

ЛННБ України ім. В. Стефаника



00760443 (O)

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Температура є одним із найважливіших параметрів технологічних процесів. Так в ряді галузей промисловості (електронній, авіаційній та ін.) зросли вимоги до точності вимірювання температури. При цьому домінуючою є похибка давача, зумовлена початковим технологічним розкидом його характеристики перетворення (ХП) і її часовим дрейфом. Наприклад, термоелектричні перетворювачі (ТЕП) типу ХА в діапазоні 500-1000°C мають початковий розкид ХП до 6,5°C і дрейф до 10...15°C за 500 год. Конструктивно-технологічні методи мають обмеження, що не дозволяють зменшити досягнутий рівень похибок. Другим шляхом боротьби з похибкою ТЕП є застосування структурних методів корекції похибки, які діляться на три групи: тестові методи, методи взірцевих сигналів і допоміжних вимірювань. Тестові методи не знайшли широкого застосування для суттєвого підвищення точності вимірювання температури за допомогою ТЕП, оскільки температура не має адитивних властивостей. Метод взірцевих сигналів базуються на повірці ТЕП по взірцевому ТЕП (в умовах експлуатації) або за допомогою одно- і багатозначних мір температури (калібраторів температури (КТ)). Метод допоміжних вимірювань - на прогнозі дрейфу ХП на основі досліджень груп однотипних ТЕП в умовах, що імітують умови експлуатації. Однак використання цих методів розрізнено, без системного підходу, дає обмежені результати, а різномірність обладнання та умов вимірювання утруднює їх застосування. Доцільне комплексне використання цих методів в засобах вимірювання температури (ЗВТ), в яких забезпечена можливість адаптації до процесу дрейфу ХП ТЕП та самонавчання - ЗВТ з елементами штучного

інтелекту - інтелектуальних ЗВТ (ІЗВТ).

Вони повинні виконувати інтелектуальні функції з метою забезпечення необхідних метрологічних характеристик (МК), зокрема, точності. На даний час, що торкається засобів вимірювання, то ряд фірм (зокрема, Fluke) пропонують "інтелектуальні засоби узгодження з об'єктом" (блок 2400В), що не мають ніяких властивостей, які можна було б вважати інтелектуальними по відношенню до функції вимірювання.

Тому задача розробки таких ІЗВТ є актуальною.

Метою дисертації є розробка необхідних і достатніх ознак ЗВТ з елементами штучного інтелекту, алгоритмів їх функціонування, розробка на їх основі прецизійних ІЗВТ. Для цього необхідно:

1. Сформулювати ознаки ІЗВТ.
2. Розробити структурну і структурно-функціональну схеми ІЗВТ.
3. Розробити математичні моделі прогнозу дрейфу і похибки прогнозу дрейфу XII ТЕП і оцінити їх похибки.
4. Розробити адаптивні алгоритми корекції похибок давача та електричного тракту (ЕТ) ІЗВТ.
5. Розробити методику та імітаційну систему аналізу метрологічних характеристик ІЗВТ.
6. Створити і впровадити у виробництво ІЗВТ.

Методи досліджень базуються на використанні положень теорій вимірювань, множин, графів та апарату теорії алгоритмів. Використано-математичний апарат інтегрального і диференціального числення та імітаційне моделювання на ЕОМ.

Наукова новизна.

1. Розроблені ознаки ІЗВТ та синтезована їх структурна схема.

2. Розроблені способи підвищення достовірності прогнозу дрейфу, похибки прогнозу дрейфу ТЕР і компонентів ЕТ.
3. На основі розроблених способів синтезовано адаптивні алгоритми підвищення точності ІЗВТ.
4. Синтезована структурно-функціональна схема ІЗВТ, розроблена імітаційна система оцінки їх метрологічних характеристик.

Практична цінність роботи полягає в тому, що:

- синтезовані адаптивні алгоритми корекції похибок ТЕР та ЕТ ІЗВТ, використані в децентралізованій модульній вимірювальній системі для технологічних процесів мікроелектроніки та контролері температури гартування інструменту в високолегованих сталях, в яких точність вимірювання температури зросла в 3-4 рази;

- розроблена система імітаційного моделювання ІЗВТ.

Реалізація результатів роботи. Теоретичні і практичні результати дисертаційної роботи використані в трьох НДР (Тема N 360/005-360(ВТ27-86), шифр "ТИТАН" N ГР 01860026239, 1986р., тема ОНИЛ-55-86, шифр "ТРИТОН", N ГР 01860026238, 1988р.). Впроваджені в промисловість децентралізована модульна вимірювальна система для технологічних процесів мікроелектроніки та інтелектуальний контролер температури гартування інструменту в високолегованих сталях. Економічний ефект від впровадження результатів роботи одержано за рахунок підвищення якості виробів, зменшення часу виходу обладнання на режим та автоматизації процесу вимірювання.

Апробація роботи. Дисертація в цілому доповідалася на засіданні семінару 4.9 "Інтелектуальні вимірювальні системи" НАН України. Основні положення дисертації доповідались і об-

говорувались на 8 науково-технічних конференціях різних рівнів по проблемах підвищення точності вимірювання температури, метрологічних проблемах мікроелектроніки та інформаційно-вимірювальних систем.

Публікації. Всього по темі дисертації опубліковано 15 друкованих робіт, з них 1 авторське свідоцтво на винахід.

Структура та об'єм роботи. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, заключення, викладених на 100 сторінках машинописного тексту, переліку використаної літератури із 105 найменувань, додатків на 44 сторінках, ілюстрована 30 рисунками та 1 таблицею.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність дисертації, розглянуто методи підвищення точності в термометрії, інтелектуальні засоби, зокрема вимірювальні, та їх функції. Намічено задачі дослідження, сформульовано мету дисертації і положення, що виносяться на захист.

В першому розділі визначено необхідні та достатні ознаки ІЗВТ і сформульовано набір їх функцій, на основі чого синтезовано їх узагальнену структурну схему; проаналізовані способи прогнозу дрейфу та похибки прогнозу дрейфу ХП ТЕП; проаналізовано похибки повірки ТЕП за допомогою температурного калібратора і вазцевого ТЕП.

ІЗВТ повинні мати властивість при обмеженій участі людини виконувати деякі інтелектуальні функції при отриманні, накопиченні і представленні знань про стан об'єкту та прогнозуванні власної поведінки (вибір режимів, корекція похибок, вибір алгоритмів, адаптація) з метою забезпечення необхідних метрологічних характеристик (МХ), зокрема точнос-

ті, та представляти результат вимірювання як $t \pm \Delta t$, де t - значення вимірної температури, Δt - похибка (індивідуальна характеристика результату вимірювання). Постійний індивідуальний прогноз дрейфу та похибки прогнозу дрейфу, похибки ЕТ і сумарної похибки в застосуванням адаптивних алгоритмів корекції та самонавчання на основі перевірок і в інтелектуальними функціями ІЗВТ. Сформулюємо інтелектуальні функції ІЗВТ в ТЕП як первинними перетворювачами:

1. Постійне індивідуальне прогнозування поправки $\rho_i(t, \tau)$ ТЕП в залежності від температури t і часу τ його експлуатації (визначається по математичній моделі, побудованій в процесі роботи ТЕП) і відповідна корекція результату вимірювання

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

де $\Delta E_{дрi}(t, \tau)$ - прогноз індивідуального дрейфу i -го ТЕП; E_i - вимірне значення термо-е.р.с.; E_n - 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 $\Delta E_{др}(t, \tau)$ дійсній похибці ТЕП $\Delta E_{повi}$.

$$\left\{ \Delta(\Delta E_{др})_i - \Delta E_{дрi}(t, \tau) - \Delta E_{повi} \right\}, \quad i = \overline{1, N} \quad (2)$$

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

$$\left\{ \Delta_{втi} - \Delta_{твк} * \Delta_{Еет} * \Delta(\Delta_{Едр})_i \right\}, \quad i=\overline{1, N} \quad (3)$$

$$\left\{ \Delta_{втi} < \Delta_{втди} \right\}, \quad i=\overline{1, N} \quad (4)$$

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.

Б. Уточнення математичної моделі прогнозу дрейфу за результатами перевірки (при температурі t_j в момент часу τ_k) по взірцевому ТЕП (що має похибку $\Delta E_{варj}$) або калібрування

$$\left\{ \Delta E_{дрi}(t, \tau) + \Delta E_{дрi}(t, \tau) \right\}, \quad i=\overline{1, N} \quad (5)$$

$$\Delta E_{дрi}(t_j, \tau_k) - \Delta E_{повi} - (\Delta E_{варj} * \Delta E_{ет} * \Delta E_{ет}) \quad (5)$$

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

$$\left\{ \Delta(\Delta E_{дрi}(t, \tau)) + \Delta(\Delta E_{дрi}(t, \tau)) \right\}, \quad i=\overline{1, N} \quad (7)$$

На основі інтелектуальних функцій синтезовано узагальнену структурну схему ІЗВТ (рис.1), що складається з вимірювального каналу ВК (комутатор Км, аналого-цифровий перетворювач АЦП, вимірювальний перетворювач компенсації температури вільних кінців ВП, обчислювальний пристрій ОП) та коректующого каналу КК (пристрій прогнозу дрейфу давачів ППДД, пристрій обрахунку і внесення поправок ПОВП, пристрій прогнозу похибки дрейфу давачів ППДД, пристрій визначення похибок електричного тракту ПВПЕТ, таймер часу експлуатації Т, блок взірцевих сигналів ВВС, суматор См, пристрій задавання допустимої похибки ПЗДП, компаратор Кп) каналів. ВВС скла-

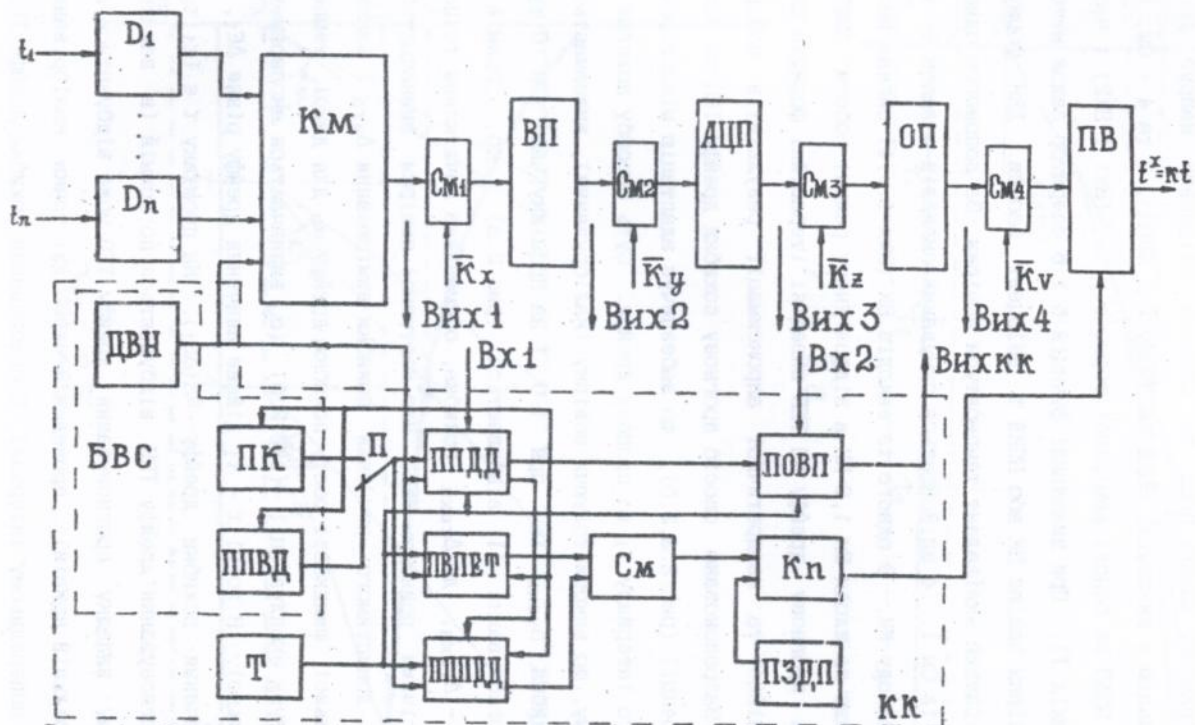


Рис. 1. Узагальнена структурна схема ІЗВТ.

дається із пристрою калібрування ПК, пристрою повірки по збірцевому давачу ППВД та джерела збирцевих напруг ДВН. Функцію 1 виконують ППДД та ПОВП, 2 - ППДД, 3 та 4 - См, Кп та ПЗДП на основі вимірної термо-е.р.с. (Вх1 і Вх2) і часу (вихід Т). При виконанні функцій 5 і 6 оператор задає метод повірки задіє ПК або ППВД і збирцеві засоби. ДВН формує збирцевий еквівалент температури повірки. За допомогою одного із См 1...4 здійснюється сумування сигналів з ланок ВК та з виходу КК. З одного із виходів ВК (Вих 1...4) сигнал поступає на входи Вх 1,2 КК в відповідному режимі роботи ІЗВТ. Для прогнозу дрейфу ХП ТЕП виведені ітераційні формули для лінійної та квадратичної апроксимації результатів повірки. Запропоновано спосіб прогнозу похибки дрейфу ТЕП та його корекції (рис.2.а,2.б), що забезпечує адаптацію міжповірочного інтервалу τ_1 до процесу дрейфу. Суть способу полягає в тому, що використовуючи повірку (калібрування), визначається похибка $\Delta_{\text{техн}}$ ТЕП при $\tau=0$ і на проміжку часу $\tau \in [0; \tau_1]$ прогнозування її відбувається (рис.2.а) по прямій $\Delta\epsilon - \Delta_{\text{техн}}$, де $\Delta_{\text{техн}}$ - похибка, обумовлена початковим технологічним розкидом ТЕП. Час наступної повірки визначається із допустимого значення похибки вимірювання $\Delta_{\text{вгд}}$ і максимальної швидкості росту похибки дрейфу α_m для даної температури експлуатації (рис.2.б) (α_m визначається експериментально). В точці $\tau = \tau_1$ дійсне значення дрейфу рівне $\Delta\epsilon_1$, а значення похибки дрейфу - $\Delta(\Delta\epsilon_1)$. На проміжку $\tau \in [\tau_1; \tau_2]$ прогнозування дрейфу ТЕП відбувається по прямій (в загальному випадку прогнозування дрейфу ТЕП може відбуватися по довільній кривій), проведеної через дві точки калібрування на попередньому інтервалі. Прогнозування похибки дрейфу ТЕП

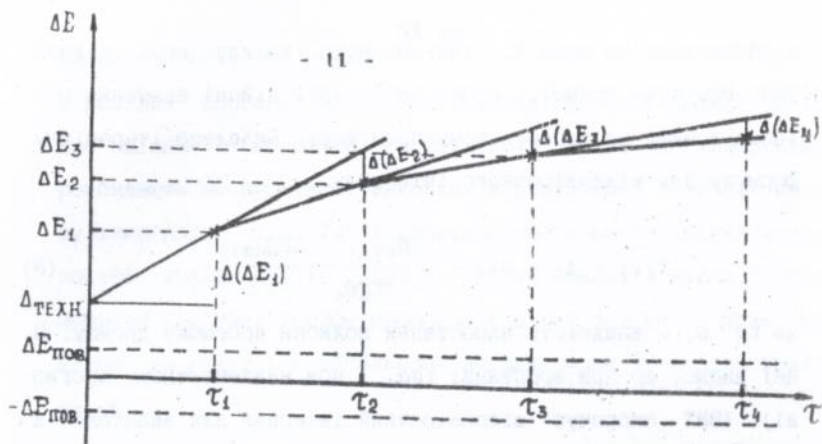


Рис. 2 а.

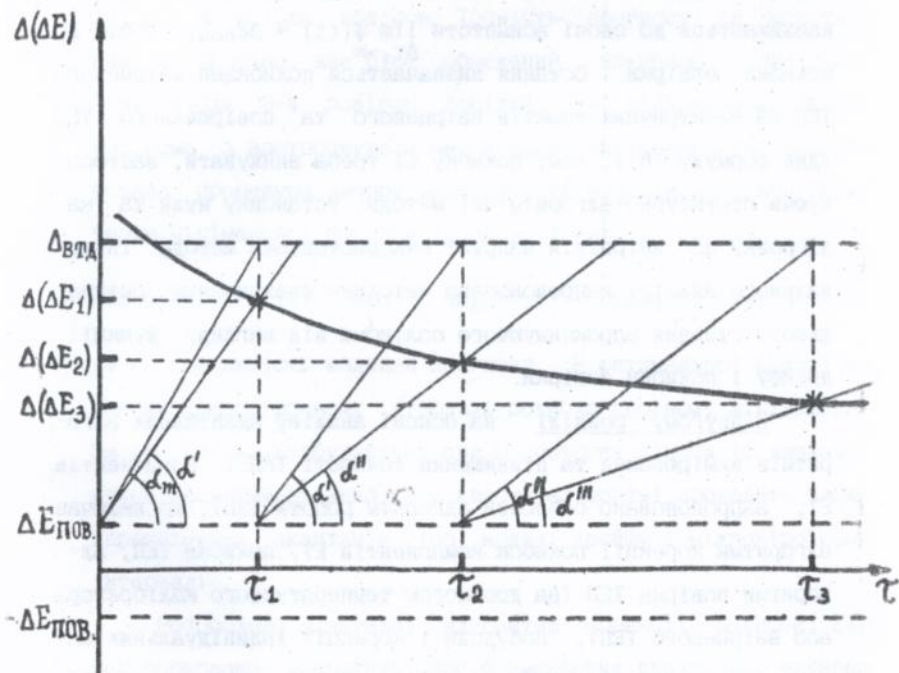


Рис. 2 б.

відбувається по прямій, тангенс кута нахилу якої рівний тангенсу кута прямої, проведеної через дійсні значення похибок дрейфу на попередньому проміжку. Виведено ітераційну формулу для міжповірного інтервалу

$$\tau_{i+1} - \tau_i - \Delta\tau_i = \frac{\Delta_{вгді} - \Delta_{Епові}}{\text{tg}\alpha_i}, \quad (8)$$

де $\text{tg } \alpha_i$ - швидкість наростання похибки прогнозу дрейфу. З неї видно, що при зростанні $\text{tg}\alpha_i$ (при неадекватному прогнозі) ІЗВТ скорочує міжповірочний інтервал для адаптації до дрейфу та навпаки. При ідеальному прогнозі (коли $\Delta(\Delta_{Едр})_i \rightarrow \Delta_{Епові}$) $\text{tg}\alpha_i \rightarrow 0$, $\Delta\tau_i \rightarrow \infty$, функція $\Delta(\Delta_{Едр})_i - \psi_i(\tau)$ є спадною і наближається до своєї асимптоти $\lim_{\Delta\tau_i \rightarrow \infty} \psi_i(\tau) \rightarrow \Delta_{Епов}$, тобто до похибки повірки. Остання визначається похибками ввірцевого ТЕП та електричних трактів ввірцевого та повірюваного ТЕП (див. формулу (6)), тому похибку ЕТ треба знижувати, застосовуючи структурно-алгоритмічні методи: установку нуля та калібровку по ввірцевій напрузі. Використовуючи методи інтервального аналізу запропоновано методику знаходження оптимального степеня апроксимуючого полінома від вигляду функції дрейфу і похибки повірки.

В другому розділі на основі аналізу адаптивних алгоритмів вимірювання та підвищення точності ТЕП і компонентів ЕТ, запропоновано базисний алгоритм роботи ІЗВТ, що включає алгоритми корекції похибок компонентів ЕТ, похибки ТЕП, алгоритми повірки ТЕП (за допомогою температурного калібратора або ввірцевого ТЕП), побудови і корекції індивідуальних математичних моделей прогнозу дрейфу і похибки прогнозу дрейфу ТЕП, а також алгоритми побудови узагальнених математичних моделей прогнозу дрейфу та похибки прогнозу дрейфу ТЕП для

даного об'єкту.

В моделях прогнозу дрейфу та похибки прогнозу дрейфу XI ТЕП для змінних температур експлуатації діапазон вимірювання розбивають на проміжки, виходячи з допустимої похибки. Масиву температур $\{T_1 \dots T_N\}$ відповідає масив максимальних швидкостей дрейфу $\{tg\alpha_1, \dots, tg\alpha_n\}$. Після кожної перевірки степінь моделей прогнозу дрейфу наростає від $r-1$ при $k-1$ (одна перевірка) до $r-k-1$ і в загальному випадку може бути представлено як

$$\Delta E_{пр} = \sum_{k=1}^n a_k \cdot \tau^k \quad (9)$$

де n - кількість перевірок. Точність прогнозу із зростанням k зростає, але ріст обмежений похибкою перевірки. Тому після 3-4 перевірок доцільно не підвищувати степінь полінома, а застосовувати метод найменших квадратів. Запропонована процедура вибору математичних моделей на основі критерію мінімальної похибки прогнозу дрейфу -

$$\min \Delta(\Delta E_{др_i}(t, \tau)) = \min_1 \left\{ \Delta E_{др}(t, \tau) - \Delta E_{пов_i} \right\}, \quad 1 - \overline{1, n} \quad (10)$$

де n - кількість моделей прогнозу. В оптимальній моделі на даному міжповірочному інтервалі похибка прогнозу мінімальна. Зміна моделі відбувається при m повторах підряд (m визначається експериментально). В даному алгоритмі проходить двохпараметрична адаптація (по моделі дрейфу і міжповірочному інтервалі).

Розроблено адаптивні алгоритми корекції похибок ЕТ. Запропоновано апаратний спосіб зменшення випадкової похибки комутатора $\hat{\Delta}_{x_{км}}$ (спосіб міжканального усереднення). Із врахуванням похибки програмного усереднення $\hat{\Delta}_x$ (усереднення в

часі) сумарна випадкова похибка K_m становить

$$\Delta_{\text{сум}}^2 = \sqrt{\Delta_{\text{КМ}}^2 + \Delta_{\text{х}}^2} \quad (11)$$

В залежності від вибраного критерію переваги (рівності похибок, мінімальних затрат, мінімального часу вимірювання) при налазці визначається оптимальна кількість каналів n_k , і кількість вимірювань - проходить програмна і апаратна адаптація. Отримано вирази оцінки впливу складових похибки АЩ на адаптацію. Показано, що оптимальним є вимірювання температури вільних кінців компенсаційним методом з заміщенням термоопору опорним резистором, а проведення установки нуля і калібровки АЩ при цьому - недоцільне.

В третьому розділі на основі узагальненої структурної схеми та інтелектуальних функцій ІЗВТ запропоновано їх структурно - функціональну схему (рис.3), оптимізовано її апаратне та програмне забезпечення, запропоновані методики їх метрологічного аналізу при проектуванні та атестації.

Структурно-функціональна схема ІЗВТ (рис.3) складається з давачів Д з калібраторами температури КТ (стаціонарними або змінними), джерела зворітних напруг ДВН, K_m1 , ВП, АЩП, суматорів C_m1 , C_m2 , функціонального перетворювача ФП та вихідного пристрою Таб. Канал визначення похибок ЕТ складається з запам'ятовуючого пристрою (ЗП) похибок елементів електричного тракту ЗП1 та блоку визначення похибок БВПЕТ. Канал корекції похибок давачів містить генератор імпульсів Гн, лічильник індивідуального часу експлуатації Лч, K_m2 , блок визначення поправок БВП. Канал калібрування складається з блоку ідентифікації моменту калібрування (повірки) ВІМ, ЗП2 температур, відтворюваних КТ, пристрою віднімання C_m3

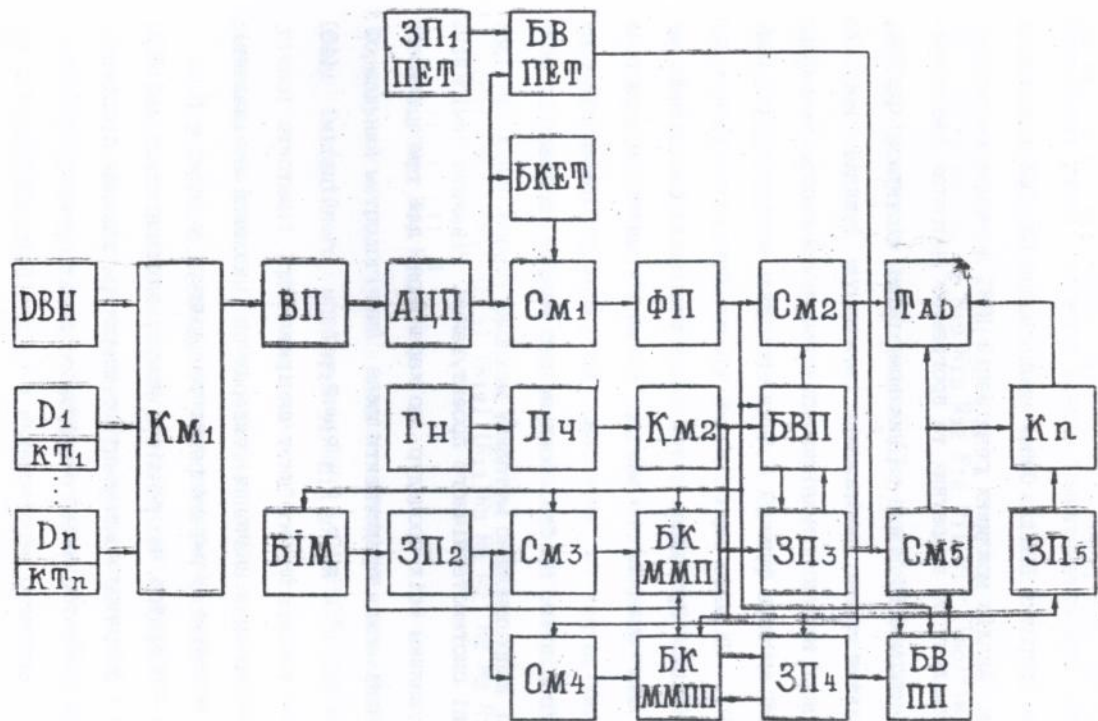


Рис. 3. Структурно-функціональна схема ІЗВТ.

дійсного і вірцевого значень температури, блоку корекції математичної моделі поправки БКММІ, ЗПЗ поправок. Канал визначення похибок вимірювання складається з пристрою віднімання СМ4, ЗП4 математичної моделі похибок, блоку визначення похибок поправки ВВПШ, СМ5, компаратора Кп, ЗП5 допустимих похибок. Аналіз можливих реалізацій ІЗВТ дозволив синтезувати оптимальну по апаратних та програмних затратах двоєрівневу структуру ІЗВТ, яка на нижньому рівні містить мікро-ЕОМ, що реалізує процес вимірювання і виконує функції 1-4. На верхньому рівні є потужніший обчислювальний засіб, наприклад ПК, який виконує функції 5,6 та проводить метрологічний аналіз ІЗВТ. ПК мало завантажений і може використовуватись для інших робіт. Проведена оптимізація розподілу функціональних задач між рівнями по методу "віток і границь" по критерію найменших затрат та синтезовано алгоритми роботи верхнього і нижнього рівнів. На базі розвинутого апарату формальної метрології запропоновано методику метрологічного аналізу ІЗВТ на етапі системотехнічного проектування. Рівняння вимірювань з врахуванням всіх процедур, що характерні для температурних вимірювань можна представити як

$$T^N = R_3 R_2 R_{13} R_{12} R_{11} T, \quad (13)$$

де T - температура об'єкту вимірювання;

T^N - виміряне значення температури (числовий еквівалент);

R_{11} - оператор перетворення температури в термо-е.р.с;

R_{12} - оператор, що реалізує комутування сигналів від ТЕП;

R_{13} - оператор компенсації температури вільних кінців;

R_2 - оператор аналого-цифрового перетворення;

R_3 - оператор перетворення в числовій формі.

З врахуванням впливаючих факторів, результат вимірювання T^N ,

можна представити у вигляді

$$T - R_3^N R_2^I R_2^{IV} R_2^{III} R_2^{II} R_2^I R_{13}^{II} R_{13}^I R_{12}^{II} R_{12}^I R_{11}^{II} R_{11}^I T, \quad (14)$$

де $R_{11}^{II} = -E(T)$; $R_{11}^I = -\Delta E_{др}$; $R_{12} = -1$; $R_{12}^{II} = -\Delta_{пар}$; $R_{13}^I = -\Delta E(T_c)$;

В режимі перевірки рівняння буде мати вигляд

$$\Delta T - R_3^N R_2^I R_2^{IV} R_2^{III} R_2^{II} R_2^I R_{13}^{II} R_{13}^I R_{12}^{II} R_{12}^I R_{11}^{II} R_{11}^I (T_{No}) - T_{No} \quad (15)$$

де T_{No} - ваірцева температура; ΔT - похибка вимірювання.

Сумарна похибка, що виникає в результаті неідеальності ланок вимірювального каналу температури (похибки $\Delta T_{теп}$, $\Delta K_{м}$, $\Delta T_{вк}$, $\Delta_{ацп}$, $\Delta_{оп}$) і методів корекції функції впливу рівна

$$\Delta T^* = \Delta T^I * \Delta T^m \quad (16)$$

де ΔT^I - похибка неідеальності ланок перетворення; ΔT^m - методична похибка, отримана при ідеальній реалізації алгоритмів корекції.

Рівняння вимірювання з корекцією виражається формулою

$$T - (R_2^N)^{IV-1} (R_2^I)^{III-1} (R_2^I)^{II-1} (R_{13}^I)^{II-1} (R_{12}^I)^{II-1} (R_{11}^I)^{II-1} R_3^I R_2^I R_2^I R_2^I R_2^I R_{13}^I R_{13}^I * \\ * R_{12}^{II} R_{12}^I R_{11}^{II} R_{11}^I T \quad (17)$$

Формальний метрологічний аналіз дозволив розробити систему імітаційного моделювання ІЗВТ - СІМІЗВТ. Для метрологічної атестації ІЗВТ запропоновані модифікація класичної методики перевірки та система напівнатурного моделювання.

В четвертому розділі описано розроблені модульну інформаційно-вимірювальну систему температури дифузійних печей і контролер температури печей гартування інструменту з високолегованих сталей, в яких похибка не перевищує 1°C в діапазоні $500-1300^\circ\text{C}$.

В додатках приведені програми СІМІЗВТ, інтервального

аналізу похибки прогнозу дрейфу ТЕР та документи про впровадження.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

1. Визначено необхідні та достатні ознаки інтелектуальних засобів вимірювання температури ІЗВТ і сформульовано набір їх функцій, на основі чого синтезовано їх узагальнену структурну схему.

2. Запропоновано і проаналізовано способи прогнозу дрейфу та похибки прогнозу дрейфу ХП ТЕР, а також похибки повірки ТЕР за допомогою температурного калібратора або вірцевого ТЕР.

3. На основі аналізу адаптивних алгоритмів вимірювання та підвищення точності ТЕР і ЕТ, запропоновано базисний алгоритм роботи ІЗВТ, що містить алгоритми корекції похибок компонентів ЕТ, похибки ТЕР, алгоритми повірки ТЕР (за допомогою температурного калібратора або вірцевого ТЕР), побудови і корекції індивідуальних математичних моделей прогнозу дрейфу і похибки прогнозу дрейфу ТЕР, а також алгоритми побудови узагальнених математичних моделей прогнозу дрейфу та похибки прогнозу дрейфу ТЕР для даного об'єкту вимірювання.

4. На базі узагальненої структурної схеми, інтелектуальних функцій ІЗВТ та розроблених алгоритмів синтезовано структурно-функціональну схему ІЗВТ.

5. На основі аналізу синтезованої схеми ІЗВТ та алгоритмів її роботи запропоновано оптимальний розподіл апаратних і програмних компонентів в межах дворівневої структури ІЗВТ.

6. Розроблені методика та імітаційна система для оцінки метрологічних характеристик ІЗВТ при проектуванні, а також модифікація класичної методики повірки і система напівнатур-

ного моделювання при метрологічній атестації ІЗВТ.

7. Розроблені децентралізована модульна вимірювальна система для технологічних процесів мікроелектроніки та контролер температури гартування інструменту з високолегованих сталей забезпечують вимірювання температур 500-1300°C з похибкою не більше 1°C.

Основні положення дисертації викладені в:

1. Березский О. Н. Методика оценки метрологических характеристик процессорных средств измерения температуры // Материалы семинара "Современные методы и приборы автоматического контроля регулирования и управления технологическими процессами. М 1992 - С. 39-45

2. А. с. 11453191 СССР, МКИ G01K 7/02. Устройство для измерения температуры / А. А. Саченко, В. В. Кочан, В. Ю. Мильченко, О. Н. Березский; Опубл. 1989, Бюл. №3.

3. Лешков Я. С., Березский О. Н., Кобернюк В. Ф. Системно-ориентированный коммутатор // Тез. докл. Респ. науч.-техн. конф. "Применение вычислительной техники, математ. методов и моделирования в автоматизации экспериментальных исследований", г. Киев, 1987. - С. 95-96.

4. Чирка М. И., Карачка А. Ф., Березский О. Н. Методика метрологических испытаний термоэлектрических преобразователей // Тез. докл. Респ. науч.-техн. конф. "Применение вычислительной техники, математических методов и моделирования в автоматизации экспериментальных исследований", г. Киев, 1987. - С. 91.

5. Вавринюк О. А., Березский О. Н., Паадрий И. Р. Модульная информационно-измерительная система // Тез. докл. Респ. науч.-техн. конф. "Применение вычислительной техники, математи-

ческих методов в научных и экономических исследованиях", г. Киев, 1988.

6. Вавринюк О.А., Береаский О.Н., Кобернюк В.Ф. Модуль сопряжения ЭВМ с информационно-измерительной системой температуры// Теа. докл.Респ.науч.-техн.конф."Применение вычислительной техники, математ.методов в научных и экономических исследованиях",Киев,1989.

7. Вавринюк О.А.,Береаский О.Н.,Чирка М.И. Особенности построения устройств сопряжения для информационно-измерительных систем температуры//Теа.докл.Всесою.науч.-техн.конф."Сист. котроля параметров электронных устройств" М., 1989.

8. Белоусов И.А., Кобернюк В.Ф., Вавринюк О.А., Масляк Б.А., Береаский О.Н. Информационно-измерительная система для измерения температуры// Информацион. листок Львовского межотрасл. террит. центра н.-т. информации и пропоганды, N 89-004, Львов, 1989.

9. Кочан В.В.,Береаский О.Н. Измеритель температуры повышенной точности//Теа.докл.Респ.науч.-техн.конф. "Системы котроля параметров электронных устройств"Яремче Ивано-Франковск. обл,1990.

10.Береаский О.Н.,Саченко А.А.,Кочан В.В. Моделирование систем измерения температуры на этапе их проектирования//Теа. докл. Респ.науч.-техн. конф."Применение вычислительной техники,математ. методов в научных и экономических исследованиях", г.Киев, 1991.

11. Береаский О.Н.,Чирка М.И.,Звягов В.М. Использование системно-ориентированного датчика температуры в измерительно-вычислительных комплексах//Теа.докл. Респ.науч.-техн. конф. "Применение вычислительной техники, математических методов в научных и экономических исследованиях",г.Киев,

1991.

12. Березский О.Н., Саченко А.А., Кочан В.В. Способы прогнозирования дрейфа характеристик термопреобразователей//Тез. докл. Респ. конф. "Применение вычислительной техники и математических методов в научных исследованиях", г. Киев, 1991. - С. 77.

13. Березский О.Н., Кочан В.В., Кобернюк В.Ф. Повышение достоверности прогноза в системах измерения температуры//Тез. докл. школы - семинара "Сист. автом. контроля при проверке приборов и устройств", г. Ужгород, 1991.

14. Березский О.М. Засоби вимірювання температури з елементами інтелекту//Тези доп. VII міжнародн. н.-т. конференції "Електричні методи та засоби вимірювання температури", Львів, 1992, с. 15.

15. Березский О.М., Васильків Н.М., Карачка А.Ф., Кочан В.В., Саченко А.О. Інтелектуальний контролер для управління процесами термообробки // Тез. доп. 1-ої Укр. конф. з автоматичного керування "АВТОМАТИКА-94", м. Київ, 1994. - Ч.2. - С. 467.

АННОТАЦІЯ

Березский О.Н. "Средства измерения температуры с элементами искусственного интеллекта". Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.11.04 - приборы и методы измерения тепловых величин. Львовский государственный университет "Львівська політехніка", Львов, 1995.

Защищается 15 трудов (1 авторское свидетельство), которые содержат теоретические исследования и практическую разработку использования искусственного интеллекта в средствах

измерения температуры. Показано, что использование адаптивных алгоритмов измерения с самообучением позволяет повысить метрологический уровень этих средств. Приводятся программы имитационного моделирования средств измерения температуры с элементами искусственного интеллекта. Описаны внедрённые средства измерения температуры.

ANNOTATION

Berezsky O.N. "Devices for temperature measuring with elements of artificial intelligence". Dissertation presented for the candidate of the technical science degree competition. Speciality 05.11.04 -The devices and the techniques for measuring of thermal values". State University of Lviv "Lvivska Polytechnika", Lviv,1995.

Suggested for defending 15 scientific works (including 1 author right), which contain theoretical researches and practical examination of artificial intelligence use in the devices of temperature measuring. It was shown that utilization of adaptiv algorithms of measuring with self-education allows to increase metrological level of these devices. The programs simulation of temperature measuring devices with elements of artificial intelligens are given. Implemented devices of temperature measuring are described.

Ключові слова: Адаптивний алгоритм, самонавчання, штучний інтелект, температура, термoeлектричний перетворювач, імітаційне моделювання.

Підписано до друку 19.09.96р. Формат паперу 60x84 1/16. Папір білий друкарський. Друкарських листів 1 1/4. Зам. 594. Тираж 100.

Тернопіль, вул. Над Ставом, 10/ Обласне управління статистики.

439044

A 35.647

AB 35.647