

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

На правах рукопису

КАРАЧКА АНДРІЙ ФЕДОРОВИЧ

УДК 681.518.52:586.36

АВТОМАТИЗОВАНІ ЗАСОБИ ДЛЯ ПРЕЦИЗІЙНИХ ТЕХНІЧНИХ  
ВИМІРЮВАНЬ ТЕМПЕРАТУРИ

Спеціальність 05.11.05 - Прилади та методи вимірювання  
електричних і магнітних величин

А в т о р е ф е р а т  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ - 1995



Робота виконана на кафедрі Інформаційних систем та управління Тернопільським національним університетом імені Івана Печерського

Науковий керівник

Заслужений винахідник України,  
доктор технічних наук, професор  
САЧЕНКО Анатолій Олексійович

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор  
ВОЛОДАРСЬКИЙ Євген Тимофійович

кандидат технічних наук, доцент  
ЗОРІЙ Володимир Іванович

Провідна організація

Спеціальне конструкторське бюро  
мікроелектроніки в приладобудуванні,  
м. Львів

Захист відбудеться "20" листопада 1995 р. о 14<sup>30</sup> год. на засіданні спеціалізованої вченої Ради Д 01.02.15 в Національному технічному університеті України "Київський політехнічний інститут" (252056, м. Київ-56, пр. Перемоги, 37) корпус 18, ауд. 305.

В дисертацію можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету "Київський політехнічний інститут".

Автореферат розісланий "18" жовтня 1995 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої Ради  
к.т.н., доцент

Літвіч В.В.

ЛНБ ім. В. Стефаніка  
АН України

## АНОТАЦІЯ

Метою дисертаційної роботи є підвищення точності вимірювання високих температур в промислових умовах шляхом використання комплексного підходу, який враховує похибку первинного вимірювального перетворювача.

Для досягнення мети в роботі виконано:

1. Теоретично обґрунтовано методологію метрологічних досліджень термоелектричних перетворювачів (ТЕП) та проведено їх експериментальні дослідження.

2. Розроблено алгоритми та засоби корекції похибок ТЕП при їх експлуатації в квазіпостійних та змінних температурах.

3. Запропоновано структурно-функціональні схеми мікропроцесорних засобів вимірювання (ЗВ) з корекцією похибок ТЕП.

4. Розроблено і впроваджено точні ЗВ температури для технологічних процесів мікроелектроніки та для АСУ ПП термообробки виробів із алюмінієвих сплавів і високолегованих сталей.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми. Рівень розвитку промислового виробництва визначається розвитком вимірювальної техніки, в якій її прогрес тісно пов'язаний з досягненнями обчислювальної техніки та мікроелектроніки - широким застосуванням мікропроцесорів та мікро-ЕОМ. Останні дозволили розширити функціональні можливості ЗВ, автоматизувати процес вимірювання, реалізувати ряд відомих та нових методів вимірювання і т.п. без ризикового ускладнення ЗВ. Однак дані методи та засоби вимагають спеціальної адаптації, тому більшість ЗВ після введення в них мікро-ЕОМ, стали універсальними, багатоканальними, одержали ряд сервісних функцій, але точність їх практично не зросла. Зокрема, похибка ЗВ високих температур визначається в основному похибкою датчика (термоелектричного перетворювача - ТЕП), яка за останні десятиліття не змінилася. Тому при рекламі звичайно вказується похибка електричного тракту ЗВ, а не похибка вимірювального каналу в цілому (деякі фірми про це попереджають). В цей же час зменшення похибки вимірювання і підтримання температури в технологічних процесах в електронній промисловості до  $0,5^{\circ}\text{C}$  дозволяє практично усунути температурний брак.

Тому задача розробки нових і адаптація відомих методів під-

вищення точності вимірювання фізичних величин, зокрема, високих температур, які можуть бути використані в мікропроцесорних ЗВ без різкого їх ускладнення, є актуальною.

Методи досліджень. При вирішенні поставленої задачі в роботі використовувалися методи та основні положення теорії вимірювань, теорії ймовірності і математичної статистики, методи теорії планування експерименту.

Наукова новизна. Сформульовано комплексний підхід підвищення точності вимірювання температури з врахуванням похибки первинного вимірювального перетворювача, який полягає в:

- розвитку структурно-алгоритмічних методів підвищення точності вимірювання в області високих температур;
- розробці методології експериментальних досліджень ТЕР для реальних або близьких до реальних умов їх експлуатації;
- побудові математичної моделі дрейфу характеристики перетворення (ХП) ТЕР для квазіпостійних температур і в діапазоні, а також в залежності від часу експлуатації;
- розробці алгоритмів корекції похибок ТЕР при їх експлуатації в різних температурних режимах;
- розробці нових структур прецизійних ЗВ високих температур.

Практична цінність роботи. Децентралізована модульна вимірювальна система для технологічних процесів мікроелектроніки дозволила підвищити точність вимірювання температури в п'ять разів і автоматизувати процес її контролю в реакторах дифузійних печей. Вимірювальна підсистема для АСУ ТП " ТЕРМООБРОБКА " термоагрегатами ЗТА-2 та ЗТА-15 дозволила підвищити точність вимірювання та відтворення температури термообробки в 3-4 рази.

Реалізація результатів роботи. Теоретичні і практичні результати роботи використані в п'яти науково-дослідних роботах (Тема ВТ-22-82 № ГР 7013374, 1986р., тема № 360/005-360 (ВТ 27-86), шифр "ТИТАН" № ГР 01860026239, 1986 р., тема ОНИЛ-55-86, шифр "ТРИТОН", № ГР.01860026238, 1988 р., тема ОНИЛ-57-90-356, шифр "ТЕМІ", тема ОНИЛ-58-90, тема ОНИЛ-08-91, шифр "ТЕРМИТ" і договорі про співробітництво між Тернопільським ФЕІ та СКБ мікроелектроніки в приладобудуванні (м.Львів). В результаті реалізовані і впроваджені в промисловість децентралізована модульна вимірювальна система для технологічних процесів мікроелектроніки та вимірювальна підсистема для АСУ ТП "ТЕРМООБРОБКА".

Апробація і публікація роботи. Основні результати дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на п'яти міжнародних, п'яти всесоюзних і 14-и республіканських науково-технічних симпозиумах, конференціях і семінарах.

Всього по темі дисертації опубліковано 33 роботи, з них сім авторських свідоцтв на винаходи.

Структура і об'єм дисертації. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, заключення, викладених на 122 сторінках машинописного тексту, переліку використаної літератури з 98 найменувань, додатків на 26 сторінках, ілюстрована 35 рисунками.

### ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі проаналізовано стан проблеми вимірювання високих температур в промисловості, обґрунтовано актуальність підвищення їх точності, сформульовано мету дисертації та положення, які вносяться на захист.

В першому розділі розглянуто існуючі методи та ЗВ високих температур і показано, що найдосконаліші з них, які використовують спеціальні великі інтегральні схеми та мікропроцесори, мають низьку точність за рахунок домінуючого значення похибок датчиків - ТЕР. Показано, що структури цих ЗВ з часом уніфікуються - максимум функцій передається програмній частині за рахунок спрощення структури апаратної частини. Однак якість вимірювального каналу безперервно зростає: застосовуються 14-16 рядні аналого-цифрові перетворювачі (АЦП) і високоякісні герконові комутатори, а також структурні методи підвищення точності електричного тракту вимірювального каналу - установка нуля і калібровка. Тому кращі з таких ЗВ можуть служити базою для точних ЗВ температури при комплексному підході до підвищення точності вимірювання температури з врахуванням похибки датчика за рахунок розв'язку структурно-алгоритмічних методів.

Сформульовано основні підзадачі досліджень.

В другому розділі приведено алгоритм дослідження і побудови моделі дрейфу ХП ТЕР для, умов близьких до умов експлуатації, з використанням комплексу, що складається з випробувального стенду і автоматизованої системи досліджень сигналів низького рівня (АСНД). Алгоритм передбачає 7 процедур: 1) задання і підтримка температурних режимів; 2) вимірювання вихідних сигналів ТЕР, по-

передня обробка; 3) аналіз випадкового процесу дрейфу; 4) оцінка розкиду факторів, які впливають на дрейф; 5) конфлюентний аналіз (розкид впливаючих факторів великий); 6) регресивний аналіз (розкид факторів в межах допустимих значень); 7) побудова матмоделі.

При незначному розкиді впливаючих факторів використовується перший частковий випадок максимуму правдоподібності - регресивний аналіз. При цьому модель дрейфу XII ТЕП опишеться виразом

$$y(x, b) = \sum_{i=0}^k b_i f_i(x) = b^T f(x), \quad (1)$$

де  $y$  - вихідна (залежна) змінна, що є результатами вимірювань дрейфу в процесі експерименту;  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$  (2)

вектор значень незалежних змінних (факторів, впливаючих на дрейф), який піддався операції транспонування;  $b_i, i=0 \dots k$  - невідомі коефіцієнти (параметри) моделі, оцінити які необхідно шляхом обробки експериментальних даних. Ці коефіцієнти є компонентами вектора  $b = (b_0, b_1, \dots, b_k)^T$ ; (3)

$f_i(x), i=0 \dots k$  - відомі функції незалежних змінних, які є компонентами вектора  $f(x) = (f_0(x), f_1(x), \dots, f_k(x))^T$ . (4)

При другому частковому випадку максимуму правдоподібності використовується конфлюентний аналіз, при якому в кожному  $i$ -тому досліді знаходяться значення ваг  $w_i$  складається діагональна матриця ваг

$$W_i^0 = \frac{1}{b_{y_i}^2}, \quad i = 1, N, \quad (5)$$

$$W^S = \begin{vmatrix} w_1 & & & 0 \\ & \ddots & & \\ & & w_1 & \\ & & & \ddots \\ 0 & & & & w_n \end{vmatrix}, \quad S = 0, \quad (6)$$

де  $b_{y_i}$  - дисперсія поточних членів вектора спостережень. На основі системи нормальних рівнянь, одержаної з (6) знаходиться початкова оцінка  $\beta^0$  вектора-стовпчика (3) коефіцієнтів регресії в  $i$  визначається нульове наближення залежності  $Y = \eta(x)$ , аналогічно залежності (1):

$$\eta(\beta^0, x) = \beta^0 + \sum_{j=1}^k \beta_j^0 x_{1j} \quad (7)$$

Вибравши значення допустимої похибки обчислень  $\epsilon$  і крок диференціювання  $h$  знаходимо методом чисельного диференціювання частинні похідні  $i_0$  при повторному диференціюванні дисперсію  $b_{in}^2$   $n$ -ного параметру в  $i$ -тому досліді.

В кожній експериментальній точці визначаються значення ваг, значення зміщень і наближення вектора спостережень

$$W^1_i = (b_y^2 \sum_{i=1}^N (\frac{dh}{dx_{in}})^2 b_{in}^2)^{-1}, \quad \alpha^1_i = \sum_{n=1}^N \frac{d^2 \eta}{dx^2} b_{in}^2$$

$$\tilde{y}^1_i = y_i - \frac{1}{2} \alpha^1_i, \quad i = \overline{1, N} \quad (8)$$

Потім, нарощуючи крок, повторюють обчислення доти, поки максимум наближень коефіцієнтів регресії

$$\max_j \frac{\beta_j^{s-1} - \beta_j^s}{\beta_j^s} > \epsilon, \quad j = \overline{0, k} \quad (9)$$

Метод послідовної побудови матмоделі розділений на три процедури: визначення рекурентного алгоритму обчислення, послідовного планування експерименту і прийняття рішення про хід експерименту. Він полягає в тому, що параметри матмоделі уточнюються після кожного досліді чи групи дослідів  $m$ . Значення оцінок в момент  $(i+m)$  визначаються на основі виразу, в який входять значення оцінок в момент  $i$  та даних, одержаних в моменти  $(i+1) \dots (i+m)$ , (алгоритм будується по рекурентній формі). Тому немає необхідності проводити фіксоване число дослідів, експеримент припиняється при досягненні заданої точності матмоделі. Рішення про припинення експерименту приймається згідно правила зупинки, яке базується на перевірці умови розташування дійсних значень коефіцієнтів моделі в заданій ймовірністю всередині деякої заданої області - довірчого еліпсоїда точності оцінок коефіцієнтів  $b(b^N)$ :

$$(b - \tilde{b}^N)^T A (b - \tilde{b}^N) - \rho^2, \quad (10)$$

де  $A$  - позитивно визначена матриця,  $\rho^2$  - права частина рівняння еліпсоїда.

Перевірка умови зупинки експерименту зводиться до визначення мінімального власного числа матриці  $A^{-1}$ , оберненої до матриці

А. Власними числами матриці  $A^{-1}F_N^T F_N$  є характеристичні корені  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{k+1}$  рівняння

$$|A^{-1}F_N^T F_N - \lambda J_{k+1}| = 0, \quad (11)$$

де,  $J_{k+1}$  - одинична матриця розмірності  $k+1$ . Виділивши із знайдених коренів мінімальне власне число  $\lambda_{\min}$ , перевіряється умова

$$\lambda_{\min} > \frac{k+1}{\rho^2} S^2_{F_{кр}} \quad (12)$$

де  $S^2$  - оцінка дисперсії похибки спостережень з числом степенів свободи  $\varphi_0$ ;  $F_{кр}$  - критичне значення розподілу Фішера при заданому рівні значимості (довірчої ймовірності) і степенях свободи  $\varphi_1 = k+1, \varphi_2 = \varphi_0$ . Виконання (12) свідчить, що після  $N$  дослідів із заданою ймовірністю дійсні значення коефіцієнтів моделі розташовані всередині довірчого еліпсоїда (експеримент можна зупинити).

Приведено результати експериментальних досліджень дрейфу ХП ТЕП типу ТХА в рівномірному температурному полі для діаметрів термоелектродів 0,5 і 3,2 мм як для квазіпостійних температур, так і по діапазону температур 300-900 °C і 500-1100 °C відповідно. Встановлено, що у випадковому процесі дрейфу є чітко виражена систематична складова, що значно перевищує випадкову, і дрейф носить переважно монотонний характер. Це робить можливою корекцію дрейфу структурно-алгоритмічними методами.

Показано, що такий впливаючий фактор як температура доцільно розглядати, як два часткових фактори - температуру експлуатації і температуру діапазону. Внаслідок цього дрейф при експериментальних дослідженнях визначається не тільки в одній точці (при постійній температурі експлуатації), але і по всій ХП ТЕП.

Запропоновано алгоритми прогнозування і корекції дрейфу ТЕП для квазіпостійних вимірюваних температур. Основна увага приділена корекції мультиплікативної складової похибки прогнозу моделі дрейфу як апаратним, так і програмним шляхом на основі застосування перемножуючого ДАП (рис. 1) ступінчатою функцією. В ІВП записана математична модель у вигляді значень е.р.с., які відповідають середнім відхиленням ХП ТЕП від номінальної ХП, а в СВП - код, що відповідає корекції прогнозу і який коректується після кожного калібрування або перевірки по зразковому ТЕП. Процес корекції моделі прогнозу ступінчатою функцією ілюструється рис.2.

Для діапазону температур похибки дрейфу доцільно представити як набір функцій двох змінних  $\Delta E_{др} = f(\tau, t_B)$  для

$t_e = t_1, t_2, \dots, t_n$ . Тоді функцію  $\Delta E_{др}^1$  можна зобразити як набір поверхонь в координатах  $(\tau, t_e)$ . Графічна інтерпретація функцій  $\Delta E_{др}$  двох змінних для різних температур експлуатації представлена на рис. 3. Площина  $\alpha$  в координатах  $(\tau, t)$  відображає робочий діапазон температури  $t_e$  ТЕП в границях  $t_{min} < t_e < t_{max}$  і часу експлуатації в межах  $\tau_0 < \tau < \tau_{max}$ . Поверхня F відображає математичну модель дрейфу ТЕП  $\Delta E_{др}^1 = f(t, \tau)$  для  $t_{e1}$ , а поверхня G - гіпотетичний дрейф ТЕП в діапазоні температур  $t_{min} \dots t_{max}$ . Для кожної існує своя поверхня  $G_i$ . Набір поверхонь  $G_i$  можна описати за допомогою багатомірної моделі дрейфу функцією двох змінних

$$\Delta E_{др}(t, \tau) = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^M a_{ij} t^i \tau^j, \quad (13)$$

де,  $\Delta E_{др}(t, \tau)$  - значення функції дрейфу;  $t^i$  - масив температур експлуатації;  $\tau^j$  - масив часових точок; N, M - показники степенів по відповідних змінних;  $a_{ij}$  - коефіцієнти, які визначені за методом найменших квадратів від двох змінних. Використовуючи дану модель дрейфу, за попередньо визначеними коефіцієнтами, можна обчислити дрейф XII ТЕП при практично довільних температурі і часі експлуатації. Процес корекції моделі за результатами калібрування здійснюється аналогічно корекції для квазіпостійних температур поворотом поверхні моделі дрейфу ТЕП на деякий кут. Крім корекції адитивної і мультиплікативної складових, проводиться корекція і нелінійної складової похибки моделі дрейфу.

В третьому розділі вгідно розроблених алгоритмів синтезуються оригінальні структурні схеми ЗВ з корекцією похибок ТЕП. Найпростіша схема передбачає корекцію для квазіпостійних температур на основі індивідуальних лічильників часу експлуатації ТЕП, що заповнюються імпульсами генератора, керованого вихідним кодом АПП, адекватним температурі. Коди лічильників через комутатор поступають на ЦАП корекції похибки ТЕП. XII керованого генератора відповідає залежності кута нахилу функції дрейфу від температури, що обмежує застосування схеми вузькими діапазонами температур експлуатації. Універсальнішою є схема (рис. 4), в якій поправки вгідно матмоделі дрейфу зберігаються в ІЗП, вибираються вгідно вихідних кодів АПП та індивідуальних лічильників часу експлуатації  $Lч_1 \dots Lч_n$ , і поступають на ЦАП<sub>1</sub> корекції, причому на ЦАП<sub>3</sub> і помножуючий ЦАП<sub>2</sub> в ОЗП поступають коди відповідно адитивної та мультиплікативної індивідуальних поправок ТЕП. Код поправки по

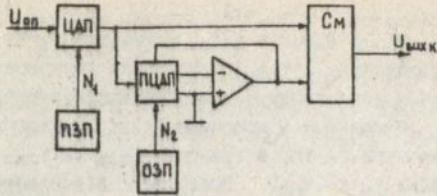


Рис. 1. Корекція похибки прогнозу з застосуванням ПЦАП.

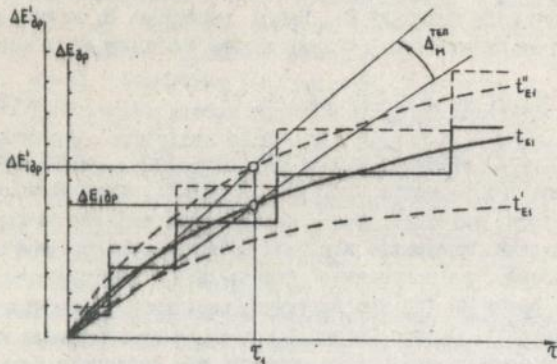


Рис. 2. Корекція моделі прогнозу ступінчатою функцією.

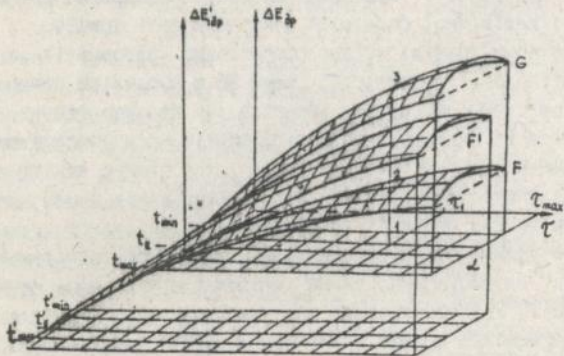


Рис. 3. Графічна інтерпретація функції дрейфу двох змінних для діапазону температур.

матмоделі читається в ПЗП згідно адреси, що задається кодами Лч (час експлуатації) та АЦП (температура після першого приблизного вимірювання). На суматор См при другому (точному) вимірюванні поступають сигнал ТЕП (через комутатор Км<sub>1</sub>) і адитивна (з ЦАП<sub>1</sub>) та мультиплікативна (з ЦАП<sub>2</sub>) індивідуальні поправки.

Ширші можливості мають схеми корекції похибок ТЕП в діапазоні вимірюваних температур. Схема рис.5 використовує ступінчасту функцію індивідуальної корекції, знайдену по результатах багатоточкового калібрування. Номер ступені визначається при поточній зміні вихідного коду АЦП схемами I, запам'ятовується в регістрі Rг<sub>1</sub>, шифрується Ш і служить (разом з номером каналу) адресою ОЗП і ПЗП. При калібруванні ідентифікується момент фазового переходу реперного матеріалу калібратора шляхом аналізу блоком ВЛА знайденої з допомогою суматора См різниці кодів результатів попереднього (зберігається в ОЗП) та поточного вимірювань. В момент фазового переходу на См поступає з ПЗП код номінальної термо-е.р.с. ТЕП, а знайдена похибка записується в регістр Rг<sub>2</sub> і потім в ОЗП згідно номерів каналу та ступені. При вимірюванні знайдена похибка віднімається від коду АЦП. Схема забезпечує високу точність, але при відносно великому числі точок калібрування та частому його повторенні. Для збільшення інтервалу між калібруваннями запропонована схема (рис.6) з індивідуальним прогнозом дрейфу ТЕП між калібруваннями за рахунок корекції матмоделі. В ВП<sub>1</sub> розміщені коди відрізків часу, які відповідають зміні термо-е.р.с. наперед задану величину похибки при різних температурах. Виборка кодів з ВП<sub>1</sub> здійснюється у відповідності із значеннями вимірюваної температури за вихідним кодом АЦП. В ВП<sub>2</sub> записано коефіцієнти, які відповідають відношенню наперед заданого інтервалу до реальних інтервалів між калібруваннями. Мінімальне і максимальне значення інтервалів між калібруваннями задаються лічильниками Лч<sub>1</sub> і Лч<sub>4</sub>. Час між двома калібруваннями залежить від швидкості наростання напруги U<sub>цал1</sub>. Лічильник Лч<sub>2</sub> включений з змінним коефіцієнтом перерахунку, який задається регістром у відповідності з часом між калібруваннями, що визначається лічильником Лч<sub>4</sub>. Останній скидається в нуль в момент калібрування і заповнюється імпульсами з Лч<sub>1</sub> до початку наступного калібрування.

Для корекції нелінійної складової похибки в діапазоні температур використовується схема, яка приведена на рис. 7., яка

довольє апроксимувати характеристику похибки ТЕР квадратичною функцією. За рахунок вихідної напруги ЦАП і резисторів  $R_5$  і  $R_6$  відбувається лінеаризація ХП ТЕР, а також корекція похибки нелінійності ТЕР в трьох точках діапазону вимірювання.

В четвертому розділі описуються децентралізована модульна вимірювальна система для технологічних процесів мікроелектроніки і вимірювальна підсистема для АСУ ТП термообробки великогабаритних виробів з алюмінієвих сплавів і гартування інструменту з легованих сталей. Приведено їх технічні і метрологічні характеристики.

В додатках приведено опис, технічні і метрологічні характеристики автоматизованого комплексу дослідження ТЕР, методику досліджень ТЕР типу ТХА на нестабільність їх характеристик, відомство про його метрологічну атестацію, документи про впровадження.

## ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

1. Розроблено алгоритми експериментальних досліджень і побудови математичної моделі дрейфу ХП ТЕР для близьких до реальних умов експлуатації, який базується на методі послідовної побудови математичної моделі на основі визначення рекурентного алгоритму обчислення, послідовного планування експерименту і прийняття рішення рішення про хід експерименту при досягненні необхідної точності.

2. Отримано результати експериментальних досліджень дрейфу ХП ТЕР для квазіпостійних температур і по діапазоні в строго рівномірних температурних полях в змодельованих умовах, близьких до реальних умов експлуатації в промисловості. Експериментально підтверджено домінуючий вплив систематичної складової похибки дрейфу ТЕР на похибку ТЕР і результат вимірювання в цілому.

3. Розроблено алгоритми прогнозування і корекції похибки дрейфу ТЕР при їх експлуатації в квазіпостійних високих температурах і по діапазоні в використанні ступінчатої функції, які дозволяють коректувати дрейф ХП ТЕР не тільки в часі, але і по температурі.

4. На основі розроблених алгоритмів запропоновані структури та схемотехнічні рішення засобів корекції похибок ТЕР для квазіпостійних температур і по діапазоні в використанні сучасних засобів мікропроцесорної техніки.

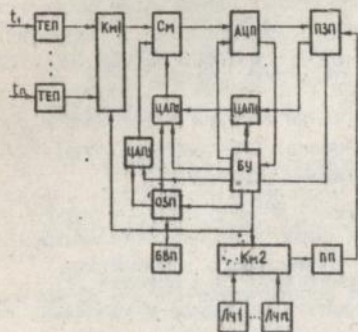


Рис. 4. ЗВ з корекцією Індивідуального дрейфу ТЕП за результатами повірки.

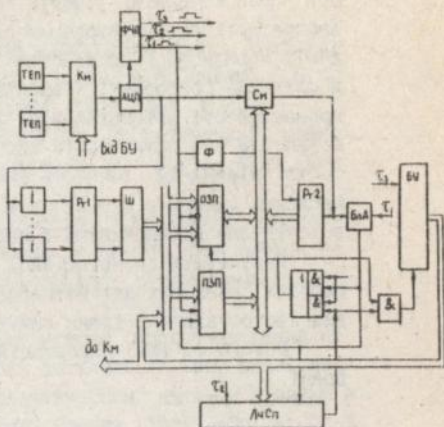


Рис. 5. ЗВ з корекцією дрейфу ТЕП в діапазоні температур.

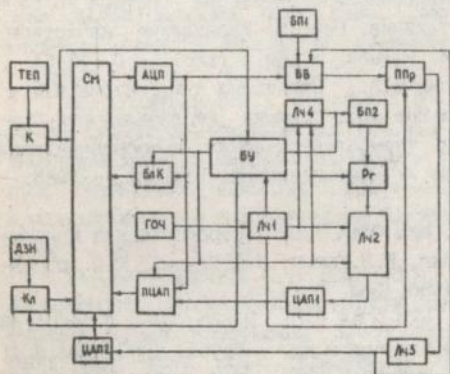


Рис. 6. ЗВ з Індивідуальним прогнозом і корекцією дрейфу ТЕП.

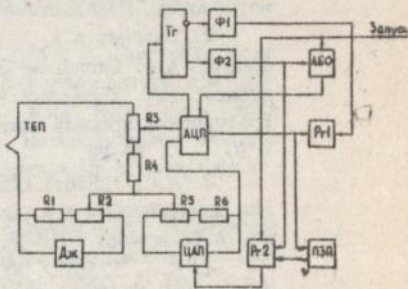


Рис. 7. ЗВ з корекцією нелінійної складової похибки ТЕП в діапазоні температур.

5. Результати досліджень, проведених в дисертаційній роботі лягли в основу п'яти науково-дослідних робіт, які виконувались при безпосередній участі автора в галузевій науково-дослідній лабораторії автоматизованих систем та мереж Тернопільської академії народного господарства. На основі результатів проведених досліджень розроблені і впроваджені в електронній і авіаційній промисловості автоматизовані засоби прецизійних вимірювань, які дозволили при оптимальній комбінації апаратних і програмних засобів підвищити точність вимірювання високих температур в промислових умовах в 3-5 разів в діапазоні 300-1300°C у порівнянні з існуючими вітчизняними і зарубіжними аналогами.

Результати дисертаційної роботи використані і при розробці окремих складових автоматизованих засобів прецизійних вимірювань для застосування в інших галузях промислового виробництва.

Всього по темі дисертаційної роботи опубліковано 33 наукові праці.

#### ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІЇ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Саченко А.А., Карачка А.Ф., Добровтор И.Г., Чирка М.И. Специализированная информационно-измерительная система на базе микро-ЭВМ // Электронная техника. Сер. 8. Управление качеством, метрология, стандартизация. - 1987. - Вып.2 (125). - С. 52-54.

2. Саченко А.А., Кочан В.В., Мильченко В.Ю., Чирка М.И., Карачка А.Ф. Экспериментальные исследования нестабильности градуировочных характеристик термоэлектрических преобразователей градуировки хромель-алюмель // Измерительная техника. - 1985. - N 10. - С. 28,29.

3. А.с. 1224611 СССР, МКИ 601К 7/02. Устройство для измерения температуры/ А.А.Саченко, В.В.Кочан, Г.М.Гладий, Ю.П.Троценко, А.Ф.Карачка; Оpubл. 1986, Бюл. N 14.

4. А.с. 1268972 СССР, МКИ 601К 7/02. Многоточечный цифровой термометр/А.А.Саченко, А.Ф.Карачка и др.; Оpubл. 1986, Бюл. N 41.

5. А.с. 1236866 СССР, МКИ 601К 7/02, 601К 15/00. Многоканальное устройство для измерения температуры/ А.А.Саченко, В.В.Кочан, А.Ф.Карачка, В.Ю.Мильченко; Оpubл. 1986, Бюл. N 21.

6. А.с. 1377609 СССР, МКИ 601К 7/02. Устройство для измерения температуры / А.А.Саченко, А.Ф. Карачка, В.В.Кочан,

Л.А.Григорьева ; Оpubл. 1988, Бюл. N 8.

7. А.с. 1446491 СССР, МКИ G01K 7/02. Устройство для измерения температуры/ А.А.Саченко, В.В.Кочан, А.Ф.Карачка и др.; Оpubл. 1988, Бюл. N 47.

8. А.с. 1506295 СССР, МКИ G01K 7/02, G01K 15/00. Устройство для измерения температуры/ В.Ю.Мильченко, А.А.Саченко, В.В.Кочан, А.Ф.Карачка, Ю.П.Троценко ; Оpubл. 1989, Бюл. N 33.

9. А.с. 1582029 СССР, МКИ G01K 7/02. Многоточечный цифровой термометр / В.В.Кочан, А.Ф.Карачка и др.; Оpubл. 1990, Бюл. N 28.

10. A.Sachenko, A.Karachka, V.Kochan, V.Milchenko. Characteristic Drift Prediction and Transducer Error Correction // Third IFAC-Symposium on Low Cost Automation, Vienna, Austria, 1992.

11. Карачка А.Ф. Стохастические методы прогнозирования нестабильности и коррекция погрешности датчиков // Тез. докл. Междунар. конф. по интервальным и стохастическим методам в науке и технике "Интервал - 92", г.Москва, Россия, 1992. -Сб. тр. Т.1. -С. 56-59.

12. Карачка А.Ф., Гладий Г.М. и др. Автоматизированная система точного измерения температуры на основе микро-ЭВМ // Тез. докл. пятой Всесоюз. науч.-техн. конф. "Состояние и перспективы развития средств измерения температуры (Температура-84)", г. Львов, 1984. - С. 113,114.

13. Васильев Е.Д., Карачка А.Ф., Чирка М.И. Принципы построения децентрализованной ИИС для измерения температуры при производстве изделий микроэлектроники// Тез. докл. Респ. науч. техн. конф. "Применение вычислительной техники, математических методов и моделирования в автоматизации экспериментальных исследований", г.Киев, 1987. - С. 94.

14. Карбовский Ю.М., Бабий С.В., Карачка А.Ф. Построение многомерной математической модели дрейфа характеристик преобразования термоэлектрических преобразователей (ТЭП) // Тез. докл. Респ. науч.-техн. конф. "Применение вычислительной техники, математических методов и моделирования в автоматизации экспериментальных исследований", г. Киев, 1987. - С. 143.

15. Чирка М.И., Карачка А.Ф., Веревский О.Н. Методика метрологических испытаний термоэлектрических преобразователей (ТЭП) // Тез. докл. Респ. науч.-техн. конф. "Применение вычислительной

техники, математических методов и моделирования в автоматизации экспериментальных исследований", г. Киев, 1987. - С. 91.

16. Кочан В.В., Григорьева Л.А., Карачка А.Ф. Метод коррекции прогрессирующей погрешности термопреобразователя с учетом разброса его характеристик // Тез. докл. VI Всесоюз. науч.-техн. конф. "Электрические методы и средства измерения температуры", г. Луцк, 1988. - Ч.2. - С. 224.

17. Васильків Н.М., Лендюк Т.В., Карачка А.Ф. Аппроксимация номинальных статических характеристик преобразования термоэлектрических преобразователей типа ПП, ТХА, ТХК // Тез. докл. Респ. науч.-техн. конф. "Применение вычислительной техники и математических методов в научных и экономических исследованиях", г. Киев, 1989. - С. 114, 115.

18. Карачка А.Ф. Метод прогнозирования дрейфа характеристик преобразования термопреобразователей при изменяющихся температурах эксплуатации // Тез. докл. Респ. науч.-техн. конф. "Применение вычислительной техники и математических методов в научных и экономических исследованиях", г. Киев, 1989. - С. 235.

19. Васильків Н.М., Карачка А.Ф., Кочан В.В. и др. Измерительная подсистема автоматизированной системы управления технологическим процессом термообработки // Тез. нац. науч.-техн. конф. с междунар. участием "Автоматизация электроприводов и технологических процессов", г. Варна, Болгария, 1990. - С. 62.

20. Карачка А.Ф., Кочан В.В., Масляк Б.А., Саченко А.А. Модульный аналого-цифровой преобразователь для АСУ ТП // Тез. докл. Респ. конф. "Вопросы проектирования и практического использования ПК в управляющих и вычислительных комплексах", г. Одесса, 1990. - С. 23, 24.

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

22. Карачка А.Ф., Васильків Н.М., Кочан В.В., Саченко А.О. Интеллектуальный контролер для автоматизації процесів термообробки // Тез. доп. Всеукр. науч.-техн. конф. "Застосування обчислювальної техніки, математичного моделювання та математичних методів в наукових дослідженнях", м. Львів, 1994. - С. 16.

Karachka A.F. Automation Devices for Precision Technical Measurement of Temperature.

Dissertation on the competition of the technical science candidate's degree of the speciality 05.11.05 - Instruments and Methods of Electrical and Magnetic Values Measuring. National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnical Institute". Kyiv, 1995.

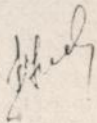
Algorithms and devices of errors correction in thermoelectrical converters are defended at their operation in near constant temperatures and on a range of temperatures. Mathematical model of thermoelectrical converters transformation drift characteristics different temperatures of operation and structure of precision device of temperature measurements, realizing developed algorithms are offered.

Карачка А.Ф. Автоматизированные средства для прецизионных технических измерений температуры.

Диссертация на соиск. уч. степени канд. техн. наук по специальности 05.11.05 - приборы и методы измерения электрических и магнитных величин. Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт". Киев, 1995.

Защищаются алгоритмы и средства коррекции погрешностей термоэлектрических преобразователей при их эксплуатации в квазипостоянных температурах и по диапазону температур. Предложена математическая модель дрейфа характеристики преобразования термоэлектрических преобразователей для разных температур эксплуатации и структуры прецизионных средств измерений температуры, реализующие разработанные алгоритмы.

Ключові слова: температура, термоелектричний перетворювач, похибка, характеристика перетворення, математична модель, аналого-цифровий перетворювач, алгоритм, прогноз, калібрування.



І  
Підписано до друку 9.Х.95р. Формат паперу 60Х84 /16.  
Друк офсетний ротопронтний. Папір білий. Друкарських листів, 1.  
Замовлення 851. Тираж 100.

---

Тернопіль, вул. Над Ставом, 10. Відділ оперативної поліграфії.  
Обласне управління статистики.



AB 33.282