



УКРАЇНА

(19) UA (11) 28733 (13) A

(51) 6 G01K7/02

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС

### ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

видається під  
відповідальність  
власника  
патенту

#### (54) СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ АБСОЛЮТНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ

(21) 97094504

(22) 05.09.1997

(24) 16.10.2000

(33) UA

(46) 16.10.2000, Бюл. № 5, 2000 р.

(72) Скрипник Юрій Олексійович, Маковська Вікторія Юріївна

(73) ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ УКРАЇНИ

(57) Спосіб вимірювання абсолютної температури, що полягає у внесенні робочого кінця термопари у середовище, температура якого вимірюється, вимірюванні термо-ЕРС на вільних кінцях термопари, охолодженні і нагріванні робочого кінця термопари при пропусканні через термопару постійного електричного струму у різних напрямках за даний інтервал часу, що вибирають менше теплової постійної часу термопари, і визначенні температури за формулою, який **відрізняється** тим, що після вимірювання термо-ЕРС пропускають постійний електричний струм у напрямку, що викликає охолодження робочого кінця термопари, силу постійного струму вибирають з умови максимального охолодження за встановлений інтервал часу, вимірюють термо-ЕРС охолодженої термопари, змінюють напрям протікання постійного електричного струму і нагрівають робочий кінець термопари до досяг-

нення початкової термо-ЕРС, подальше нагрівання робочого кінця термопари здійснюють за той же встановлений інтервал часу, вимірюють термо-ЕРС нагрітої термопари, знову змінюють напрям протікання електричного струму і охолоджують робочий кінець термопари до досягнення початкової термо-ЕРС, абсолютну температуру  $T_x$  визначають за формулою:

$$T_x = \{[(E_x^{iv} + E_x^{ii})(E_k^{iv} + E_k^{ii} - 2E_k^i)^2] : [(E_k^{iv} - E_k^{ii})(E_x^{iv} + E_x^{ii} - 2E_x^i)^2]\} T_k,$$

де

$T_k$  - температура калібрування, що відома за своїм числовим значенням, і яка встановлюється у зоні робочих кінців перед початком експлуатації термопари;

$E_k^i, E_x^i$  - значення термо-ЕРС у процесі калібрування та вимірювання;

$E_k^{ii}, E_x^{ii}$  - значення термо-ЕРС після охолодження термопари у процесі калібрування та вимірювання;

$E_k^{iv}, E_x^{iv}$  - значення термо-ЕРС після нагрівання термопари у процесі калібрування та вимірювання.

Винахід відноситься до області вимірювання температури термопарою і може бути застосований для виміру абсолютного значення температури у цифровій формі термопарою з нелінійною градієнтовочною характеристикою, особливо напівпровідниковими термопарами.

У останні роки для вимірювання абсолютних температур у широкому діапазоні значень знаходять все більше застосування напівпровідникові термопари, чутливість яких у 50-100 разів вище металічних, а за своїми експлуатаційними якостями вони можуть застосовуватись як для виміру низьких, так і високих температур. Але вони мають істотно нелінійну градієнтовочну характеристику та їм властива значна нестабільність, що перешкоджає їх широкому застосуванню у цифрових системах контролю та регулювання температури.

Термо-ЕРС  $E$ , яка виникає на вільних кінцях термопари, пов'язана з вимірювальною абсолют-

ною температурою  $T_x$  співвідношенням (див. Ана-  
тынчук Л.И. Термозлементы и термозлектрические устройства. Справочник - Київ: Наукова Думка, 1979, стор. 77-79):

$$E = \varepsilon_x T_x - \varepsilon_0 T_0.$$

де

$\varepsilon_x$  - значення коефіцієнта Зеебека робочого кінця термопари при температурі  $T_x$ ,

$\varepsilon_0$  - значення коефіцієнта Зеебека вільних кінців термопари при температурі  $T_0$ .

З приведенного співвідношення слідує, що вимірювана абсолютна температура:

$$T_x = (E_x + \varepsilon_0 T_0) / \varepsilon_x.$$

Непостійність коефіцієнта Зеебека  $\varepsilon_x$  та залежність його від вимірюваної температури не дозволяє виконати високоякісні виміри температури, особливо напівпровідниковими термопарами. Крім

(13) A

(11) 28733

(19) UA

того необхідно знати точне значення абсолютної температури  $T_0$  вільних кінців.

Відомий спосіб вимірювання абсолютної температури за а.с. СРСР № 777475, кл G01K7/02, 1980, що полягає у внесенні робочого кінця термопар у середовище, температура якого вимірюється, реєстрації термо-ЕРС на вільних кінцях термопар, нагріванні робочого кінця термопар пропусканням через термопару електричного струму, вимірювання термо-ЕРС нагрітої термопар і визначенні абсолютної температури за формулою:

$$T_x = \Pi_0 / [\lambda(K-1)],$$

де

$\Pi$  - коефіцієнт Пельтьє,

$I_0$  - постійний струм, що протікає через робочий кінець термопар,

$K=(E_2/E_1)$  - відношення значень зареєстрованих термо-ЕРС,  $E_1$  до  $E_2$  - після нагрівання,

$\lambda$  - теплопровідність термоелектродів термопар з урахуванням тепловіддачі в оточуюче середовище.

З приведеної формули видно, що на точність вимірювання температури не впливає коефіцієнт Зеебека, який визначає чутливість термопар, а значить і його нестабільність у процесі експлуатації. Але функціонально зв'язаним з коефіцієнтом Зеебека залишається коефіцієнт Пельтьє, так як  $\Pi = \varepsilon_x T_x$  де  $\varepsilon_x$  - коефіцієнт Зеебека, тому такий спосіб не виключає впливу нестабільності чутливості термопар і може призвести до похибки вимірювання.

Але й параметр  $\lambda$ , що залежить від теплофізичних властивостей контрольованого середовища, також входить у розрахункову формулу, тому у процесі тривалої експлуатації термопар ці властивості змінюються, що призводить до додаткової похибки через зміни параметру  $\lambda$ .

Відомий також спосіб виміру абсолютної температури по патенту України № 12392 А, кл. G01K7/02, 1996, що полягає у внесенні робочого кінця термопар у середовище, температура якого вимірюється, вимірюванні термо-ЕРС на вільних кінцях термопар, охолодженні і нагріванні робочого кінця термопар при пропусканні через термопару постійного електричного струму у різних напрямках за даний інтервал часу, що вибирають менше теплової постійної часу термопар і визначенні температури за формулою. Нагрівання робочого кінця термопар здійснюють пропусканням через термопару постійного електричного струму у інтервалі 0,1-0,2 від теплової сталої термопар, після чого реєструють миттєве значення термо-ЕРС на вільних кінцях термопар, потім охолоджують робочий кінець термопар зміною напрямку пропускання постійного електричного струму протягом заданого часу, а вимірювальну температуру  $T_x$  визначають під час охолодження за формулою:

$$T_x = \{2(N_1^{ii} + N_0)/(N_1^i + N_0) - (N_2^{ii} - N_1^{ii})/(N_2^i - N_1^i)\} T_k,$$

де

$T_k$  - температура калібрування термопар, яку встановлюють у зоні робочого кінця перед початком експлуатації термопар;

$N_1^i$  та  $N_1^{ii}$  - коди термо-ЕРС на вільних кінцях термопар, які одержують у процесі калібрування та вимірювання;

$N_2^i$  та  $N_2^{ii}$  - коди термо-ЕРС на вільних кінцях додатково нагрітої термопар у тих же умовах;

$N_0$  - код термо-ЕРС вільних кінців термопар.

Але відомий спосіб не виключає постійну похибку від нелінійності та нестабільності, яка має особливий вплив при великих нелінійностях хоча і має другий порядок меншості (див. вираз (25) способу-прототипу). При великих нелінійностях до 3-5%, що особливо притаманне напівпровідниковим термопарам, виникає похибка в 1...2 К. Крім того у розрахункову формулу входить код термо-ЕРС  $N_0$  вільних кінців термопар, непостійність якого виміряти неможливо. Він визначається розрахунковим шляхом з градуировочної характеристики термопар, яка через свою нестабільність не може дати достовірний результат.

В основу винаходу покладена задача створити такий спосіб вимірювання температури, в якому введення нових операцій дозволить проводити калібрування термопар без знання її градуировочної характеристики та виключити похибки від нелінійності та нестабільності її характеристики, завдяки чому підвищилась точність вимірювання абсолютної температури у широкому діапазоні її значень.

Оставлена задача вирішується тим, що в спосіб вимірювання абсолютної температури, що полягає у внесенні робочого кінця термопар у середовище, температура якого вимірюється, вимірюванні термо-ЕРС на вільних кінцях термопар, охолодженні і нагріванні робочого кінця термопар при пропусканні через термопару постійного електричного струму у різних напрямках за даний інтервал часу, що вибирають менше теплової постійної часу термопар, і визначенні температури за формулою, згідно з винаходом після вимірювання термо-ЕРС пропускають постійний електричний струм у напрямку, що викликає охолодження робочого кінця термопар, силу постійного електричного струму вибирають з умови максимального охолодження за встановлений інтервал часу, вимірюють термо-ЕРС охолодженої термопар, змінюють напрям протікання постійного електричного струму і швидко нагрівають робочий кінець термопар до досягнення початкової термо-ЕРС, подальше нагрівання робочого кінця термопар здійснюють за той же встановлений інтервал часу, вимірюють термо-ЕРС нагрітої термопар, знову змінюють напрям протікання постійного електричного струму і охолоджують робочий кінець термопар до досягнення початкової термо-ЕРС, абсолютну температуру  $T_x$  визначають за формулою:

$$T_x = \{[(E_x^{iv} + E_x^{ii})(E_k^{iv} + E_k^{ii} - 2E_k^i)^2] : [(E_k^{iv} - E_k^{ii})(E_x^{iv} + E_x^{ii} - 2E_k^i)^2]\} T_k,$$

де

$T_k$  - температура калібрування, що відома за своїм числовим значенням, і яка встановлюється у зоні робочих кінців перед початком експлуатації термопар;

$E_k^i, E_x^i$  - значення термо-ЕРС у процесі калібрування та вимірювання;

$E_k^{ii}, E_x^{ii}$  - значення термо-ЕРС після охолодження термопар у процесі калібрування та вимірювання;

$E_k^{iv}, E_x^{iv}$  - значення термо-ЕРС після нагрівання термопар у процесі калібрування та вимірювання.

Максимальне охолодження термопар за інтервал часу, який вибирають менше теплової постійної часу, швидкий нагрів термопар при зміні напрямку пропускання струму через робочий кінець термопар, встановлення початкової температури термопар її повторним охолодженням, додаткові виміри термо-ЕРС, розрахунок абсолютної температури тільки по вимірюваних значеннях термо-ЕРС термопар без урахування її градусувочної характеристики у процесі калібрування та виміру дозволить проводити калібрування термопар без знання її градусувочної характеристики та виключити похибки від нелінійності та нестабільності її характеристики, завдяки чому підвищилась точність вимірювання абсолютної температури у широкому діапазоні її значень.

На фіг. 1 зображений пристрій, що дозволяє здійснювати вимірювання абсолютної температури.

На фіг. 2 зображена градусувочна характеристика термопар.

На фіг. 3 зображена циклограма роботи пристрою.

На фіг. 4 зображений алгоритм роботи пристрою, що керується від мікро-ЕРМ.

Вимірювання температури здійснюють у такій послідовності. Перед початком експлуатації термопар здійснюють калібрування термопар: вимірюють термо-ЕРС при відомій температурі  $T_k$ . Потім проводять вимірювання при невідомій температурі  $T_x$  аналогічно процесу калібрування: вимірюють термо-ЕРС при невідомій температурі  $T_x$ , потім за формулою обчислюють значення невідомої абсолютної температури  $T_x$ .

Пристрій, що дозволяє реалізувати такий спосіб вимірювання температури, складається (фіг. 1) з термопар 1, робочий кінець якої знаходиться у контрольованому середовищі, температура якого вимірюється, вільні кінці закріплені на колодці 2 з температурою оточуючого середовища, компенсуючий пристрій 3, що виключає вплив непостійності температури вільних кінців, стробуючий ключ 4, нормуючий підсилювач 5 та аналогово-цифровий перетворювач 6, що перетворює величину термо-ЕРС у значення коду N, який передається у мікро-ЕРМ 7, що керує стробуючим перемикачем 4, двопозиційним перемикачем 10 та цифро-аналоговим перетворювачем 9.

Спосіб вимірювання абсолютної температури здійснюється таким чином.

У процесі калібрування термопар її робочий кінець нагрівають до відомої температури  $T_k$  при заданій температурі вільних кінців ( $T_0 = \text{const}$ ). Вимірюють термо-ЕРС, що виникає на вільних кінцях. Термо-ЕРС Е термопар у залежності від температури  $T_x$  робочого кінця та температури  $T_0$  вільних кінців виражається залежністю:

$$E = \varepsilon_x T_x - \varepsilon_0 T_0, \quad (1)$$

де

$\varepsilon_x$  - значення коефіцієнта Зеебека при температурі  $T_x$ ,

$\varepsilon_0$  - значення коефіцієнта Зеебека вільних кінців при температурі  $T_0$ .

Так як  $\varepsilon_x$  залежить від температури, то градусувочна характеристика термопар має нелінійний характер (фіг. 2). Для врахування нелінійності в околі робочих точок характеристики апроксимують дотичною, яка при інших значеннях температури зміщується, немов ковзає по її контуру. При малих змінах температури будемо вважати, що зміна термо-ЕРС відбувається по дотичній відносно робочої точки.

У околі точок  $T_k$  та  $T_0$  градусувочну характеристику представляють дотичними. Тоді термо-ЕРС термопар має вигляд:

$$E_k = (T_k - T_{a0}) \text{tg} \alpha - (T_0 - T_{b0}) \text{tg} \beta, \quad (2)$$

де

$T_{a0}, T_{b0}$  - нульові коефіцієнти дотичних, які проведені з точок  $T_k$  та  $T_0$ ,

$\alpha$  та  $\beta$  - кути нахилу дотичних.

Враховуючи, що  $\text{tg} \alpha = \varepsilon_k$  та  $\text{tg} \beta = \varepsilon_0$ , маємо:

$$E_k^i = \varepsilon_k (T_k - T_{a0}) - \varepsilon_0 (T_0 - T_{b0}). \quad (3)$$

Далі через робочий кінець термопар пропускають постійний електричний струм  $I_0$  у напрямку, що викликає охолодження робочого кінця термопар за рахунок поглинання теплоти Пельтьє. При охолодженні робочого кінця за час  $\Delta t_1$  менше його теплової постійної часу ( $\Delta t_1 < \tau$ ) процес поглинання тепла здійснюється адіабатично (фіг. 3). З урахуванням лінійної апроксимації градусувочної характеристики при  $\Delta T_k \ll T_k$  та лінійної залежності  $\Delta T_k$  від теплоти Джоуля та Пельтьє маємо вираз:

$$\begin{aligned} E_k^{ii} &= \varepsilon_k \{ [T_k - \Delta T_{k2}(\Delta t_1)] - T_{a0} \} - \\ &- \varepsilon_0 (T_0 - T_{b0}) = \varepsilon_k \{ [T_k + (0,5 R I_0^2 - \\ &- \Pi_k I_0) \Delta t_1 / (cm)] - T_{a0} \} - \varepsilon_0 (T_0 - T_{b0}), \end{aligned} \quad (4)$$

де

R - опір електродів термопар,

c - теплоємність та m - маса робочих кінців термопар.

Коефіцієнт 0,5 у виразі (4) визначає долю теплоти Джоуля, яка за рахунок теплопровідності електродів поступає у робочий кінець термопар.

Враховуючи, що коефіцієнт Пельтьє однозначно залежить від температури та коефіцієнта Зеебека робочого кінця ( $\Pi_k = \varepsilon_k T_k$ ) отримаємо:

$$\begin{aligned} E_k^{ii} &= \varepsilon_k \{ [T_k + (0,5 R I_0^2 - \varepsilon_k T_k I_0) \Delta t_1 / (cm)] - \\ &- T_{a0} \} - \varepsilon_0 (T_0 - T_{b0}) \end{aligned} \quad (5)$$

Струм  $I_0$  вибираємо з умови максимального охолодження робочого кінця за час  $\Delta t_1$ . Силу оптимального струму визначають з рівняння теплового балансу робочого кінця:

$$-\Delta T_k(\Delta t_1) = (0,5 R I_0^2 - \Pi_k I_0) \Delta t_1 / (cm). \quad (6)$$

Оптимальний струм можливо визначити з першої похідної  $\Delta T_k(\Delta t_1)$  по струму:

$$\Delta T_k / (dl) = (R I_0 - \Pi_k) \Delta t_1 / (cm). \quad (7)$$

Прирівнюючи похідну до нуля, маємо:

$$R I_0 - \Pi_k = 0. \quad (8)$$

звідки:

$$I_0 = \Pi_k / R. \quad (9)$$

Якщо через робочий кінець протікає оптимальний струм  $I_0$ , то температура охолодження досягає такого значення:

$$-\Delta T_k(\Delta t_1) = (0,5\Pi_k^2 / R - \Pi_k^2 / R)\Delta t_1 / (cm) = \\ = -(0,5\Pi_k^2 / R)\Delta t_1 / (cm). \quad (10)$$

Після виміру  $E_k^{ii}$  змінюють напрям протікання струму через робочий кінець термопар на протилежний, що спричинює його нагрів за рахунок виділення теплоти Пельтьє. Так як при цьому теплота Пельтьє та Джоуля сумуються, то виконується швидкий нагрів робочого кінця і термо-ЕРС  $E_k^{iii}$  через часовий інтервал  $\Delta t_2$  досягає значення  $E_k^i$ :

$$E_k^{iii} = \varepsilon_k \{ [T_k + (0,5R_0^2 - \Pi_k I_0)\Delta t_1 / (cm) + \\ + (0,5R_0^2 + \Pi_k I_0)\Delta t_2 / (cm)] - Ta_0 \} - \\ - \varepsilon_0(T_0 - Tb_0) = E_k^i, \quad (11)$$

що відповідає досягненню початкової температури.

Вирішуючи рівняння (11) з урахуванням (3) та значення оптимального струму (9), отримуємо значення часового інтервалу відновлення початкової температури:

$$\Delta t_2 = (\Pi_k I_0 - 0,5R_0^2) / (\Pi_k I_0 + 0,5R_0^2) \Delta t_1 = 0,33\Delta t_1. \quad (12)$$

При подальшому нагріві за час  $\Delta t_3$  рівний часу охолодження ( $\Delta t_3 = \Delta t_1$ ) термо-ЕРС приймає вид:

$$E_k^{iv} = \varepsilon_k \{ [T_k + \Delta T_k(\Delta t_3)] - Ta_0 \} - \varepsilon_0 \times \\ \times (T_0 - Tb_0) = \varepsilon_k \{ [T_k + (0,5R_0^2 + \varepsilon_k T_k I_0) \times \\ \times \Delta t_1 / (cm)] - Ta_0 \} - \varepsilon_0(T_0 - Tb_0). \quad (13)$$

Знову змінюють напрям протікання електричного струму і охолоджують робочий кінець термопар до досягнення початкової термо-ЕРС і визначають часовий інтервал  $\Delta t_4$ .

На цьому процес калібрування закінчують, а значення  $E_k^i$ ,  $E_k^{ii}$ ,  $E_k^{iv}$  перетворюють у цифрові коди, які заносяться у пам'ять мікро-ЕРМ. Також у пам'ять ЕРМ заносяться коди часових інтервалів  $\Delta t_1$ ,  $\Delta t_2$ ,  $\Delta t_3$ ,  $\Delta t_4$  та значення коду постійного струму  $I_0$ .

Процес виміру невідомої температури  $T_x$  виконується по алгоритму фіг. 4 аналогічно процесу калібрування. Після внесення робочого кінця термопар у середовище, температура якого вимірюється, вимірюють термо-ЕРС, що виникає на вільних кінцях термопар. Термо-ЕРС термопар також можливо представити дотичними у околах точок  $T_x$  та  $T_0$ :

$$E_x^i = [T_x - (Ta_0 + \Delta Ta_0)]tg(\alpha + \Delta\alpha) - \\ - (T_0 - Tb_0)tg\beta, \quad (14)$$

де

$\Delta Ta_0$  и  $\Delta\alpha$  - зміна коефіцієнтів дотичної через нелінійність градієнсової характеристики.

Враховуючи, що  $tg(\alpha + \Delta\alpha) = \varepsilon_k + \Delta\varepsilon_k$  маємо:

$$E_x^i = \varepsilon_k(1 + \gamma)[T_x - (Ta_0 + \Delta Ta_0)] - \\ - \varepsilon_0(T_0 - Tb_0), \quad (15)$$

де

$\gamma = \Delta\varepsilon_k / \varepsilon_k$  - відносна зміна коефіцієнта Зеебека при відміні вимірюваної температури  $T_x$  відносно  $T_k$ .

Пристрій працює таким чином.

У першому циклі вимірів ( $i=1$ ) по команді мікро-ЕРМ 7 замикається ключ 4 і термо-ЕРС поступає

на нормуючий підсилювач 5, де підсилюється до потрібного значення. Підсилена напруга перетворюється за допомогою цифро-аналогового перетворювача 6 у код, що поступає у мікро-ЕРМ 7. Після цього ключ 4 розмикається, код струму вводиться у цифро-аналоговий перетворювач 9 і через робочий кінець термопар 1 починає протікати охолоджуючий струм  $I_0$ , що задається кодом ЕРМ у цифро-аналоговий перетворювач 9. Інтервал охолодження устанавлюється таймерами мікро-ЕРМ 7 і дорівнює  $\Delta t_1$ . По закінченню  $\Delta t_1$  обнуляється цифро-аналоговий перетворювач 9.

По аналогії з виразом (5) термо-ЕРС охолодженого кінця дорівнює:

$$E_x^{ii} = \varepsilon_k(1 + \gamma)\{ [T_x - \Delta T_x(\Delta t_1)] - [Ta_0 + \\ + \Delta Ta_0] \} - \varepsilon_0(T_0 - Tb_0) = \varepsilon_k(1 + \gamma)\{ [T_x + \\ + (0,5R_0^2 - (1 + \gamma)\varepsilon_k T_k I_0)\Delta t_1 / (cm)] - [Ta_0 + \\ + \Delta Ta_0] \} - \varepsilon_0(T_0 - Tb_0). \quad (16)$$

У другому циклі ( $i=2$ ) вимірів знову замикається ключ 4, а код  $E_x^{ii}$  термо-ЕРС заносяться у пам'ять мікро-ЕРМ 7. По команді мікро-ЕРМ 7 перемикач 10 переводиться у протилежне положення і включається цифро-аналоговий перетворювач 9. У результаті цього змінюється напрям протікання струму через робочий кінець термопар 1 і він починає нагріватись за час нагріву рівний  $\Delta t = \Delta t_2 + \Delta t_3$ , що встановлюється таймерами мікро-ЕРМ. По закінченню встановленого інтервалу  $\Delta t$  термо-ЕРС термопар з урахуванням  $\Delta t_3 = \Delta t_1$  приймає значення:

$$E_k^{iv} = \varepsilon_k(1 + \gamma)\{ [T_x + (0,5R_0^2 + (1 + \gamma)\varepsilon_k T_k I_0) \times \\ \times \Delta t_1 / (cm)] - [Ta_0 + \Delta Ta_0] \} - \varepsilon_0(T_0 - Tb_0). \quad (17)$$

По команді мікро-ЕРМ 7 обнуляється цифро-аналоговий перетворювач 9. У третьому циклі вимірів ( $i=3$ ) замикається ключ 4 і код термо-ЕРС  $E_x^{iv}$  заносяться у пам'ять мікро-ЕРМ 7, перемикач 10 знов переводиться у початкове положення, включається цифро-аналоговий перетворювач 9 і за рахунок охолодження за час  $\Delta t_4$  робочий кінець термопар приймає температуру контрольованого середовища.

На цьому процес виміру абсолютної температури  $T_x$  закінчують, а значення  $E_x^i$ ,  $E_x^{ii}$ ,  $E_x^{iv}$  запам'ятовуються мікро-ЕРМ.

Зі значень (3), (5), (13) визначаємо додаткову термо-ЕРС від теплоти Джоуля у процесі калібрування:

$$E_k^{iv} + E_k^{ii} - 2E_k^i = (tg\alpha R_0^2 \Delta t_1) / (cm) = \\ = (\varepsilon_k R_0^2 \Delta t_1) / (cm). \quad (18)$$

З виразів (15), (16), (17) визначаємо додаткову термо-ЕРС від теплоти Джоуля у процесі вимірювання:

$$E_x^{iv} + E_x^{ii} - 2E_x^i = [tg(\alpha + \Delta\alpha) R_0^2 \Delta t_1] / (cm) = \\ = [\varepsilon_k(1 + \gamma) R_0^2 \Delta t_1] / (cm). \quad (19)$$

З виразів (13) і (5) визначаємо додаткову термо-ЕРС від теплоти Пельтьє у процесі калібрування:

$$E_k^{iv} - E_k^{ii} = (2tg^2\alpha I_0 T_k \Delta t_1) / (cm) = \\ = (2\varepsilon_k^2 I_0 T_k \Delta t_1) / (cm). \quad (20)$$

З виразів (16) і (17) визначаємо додаткову термо-ЕРС від теплоти Пельтьє у процесі вимірювання:

$$E_x^{iv} - E_x^{ii} = [2tg^2(\alpha + \Delta\alpha)_0 T_x \Delta t_1] / (cm) = \\ = \{2[\varepsilon_x(1 + \gamma)]^2 I_0 T_x \Delta t_1\} / (cm). \quad (21)$$

Поділивши значення термо-ЕРС (18) на значення термо-ЕРС (19) маємо:

$$(E_k^{iv} + E_k^{ii} - 2E_k^i) / (E_x^{iv} + E_x^{ii} - 2E_x^i) = 1 / (1 + \gamma).$$

Звідки

$$1 + \gamma = (E_x^{iv} + E_x^{ii} - 2E_x^i) / (E_k^{iv} + E_k^{ii} - 2E_k^i). \quad (22)$$

Далі визначаємо відношення різницевого термо-ЕРС (20) та (21):

$$(E_k^{iv} - E_k^{ii}) / (E_x^{iv} - E_x^{ii}) = T_k [T_x(1 + \gamma)^2]. \quad (23)$$

Підставляючи у праву частину рівності (23) значення  $1 + \gamma$  з виразу (22) отримаємо:

$$(E_k^{iv} - E_k^{ii}) / (E_x^{iv} - E_x^{ii}) = \\ = T_k \{T_x [(E_k^{iv} + E_k^{ii} - 2E_k^i) / (E_x^{iv} + E_x^{ii} - 2E_x^i)]^2\}. \quad (24)$$

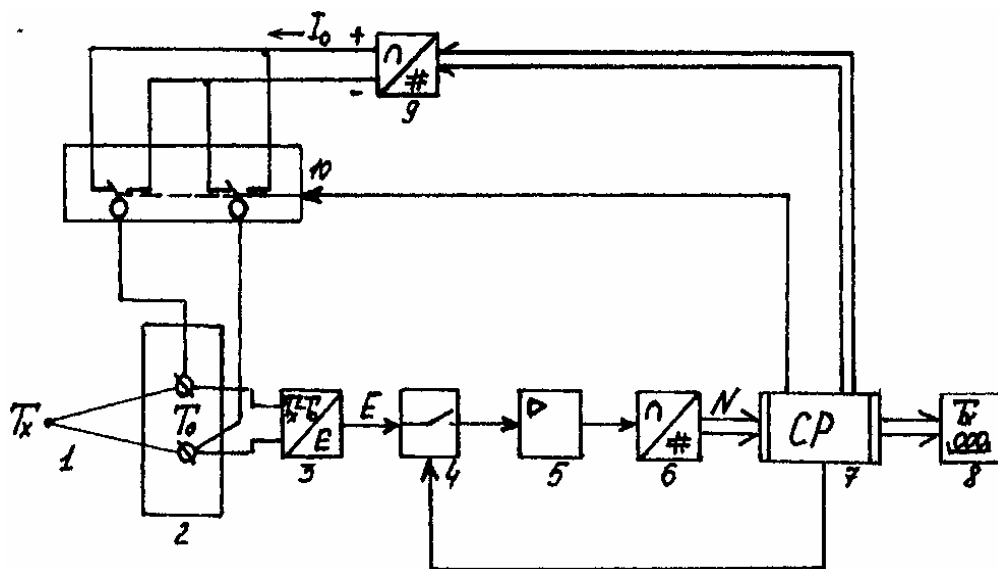
Вирішуючи рівняння (24) відносно  $T_x$  отримуємо кінцеву формулу для розрахунку абсолютної температури:

$$T_x = [(E_k^{iv} - E_k^{ii})(E_k^{iv} + E_k^{ii} - 2E_k^i)^2] : \\ : [(E_k^{iv} - E_k^{ii})(E_x^{iv} + E_x^{ii} - 2E_x^i)^2] T_k. \quad (25)$$

З отриманого виразу бачимо, що у розрахункову формулу не входить коефіцієнт Зеєбека ( $\varepsilon$ ) та коефіцієнт Пельтьє ( $\Pi$ ), параметри робочого кінця самої термопари ( $c, m$ ), кількість теплоти Пельтьє ( $\Pi I_0 t$ ) та Джоуля ( $I_0^2 R t$ ), крім того у вираз (25) не входить температура вільних кінців термопари  $T_0$ .

Єдиною вимогою залишається забезпечення постійності електричного струму  $I_0$  та температури вільних кінців  $T_0$  при калібруванні та вимірюванні. Після процесу повторного охолодження термопари ( $\Delta t_4$ ) мікро-ЕРМ 7 вираховує вимірювальну абсолютну температуру  $T_x$  по формулі (25), а результат виміру після перетворення у десятичну форму виводиться на цифрове табло 8. По закінченню часового інтервалу  $\Delta t_4$  пристрій готовий до наступного циклу вимірів абсолютної температури.

Таким чином, незалежно від ступеня нелінійності та нестабільності напівпровідникової термопари здійснюється цифровий вимір абсолютної температури у широкому діапазоні температур, тому цей спосіб вимірювання абсолютної температури може бути застосований у багатьох галузях промисловості для вимірювання температури у холодильних пристроях, у парових котлах, у пристроях волого-теплової обробки та інших, наприклад, при використанні напівпровідникової термопари типу ТПД-008 на основі Bi, Te, Se у діапазоні температур 223...600 K, похибка при цьому становить не більше 0,03 K.



Фіг. 1

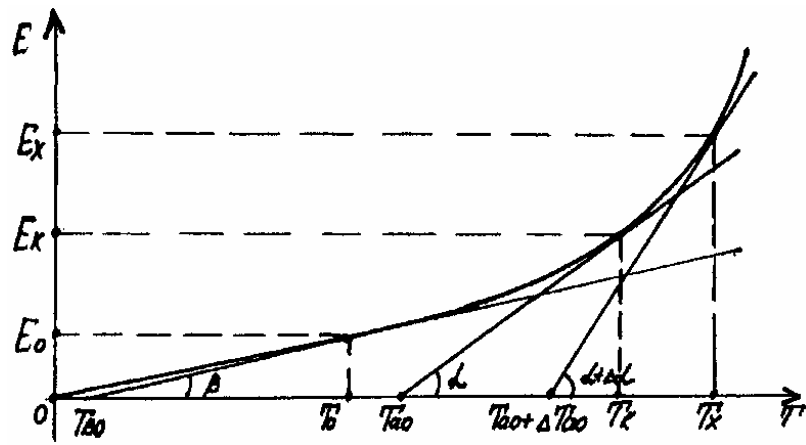


Fig. 2

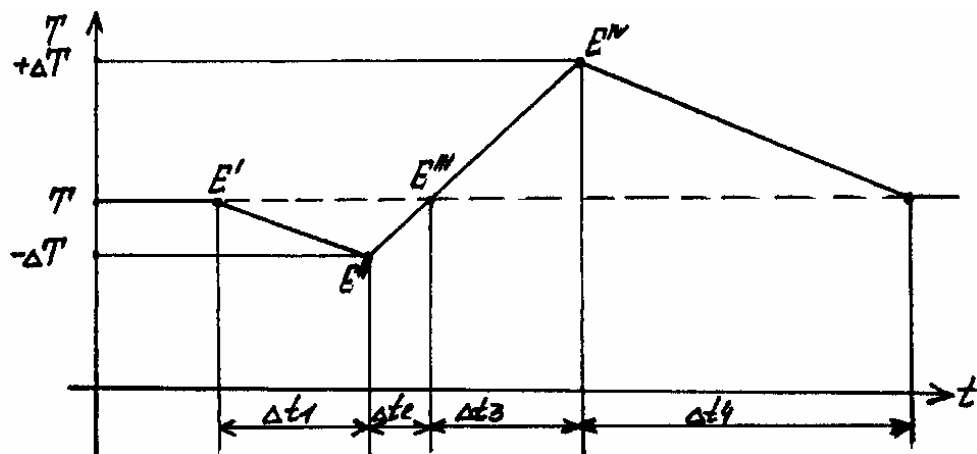
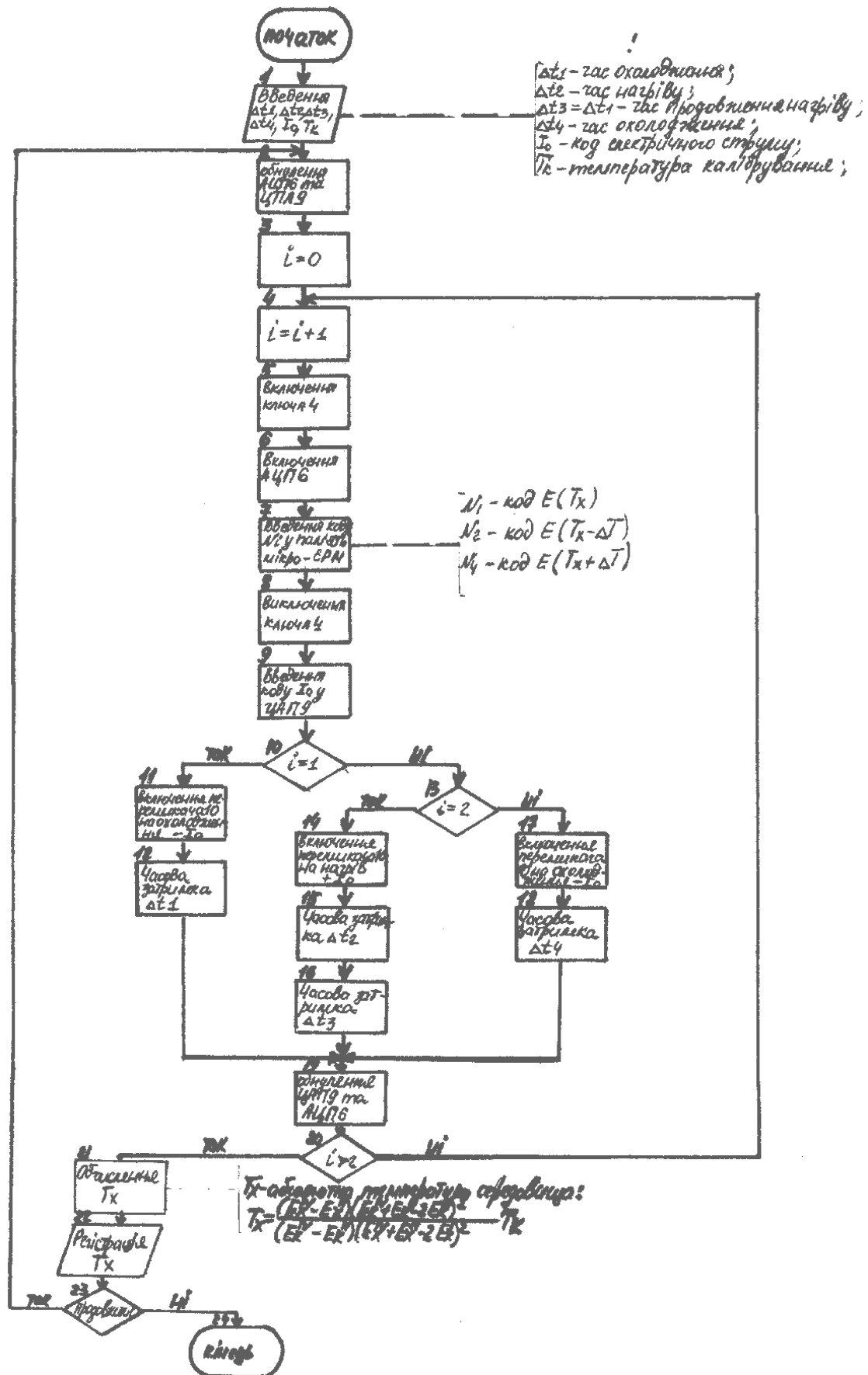


Fig. 3



**Fig. 4**

---

ДП "Український інститут промислової власності" (Укрпатент)  
Україна, 01133, Київ-133, бульв. Лесі Українки, 26  
(044) 295-81-42, 295-61-97

---

Підписано до друку \_\_\_\_\_ 2002 р. Формат 60х84 1/8.  
Обсяг \_\_\_\_\_ обл.-вид. арк. Тираж 34 прим. Зам. \_\_\_\_\_

---

УкрІНТЕІ, 03680, Київ-39 МСП, вул. Горького, 180.  
(044) 268-25-22

---