



УКРАЇНА

(19) (UA)

(11) 38644

(51) 7 G01K15/00,  
G01K7/02

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ  
УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ПАТЕНТ на винахід

видано відповідно до Закону України  
"Про охорону прав на винаходи і корисні моделі"

Голова Державного департаменту  
інтелектуальної власності



М. Паладій

(21) 2000084730

(22) 08.08.2000

(24) 15.07.2003

(46) 15.07.2003. Бюл.№ 7

(72) Андрусак Степан Олексійович, Гордєєв Борис Миколайович, Грешнов Андрій Юрієвич, Жуков Юрій Даніїлович, Наталюк Михайло Филімонович

(73) Науково-виробниче товариство з обмеженою відповідальністю "AMICO"

(54) СПОСІБ ПЕРЕВІРКИ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА  
ТЕМПЕРАТУРИ В ТЕРМО- Е.Р.С. ТА ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЙОГО РЕАЛІЗАЦІЇ





УКРАЇНА

(19) UA (11) 38644 (13) A

(51) 7 G01K15/00, G01K7/02

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ  
НА ВИНАХІДвидається під  
відповідальність  
власника  
патенту(54) СПОСІБ ПЕРЕВІРКИ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ТЕМПЕРАТУРИ В ТЕРМО-Е.Р.С.  
ТА ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЙОГО РЕАЛІЗАЦІЇ

(21) 2000084730

(22) 08.08.2000

(24) 15.05.2001

(33) UA

(46) 15.05.2001, Бюл. № 4, 2001 р.

(72) Андрусак Степан Олексійович, Гордєєв Борис  
Миколайович, Грешнов Андрій Юрієвич, Жуков  
Юрій Даніілович, Наталюк Михайло Філімонович(73) Науково-виробниче товариство з обмеженою  
відповідальністю "AMICO"

(57) 1. Спосіб перевірки термоелектричного перетворювача температури (ТПТ) в термо-е.р.с., що полягає в нагріванні одних кінців спаю ТПТ та стабілізації температури других його кінців, вимірюванні термо-е.р.с. вимірювальним засобом при досягнутій різниці температур кінців ТПТ, порівнянні виміряного значення термо-е.р.с. з відповідним значенням термо-е.р.с. номінальної статичної характеристики ТПТ даного типу шляхом знаходження різниці термо-е.р.с. між вимірюваним і номінальним значеннями, по якій судять про похибку ТПТ та про його придатність до експлуатації, який відрізняється тим, що, не виймаючи гарячих кінців спаю ТПТ із контрольованого середовища, одночасно стабілізують температури холодних кінців ТПТ і їх продовжень при декількох різних відомих значеннях температури, після чого в момент стабільного значення температури в контрольованому середовищі, про що свідчить постійне значення термо-е.р.с., виміряної в місці холодних кінців ТПТ, розміщених у першому джерелі реперної температури, вимірюють всі інші значення термо-е.р.с. в місцях продовження холодних кінців ТПТ.

2. Спосіб за п. 1, який відрізняється тим, що вимірювання значень термо-е.р.с. в усіх місцях стабілізації температури виконують одночасно за допомогою, наприклад, багатоканального аналогоцифрового перетворювача із запам'ятовуванням результатів вимірювань.

3. Спосіб за пп. 1, 2, який відрізняється тим, що оцінюють похибку ТПТ в робочому діапазоні температури контрольованого середовища шляхом використання як зразкових мір (тобто джерел реперної температури) потрібної точки води для першого джерела реперної температури та температури плавлення галію, температур твердіння індію та олова - для подальших джерел, а на основі вимірюваних значень термо-е.р.с. знаходять значення коефіцієнта термо-е.р.с. в робочому діапа-

зоні ТПТ, за якими судять про нелінійність характеристики ТПТ в цьому діапазоні.

4. Спосіб за пп. 1, 2, 3, який відрізняється тим, що температуру одного з джерел реперної температури регулюють до моменту досягнення нульового значення термо-е.р.с. в цьому місці продовження холодних кінців ТПТ, у цей момент фіксують досягнуте значення температури регульованого джерела, яка номінальне дорівнює температурі контрольованого середовища.

5. Пристрій для способу перевірки ТПТ, що містить ТПТ, один (гарячий) кінець якого знаходиться у контрольованому середовищі, а холодні кінці - в джерелі реперної температури потрібної точки води, і вимірювальний засіб термо-е.р.с. ТПТ, який відрізняється тим, що в нього додатково введені декілька послідовно розташованих джерел реперної температури, одне з яких регульоване, блок пам'яті з попередньо занесеними табличне або поліноміальними значеннями номінальної статичної характеристики ТПТ в даному робочому діапазоні, обчислювальний блок, блок спеціального програмно-математичного забезпечення та блок реєстрації протоколу повірки, а вимірювальний засіб виконаний багатоканальним, число каналів якого на одиницю збільшене від числа джерел реперних значень температури, при цьому продовження холодних кінців ТПТ виконано термоелектричними дротами того ж типу, що і ТПТ, і заведено послідовно в кожне джерело з різними значеннями реперної температури, а місця стабілізації холодних кінців і їх продовжень з'єднані мідними дротами, відповідно, з кожним входом каналів вимірювального засобу, виходи якого приєднані до входів блока пам'яті, при цьому вихід останнього з'єднаний з входом обчислювального блока, вихід якого, у свою чергу, приєднаний до входу блока реєстрації протоколу повірки, а кожен вихід блока спеціального програмно-математичного забезпечення з'єднаний, відповідно, з керуючими входами блока пам'яті, обчислювального блока, регульованого джерела температури та блока реєстрації протоколу повірки, вихід індикатора встановленої температури зразкового ТПТ приєднаний до додаткового каналу вимірювального засобу.

6. Пристрій за п. 5, який відрізняється тим, що останнє з послідовно розташованих джерел реперної температури виконане регульованим.

(19) UA (11) 38644 (13) A



Винахід відноситься до електровимірювальної техніки і може бути використаний при повірці термоелектричних перетворювачів температури (ТПТ) в термо-е.р.с. в умовах експлуатації, тобто таких ТПТ, здійснити демонтаж яких неможливо через специфіку технологічного процесу, температуру якого контролюють за допомогою ТПТ (наприклад, контроль температури скраплених газів під тиском), або небезпечний для життя оператора (наприклад, контроль температури в твелах атомних електростанцій).

Відомий спосіб повірки ТПТ методом безпосереднього звіряння із зразковим ТПТ, для здійснення якого треба демонтувати ТПТ із об'єкта контролю і разом із зразковим ТПТ помістити в джерело регульованої температури (піч), порівнявши покази обох ТПТ (див. Інструкцію 163-62 по поверке технических термомпар. - Изд-во стандартов, 1966. - С. 79 або Гордов А.Н. Методы измерения температур в промышленности. - 1952. - С. 269). До недоліків способу повірки ТПТ методом безпосереднього звіряння слід віднести низьку точність через нерівномірне теплове поле в середині печі, тобто в цьому випадку зразковий і робочий (вимірювальний) ТПТ фактично знаходяться в різних температурних умовах.

Відомий також спосіб повірки ТПТ методом зразкової міри температури (методом джерела реперної температури (пат. США № 3499310, кл. 7-31, МПК G 01 15/00). При твердінні реперного матеріалу, тобто під час стабільного деякий час значення термо-е.р.с. ТПТ, його вимірюють, наприклад, мілівольтметром. До недоліків цього способу повірки ТПТ слід віднести визначення похибки робочого ТПТ в одній точці (при одній реперній температурі) діапазону вимірювання ТПТ, неможливо оцінити похибки в діапазоні експлуатації - тобто в діапазоні зміни температури контрольованого середовища (наприклад від 0 до 250°C).

Найближчим до запропонованого винаходу щодо технічної суті можна вважати спосіб повірки ТПТ за допомогою зразкової міри температури, який реалізований пристроєм згідно з а. с. СРСР № 609980, G01K 15/00 від 5.06.78 р. Згідно з цим способом, одні кінці спаю ТПТ нагрівають, а температури других його кінців стабілізують, вимірюють термо-е.р.с. вимірювальним засобом при досягнутій різниці температур кінців ТПТ, порівнюють виміряне значення термо-е.р.с. з відповідним значенням термо-е.р.с. номінальної статичної характеристики ТПТ даного типу шляхом знаходження різниці термо-е.р.с. між вимірюваним і номінальним значенням, за якою судять про похибку ТПТ та про його придатність до експлуатації. Цей спосіб повірки дозволяє визначити похибку ТПТ в робочих умовах, тобто без демонтажу ТПТ, але лише в одній точці, що недостатньо.

В основу винаходу поставлено задачу удосконалення способу повірки термоелектричного перетворювача температури (ТПТ) в термо-е.р.с., в якому за умов одночасного перебування холодних кінців спаю у декількох стабілізованих температурних режимах забезпечується зменшення похибки вимірів у робочому діапазоні вимірюваних темпе-

ратур, а за рахунок цього підвищується точність повірки ТПТ і зменшуються витрати на повірку.

Поставлену задачу вирішують тим, що у способі повірки ТПТ в термо-е.р.с., що полягає в нагріванні одних кінців спаю ТПТ та стабілізації температури інших його кінців, вимірюванні термо-е.р.с. вимірювальним засобом при досягнутій різниці температур кінців ТПТ, порівнянні виміряного значення термо-е.р.с. з відповідним значенням термо-е.р.с. номінальної статичної характеристики ТПТ даного типу шляхом знаходження різниці термо-е.р.с. між вимірюваним і номінальним значеннями, за якою судять про похибку ТПТ та про його придатність до експлуатації, згідно з винаходом, не виймаючи гарячих кінців спаю ТПТ із контрольованого середовища, одночасно стабілізують температуру холодних кінців ТПТ і їх продовжень при декількох різних відомих значеннях температури, після чого в момент стабільного значення температури в контрольованому середовищі, про що свідчить постійне значення термо-е.р.с., виміряної в місці холодних кінців ТПТ, розміщених у першому джерелі реперної температури, вимірюють всі інші значення термо-е.р.с. в місцях продовження холодних кінців ТПТ. Забезпечення одночасного перебування холодних кінців спаю ТПТ у декількох стабілізованих температурних режимах дозволяє уникнути похибки вимірювань в робочому діапазоні температур, пов'язаної з впливом температури вимірювання.

Вимірювання значень термо-е.р.с. в усіх місцях стабілізації температури виконують одночасно за допомогою, наприклад, багатоканального аналого-цифрового перетворювача із запам'ятовуванням результатів вимірювання. Це дозволяє зменшувати вплив нестабільності температури контрольованого середовища на результат повірки ТПТ за рахунок скорочення часу вимірювання значень термо-е.р.с. в усіх точках (місцях) стабілізації холодних кінців.

Враховують вплив нелінійності характеристики перетворення ТПТ, оцінюють похибку ТПТ в робочому діапазоні температури контрольованого середовища шляхом використання в якості зразкових мір (тобто джерел реперної температури) потрійної точки води для першого джерела реперної температури та температури плавлення галію, температур твердіння індію та олова - для подальших джерел, а на основі вимірюваних значень термо-е.р.с. знаходять значення коефіцієнта термо-е.р.с. в робочому діапазоні ТПТ, за якими судять про нелінійність характеристики ТПТ в цьому діапазоні. Тобто для врахування впливу нелінійності номінальної статичної характеристики (НСХ) ТПТ даного типу похибку його оцінюють в робочому (для даного об'єкта контролю) діапазоні температури шляхом вибору таких значень реперної температури зразкових мір (джерел) температури, щоб вони через рівномірні інтервали охоплювали робочий діапазон ТПТ.

Для експресної оцінки значень температури контрольованого середовища та спрощення вибору значень реперної температури температуру останнього джерела реперної температури регу-



люють до моменту досягнення нульового значення термо-е.р.с. в цьому місці продовження холодних кінців ТПТ, у цей момент фіксують досягнуте значення температури регульованого джерела, яка номінально дорівнює температурі контрольованого середовища. Так можна оцінити дійсне значення температури контрольованого середовища в момент повірки ТПТ з урахуванням похибки ТПТ, визначеної даним способом повірки ТПТ.

Відомий пристрій для реалізації способу повірки ТПТ методом безпосереднього звіряння із зразковим ТПТ, який містить вимірювальний та зразковий ТПТ, регульоване джерело температури, наприклад, електропіч, перемикач холодних кінців ТПТ, термостат для стабілізації температури холодних кінців та засіб вимірювання термо-е.р.с. обох ТПТ, наприклад, потенціометр (Інструкція 163-62 по поверке технических термомпар. Издательство стандартов. – 1966. - С. 79 або Гордов А.Н. Методы измерения температур в промышленности. – 1952. - С. 269). Цей пристрій не дозволяє виконати повірку ТПТ в умовах експлуатації через необхідність його демонтажу із об'єкта контролю, переривання технологічного процесу, що в ряді випадків неможливо. Окрім цього, точність вимірювань цим пристроєм низька.

Відомий також пристрій для повірки ТПТ методом зразкової міри температури (методом джерела реперної температури) (патент США № 3499310, кл. 7-31, МПК G01 15/00). Він складається із вимірювального ТПТ, робочий спай якого має безпосередній тепловий контакт з реперним матеріалом (наприклад, оловом, температура твердіння якого 231,9 °С). ТПТ, реперний матеріал разом з електроізоляційним матеріалом розміщені у захисному чохлі, котрий разом з ТПТ і реперним матеріалом знаходяться в індуктивній печі. Вимірювальний засіб може бути у вигляді, наприклад, мілівольметра. Такий пристрій неможливо використати при вимірюванні температури вибухонебезпечних середовищ (побутового газу, нафти, бензину тощо) через необхідність розплавлення реперного матеріалу, що може спричинити вибух контрольованого середовища. Окрім того, неможливо оцінити похибку вимірів температури в діапазоні експлуатації.

Найближчим до запропонованого винаходу щодо технічної суті є пристрій за а. с. СРСР № 609980, G01 K 15/00 від 5.06.78 р. Згідно з цим винаходом, пристрій для градування (повірки, калібрування) ТПТ складається із струмопідводів (штанг), резистивного електронагрівача, вимірювального ТПТ, герметичної ємкості, заповненої інертним газом, та реєстратора термо-е.р.с. ТПТ. Електронагрівач, виконаний із фольги металу для реперного температурного плавлення, наприклад, галію, має тепловий контакт разом із робочим спаєм ТПТ. За допомогою цього пристрою хоча і можливо визначити похибку ТПТ в робочих умовах, тобто без демонтажу ТПТ, але лише в одній точці, що недостатньо. Окрім цього, реалізація його неможлива при контролі температури у вибухонебезпечних середовищах через пропускання струму по електронагрівачу для його розплавлення. Цей пристрій визначений як прототип.

В основу винаходу поставлено задачу удосконалення пристрою для реалізації способу повірки

ТПТ в термо-е.р.с., в якому за умов одночасного перебування холодних кінців спаю у декількох різноманітних джерелах реперної температури забезпечується зменшення похибки вимірів у робочому діапазоні вимірюваних температур, а за рахунок цього підвищується точність повірки ТПТ і зменшуються витрати на повірку.

Поставлена задача вирішується тим, що у пристрої для реалізації способу повірки ТПТ, що містить ТПТ, один кінець якого знаходиться у контрольованому середовищі, а холодні кінці - в джерелі реперної температури потрійної точки води, і вимірювальний засіб термо-е.р.с. ТПТ, згідно з винаходом, додатково введені декілька послідовно розташованих джерел реперної (стабільної і відомої) температури з попередньо занесеними таблично або поліноміальними значеннями номінальної статичної характеристики ТПТ в даному робочому діапазоні, обчислювальний блок, блок спеціального програмно-математичного забезпечення та блок реєстрації протоколу повірки, а вимірювальний засіб виконаний багатоканальним, число каналів якого на одиницю більше від числа джерел реперних значень температури, при цьому продовження холодних кінців ТПТ виконано термоелектричними дротами того ж типу, що і ТПТ, і заведено послідовно в кожне джерело з різними значеннями реперної (стабільної) температури, а місця стабілізації холодних кінців їх продовжень з'єднані мідними дротами відповідно з кожним входом каналів вимірювального засобу, виходи якого приєднані до входів блока пам'яті, вихід останнього з'єднаний з входом обчислювального блоку, вихід якого, у свою чергу, приєднаний до входу блока реєстрації протоколу повірки, а кожен вихід блока програмно-математичного забезпечення з'єднаний відповідно з керуючими входами блока пам'яті, обчислювального блоку, регульованого джерела температури та блока реєстрації протоколу повірки, вихід індикатора зразкового ТПТ приєднаний до додаткового каналу вимірювального засобу.

Останнє з послідовно розташованих джерел реперної температури виконане регульованим.

Використання запропонованого технічного рішення дозволяє підвищити точність повірки в умовах експлуатації шляхом автоматизації процесу вимірювання і забезпечення оцінки похибки ТПТ в його робочому діапазоні, скорочення часу і витрат на повірку шляхом виконання її безпосередньо на об'єкті контролю і мінімізації тривалості вимірювальних процедур. Доказ підвищення точності повірки, його оперативність проведемо на конкретному прикладі, тобто на роботі пристрою, схему якого наведено на фігурі.

Пристрій для реалізації способу повірки термоелектричного перетворювача температури в термо-е.р.с. вміщує цистерну 1 з рідиною, температуру якої вимірюють, робочий ТПТ 2, який необхідно повірити, 3, 4, 5 - джерела реперної температури, з'єднані послідовно, 6 - джерело зразкової температури - останнє з послідовно з'єднаних джерел і виконане регульованим. 7 - багатоканальний (на фігурі - п'ятиканальний) аналого-цифровий перетворювач (АЦП), входами приєднаний до відповідних джерел реперної температури. Виходи АЦП приєднані до відповідних входів блока пам'яті 8 із занесеними попередньо таблич-



ними або поліноміальними даними номінальної статичної характеристики (НСХ) ТПТ у даному робочому інтервалі температури. Блок спеціального математичного забезпечення 9 з'єднаний з багатоканальним АЦП 7, блоком пам'яті 8, обчислювальним блоком 10, блоком реєстрації протоколу повірки 11 ТПТ та зразковим ТПТ 12 для контролю температури в джерелі 6. Холодні кінці 13 ТПТ 2 заведені послідовно у кожне джерело 3, 4, 5 з різними значеннями реперної температури і джерело зразкової температури 6, а їх продовження 14 виконані термоелектричними дротами того ж типу, що і ТПТ 2.

Місця (точки) стабілізації температури холодних кінців ТПТ і їх продовжень з'єднані мідними дротами 15 з входами відповідних каналів в АЦП. Мідні дроти мають найменший опір струму.

Робочий ТПТ 2 та дроти 14 можуть бути виконані з хромель-копелю, наприклад. Джерела реперної температури 3, 4, 5 і 6 можна використати, наприклад: джерело 3 - з ПТВ ( $T_{p1}=0,01^{\circ}\text{C}$ ), джерело 4 - з галію ( $T_{p2}=29^{\circ}\text{C}$ ), джерело 5 - з індію ( $T_{p3}=156,6^{\circ}\text{C}$ ) та олова ( $T_{p4}=231,9^{\circ}\text{C}$ ) або з іншими значеннями реперної температури залежно від температурного діапазону контролю середовища або технологічного процесу.

Як багатоканальний АЦП 7 можна використати плату L264 L-Card.

Блок пам'яті 8, блок спеціального математичного забезпечення 9, обчислювальний блок 10, блок реєстрації протоколу повірки 11 можуть бути виконані у вигляді алгоритмів в управляючій ЄОМ. В якості управляючої ЄОМ можна використати переносну ЄОМ типу Notebook.

Як зразковий ТПТ 12 використовують ТПУ-0198.

Пристрій для повірки ТПТ, зображений на фігурі, працює таким чином. Повірку ТПТ 2 здійснюють в робочих умовах експлуатації, тобто на об'єкті 1 контролю температури, наприклад, в цистерні зберігання нафти (бензину тощо). Для цього не виймають робочий спай ТПТ 2 із цистерни, а лише холодні кінці із ТПТ 2 замість звичайного стабілізатора температури, наприклад, компенсаційної коробки температури холодних кінців, що застосовується у промисловості з аналогічною метою, запропоновано використати джерело 3 реперної температури ПТВ ( $T_{p1}=0,01^{\circ}\text{C}$ ). Продовження холодних кінців компенсаційними дротами 14 заводять послідовно в друге 4, третє 5; четверте 6 джерела з різними реперними значеннями температури, наприклад, галію ( $T_{p2}=29^{\circ}\text{C}$ ), індію ( $T_{p3}=156,6^{\circ}\text{C}$ ) та олова ( $T_{p4}=231,9^{\circ}\text{C}$ ) або з іншими значеннями реперної температури залежно від температурного діапазону контролю середовища або технологічного процесу. В принципі, останнє джерело 5 може бути і не реперним, а лише регульованим із контролем досягнутої температури, наприклад, за допомогою зразкової температури 12. Термо-е.р.с.  $E_1$  вимірюють в такий момент, коли контрольоване середовище об'єкта 1 перебуває в стаціонарному тепловому режимі, тобто не в моменти завантаження (розвантаження) цистерни 1. Про стабільність температури  $T_x$  в цистерні 1 свідчить постійність в часі значення термо-е.р.с.  $E_1$ , тобто повірку ТПТ 2 здійснюють за умов  $E_1=\text{const}$ .

Для скорочення часу вимірювання значень термо-е.р.с.  $E_1, E_2, E_3$  та  $E_4$  їх вимірюють одночасно багатоканальним АЦП 7, результати вимірювання з якого надходять в блок пам'яті 8, де вони запам'ятовуються за командою програмно-математичного забезпечення 9. Окрім цього, програма блоку 9 складена таким чином, що при одному значенні  $T_{x1}=\text{const}$  АЦП здійснює не менше 40 відліків значень  $E_1, E_2, E_3, E_4$ . Через певний час (наприклад, через 10 хвилин, 30 хвилин, 1 рік або інший час, тривалість якого може змінюватися програмним способом) вимірювання  $E_1; E_2; E_3; E_4$  повторюються. Після набору масиву даних значень  $E_1; E_2; E_3; E_4$  пристрій (блоки 8, 9, 10) обробляє результати вимірювання відповідності до рекомендацій ГОСТ 8.207. Таким чином, в подальших обчисленнях приймають участь середні значення  $E_1; E_2; E_3; E_4, T_x$  і  $\alpha$ .

Отже, в момент вимірювання значень термо-е.р.с. маємо:

$$E_1=\alpha(T_x-T_{p1}) \quad (1)$$

де;  $\alpha=\text{const}$  - коефіцієнт термо-е.р.с. даного типу ТПТ.

$$E_2=\alpha(T_x-T_{p2}) \quad (2)$$

$$E_3=\alpha(T_x-T_{p3}) \quad (3)$$

$$E_4=\alpha(T_x-T_{p4}) \quad (4)$$

Далі регулюють температуру  $T_4$  (формула 4) до тих пір, поки:

$$E_4=\alpha(T_x-T_4)=0 \quad (5)$$

Розглядаючи рівняння (4), тобто  $\alpha(T_x-T_4)=0$ , приходимо до висновку, що  $\alpha \neq 0$ , тобто коефіцієнт термо-е.р.с. в (5) не може дорівнювати нулю. Значить  $T_x-T_4=0$ , тобто лише різниця температури дорівнює нулю, а це значить, що

$$T_x=T_4 \quad (6)$$

Рівняння (6) може бути використане для оперативного контролю безпечності і правильності технологічного процесу в об'єкті 1.

Розв'яжемо попарно рівняння (1) і (2); (1) і (3); (1) і (4) відносно  $T_x=\text{const}$

$$T_x = \frac{E_1 + \alpha T_{p1}}{\alpha} \quad ; \quad T_x = \frac{E_2 + \alpha T_{p2}}{\alpha} \quad (7)$$

В принципі, із (7) вже можна визначити  $T_x$ , бо всі величини у (7) будуть відомі. Якщо відомий тип ТПТ, наприклад, хромель-копель, то тоді  $\alpha=70$  мкВ/ $^{\circ}\text{C}$ . Однак із часом експлуатації ТПТ може зазнати старіння, що призводить до зміни  $\alpha$  на  $\alpha' \neq 70$  мкВ/ $^{\circ}\text{C}$ . Тому доцільно розв'язати рівняння (7) відносно  $\alpha$ , беручи до уваги, що  $T_x=\text{const}$ .

Тоді  $E_1 + \alpha T_{p1} = E_2 + \alpha T_{p2}$ ; звідки

$$\alpha = \frac{E_1 - E_2}{T_{p2} - T_{p1}} \quad (8)$$

Підставивши (8) у (7), маємо:

$$T_x = \frac{E_1 T_{p2} - E_1 T_{p1} + E_1 T_{p1} - E_2 T_{p1}}{E_1 - E_2} = \frac{E_1 T_{p2} - E_2 T_{p1}}{E_1 - E_2} \quad (9)$$

Із (9) видно, що температура  $T_x$  виражена через відомі ( $T_{p1}$  та  $T_{p2}$ ) і виміряні параметри (величини).

Розв'язавши (1) і (3) відносно  $T_x$  і  $\alpha$ , маємо:

$$\alpha' = \frac{E_1 - E_3}{T_{p3} - T_{p1}} \quad (10)$$



$$T_x' = \frac{E_1 T_{p3} - E_3 T_{p1}}{E_1 - E_3} \quad (11)$$

Аналогічно із (1) та (4) знаходимо, що

$$\alpha'' = \frac{E_1 - E_4}{T_4 - T_{p1}} \quad (12)$$

$$T_x'' = \frac{E_1 T_{p4} - E_4 T_{p1}}{E_1 - E_4} \quad (13)$$

Визначення  $\alpha$ ,  $\alpha'$  та  $\alpha''$  і  $T_x$  згідно із визначеними формулами (8)-(13) здійснює обчислювальний блок (10) за командою програмного блока 9, який також керує процесом. Запам'ятовування цих значень здійснюється блоком пам'яті (8) та передаються для обчислень в блок (10). Блок 10 за спеціальною програмою блока 9 аналізує оптимальні значення  $\alpha$ ,  $\alpha'$  та  $\alpha''$ .

Якщо  $\alpha = \alpha' = \alpha''$ , то характеристика перетворення ТПТ в робочому діапазоні - лінійна, і повірку ТПТ достатньо здійснити при двох значеннях температури в контрольованому середовищі, наприклад, вранці і опівдні (у випадку контролю температури у відкритих цистернах нафтозховища, коли, наприклад, вранці  $T_{x1} = 5^\circ\text{C}$ , або опівдні  $T_{x2} = 30^\circ\text{C}$ . В цьому випадку поступають так.

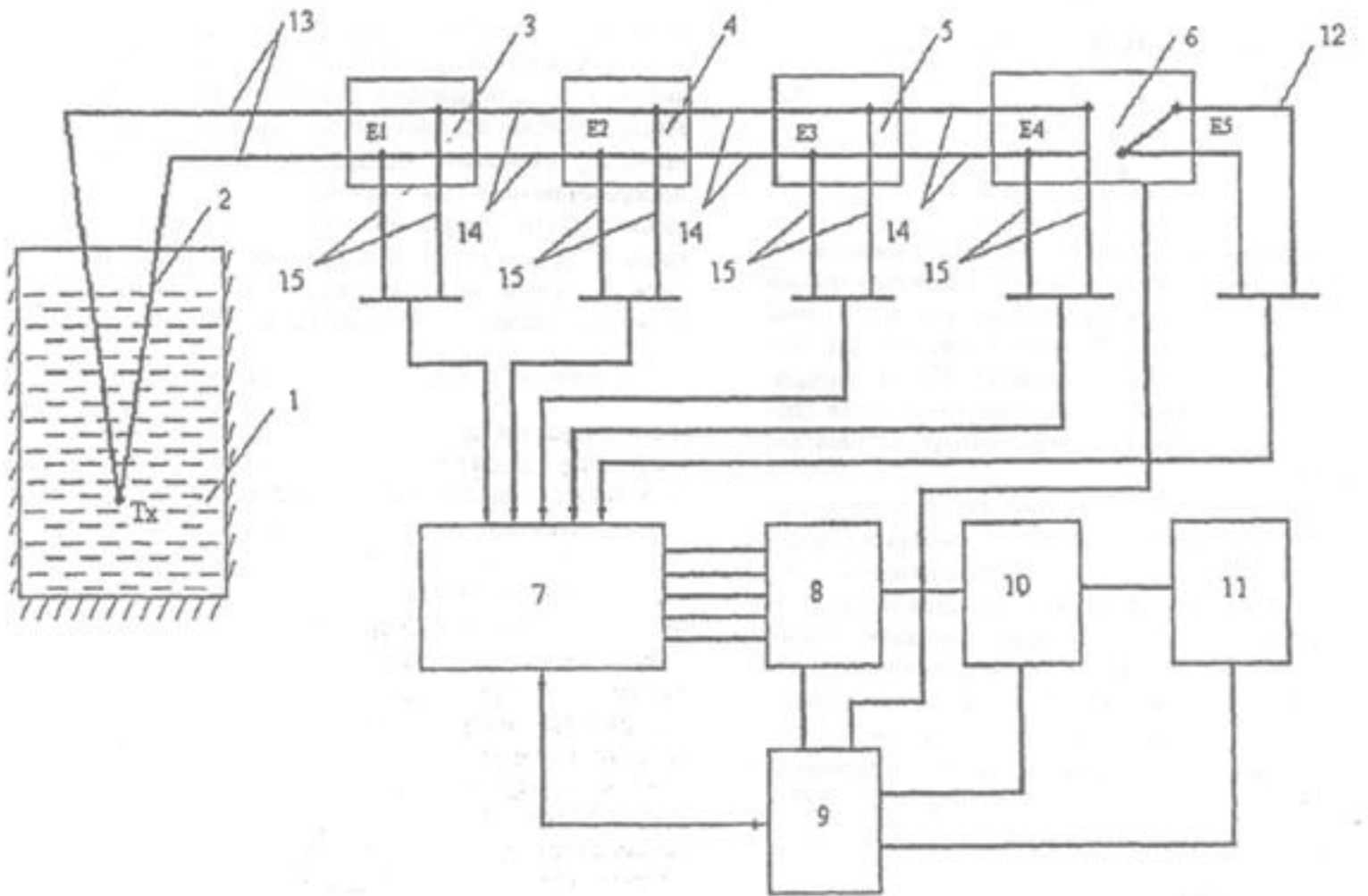
Оскільки  $\alpha = \alpha' = \alpha'' = \text{const}$ , то знайдені значення  $T_x$  із (формул (9), (11) та (13) усереднюють, тобто знаходять блок (10)  $T_{cp} = \frac{T_x + T_x' + T_x''}{3}$ .

Після чого відбувається за допомогою блока 9 (тобто програмним чином) порівняння вимірних значень  $E_1$ ,  $E_2$  і  $E_3$  із табличними (поліноміальними) значеннями НСХ, занесеними в блок пам'яті 9 для даних  $\Delta T_i = T_{cp} - T_{pi}$ , де  $i = 1, 2, 3, 4$  (див. формули (1)-(4)). На основі цього порівняння знаходять похибку ТПТ в робочих умовах експлуатації. Аналогічно поступають і при іншому значенні  $T_{x1}$ , тобто  $T_{x2}$ . В зв'язку з тим, що характеристика ТПТ лінійна (для цього випадку), на основі вимірних і табульованих значень термо-е.р.с. (для  $T_{x1}$  і  $T_{x2}$ ), програмним способом здійснюється апроксимація вимірної характеристики ТПТ на весь робочий діапазон і її порівняння з НСХ для цього ж діапазону, на основі чого принтер 11 друкує протокол повірки ТПТ в робочому діапазоні ТПТ. Якщо ж НСХ ТПТ нелінійна в робочому діапазоні, тобто  $\alpha \neq \alpha' \neq \alpha''$ , то алгоритми роботи пристрою повірки ТПТ програмне змінюються таким чином. Визначають відносно

нелінійність характеристики ТПТ як  $\frac{\alpha}{\alpha'}$  і  $\frac{\alpha'}{\alpha''}$ , порівнюючи її із похибкою апроксимації прямою лінією, яку порівнюють з  $\Delta_{\text{доп}}$  ТПТ (де  $\Delta_{\text{доп}}$  - допустима похибка ТПТ для даного технологічного процесу). Якщо похибка від нелінійності менша за  $\Delta_{\text{доп}}$ , наприклад, становить  $0,2\Delta_{\text{доп}}$ , то пристрій повірки програмним шляхом переходить в перший алгоритм роботи. Якщо нелінійність більша, наприклад,  $0,5\Delta_{\text{доп}}$ , то лінійну апроксимацію характеристики змінюють на лінійно-відрізкову, для чого збільшують число  $\Delta T_i$ , наприклад, до 6-8, зменшуючи їх значення, особливо на ділянці, де  $\frac{\alpha}{\alpha'}$  чи  $\frac{\alpha'}{\alpha''}$  має

екстремум. На цих ділянках характеристики ТПТ виконують додатково вимірювання термо-е.р.с. або шляхом використання додаткових джерел реперної температури, або шляхом використання регульованого джерела  $\theta$ , температуру в якому встановлюють такою, щоб  $\Delta T_i$  знаходилася в нелінійній ділянці характеристики ТПТ. Аналогічно описаному вище вимірюють додаткові значення термо-е.р.с. при декількох значеннях температури  $T_x$  контрольованого середовища і аналогічно визначають похибки ТПТ при нелінійній характеристиці перетворення, після чого принтер друкує протокол повірки ТПТ із значеннями похибки та висновком про придатність ТПТ до експлуатації. Залежності від специфіки експлуатації ТПТ в блок 9 закладають програму і наступного алгоритму повірки. Для реального (наприклад, заданого) діапазону температури експлуатації ТПТ та декількох значень  $\Delta T_i$  на основі табличних даних НСХ визначають номінальні значення коефіцієнтів термо-е.р.с.  $\alpha_n, \alpha'_n, \dots, \alpha''_n$ , які заносять в пам'ять блока 10. В подальшому на основі одержаних аналогічно описаному вище значень  $\alpha, \alpha', \alpha'', \alpha'$  знаходять значення похибки ТПТ шляхом порівняння  $\alpha'_n$  із  $\alpha'$ , отриманим в процесі повірки ТПТ.

Таким чином, запропонований спосіб повірки ТПТ і пристрій для його реалізації дозволяє значно підвищити точність повірки, його оперативність, зекономити час і витрати на повірку, характеризується високою адаптивністю до об'єкту контролю та повною автоматизацією повірчих процедур. Запропонований пристрій дозволяє проводити повірку його безпосередньо на об'єкті контролю, не перериваючи технологічного процесу.



Фіг.

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

Підписано до друку 23.10. 2001 р. Формат 60x84 1/8.  
 Обсяг 0,75 обл.-вид. арк. Тираж 50 прим. Зам. 5812

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