



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 41608

(13) A

(51) 7 G01K15/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВІНАХІДвидається під
відповідальність
власника
патенту(54) СПОСІБ ПОВІРКИ ТЕРМОРЕЗИСТИВНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ І ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЙОГО
ЗДІЙСНЕННЯ

1

(21) 2000105860

(22) 17.10.2000

(24) 17.09.2001

(46) 17.09.2001, Бюл. № 8, 2001 р.

(72) Скрипник Юрій Олексійович, Дубровний
Анатолій Вікторович, Ляховецький Олександр
Вольфович(73) КИЇВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

(57) 1. Спосіб повірки терморезистивних перетворювачів, суть якого в тому, що через перетворювач, що знаходиться на об'єкті, пропускають струм, перетворюють падіння напруги на перетворювачі код, визначають за номінальною статичною характеристикою перетворювача або за показами вторинного приладу температуру об'єкта, порівнюють з результатами, одержаними при його пусканалагоджувальних випробовуваннях, і визначають похибку перетворювача, який **відрізняється** тим, що через перетворювач пропускають вимірювальний струм, який невикликає додаткового нагрівання перетворювача, реєструють код N_1 падіння напруги на перетворювачі, по якому визначають вимірювану температуру об'єкта. формують перший струм додаткового нагрівання перетворювача, квадрат якого вибирають таким, щоб усталене значення перегрівання перетворювача було б задане і перевищувало поріг чутливості терморезистивного термометра в 10... 20 разів, реєструють код N_2 падіння напруги від вимірювального струму на додатково нагрітому перетворювачі, формують другий струм нагрівання перетворювача, квадрат якого вибирають пропорційним вимірюваній температурі об'єкта, але за значенням близьким до першого струму на грівання, реєструють код N_3 падіння напруги від вимірювального струму на додатково нагрітому перетворювачі, по кодах трьох падінь напруги N_1 , N_2 , N_3 , обчислюють перше значення температури об'єкта, порівнюють одержану температуру з вимірюваною температурою що визначається за кодом N_1 , формують друге значення другого струму нагрівання, квадрат якого пропорційний коду першого значення температури об'єкта, порівнюють його з попереднім значенням температури і якщо їх різниця перевищує допустиму похибку обчислення, формують третє значення другого струму нагрівання, при цьому ітераційний про-

2

цес обчислення дійсної температури об'єкта проводять до тих пір, поки різниця температур двох послідовних обчислень не стане меншою допустимої, а похибку $\Delta\theta_x$ перетворювача визначають після i -того ітераційного циклу вибору значення другого струму на грівання за формулою

$$\Delta\theta_x = \theta_{xi} - \frac{(N'_2 - N'_1)(N''_{3i} - N''_{1i})}{(N'_3 - N'_1)(N''_{2i} - N''_{1i})} \cdot \theta_n,$$

де θ_{xi} – температура об'єкта, одержана по номінальній статичній характеристикі перетворювача або за показами вторинного приладу терморезистивного термометра в процесі повірки;

θ_{ni} – температура об'єкта, одержана аналогічно при пусканалагоджувальних випробовуваннях;

N'_2 ; N'_1 ; N'_3 – коди падінь напруги на терморезистивному перетворювачі від вимірювального струму при пусканалагоджувальних випробовуваннях;

N''_2 ; N''_{1i} ; N''_{3i} – коди падінь напруги на терморезистивному перетворювачі від вимірювального струму при його повірці в i -тому ітераційному циклі.

2. Пристрій для повірки терморезистивних перетворювачів, що складається з комутаційного блоку під'єднання терморезистивного перетворювача, що повіряється і знаходиться на об'єкті, до вимірювальної схеми, яка складається з двополюсного ключа, блока керування, блока логіки і блока індикації, який **відрізняється** тим, що введені аналого-цифровий і цифро-аналоговий перетворювачі, а як блоки керування і логіки застосований мікропроцесорний контролер, до входу якого кодовим виходом під'єднаний аналого-цифровий перетворювач, до першого виходу контролера під'єднаний кодовим входом цифро-аналоговий перетворювач, до другого виходу – блок індикації, до третього виходу – керуючий вхід двополюсного ключа, при цьому комутаційний блок виконаний у вигляді дво-, три- або чотирьохконтактного втичного роз'єму, потенціальні гнізда якого через двополюсний ключ з'єднані із входами аналого-цифрового перетворювача, а силові гнізда з'єднані із струмовими виходами цифро-аналогового перетворювача.

(13) A

(11) 41608

(19) UA

Винахід відноситься до області повірки засобів температурних вимірювань і може бути використаний для бездемонтажної повірки терморезистивних перетворювачів, що мають тепловий контакт із конструкціями об'єкта, на якому вони змонтовані.

Бездемонтажні способи повірки дають можливість визначити похибки терморезистивних перетворювачів, розміщених в недосяжних місцях, наприклад, перетворювачів, зачekanених у пази електричних машин, в печах з безперервним циклом роботи, на об'єктах з підвищеною радіаційною небезпекою і т.п. У таких випадках демонтаж терморезистивного перетворювача, що повіряється, або порівняння його опору з опором зразкового перетворювача температури утруднено через суттєві відмінності умов теплообміну зразкового перетворювача температури і того, що повіряється, особливо якщо терморезистивний перетворювач, що повіряється, має постійний тепловий контакт з об'єктом і контрольовані зміни температури і теплофізичних умов його експлуатації неможливі.

Відомий спосіб повірки терморезистивних перетворювачів за а.с. СРСР № 127756 кл. G 01 K 15/00, 1960 р. шляхом визначення статичної характеристики перетворювача при пропусканні через нього електричного струму і порівнянні її з номінальною статичною (градуювальною) характеристикою, яка встановлює відповідність між опором перетворювача і його температурою або підведеною до його чутливого елемента електричною потужністю.

Проте, вплив оточуючих перетворювач частин конструкції об'єкта на його тепловий режим при пропусканні через нього гріючого струму приводить до значних похибок вимірювання температури, що знижує точність повірки.

Відомий також спосіб повірки терморезистивних перетворювачів за а.с. СРСР № 1150497 кл. G01 K15/00, 1985, суть якого в тому, що через перетворювач, який знаходиться на об'єкті, пропускають струм, перетворюють падіння напруги на перетворювачі в код, визначають за номінальною статичною характеристикою перетворювача або за показами вторинного приладу температуру об'єкта, порівнюють з результатами, що одержані при його пусконаладочних дослідженнях, і визначають похибки перетворювача.

Крім того, відомий спосіб повірки передбачає пропускання через перетворювач, що повіряється, прямокутних імпульсів струму, протяжністю

$$\tau_n = cm \frac{R_t}{S} \frac{\delta}{1-\delta};$$

з амплітудою

$$U = 10 \sqrt{\frac{S}{R_t R_0 (1+100A)} \cdot \frac{1-\delta}{\delta}};$$

де c – середня масова теплоємність терморезистивного перетворювача;

m – маса перетворювача;

R_t – питомий тепловий опір контакту

перетворювача з контактуючим з ним масивом;

S – площа поверхні теплового контакту;

R_0 – номінальний електричний опір перетворювача при 0°C;

A – коефіцієнт, що характеризує чутливість перетворювача до температури;

δ – коефіцієнт, що експериментально визначає степінь відхилення процесу нагрівання від адіабатичного.

Параметри імпульсного струму, які вибирають за указаними співвідношеннями, повинні забезпечити нагрівання перетворювача від 0°C до 100°C в момент закінчення тестового імпульсу. Проте через труднощі визначення значень коефіцієнту δ для об'єктів з різними теплофізичними властивостями, невизначеності у значеннях R_t і S , розкиду значень теплоємності c і маси m перетворювачів навіть у межах однієї партії, температура перетворювача може суттєво відрізнитися від розрахункової, що приводить до великих методичних похибок.

Відомий пристрій для повірки терморезистивних перетворювачів за а.с. СРСР № 684341 кл. G01K15/00, 1979, який вміщує вимірювальну схему з клемми для під'єднання терморезистивного перетворювача, що повіряється, генератора імпульсів зразкової амплітуди, генератора імпульсів зразкової частоти і перемикача, один вхід якого з'єднаний з виходом генератора імпульсів зразкової амплітуди, другий – з виходом генератора імпульсів зразкової частоти, вихід перемикача з'єднаний із входом тригерного лічильника імпульсів, швидкодіючий аналого-цифровий перетворювач, вхід якого під'єднаний до виходу вимірювальної схеми, а керуючий вхід під'єднується до виходів різних тригерів лічильника.

Інтенсивність нагрівання терморезистивного перетворювача залежить від зовнішніх умов, в яких знаходиться його чутливий елемент. Тому кількість теплоти, яку віддає перетворювач на протязі струмового імпульсу в оточуюче середовище, точно не може бути визначеною. Це приводить до появи додаткової похибки, яка залежить від зовнішніх умов, в яких знаходиться перетворювач, що повіряється.

Відомий також пристрій для повірки терморезистивних перетворювачів температури за а.с. СРСР № 1451560 кл. G01K15/00, 1989, який складається з комутаційного блока під'єднання терморезистивного перетворювача, що знаходиться на об'єкті, до вимірювальної схеми, яка включає двополюсний ключ, блок керування, блок логіки і блок індикації.

Крім того, відомий пристрій включав чотири компаратора, джерела зразкової і опорної напруг, амплітудний селектор, диференціатор і реле зворотного струму. Блок керування через ключ з'єднаний входом з виходом джерела вимірювального струму, а виходом через реле зворотного струму під'єднаний до перших входів усіх компараторів, другі входи яких під'єднані до джерел зразкової і опорної напруг, відповідно.

Проте неминуха нестабільність задавача тривалості тестового імпульсу і джерел опорної напруги не дозволяють забезпечити точне вимірювання похибок терморезистивних перетворювачів. Тому відомий пристрій використовується тільки як допусковий індикатор-сигналізатор з двома рівнями вихідного сигналу: "відповідає нормі" або "не відповідає нормі".

Треба відмітити, що під час перехідного електротеплового процесу температура перетворювача проходить весь його робочий діапазон. Якщо перетворювач від'єднаний від вторинних ланцюгів, але знаходиться на діючому (гарячому) об'єкті, одержати його градувальну характеристику неможливо. Тому у вказаних вище умовах відомий пристрій для повірки терморезистивних перетворювачів взагалі не може бути застосований.

В основу винаходу покладена задача створення таких способу і пристрою для повірки терморезистивних перетворювачів, в яких введення нових операцій, елементів і зв'язків дозволило б у нагрітому перетворювачі, який знаходиться на діючому об'єкті, за рахунок додаткового перегрівання його двома струмами, які формуються за результатами вимірювання температури за його номінальною статичною характеристикою, обчислювати за перегрівом перетворювача його дійсну температуру і порівнянням її з виміряною температурою визначити похибку терморезистивного перетворювача, що повіряється. Це забезпечить підвищення точності бездемонтажної повірки терморезистивних перетворювачів без застосування зразкових засобів безпосередньо на діючому об'єкті і знизить вартість повірки.

Поставлена задача вирішується тим, що у способі повірки терморезистивних перетворювачів через перетворювач, який знаходиться на об'єкті, пропускають струм, перетворюють падіння напруги на перетворювачі в код, визначають за номінальною статичною характеристикою перетворювача або за показами вторинного приладу температуру об'єкта, порівнюють з результатами, що одержані при його пусконаладжувальних випробуваннях, і визначають похибку перетворювача, згідно з винаходом, через перетворювач пропускають вимірювальний струм, який не викликає додаткового нагрівання перетворювача, реєструють код N_1 падіння напруги на перетворювачі, по якому визначають вимірювану температуру об'єкта, формують перший струм додаткового нагрівання перетворювача, квадрат якого вибирають таким, щоб усталене значення температури перетворювача було б заданим і перевищувало поріг чутливості терморезистивного термометра в 10-20 разів, реєструють код N_2 падіння напруги від вимірювального струму на додатково нагрітому перетворювачі, формують другий струм нагрівання перетворювача, квадрат якого вибирають пропорційним виміряній температурі об'єкта, але за значенням близьким до першого струму нагрівання, реєструють код N_3 падіння напруги від вимірювального струму на додатково нагрітому перетворювачі, за кодами трьох падінь напруг N_1 , N_2 і N_3 обчислюють перше значення температури об'єкта, порівнюють одержане

значення температури з виміряною температурою, яка визначається за кодом N_1 , формують друге значення другого струму нагрівання, квадрат якого пропорційний коду першого значення температури об'єкта, порівнюють його з попереднім значенням температури і, якщо їх різниця перевищує припустиму похибку обчислення, формують третє значення другого струму нагрівання, при цьому ітераційний процес обчислення дійсної температури об'єкта проводять до тих пір, поки різниця температур двох послідовних обчислень не стане менше допустимої, а похибку $\Delta\theta_x$ перетворювача визначають після i -того ітераційного вибору значення другого струму нагрівання за формулою

$$\Delta\theta_x = \theta_{xi} - \frac{(N_2' - N_1')(N_{3i}'' - N_{1i}'')}{(N_3' - N_1')(N_{2i}'' - N_{1i}'')} \cdot \theta_n,$$

де θ_{xi} – температура об'єкта, одержана за номінальною статичною характеристикою перетворювача у процесі повірки;

θ_n – температура об'єкта, одержана аналогічно або за показами вторинного приладу терморезистивного термометра при пусконаладжувальних випробуваннях;

$N_2'; N_1'; N_3'$ – коди падінь напруги на терморезистивному перетворювачі від вимірювального струму при пусконаладжувальних випробуваннях;

$N_{2i}''; N_{1i}''; N_{3i}''$ – коди падінь напруги на терморезистивному перетворювачі від вимірювального струму при його повірці в i -тому ітераційному циклі.

Поставлена задача вирішується також тим, що у пристрій для повірки терморезистивних перетворювачів, що складається з комутаційного блоку під'єднання терморезистивного перетворювача, що повіряється і знаходиться на об'єкті, до вимірювальної схеми, яка складається з двополюсного ключа, блока керування, блока логіки і блока індикації, згідно з винаходом введені аналого-цифровий і цифро-аналоговий перетворювачі, а як блоки керування і логіки застосований мікропроцесорний контролер, до входу якого кодовим виходом під'єднаний аналого-цифровий перетворювач, до першого виходу контролера під'єднаний кодовим виходом цифро-аналоговий перетворювач, до другого виходу – блок індикації, до третього виходу – керуючий вхід двополюсного ключа, при цьому комутаційний блок виконаний у вигляді дво-, три- або чотириконтактного втичного роз'єму, потенціальні гнізда якого через двополюсний ключ з'єднані із входами аналого-цифрового перетворювача, а силові гнізда з'єднані із струмовими виходами цифро-аналогового перетворювача.

Саме додаткове нагрівання терморезистивного перетворювача, що повіряється, двома струмами, перший з яких перегріває перетворювач на задану температуру незалежно від температури об'єкта, а другий перегріває перетворювач на температуру, пропорційну виміряній температурі об'єкта, при цьому значення другого струму перегрівання підстроюють в процесі обчислення дійсної температури об'єкта за ітераційним алгоритмом, обчислення температури об'єкта за кодами падіння на-

пруг на нагрітому перетворювачі від вимірюваного струму, який сам не викликає додаткового нагрівання перетворювача, формування двох струмів нагрівання мікропроцесорним контролером з цифроаналоговим перетворювачем, перетворення падіння напруги на перетворювачі від вимірювального струму в код з допомогою аналого-цифрового перетворювача, введення комутаційного блока на основі втичного розйому, гнізда якого з'єднані з аналого-цифровим і цифроаналоговим перетворювачами вказаним вище способом, забезпечує бездемонтажну перевірку терморезистивних перетворювачів безпосередньо на діючому об'єкті без застосування зразкових засобів в теплофізичних умовах, які змінюються, що підвищує точність перевірки і знижує її вартість.

На фіг. 1 приведена функціональна схема повірочного пристрою; на фіг. 2 – статичні характеристики терморезистивного перетворювача; на фіг. 3 – зміни температури терморезистивного перетворювача в часі при ввімкненні і вимкненні гріючого струму; на фіг. 4 – структурна схема алгоритму роботи програмованого повірочного пристрою. Пристрій (фіг. 1) складається з гнізда і розйому, двоплюсного ключа 2, аналого-цифрового перетворювача 3, мікропроцесорного контролера 4 цифрового індикатора 5 і цифроаналогового перетворювача 6. Позицією 7 позначений терморезистивний перетворювач, що перевіряється, розміщений на контрольованому об'єкті 8, втичний розйом із штепселями 9 і гніздами 10 і вторинний комплектний прилад 11.

На фіг. 2 приведені: 12 – номінальна статична характеристика нового терморезистивного перетворювача до початку його експлуатації; 13 – деформована характеристика після значного періоду його експлуатації;

На фіг. 4 приведені кроки програми мікропроцесорного і контролера, позначені цифрами:

14 – введення вихідних даних, що записані при попередніх дослідженнях серій ТРП;

15 – введення даних, одержаних при пусконаладжувальних дослідженнях нових ТРП;

16 – пуск програми при пусконаладжувальних і повірочних дослідженнях;

17 – пропускання через ТРП струму I_0 , вмикання ключа 2;

18 – вимірювання падіння напруги U'_1 або U''_1 і одержання коду або;

19 – вимикання ключа 2, пропускання через ТРП струму I_1 , нагрівання ТРП протягом Δt_1 , вимикання струму I_1 ;

20 – пропускання через ТРП струму I_0 , вимикання ключа 2;

21 – вимірювання падіння напруги U'_2 або U''_2 і одержання коду N'_2 або N''_2 ;

22 – витримка часу на охолодження ТРП;

23 – вимикання ключа 2, пропускання через ТРП струму I_2 або I_2 протягом Δt_1 , нагрівання ТРП, вимикання струмів;

24 – пропускання через ТРП струму I_0 , вимикання ключа 2;

25 – вимірювання падіння напруги U'_3 або U''_3 і одержання коду N'_3 або N''_3 ;

26 – вибір режиму роботи: "дослідження" чи "перевірка";

27 – визначення температури θ_i , похибки $\delta\theta_i$, і струму I_{2i} ;

28 – вибір умов ітерації (чи $\theta_i > \delta\theta_{\text{доп}}$);

29 – реєстрація дійсного значення температури і похибки ТРП на індикаторі 5 (фіг. 1);

30 – кінець програми.

Нормально терморезистивний перетворювач 7 (фіг. 1), розміщений на контрольованому об'єкті 8, працює з вторинним комплектним; вимірювальним приладом (мостом, логометром) 11, який з'єднаний з ним дво-, три- або чотиридротовою схемою через втичний розйом, що і має штепселі 9 і гнізда 10. у режимі перевірки до терморезистивного перетворювача замість вторинного комплектного приладу 11 гніздами 1 розйому до штепселів 9 під'єднують повірочний пристрій. Мікропроцесорний контролер 4 керує роботою повірочної схеми у відповідності із алгоритмом, схема якого наведена на фіг. 4.

Спосіб здійснюється так.

Залежність опору R_θ терморезистивного перетворювача від температури описується в загальному випадку поліномом n -ої ступеня

$$R_\theta = R_0 (1 + \alpha_1 \theta + \alpha_2 \theta^2 + \dots + \alpha_n \theta^n), \quad (1)$$

де R_0 – опір терморезистора при температурі 0°C ;

α_1 – температурний коефіцієнт опору (ТКО);

$\alpha_2, \dots, \alpha_n$ – похідні від ТКО, які визначають форму номінальної статичної (градуювальної) характеристики;

θ – поточне значення температури в $^\circ\text{C}$.

Звичайно користуються наближеною формулою, при цьому обмежуються першими двома членами формули (1). При цьому, коли вимірювана температура θ сильно відрізняється від 0°C , а градувальна характеристика терморезистивного перетворювача суттєво нелінійна, як це має місце на фіг. 2, то очевидно, що наближена формула дає значні похибки. В околах робочої точки P' дійсну нелінійну характеристику терморезистивного перетворювача можна замінити прямою дотичною у точці P' . Приймаємо, що після тривалої експлуатації робоча точка характеристики P' зміщується в точку P'' . Тоді опір терморезистора

при 0°C буде для кривої 12 дорівнювати R'_0 і R''_0 для кривої 13.

Замінивши нелінійну номінальну статичну характеристику терморезистивного перетворювача дотичною в робочій точці P' , можна записати

$$R_\theta = R'_0 (1 + \alpha'_\theta \theta), \quad (2)$$

де R'_0 – початковий опір апроксимуючої дотичної до кривої 12 на фіг. 2 при $\theta = 0^\circ\text{C}$;

$\alpha'_\theta, 1/K$ – його температурний коефіцієнт опору, початкове значення якого на початку експлуатації

нового терморезистивного перетворювача визначається нахилом дотичної до градувальної характеристики.

Температура θ_n відповідає початковій температурі об'єкта, при якій починається експлуатація терморезистивного перетворювача, її можна визначити при пусконаладжувальних роботах за показами вторинного комплектного приладу 11 або по вихідній номінальній статичній характеристиці терморезистивного перетворювача.

За сигналом мікропроцесорного контролера 4 (фіг. 1) цифроаналоговий перетворювач 6 виробляє вимірювальний струм $I_0 \leq 5$ мА, який, проходячи по терморезистивному перетворювачі 7, не нагріває його, а тільки викликає на ньому

падіння напруги U'_1 . Ця напруга поступає на аналого-цифровий перетворювач 3, де перетворюється в код

$$N'_1 = \alpha R'_0 I_0 (1 + \alpha_n \theta_n), \quad (3)$$

де α — коефіцієнт аналого-цифрового перетворення опору падіння напруги на терморезистивному перетворювачі в код.

Код, отриманий з виразу (3) поступає в мікропроцесорний контролер 4, де у відповідності до номінальної статичної характеристики терморезистивного перетворювача, що записана в його пам'яті, перетворювача, що визначається його еквівалентною теплопровідністю відносно об'єкта.

Час нагрівання Δt_1 вибирають більшим за $(3...4)\tau$, щоб одержати усталене значення температури перегрівання, а значення коефіцієнту β таким, щоб перегрів $\Delta\theta_1$ не перевищував $(5...10)^\circ\text{K}$. Тоді можна вважати, що зміни опору терморезистивного перетворювача відбуваються у межах лінійної ділянки апроксимуючої дотичної (фіг. 2).

За командою мікропроцесорного контролера 4 гріючий струм I_1 , вимикають і через терморезистивний перетворювач 7 пропускають вимірювальний струм I_0 , замикають контакти двополюсного ключа 2 і в пам'ять мікропроцесорного контролера 4 вводять код, одержаний від аналого-цифрового перетворювача 3, який перетворює нове значення падіння напруги на перегрітому терморезистивному перетворювачі 7.

$$N'_2 = \alpha R'_0 I_0 [1 + \alpha_n (\theta_n + \Delta\theta_1)]. \quad (6)$$

Усталену температуру терморезистивного перетворювача після нагрівання струмом можна записати так

$$\theta'_n = \theta_n + \Delta\theta_1 = \theta_n + I_1^2 R(\theta_n) / \lambda_n, \quad (7)$$

де $R(\theta_n)$ — опір терморезистора при температурі θ_n ;

λ_n — еквівалентна теплопровідність, яка характеризує втрати тепла з поверхні терморезистивного перетворювача на об'єкті при температурі θ_n (фіг. 3).

Із виразів (7) и (4) слідує, що квадрат струму

дорівнює

$$I_1^2 = \frac{\Delta\theta_1 \lambda_n}{R(\theta_n)} \approx \beta \Delta\theta_1, \quad (8)$$

звідкіля коефіцієнт цифро-аналогового перетворення вибирають за результатами пусконаладжувальних випробовувань:

$$\beta = \Delta\theta_1 \lambda_n / R(\theta_n) \Delta\theta_1. \quad (9)$$

Підставивши у вираз (6) значення струму нагрівання із (4) і значення температури із (7), одержимо:

$$N'_2 = \alpha R'_0 I_0 \{1 + \alpha_n [\theta_n + \beta \Delta\theta_1 R(\theta_n) / \lambda_n]\}. \quad (10)$$

Через вибраний час Δt_2 після вимикання струму I_1 , температура терморезистивного перетворювача став рівною температурі об'єкта θ_n (фіг. 3).

Далі, за командою мікропроцесорного контролера 4 ключ 2 (фіг. 1) розмикається, а по терморезистивному перетворювачі 7 від цифро-аналогового перетворювача 6 пропускається друге значення струму нагрівання, квадрат якого задається кодом, пропорційним виміряній температурі θ_n

$$I_2^2 = k \beta \theta_n, \quad (11)$$

де k — коефіцієнт пропорційності, який визначають з умови зміни температури терморезистивного перетворювача в межах лінійної ділянки його характеристики. При цьому можна прийняти $k \theta_n \approx \Delta\theta_0$, тобто вибрати значення k з умови

$$k \approx \Delta\theta_0 / \theta_n. \quad (12)$$

Струм I_2 пропускають через терморезистивний перетворювач 7 і нагрівають його до усталеної температури за час Δt_1 (фіг. 3). Після цього струм I_2 переривають, а по нагрітому терморезистивному перетворювачі пропускають вимірювальний струм I_0 . Падіння напруги на знову перегрітому терморезистивному перетворювачі 7 з допомогою аналого-цифрового перетворювача 3 перетворюють в код

$$N'_3 = \alpha R'_0 I_0 \{1 + \alpha_n [\theta_n + I_2^2 R(\theta_n) / \lambda_n]\}. \quad (13)$$

Враховуючи (11) код N'_3 можна подати так:

$$N'_3 = \alpha R'_0 I_0 \{1 + \alpha_n \theta_n [1 + k \beta R(\theta_n) / \lambda_n]\}. \quad (14)$$

Код N'_3 вводять в оперативну пам'ять мікропроцесорного контролера 4. На цьому налагоджувальні випробовування терморезистивного перетворювача закінчуються, а

коди N'_1 , N'_2 и N'_3 переносяться із оперативної пам'яті мікропроцесорного контролера 4 в його постійну пам'ять, де зберігаються разом з введеними раніше параметрами, що властиві даному типу терморезистивних перетворювачів: струмами I_0 і I_1 коефіцієнтом k , кодами температури сталого перегріву $\Delta\theta_0$, початкової температури θ_n і інтервалами часу Δt_1 і Δt_2 , необхідними для додаткового нагрівання і наступного охолодження до усталеної температури даного типу терморезистивних

перетворювачів, які передбачається повірять. В пам'ять мікропроцесорного контролера 4 заносять номінальну статичну характеристику терморезистивного перетворювача, що повіряється, а також значення допустимої похибки $\delta_{\text{доп}}$ обчислення температури об'єкта (фіг. 4).

Процес повірки виконують після тривалої експлуатації терморезистивного перетворювача на об'єкті, коли його чутливість, як правило, зменшується через зміни ТКО ($\alpha_{\text{н}}$) під впливом дестабілізуючих факторів. Змінюється також початковий опір R_0 через оксидування, випаровування і деградацію матеріалу чутливого елементу. Крім того, коли об'єкт працює, його температура змінюється, точне значення температури θ_x невідоме через перехід з номінальної статичної характеристики 12 на робочу статичну характеристику 13 (фіг. 2).

При повірці терморезистивного перетворювача під час роботи або планово-попереджувальних ремонтів об'єкта, коли його температура θ_x знаходиться у новій робочій точці Р" на кривій 13, за командою мікропроцесорного контролера 4 по терморезистивному перетворювачу 7 пропускають вимірювальний струм I_0 , замикають контакти ключа 2 і визначають нове значення падіння напруги на терморезистивному ланці 4. На цьому налагоджувальні випробовування терморезистивного пере-

творювача закінчуються, а коди N'_1 , N'_2 і N'_3 переносяться із оперативної пам'яті мікропроцесорного контролера 4 в його постійну пам'ять, де зберігаються разом з введеними раніше параметрами, що властиві даному типу терморезистивних перетворювачів: струмами I_0 і I_1 , коефіцієнтом k , кодами температури сталого перегріву $\Delta\theta_0$, початкової температури θ_n і інтервалами часу Δt_1 і Δt_2 необхідними для додаткового нагрівання і наступного охолодження до ustalеної температури даного типу терморезистивних перетворювачів, які передбачається повірять. В пам'ять мікропроцесорного контролера 4 заносять номінальну статичну характеристику терморезистивного перетворювача, що повіряється, а також значення допустимої похибки $\delta_{\text{доп}}$ обчислення температури об'єкта (фіг. 4).

Процес повірки виконують після тривалої експлуатації терморезистивного перетворювача на об'єкті, коли його чутливість, як правило, зменшується через зміни ТКО ($\alpha_{\text{н}}$) під впливом дестабілізуючих факторів. Змінюється також початковий опір R_0 через оксидування, випаровування і деградацію матеріалу чутливого елементу. Крім того, коли об'єкт працює, його температура змінюється, точне значення температури θ_x невідоме через перехід з номінальної статичної характеристики 12 на робочу статичну характеристику 13 (фіг. 2).

При повірці терморезистивного перетворювача під час роботи або планово-попереджувальних ремонтів об'єкта, коли його температура θ_x знаходиться у новій робочій точці Р" на кривій 13, за командою мікропроцесорного контролера 4 по терморезистивному перетворювачу 7 пропускають вимірювальний струм I_0 , замикають контакти ключа 2

і визначають нове значення падіння напруги на терморезистивному I_0 , замикають контакти ключа 2 і визначають нове значення падіння напруги, яке в аналого-цифровому перетворювачі 3 перетворюється в код

$$N''_{21} = \alpha R_0 I_0 \{1 + (\alpha_{\text{н}} + \Delta\alpha_{\text{н}}) [\theta_x + \beta \Delta\theta_0 R(\theta_x) / \lambda_x]\}, \quad (17)$$

де λ_x - коефіцієнт еквівалентної тепловіддачі при температурі θ_x .

Одержаний код N''_{21} вводиться в пам'ять мікропроцесорного контролера 4.

Далі, за сигналом мікропроцесорного контролера 4 через час Δt_2 від цифроаналогового перетворювача 6 через терморезистивний - перетворювач 7 на протязі часу Δt_1 пропускають другий струм нагрівання, квадрат якого

$$I_{21}^2 = k \beta \theta_{x1} = k \beta (\theta_x - \Delta\theta_x). \quad (18)$$

Терморезистивний перетворювач 7 нагрівається до деякої ustalеної температури, пропорційної його опору і квадрату струму (18). Потім через терморезистивний перетворювач 7 пропускають вимірювальний струм I_0 , замикають контакти ключа 2, падіння напруги на терморезистивному перетворювачі 7 з допомогою аналого-цифрового перетворювача 3

перетворюють у код N''_{31} який заноситься в оперативну пам'ять мікропроцесорного контролера 4:

$$N''_{31} = \alpha R_0 I_0 \{1 + (\alpha_{\text{н}} + \Delta\alpha_{\text{н}}) [\theta_x + I_{21}^2 R(\theta_x) / \lambda_x]\}. \quad (19)$$

Після підстановки у вираз (19) значення струму із (18), одержуємо:

$$N''_{31} = \alpha R_0 I_0 \{1 + (\alpha_{\text{н}} + \Delta\alpha_{\text{н}}) [\theta_x + k \beta \theta_{x1} R(\theta_x) / \lambda_x]\}. \quad (20)$$

Тому що дійсна температура θ_x виміряна θ_{x1} близькі в межах похибки терморезистивного перетворювача ($\Delta\theta_x \ll \theta_x$), то у рівняння (20) замість двох температур θ_x і θ_{x1} , можна підставити одну усереднену температуру θ_{x2} , яка зарані невідома, але знаходиться в інтервалі $\theta_{x1} < \theta_{x2} < \theta_x$. Крім того, λ_x можна замінити близьким до нього

значенням λ_{x2} . Тоді, код N''_{31} , який занесено в пам'ять мікропроцесорного контролера 4, після заміни температур θ_x і θ_{x1} , однією θ_{x2} , можна представити у вигляді:

$$\begin{aligned} N''_{31} &= \alpha R_0 I_0 \{1 + (\alpha_{\text{н}} + \Delta\alpha_{\text{н}}) [\theta_{x2} + k \beta \theta_{x2} R(\theta_{x2}) / \lambda_{x2}]\} = \\ &= \alpha R_0 I_0 \{1 + (\alpha_{\text{н}} + \Delta\alpha_{\text{н}}) \theta_{x2} [1 + k \beta R(\theta_{x2}) / \lambda_{x2}]\}. \end{aligned} \quad (21)$$

Відповідно код N''_{21} (17) представимо у вигляді функції усередненої температури θ_{x2} :

$$N''_{21} = \alpha R_0 I_0 \{1 + (\alpha_{\text{н}} + \Delta\alpha_{\text{н}}) [\theta_{x2} + \beta \Delta\theta_0 R(\theta_{x2}) / \lambda_{x2}]\}. \quad (22)$$

Після фіксації в пам'яті мікропроцесорного контролера 4 коду N''_{31} переходять до обчислення усередненої температури θ_{x2} терморезистивного перетворювача 7. З виразів (10) і (3) визначають різницю кодів падіння напруги на новому терморезистивному перетворювачі, одержаних при пусконалагоджувальних дослідженнях

$$N''_{21} - N''_{31} = \alpha R_0 I_0 \alpha_{\text{н}} \Delta\theta_0 \beta R(\theta_{x2}) / \lambda_{x2}. \quad (23)$$

а із виразів (14) і (3) – різницю кодів

$$N'_{31} - N''_{11} = \alpha R'_0 I_0 \frac{\Delta \theta_{x1}}{\lambda_{x1}} \beta R(\theta_{x1}) / \lambda_{x1}. \quad (24)$$

Аналогічні різниці кодів результатів вимірювання опорів при повірці терморезистивного перетворювача одержують із виразів (15), (21) і (22):

$$N'_{21} - N''_{11} = \alpha R'_0 I_0 \frac{\Delta \theta_{x1}}{\lambda_{x1}} \beta R(\theta_{x1}) / \lambda_{x1}, \quad (25)$$

$$N'_{31} - N''_{11} = \alpha R'_0 I_0 \frac{\Delta \theta_{x1}}{\lambda_{x1}} \beta R(\theta_{x1}) / \lambda_{x1}. \quad (26)$$

де N''_{11} одержали з (15) заміною θ_x на θ_{x2} .

Далі визначають відношення різницевого кодів, що одержані при дослідженнях і повірці. Так, із виразів (23) і (25) одержуємо відношення кодів

$$\frac{N'_{21} - N''_{11}}{N'_{31} - N''_{11}} = \frac{R'_0 \frac{\Delta \theta_{x1}}{\lambda_{x1}} \beta R(\theta_{x1}) / \lambda_{x1}}{R'_0 \frac{\Delta \theta_{x1}}{\lambda_{x1}} \beta R(\theta_{x1}) / \lambda_{x1}}, \quad (27)$$

а і виразів (24) і (26) - відношення кодів

$$\frac{N'_{31} - N''_{11}}{N'_{21} - N''_{11}} = \frac{R'_0 \frac{\Delta \theta_{x1}}{\lambda_{x1}} \beta R(\theta_{x1}) / \lambda_{x1}}{R'_0 \frac{\Delta \theta_{x1}}{\lambda_{x1}} \beta R(\theta_{x1}) / \lambda_{x1}} \cdot \frac{\theta_{x1}}{\theta_{x2}}. \quad (28)$$

Розділивши праві і ліві частини рівнянь (27) і (28), одержимо

$$\frac{(N'_{21} - N''_{11})(N'_{31} - N''_{11})}{(N'_{31} - N''_{11})(N'_{21} - N''_{11})} = \frac{\theta_{x1}}{\theta_{x2}}. \quad (29)$$

Розв'язавши це рівняння відносно усередненої температури θ_{x2} , одержуємо розрахункову формулу через зареєстровані коди

$$\theta_{x2} = \frac{(N'_{21} - N''_{11})(N'_{31} - N''_{11})}{(N'_{31} - N''_{11})(N'_{21} - N''_{11})} \theta_{x1}. \quad (30)$$

Код обчисленої температури θ_{x2} заносять в пам'ять мікропроцесорного контролера 4.

Порівнюючи значення одержаної температури θ_{x2} з початково вимірюваною температурою θ_{x1} , код якої зберігається у пам'яті мікропроцесорного контролера 4, одержимо значення похибки обчислення дійсної температури терморезистивного перетворювача

$$\delta \theta_{x1} = \theta_{x2} - \theta_{x1}. \quad (31)$$

Якщо похибка $\delta \theta_{x1}$ перевищує допустиму похибку $\delta \theta_{\text{доп}}$, то вибирають нове значення струму I_2 , квадрат якого приймає значення

$$I_2^2 = k \beta \theta_{x2}. \quad (32)$$

У відповідності до нового значення струму одержують код падіння напруги на терморезистивному перетворювачі, значення якого можна подати через нову усереднену температуру θ_{x3}

$$N'_{32} = \alpha R'_0 I_0 \{1 + (\frac{\Delta \theta_{x1}}{\lambda_{x1}}) \beta R(\theta_{x3}) / \lambda_{x3}\}. \quad (33)$$

Значення струму I_1 , остається попереднім, але одержаний код представляють як функцію нової усередненої температури θ_{x3}

$$N'_{22} = \alpha R'_0 I_0 \{1 + (\frac{\Delta \theta_{x1}}{\lambda_{x1}}) \beta R(\theta_{x3}) / \lambda_{x3}\}. \quad (34)$$

Аналогічно код N''_{12} виразимо через температуру θ_{x3} . У відповідності до нового значення усередненої температури θ_{x3} , змінюється співвідношення кодів (27) і (28):

$$\frac{N'_{22} - N''_{12}}{N'_{32} - N''_{12}} = \frac{R'_0 \frac{\Delta \theta_{x1}}{\lambda_{x1}} \beta R(\theta_{x3}) / \lambda_{x3}}{R'_0 \frac{\Delta \theta_{x1}}{\lambda_{x1}} \beta R(\theta_{x3}) / \lambda_{x3}}. \quad (35)$$

$$\frac{N'_{32} - N''_{12}}{N'_{22} - N''_{12}} = \frac{R'_0 \frac{\Delta \theta_{x1}}{\lambda_{x1}} \beta R(\theta_{x3}) / \lambda_{x3}}{R'_0 \frac{\Delta \theta_{x1}}{\lambda_{x1}} \beta R(\theta_{x3}) / \lambda_{x3}} \cdot \frac{\theta_{x1}}{\theta_{x3}}. \quad (36)$$

Враховуючи (35) і (36), розрахункова формула (29) для третього наближення температури приймає вигляд

$$\theta_{x3} = \frac{(N'_{21} - N''_{11})(N'_{32} - N''_{12})}{(N'_{31} - N''_{11})(N'_{22} - N''_{12})} \theta_{x1}. \quad (37)$$

Код температури θ_{x3} також заносять в пам'ять мікропроцесорного контролера 4.

Порівнюючи температури θ_{x3} і θ_{x2} , одержуємо друге значення похибки обчислення дійсної температури терморезистивного перетворювача

$$\delta \theta_{x2} = \theta_{x3} - \theta_{x2}. \quad (38)$$

Якщо $\delta \theta_{x2} > \delta \theta_{\text{доп}}$, то формують третє значення струму I_2 у нагрівання за температурою θ_{x3}

$$I_2^2 = k \beta \theta_{x3}. \quad (39)$$

При цьому формула (37) для визначення нового значення температури θ_{x4} набуває вигляду

$$\theta_{x4} = \frac{(N'_{21} - N''_{11})(N'_{33} - N''_{13})}{(N'_{31} - N''_{11})(N'_{23} - N''_{13})} \theta_{x1}, \quad (40)$$

де коди N'_{13} , N'_{23} , і N'_{33} визначаються струмом нагрівання I_{23} .

Порівнюючи температуру θ_{x4} з попередньою θ_{x3} , одержуємо третє значення похибки обчислення дійсної температури

$$\delta \theta_{x3} = \theta_{x4} - \theta_{x3}. \quad (41)$$

Якщо значення $\delta \theta_{x3}$ більше за задану допустиму похибку вимірювання температури $\delta \theta_{\text{доп}}$, ітераційний процес послідовних наближень струму нагрівання I_2 продовжується. При цьому у рівняннях (31) і (32) підставляють наступне значення температури θ_{x4} і проводять черговий цикл вимірювань при четвертому значенні струму

$$I_2^2 = k \beta \theta_{x4}. \quad (42)$$

Ітераційний процес послідовних наближень до дійсної температури продовжується до досягнення нерівності

$$\theta_{x,i} - \theta_{x,i-1} \leq \delta \theta_{\text{доп}}, \quad (43)$$

де θ_{xi} і θ_{xi-1} - чергове і попереднє значення температури.

Якщо умова (43) досягнута, тобто похибка обчислення температури менша заданої, то значення температури останньої ітерації приймається за дійсну, тобто $\theta_{xi} = \theta_x$, а значення похибки терморезистивного перетворювача 7 визначають за виразом

$$\Delta \theta_x = \theta_{x1} - \theta_{x,i}. \quad (44)$$

Підставляючи значення температури, одержані в процесі ітераційної процедури, одержуємо ітераційну формулу для визначення похибки терморезистивного перетворювача

$$\Delta \theta_x = \theta_{x1} - \frac{(N'_{21} - N''_{11})(N'_{3i} - N''_{1i})}{(N'_{31} - N''_{11})(N'_{2i} - N''_{1i})} \theta_{x1}, \quad (45)$$

де θ_{x1} - температура об'єкта, одержана по номінальній статичній характеристиці терморезистивного перетворювача або за показами вторинного комплектного приладу в процесі повірки;

θ_{xi} - температура об'єкта, одержана по номінальній статичній характеристиці терморезистивного перетворювача при його

пусконаладжувальних випробовуваннях;

N'_1, N'_2 и N'_3 – коди падіння напруги від вимірювального струму на терморезистивному перетворювачі, що відповідають температурі об'єкта при пусконаладжувальних випробовуваннях: при θ_n і нагріванні його струмами I_1 і I_2 ;

N''_{1i}, N''_{2i} и N''_{3i} – коди падіння напруги на ТРП від вимірювального струму, що відповідають поточній температурі об'єкта при повірці ТРП і нагріванні його струмами I_{1i} и I_{2i} , встановленими за ітераційною процедурою.

Струм I_{2i} змінюється в процесі ітераційної процедури по програмі, а струм I_1 фактично остається сталим як при пусконаладжувальних дослідженнях, так і при повірці терморезистивного перетворювача.

Дійсну температуру об'єкта визначають з допомогою поправки

$$\theta_x = \theta_{x1} + \Delta\theta_x. \quad (46)$$

З одержаних виразів (44) і (45) видно, що значення похибки $\Delta\theta_x$ визначається тільки за результатами вимірювання падіння напруги на терморезистивному перетворювачі при пропусканні по ньому вимірювального струму I_0 в процесі досліджень і при повірці і не залежать від степені деформації номінальної статичної характеристики терморезистивного перетворювача, що повіряється, і теплового контакту з конструктивними елементами об'єкта. При цьому зміна еквівалентної теплопровідності від температури в процесі експлуатації також не впливає на точність повірки, що дозволяє виконувати дослідження і повірку при різних температурах терморезистивного перетворювача.

Пристрій працює в послідовності, яка визначається структурною схемою алгоритму (фіг. 4).

При повірці гнізда електричного з'єднання 10 (фіг. 1) виймають із штепселів 9 і замість них вмикають гнізда 1. Якщо схема під'єднання терморезистивного перетворювача, що повіряється, не чотиридротова, а дво- чи тридротова, то відповідно з'єднують пари струмових і потенціальних гнізд електричного з'єднання. Треба враховувати, що при цьому на повірочний пристрій буде поступати падіння напруги не тільки з терморезистивного перетворювача, що повіряється, але і з діляниць з'єднувальних дротів від його затискачів до контактів електричного з'єднання, включаючи і перехідні опори цих контактів.

До монтажу терморезистивного перетворювача на об'єкт проводять його стендові дослідження в лабораторії з метою визначення додаткових параметрів і характеристик, які не обумовлені діючими стандартами. В результаті визначають дані, властиві конкретному типу терморезистивного перетворювача, що повіряється: струми I_0 і I_1 , температуру сталого перегріву $\Delta\theta_0$, яка задається, і початкову температуру θ_n , а також інтервали часу Δt_1 и Δt_2 , необхідні для додаткових нагрівань (Δt_1) і наступних охолоджень (Δt_2) терморезистивного перетворювача даного типу до усталеної

температури (фіг. 3), які вводять в програму (крок 1п на фіг. 4).

Після запуску програми мікропроцесорного контролера (крок 3п програми) через терморезистивний перетворювач пропускається вимірювальний струм I_0 (крок 4п), падіння напруги

на терморезистивному перетворювачі U'_1 в аналого-цифровому перетворювачі 3

перетворюється в код N'_1 який запам'ятовується в оперативній пам'яті мікропроцесорного контролера 4 (крок 18). Потім при виключеному ключі 2 через терморезистивний перетворювач на протязі часу Δt_1 , пропускається нагріваючий струм I_1 (крок 19), після чого струм I_1 вимикається, а через терморезистивний перетворювач пропускається струм I_0 , вмикається ключ 2 (крок 20) і

визначаються значення N'_2 , яке запам'ятовується в оперативній пам'яті мікропроцесорного контролера 4 (крок 21), а потім слідує пауза Δt_2 для охолодження терморезистивного перетворювача до початкової температури. В мікропроцесорному контролері 4 по значенню коду N'_1 задається значення другого гріючого струму I_2 , який пропускається по терморезистивному перетворювачі на протязі часу Δt_1 (крок 23 програми).

На кроках 24 і 25 програми повторюються операції кроків 20 і 21, в результаті в оперативну пам'ять мікропроцесорного контролера заноситься

значення коду N'_3 . Тому, що контролер працює в режимі "дослідження", на кроці 26 програми

значення кодів N'_1, N'_2 і N'_3 заносяться в постійну пам'ять мікропроцесорного контролера (крок 15), де зберігаються разом з даними, введеними на кроці 14 програми під шифром, характерним для терморезистивного перетворювача даного типу.

При пуску програми (крок 16) в режимі "повірка" ці дані переносяться з постійної в оперативну пам'ять мікропроцесорного контролера 4. Програма проходить кроки 17...25, в

результаті яких визначаються значення кодів $N''_{11},$

N''_{21}, N''_{31} . Потім за формулами (30) і (31), в процесорі контролера 4 обчислюється наближене значення температури терморезистивного перетворювача θ_{x2} , її похибки $\delta\theta_{x1}$ по відношенню до визначеної за номінальною статичною характеристикою температурі θ_{x1} . Далі програмно формується нове значення струму I_{22} , квадрат

якого пропорційний одержаному коду N''_{12} (крок 27 програми).

На кроці 28 програми проводиться порівняння похибки $\delta\theta_{x1}$ обчислення дійсної температури θ_x терморезистивного перетворювача з допустимою похибкою $\delta\theta_{\text{доп}}$. Якщо одержана похибка перевищує допустиму, то програма повертається до кроку 23 і терморезистивний перетворювач підігрівається новим значенням струму I_{2i} , який

програмно формується у відповідності до формули (11). Знову визначається нове значення температури терморезистивного перетворювача θ_x , похибка її обчислення $\delta\theta_x$ по відношенню до обчисленої в попередньому ітераційному циклі температури $\theta_{x,i-1}$. На кроці 28 програми знову порівнюється похибка $\delta\theta_{x+1}$ з допустимою і якщо $\delta\theta_{x+1} > \delta\theta_{\text{доп}}$, ітераційний цикл знову повторюється з кроку 23.

У випадку, коли буде виконана умова $\delta\theta_{x+1} \leq \delta\theta_{\text{доп}}$, програма переходить до кроку 29, на індикаторі 5 (фіг. 1) висвітлюються обчислені за формулою (45) значення похибки $\Delta\theta_x$ і дійсне значення виміряної температури з врахуванням поправки, яка обчислена за формулою (46).

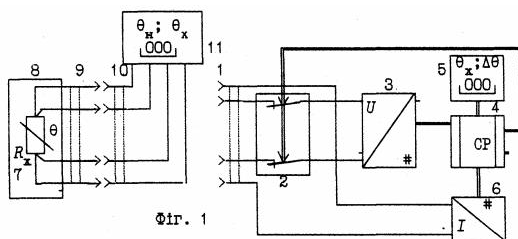
Приклад. Досліджувалися два мідних терморезистивних перетворювачі типу ТСМ 002-46 градуювання 50м/с і два платинових терморезистивних перетворювача типу ТСП 1390 градуювання 50П/В. При поминальній статичній характеристиці їх параметри були:

$R'_0 = 50,000\text{м}; \alpha = 0,00428 \text{ K}^{-1}$ для мідних терморезистивних перетворювачів і $\alpha_2 = 0,00391 \text{ K}^{-1}$ для платинових терморезистивних

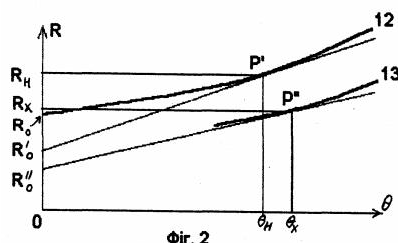
перетворювачів; електротеплові сталі часу: $\tau_1 = 2,4$ хвилини для мідних терморезистивних перетворювачів і $\tau_2 = 1,8\text{хв.}$ для платинових терморезистивних перетворювачів.

Таким чином, запропонований спосіб і пристрій не потребує змін конструкції стандартних терморезистивних перетворювачів, використання швидкодіючих аналого-цифрових і цифроаналогових перетворювачів, а також високоточних таймерів, які задають витримки часу на нагрівання і охолодження чутливих елементів терморезистивних перетворювачів. Перевірка відбувається по програмі і не потребує затрат ручної праці. Суттєвим недоліком тут можна вважати повільну дію: на кожний ітераційний цикл потрібний час не менше 10хв., що визначається електротепловою сталою часу терморезистивних перетворювачів (значення Δt_1 і Δt_2 на фіг. 3).

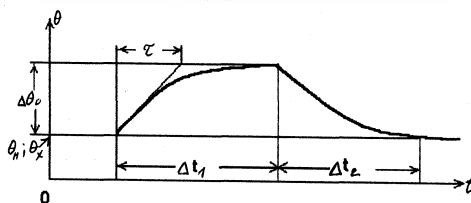
Зрозуміло, що протягом всього циклу перевірки температура об'єкта не повинна змінюватися на значення, більше заданої допустимої похибки. Проте остання умова виконується для більшості теплових технологічних об'єктів, які як правило мають велику теплову інерційність.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

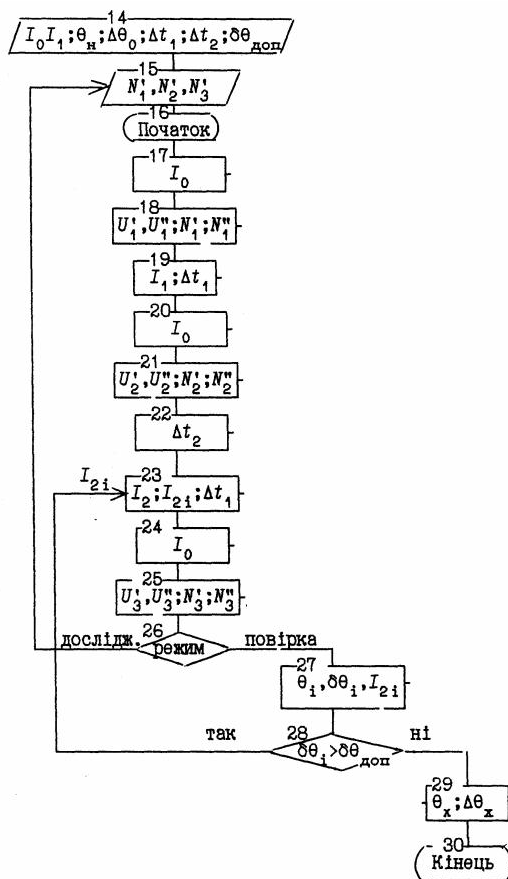


Fig. 4