



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 56614

(13) A

(51) 7 G01R7/02

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВІНАХІДВИДАЄТЬСЯ ПІД
ВІДПОВІДАЛЬНІСТЬ
ВЛАСНИКА
ПАТЕНТУ

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ДІЙСНОГО ЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

1

2

(21) 2002076364

(22) 30 07 2002

(24) 15 05 2003

(46) 15 05 2003, Бюл. №5, 2003 р.

(72) Кондратов Владислав Тимофійович,
Зарніцина Ганна Олександрівна, Сердюк Наталія
Максимівна(73) КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

(57) 1 Спосіб визначення дійсного значення температури, який заснований на поділі світлового потоку від нагрітого об'єкта на два сфокусованих потоки, візуалізації зображення об'єкта по одному з потоків, направленні другого світлового потоку на поверхню чутливого елемента фотоприймача, виділенні з нього інформативного світлового потоку $\Phi_x(\lambda)$ у заданому діапазоні довжин хвиль, перетворенні його у постійну напругу шляхом низькочастотної модуляції потоку, перетворення в електричний сигнал, підсиленні його по амплітуді, демодуляції, інтегруванні і вимірюванні одержаної напруги, по якій судять про дійсне значення температури з використанням електронних таблиць відповідності, який відрізняється тим, що спочатку перетворюють у напругу нульове значення інтенсивності світлового потоку при температурі T_1 навколишнього середовища, вимірюють і запам'ятовують отримане значення напруги U_1 , у тому ж діапазоні довжин хвиль формують перший калібрований за значенням інтенсивності світловий потік Φ_2 , що відповідає заданому значенню температури T_2 і дорівнює різниці двох каліброваних за значенням інтенсивності світлових потоків Φ_1 і $\Delta\Phi_0$, після перетворення світлового потоку Φ_2 в постійну напругу U_2 , вимірюють її і запам'ятовують отримане значення, аналогічним чином формують другий калібрований за значенням інтенсивності світловий потік Φ_3 , що відповідає заданому значенню температури T_3 , який дорівнює сумі двох каліброваних за значеннями інтенсивності світлових потоків Φ_1 і $\Delta\Phi_0$, після перетворення світлового потоку Φ_3 в постійну напругу U_3 , вимірюють її і запам'ятовують отримане значення, відновлюють дію інформативного світлового потоку Φ_x , що відповідає температурі T_x на поверхню чутливого елемента фотоприймача, збільшують значення

інтенсивності світлового потоку Φ_x на значення інтенсивності першого світлового потоку Φ_2 , після перетворення першого сумарного світлового потоку Φ_4 в постійну напругу U_4 , вимірюють її і запам'ятовують отримане значення, збільшують значення інтенсивності інформативного світлового потоку Φ_x на значення інтенсивності другого світлового потоку Φ_3 , після перетворення другого сумарного світлового потоку Φ_5 в постійну напругу U_5 , вимірюють її і запам'ятовують отримане значення, а про дійсне значення напруги U_x , пропорційне значенню інтенсивності інформативного світлового потоку Φ_x , судять згідно з рівнянням надлишкових вимірювань

$$U_x = U_2 \left[n_1 \Delta U_0 \frac{U_5 + U_4 - n_2 U_1}{U_2((U_5 - U_4) - (U_3 - U_2)) + n_3 \Delta U_0 (U_2 + U_3 - n_2 U_1)} - 1 \right],$$

де $n_1 = 3$, $n_2 = 2$, $n_3 = 3$,

ΔU_0 - приріст каліброваного за значенням світлового потоку, причому $\{\Delta U_0\} = 0,5(\{U'_4\} - \{U'_3\})$, U'_2 - напруга, пропорційна інтенсивності світлового потоку Φ_1 , U_1 - U_5 - напруги, що відповідають світловим потокам Φ_1 - Φ_5

2 Спосіб за п. 1, який відрізняється тим, що калібровани та стабільні по інтенсивності світлові потоки Φ_1 , Φ_2 і Φ_3 формують рівними по інтенсивності світловими потоками Φ_{01} , Φ_{02} і Φ_{03} від моделі абсолютно чорного тіла і пропорційними напругам U'_2 , U'_3 і U'_4 відповідно, тобто

$$\{U'_2\} = \{\Phi_1\} \{S_{пр}\},$$

$$\{U'_3\} = (\{\Phi_1\} - \{\Delta\Phi_0\}) \{S_{пр}\},$$

$$\{U'_4\} = (\{\Phi_1\} + \{\Delta\Phi_0\}) \{S_{пр}\},$$

де $\{S_{пр}\}$ - значення крутості загальної функції перетворення світлового потоку в напругу, обумовлену при вимірах каліброваного по інтенсивності потоку Φ_{0x} від моделі абсолютно чорного тіла, яка нагріта до температури T_{0x} у межах динамічного діапазону їх значень

3 Спосіб за п. 1, який відрізняється тим, що послаблюють інтенсивність інформативного світлового потоку Φ_x до значення інтенсивності світлового потоку Φ_2 , що відповідає температурі T_2 , за допомогою сірого клина, фіксують перше положення сірого клина і відповідне йому значення

(13) A

(11) 56614

(19) UA

напруги U''_3 , послаблюють інтенсивність інформативного світлового потоку Φ_x до значення інтенсивності світлового потоку Φ_3 , що відповідає температурі T_3 , шляхом подальшого мікропереміщення сірого клина, фіксують друге положення сірого клина і відповідне йому значення напруги U''_4 , визначають різницю заданих і отриманих напруг U'_4 , U'_3 , U''_4 і U''_3 , по відношенню отриманих значень

різниць ΔU_1 і ΔU_2 напруг визначають коефіцієнт перепускання випромінювання середовищем, тобто

$$k_{\text{пр}} = (\{U'_4\} - \{U'_3\}) / (\{U''_4\} - \{U''_3\}) = \{\Delta U_1\} / \{\Delta U_2\},$$

отримане значення температури T'_x зменшують у $k_{\text{пр}}$ раз, а по одержаному результату $\{T_x\} = \{T'_x\} / k_{\text{пр}}$ судять про уточнене значення температури.

Винахід відноситься до області вимірювальної техніки і може бути застосований для вимірювання великих за значенням температур важкодоступних тіл і середовищ оптичним термометром.

Відомий оптико-електронний спосіб вимірювання температури по світловому потоку від об'єкта (див. Поскачей А.А., Чубарев Е.П. Оптико-електронні системи вимірювання температури - М. Енергія, 1979 - 208с іл.), який полягає у тому, що світловий потік в заданому діапазоні довжин хвиль перетворюється в електричну напругу, по якій судять про дійсне значення температури з використанням градуированих кривих чи електронних таблиць відповідності.

Недоліком цього способу є недостатня точність вимірювання температури. Даний недолік обумовлений нелінійністю і нестабільністю функції перетворення (ФП) чутливого елемента фотоприймача, що приводить до появи похибки від нелінійності, адитивної і мультиплікативної складових систематичної похибки. У разі відсутності точних даних про коефіцієнт перепускання випромінювання середовищем виникає похибка, яка обумовлена ослабленням інтенсивності випромінювання досліджуваного об'єкта середовищем.

Відомий також спосіб визначення дійсного значення температури описаний у роботі (Назаренко Л.А., Ромоданов И.С., Кисиль О.М., Серпенко П.П. Еталонний оптичний пірометр ЕОП-93//Харків ДНВО «Метрологія» Український метрологічний журнал -1995-Вип. 23 - с.46-48), який заснований на поділі світлового потоку від нагрітого об'єкта на два сфокусовані потоки, візуалізації зображення об'єкта по одному з потоків, направленні другого світлового потоку на поверхню чутливого елемента фотоприймача, виділенні з нього інформативного світлового потоку $\Phi_X(A)$ у заданому діапазоні довжин хвиль, перетворення його у постійну напругу шляхом низькочастотної модуляції потоку, перетворення в електричний сигнал, підсиленні його по амплітуді, демодуляції, інтегруванні і вимірюванні одержаної напруги, по якій судять про дійсне значення температури з використанням електронних таблиць відповідності.

Даному способу властива недостатня точність вимірювання температури, яка обумовлена нелінійністю, а також довгостроковою і температурною нестабільністю ФП фотоприймача. Останнє обумовлює появу похибки від нелінійності, адитивної і мультиплікативної складових систематичної похибки. Крім того відомим способом властива похибка, яка обумовлена впливом середовища на інтен-

сивність потоку випромінювання від досліджуваного об'єкта. Це обумовлено тим, що відомий спосіб не забезпечує визначення коефіцієнта перепускання середовища і його урахування при визначенні значення температури.

В основу винаходу покладена задача створення такого способу визначення дійсного значення температури, у якому шляхом зміни умов виконання операцій, забезпечилося б підвищення точності вимірювання для будь-яких типів фотоприймачів з неплінійними функціями перетворення.

Поставлена задача вирішується тим, що в спосіб визначення дійсного значення температури, заснованому на поділі світлового потоку від нагрітого об'єкта на два сфокусовані потоки, візуалізації зображення об'єкта по одному з потоків, направленні другого світлового потоку на поверхню чутливого елемента фотоприймача, виділенні з нього інформативного світлового потоку $\Phi_x(\lambda)$ у заданому діапазоні довжин хвиль, перетворенні його у постійну напругу шляхом низькочастотної модуляції потоку, перетворення в електричний сигнал, підсиленні його по амплітуді, демодуляції, інтегруванні і вимірюванні одержаної напруги, по якій судять про дійсне значення температури з використанням електронних таблиць відповідності, згідно винаходу, спочатку перетворюють у напругу нульове значення інтенсивності світлового потоку при температурі T_1 навколишнього середовища, вимірюють і запам'ятовують отримане значення напруги U_1 , у тому ж діапазоні довжин хвиль формують перший калібрований за значенням інтенсивності світловий потік Φ_2 , що відповідає заданому значенню температури T_1 і дорівнює різниці двох каліброваних за значенням інтенсивності світлових потоків Φ_1 і $\Delta\Phi_0$, після перетворення світлового потоку Φ_2 в постійну напругу U_2 , вимірюють її і запам'ятовують отримане значення, аналогічним чином формують другий калібрований за значенням інтенсивності світловий потік Φ_3 , що відповідає заданому значенню температури T_3 , який дорівнює сумі двох каліброваних за значеннями інтенсивності світлових потоків Φ_1 і $\Delta\Phi_0$, після перетворення світлового потоку Φ_3 в постійну напругу U_3 , вимірюють її і запам'ятовують отримане значення, відновлюють дію інформативного світлового потоку Φ_x , що відповідає температурі T_x , на поверхню чутливого елемента фотоприймача, збільшують значення інтенсивності світлового потоку Φ_x на значення інтенсивності першого світлового потоку Φ_2 , після перетворення першого сумарного світлового потоку Φ_4 в постійну напругу

U_4 , вимірюють і і запам'ятовують отримане значення, збільшують значення інтенсивності інформативного світлового потоку Φ_x на значення інтенсивності другого світлового потоку Φ_3 , після перетворення другого сумарного світлового потоку Φ_5 в постійну напругу U_5 , вимірюють і і запам'ятовують отримане значення, а про дійсне значення напруги \mathcal{E}/x , пропорційне значенню інтенсивності інформативного світлового потоку Φ_x , судять згідно з рівнянь надлишкових вимірювань

$$U_x = U_2 \left[n_1 \Delta U_0 \frac{U_5 + U_4 - n_2 U_1}{U_2 ((U_5 - U_4) - (U_3 - U_2)) + n_3 \Delta U_0 (U_2 + U_3 - n_2 U_1)} - 1 \right]$$

де $n_1 = 3$, $n_2 = 2$, $n_3 = 3$,

ΔU_0 - приріст каліброваного за значенням світлового потоку, причому $\{\Delta U_0\} = 0,5 \{U_4\} - \{U_3\}$, U_2 - напруга, пропорційна інтенсивності світлового потоку Φ_1 , U_1 , U_5 -напруги, що відповідають світловим потокам Φ_1 , Φ_5

Крім того, доцільно, щоб калібровані та стабільні по інтенсивності світлові потоки Φ_1 , Φ_2 і Φ_3 формували рівними по інтенсивності світловим потокам Φ_{01} , Φ_{02} і Φ_{03} від моделі абсолютно чорного тіла і пропорційними напругам U_2 , U_3 і U_4 відповідно, тобто

$$\{U_2\} = \{\Phi_1\} \{S_{np}\},$$

$$\{U_3\} = \{\Phi_2\} \{S_{np}\},$$

$$\{U_4\} = \{\Phi_3\} \{S_{np}\},$$

де $\{S_{np}\}$ - значення крутості загальної функції перетворення світлового потоку в напругу, обумовлена при вимірах каліброваного по інтенсивності потоку Φ_{0x} від моделі абсолютно чорного тіла, яка нагріта до температури T_{0x} , у межах динамічного діапазону їх значень

Крім того, доцільно, щоб послаблювали інтенсивність інформативного світлового потоку Φ_x до значення інтенсивності світлового потоку Φ_3 , що відповідає температурі T_1 , за допомогою сірого клина, фіксували перше положення сірого клина і відповідне йому значення напруги U''_3 , послаблювали інтенсивність інформативного світлового потоку Φ_x до значення інтенсивності світлового потоку Φ_3 , що відповідає температурі T_3 , шляхом подальшого мікропереміщення сірого клина, фіксували друге положення сірого клина і відповідне йому значення напруги U''_4 , визначали різницю заданих і отриманих напруг U_4 і U_3 , U''_4 і U''_3 , по відношенню отриманих значень різниць ΔU_1 і ΔU_2 напруг визначали коефіцієнт перепускання випромінювання середовищем, тобто

$$k_{np} = (\{U_4\} - \{U_3\}) / (\{U''_4\} - \{U''_3\}) = \{\Delta U_1\} / \{\Delta U_2\}$$

отримане значення температури T_x зменшували у k_{np} раз, а по отриманому результату $\{T_x\} = \{T_3\} / k_{np}$ судили про уточнене значення температури

Встановлення спочатку нульового значення інтенсивності світлового потоку, далі другого, третього каліброваних за значенням світлових потоків та четвертого і п'ятого світлових потоків, які є результатом складання інформативного світлового потоку і другого та третього потоків відповідно, перетворення їх в відповідні напруги та вимірювання їх значень, знаходження дійсного значення напруги, пропорційної значенню інтенсивності інформативного світлового потоку, згідно із рівнянням надлишкових вимірювань, по якому судять

про дійсне значення температури, дозволяє вимірювання як невідомого по інтенсивності світлового потоку, так і по інтенсивності ряду світлових потоків, сформованих за запропонованими правилами, і виключити адитивну, мультиплікативну і нелінійну складові похибки вимірювання, а також похибки, яка обумовлена різними значеннями коефіцієнта перепускання випромінювання середовищем, що забезпечує підвищення точності вимірювання для будь-яких типів фотоприймачів х нелінійними функціями перетворення

На фіг 1 зображена структурна схема цифрового оптичного пірметра

На фіг 2 - блок-схема алгоритму роботи пристрою

Суть запропонованого способу виміру температури пояснюється структурною схемою оптичного пірметра, в якому послідовно з'єднані досліджуваній об'єкт 1, дзеркало 2, вхідна оптика 3, сірий клин 4, блок 5, що містить модулятор (обтюраторний диск) з оптичною, фотоприймач 6 з інтерфільтром, та МДМ-підсилювач 7, вихід якого з'єднаний з цифровим вольтметром 8, управляючий вхід МДМ-підсилювача 8 приєднаний до виходу підсилювач-формував синхронний імпульсів 9, вхід якого підключений до оптики блоку 5, причому, із дзеркалом 2 оптично з'єднаний світловипромінюючий діод 10, управління якого, як і управління вхідною оптикою 3 та сірим клином 4 здійснюється вручну Фотоприймач 6, МДМ-підсилювач 7 та підсилювач-формував синхронних імпульсів 9 розташовані в термостаті 11, в якому розміщені послідовно з'єднані датчик температури 12, підсилювач сигналу з датчика температури 13 та нагрівач 14 Позиціями 15 - 73 позначені елементи блок-схеми алгоритму роботи пристрою

Пристрій працює наступним чином

Випромінювання від досліджуваного об'єкта (ДО) 1 фокусується за допомогою вхідної оптики 3 і модулюється обтюраторним диском, який є складовою часткою блока 5 Для обертання обтюраторного диска застосовано синхронний двигун типу ДСМ 2П-220 Блок 5 містить оптичну, за допомогою якої на його другому виході (див Фіг 1) формується змінна електрична напруга, яка поступає на підсилювач-формував синхронних імпульсів 9 Промодульований з частотою 12,5 Гц світловий потік через інтерференційний фільтр надходить до фотоприймача 6, з'єднаний з МДМ-підсилювачем 7 Елементи 1-7 і 9 забезпечують перетворення оптичного сигналу в електричну напругу, формування синхронних імпульсів, підсилення по амплітуді і синхронну демодуляцію з інтегруванням Елементи 1 - 14 застосовуються для проведення калібрування і визначення коефіцієнта перепускання середовища Для досягнення заданої чутливості та стабільності показань, елементи 6, 7, 9 розміщені в термостаті 11 В термостаті 11 підтримується постійна температура $T = 40^\circ\text{C}$ за допомогою нагрівача 14, датчика температури 12 і підсилювача сигналу з датчика температури 13 Калібрування, такти вимірювання і визначення коефіцієнта перепускання середовища проводяться відповідно до алгоритму роботи пристрою

Після включення живлення, видається запит (оператор 16) на проведення калібрування При

негативній відповіді здійснюється перехід до підпрограми проведення вимірювання (оператор 39). При позитивній відповіді спочатку підтверджується наявність включеного абсолютно чорного тіла (АЧТ) (оператори 17 і 18), потім йде виконання команд відкриття заслінки, що екранує світловий потік, яке є елементом вхідної оптики 3, і відключення живлення світловипромінюючого діода 10, що приводить до відключення каліброваного світлового потоку (оператор 19). Задається значення світлового потоку Φ_{01} від АЧТ, що вимірюється запропонованим оптичним пірометром (оператор 20). Отримана в результаті вимірювання світлового потоку Φ_{01} напруга U'_2 запам'ятовується у вигляді коду числа N_{01} (оператори 21 і 22). Далі зменшують значення інтенсивності світлового потоку Φ_{01} від АЧТ на задане значення $\{\Delta\Phi\}$ (оператор 23). В результаті вимірювання інтенсивності світлового потоку Φ_{02} від АЧТ отримують напругу U'_3 фотоприймача (оператор 24), значення якої запам'ятовується у вигляді коду числа N_{02} (оператор 25). Потім збільшують значення світлового потоку Φ_{01} від АЧТ на теж значення $\{\Delta\Phi\}$ (оператор 26). Аналогічним образом вимірюють інтенсивність світлового потоку Φ_{03} , а відповідне значення напруги U'_4 запам'ятовують у вигляді коду числа N_{03} (оператори 27 і 28). Знаходять напіврізницю значень напруг U'_3 і U'_4 . Результат обчислень запам'ятовується у вигляді коду числа nm (оператор 29). Далі АЧТ відключається, закривається заслінка, що екранує світловий потік, яка є елементом вхідної оптики 3, включається живлення світловипромінюючого діода 10 і на фотоприймач подається опорний потік Φ_{02} замість каліброваного (оператор 30). Потік Φ_{02} вимірюється, а відповідна напруга U'_3 порівнюється з напругою U'_3 , яку одержали при вимірюванні інтенсивності світлового потоку Φ_{01} (оператори 31 і 32). Якщо результат вимірювання не дорівнює значенню раніше отриманій напрузі U'_3 , то змінюють значення струму через світловипромінюючий діод 10 до моменту рівності цих напруг. В момент часу, коли $\{U'_3\} = \{U'_3\}$, отримане значення струму I_1 запам'ятовується (оператор 34). Збільшують значення струму через світловипромінюючий діод 10 до моменту часу рівності значення вихідної напруги U'_4 фотоприймача значенню напруги U'_4 (оператори 35-37). При $\{U'_4\} = \{U'_4\}$ отримане значення струму I_2 запам'ятовується (оператор 38).

Після проведення операцій калібрування, як і при негативній відповіді на її запит (оператор 16), виконується процедура проведення тактів вимірювання. У першому такті (оператор 39) вимірювання закривається заслінка, що екранує світловий потік Φ_x , яка є елементом вхідної оптики 3, і відключається живлення світловипромінюючого діода 10, тобто на фотоприймач світловий потік не подається ($\{\Phi_x\} = \{\Phi_{00}\} = 0$) (оператор 40). Одержане значення напруги U_1 ($\{\Delta U_{cm}\} = \{U_1\}$) запам'ятовується у вигляді коду числа N_1 (оператори 41, 42). В другому такті вимірювання (оператор 43) включається живлення світловипромінюючого діода 10 і встановлюється перше задане значення струму I_1 через нього (оператор 44). В цьому такті вимірюванні інтенсивності світлового потоку Φ_2 ($\{\Phi_x\} = \{\Phi_1\} - \{\Delta\Phi_0\}$) отримане значення напруги U_2 фотоприй-

мача вимірюється і запам'ятовується у вигляді коду числа N_2 (оператори 45 і 46). У третьому такті вимірювання (оператор 47) встановлюється друге задане значення струму I_2 через світловипромінюючий діод 10 (оператор 48). В результаті на фотоприймач поступає світловий потік Φ_3 ($\{\Phi_x\} = \{\Phi_1\} + \{\Delta\Phi_0\}$), який і вимірюється (оператор 49). Отримана напруга U_3 фотоприймача аналогічно вимірюється і запам'ятовується у вигляді коду числа N_3 (оператор 50). У четвертому (п'ятому) тактах вимірювань закривається заслінка, що екранує світловий потік Φ_x , яка є елементом вхідної оптики 3. Встановлюється відповідно перше I_1 (друге I_2) значення струму через світловипромінюючий діод 10. В результаті четвертого (п'ятого) такту здійснюється вимірювання інтенсивності світлового потоку Φ_4 (Φ_5), причому $\{\Phi_4\} = \{\Phi_x\} - \{\Delta\Phi_0\}$ ($\{\Phi_5\} = \{\Phi_x\} + \{\Phi_1\} + \{\Delta\Phi_0\}$). Отримані значення вихідних напруг U_3 (U_4) фотоприймача аналогічним чином запам'ятовуються у вигляді кодів чисел N_4 (N_5) (оператори 51-59). Отримані в кожному з п'яти тактів вимірювань відповідні коди напруг обробляються згідно з рівнянням надлишкових вимірювань (оператор 60). За отриманим кодом значення напруги U_x , пропорційного інтенсивності світлового потоку Φ_x , визначають дійсне значення температури об'єкта (оператор 61) із використанням електронних таблиць відповідності.

Далі виникає запит на проведення сукупності операцій визначення коефіцієнта перепускання середовища (оператор 62). При позитивній відповіді виключається живлення світловипромінюючого діода 10, відкривається заслінка, що екранує світловий потік Φ_x , яка є елементом вхідної оптики 3, і надходить команда на переміщення сірого клина 4 доти, поки значення напруги U'_3 не стане рівним раніше отриманому значенню напруги U'_3 (оператори 63, 64). У момент часу рівності $\{U'_3\} - \{U'_3\}$ фіксується положення сірого клина 4 і запам'ятовується відповідне цьому положенню значення напруги U''_3 у вигляді коду числа N''_3 (оператор 65). Потім сірий клин 4 переміщується, зменшуючи інтенсивність світлового потоку Φ_x , до моменту рівності значення вимірюваної напруги U''_4 і раніше отриманого значення напруги U'_4 (оператори 66, 67). Аналогічним чином запам'ятовується значення напруги U''_4 у вигляді коду числа N''_4 (оператор 68). Коефіцієнт перепускання середовища $k_{пр}$ визначається згідно з заданим рівнянням числових значень (оператор 69). Одержане значення температури T_x зменшують у $k_{пр}$ раз (оператор 70) і по отриманому результату судять про уточнене (дійсне) значення температури об'єкта. Після закінчення процедури визначення коефіцієнта перепускання середовища, як і при негативній відповіді на запит (оператор 62), виникає черговий запит на проведення наступного циклу вимірювання температури (оператор 71). При негативній відповіді закривається заслінка, що екранує світловий потік, яка є елементом вхідної оптики 3, відключається живлення світловипромінюючого діода 10 (оператор 72) і завершується операція виконання основної програми (оператор 73).

Процес проведення вимірювання високої температури здійснюється наступним чином.

Світловий потік від досліджуваного об'єкта

(ДО) розділяють на два сфокусованих потоки Φ_B і Φ_i . Перший світловий потік Φ_B використовують для візуалізації зображення ДО.

Другий світловий потік направляють на поверхню чутливого елемента фотоприймача. З другого світлового потоку Φ_i виділяють інформативний світловий потік $\Phi_x(\lambda)$ на довжині хвилі λ_1 і в інтервалі $\Delta\lambda$ (наприклад $\{\lambda_1\}=656\text{нм}$, $\Delta\lambda=10\text{нм}$), тобто в заданому діапазоні довжин хвиль.

У загальному випадку послідовність операцій перетворення світлового потоку в електричний сигнал описується в такий спосіб. Спочатку світловий потік, наприклад $\Phi_0=\Phi_0(\lambda_1)$, модулюють по амплітуді сигналом низької частоти Ω

$$U_0(t) = U_0 \left[\frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(2n-1) \sin \Omega t}{2n-1} \right]$$

де $\{U_0\}=1$

Ω - частота модуляції (комутації),

n - номер гармоніки ($\Omega=1,2,3$),

У результаті одержують модульований по інтенсивності світловий потік

$$\Phi_m(t) = \Phi_0 \left[\frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(2n-1) \sin \Omega t}{2n-1} \right] \quad (1)$$

Модульований світловий потік $\Phi_m(t)$ (1) перетворюють в електричний сигнал $u_n(t)$ за допомогою фотоприймача. Припустимо, що функція перетворення (ФП) фотоприймача описується нелінійним рівнянням величин

$$u(t) = S_H \Phi^3 + S_L \Phi + \Delta U_{cm}, \quad (2)$$

де Φ - світловий потік,

S_H - крутість перетворення нелінійної складової,

S_L - крутість перетворення лінійної складової,

ΔU_{cm} - зсув (дрейф нуля) нелінійної ФП

При світловому потоці $\Phi_m(t)$, що надходить на вхід фотоприймача, його вихідний електричний сигнал описується рівнянням величин

$$u_{H1}(t) = S_H \Phi_m^3(t) + S_L \Phi_m(t) + \Delta U_{cm} \quad (3)$$

Отриманий сигнал (3) підсилюють по амплітуді в k_{yc} раз. В результаті одержують

$$u_{H2}(t) = k_{yc} u_{H1}(t), \quad (4)$$

де k_{yc} - коефіцієнт підсилення

Посилений сигнал синхронно демодулюють, інтегрують і одержують напругу

$$U_H = \frac{1}{T} \int_0^T u_{H2}(t) \left[\frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(2n-1) \sin \Omega t}{2n-1} \right] dt = \frac{1}{2T} \int_0^T u_H dt = 0.5 k_{yc} (S_H \Phi_0^3 + S_L \Phi_0 + \Delta U_{cm}) \quad (5)$$

де T - період коливань ($\{T\} = 2\pi/\{\Omega\}$)

Потім напругу (5) вимірюють, а одержане значення запам'ятовують.

Аналогічним чином описується процес модуляції будь-якого світлового потоку Φ , перетворення його в електричний сигнал, посилення по амплітуді, демодуляції й інтегрування з метою одержання відповідної напруги U_H .

Розглянемо сутність процесу вимірювання температури запропонованим способом.

Спочатку перетворюють у напругу нульове значення інтенсивності світлового потоку при тем-

пературі T_1 навколишнього середовища. Для цього виключають дію інформативного світлового потоку на поверхню чутливого елемента фотоприймача, наприклад, шляхом переривання дії світлового потоку на фотоприймач. Нульове значення інтенсивності світлового потоку перетворюють в електричний сигнал $u_{H1}(t)$. Після підсилення його по амплітуді, демодуляції та інтегрування вимірюють і запам'ятовують відповідне значення вихідної напруги U_1 . Отримана напруга U_1 описується аналогічним виразом (5)

$$U_1 = \frac{1}{T} \int_0^T u'_{H1}(t) \left[\frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(2n-1) \sin \Omega t}{2n-1} \right] dt = 0.5 k_{yc} (S_H \Phi_{00}^3 + S_L \Phi_{00} + \Delta U_{cm}) \quad (6)$$

де Φ_{00} - світловий потік з нульовим значенням інтенсивності J_{00} , тобто $\{J_{00}\}=0$, $u'_{H1}(t)$ - посилений у k_{yc} раз сигнал $u'_{H1}(t)$.

Одержану напругу U_1 (6) вимірюють, а одержане значення запам'ятовують.

У тому ж діапазоні довжин хвиль формують перший калібрований за значенням інтенсивності

світловий потік Φ_2 , який відповідає заданому значенню температури T_1 , і дорівнює різниці двох каліброваних за значенням інтенсивності світлових потоків Φ_1 і $\Delta\Phi_0$, тобто $\{\Phi_2\}=\{\Phi_1\}-\{\Delta\Phi_0\}$. Після перетворення світлового потоку Φ_1 в постійну напругу U_2

$$U_2 = \frac{1}{T} \int_0^T u'_{H2}(t) \left[\frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(2n-1) \sin \Omega t}{2n-1} \right] dt = 0.5 k_{yc} (S_H \Phi_2^3 + S_L \Phi_2 + \Delta U_{cm}) \quad (8)$$

де $u'_{H2}(t)$ - посилений у k_{yc} раз сигнал $u'_{H2}(t)$, вимірюють її і запам'ятовують отримане значення.

Аналогічним чином формують другий калібрований за значенням інтенсивності світловий потік Φ_3 , який відповідає значенню температури T_3 , і

дорівнює сумі двох каліброваних за значенням інтенсивності світлових потоків Φ_1 і $\Delta\Phi_0$, тобто $\{\Phi_3\}=\{\Phi_1\}+\{\Delta\Phi_0\}$. Після перетворення світлового потоку Φ_3 в постійну напругу U_3

$$U_3 = \frac{1}{T} \int_0^T u''_{H3}(t) \left[\frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(2n-1) \sin \Omega t}{2n-1} \right] dt = 0.5k_{yc} (S_H \Phi_3^3 + S_L \Phi_3 + \Delta U_{cm}) \quad (9)$$

де $u''_{H3}(t)$ - посилений у k_{yc} раз сигнал $u'_{H3}(t)$ вимірюють її і запам'ятовують отримане значення

Відновлюють дію інформативного світлового потоку $\Phi_x(\lambda)$, який відповідає температурі T_x , на поверхню чутливого елемента фотоприймача

$$U_4 = \frac{1}{T} \int_0^T u''_{H4}(t) \left[\frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(2n-1) \sin \Omega t}{2n-1} \right] dt = 0.5k_{yc} (S_H \Phi_4^3 + S_L \Phi_4 + \Delta U_{cm}) \quad (10)$$

де $u''_{H4}(t)$ - посилений у k_{yc} раз сигнал $u'_{H4}(t)$, вимірюють її і запам'ятовують отримане значення

Потім збільшують значення інтенсивності інформативного світлового потоку Φ_x на значення

$$U_5 = \frac{1}{T} \int_0^T u''_{H5}(t) \left[\frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(2n-1) \sin \Omega t}{2n-1} \right] dt = 0.5k_{yc} (S_H \Phi_5^3 + S_L \Phi_5 + \Delta U_{cm}) \quad (11)$$

де $u''_{H5}(t)$ - посилений у k_{yc} раз сигнал $u'_{H5}(t)$, вимірюють її і запам'ятовують отримане значення

Дійсне значення інтенсивності інформативного

збільшують значення інтенсивності світлового потоку Φ_x на значення інтенсивності першого світлового потоку Φ_2 . Після перетворення отриманого першого сумарного світлового потоку Φ_4 в постійну напругу U_4

інтенсивності другого світлового потоку Φ_3 . Після перетворення другого сумарного світлового потоку Φ_5 в постійну напругу U_5

світлового потоку Φ_x визначають згідно із рівнянням надлишкових вимірювань

$$U_x = U'_2 \left[n_1 \Delta U_0 \frac{U_5 + U_4 - n_2 U_1}{U'_2 ((U_5 - U_4) - (U_3 - U_2)) + n_3 \Delta U_0 (U_2 + U_3 - n_2 U_1)} - 1 \right] = S_{пр} \Phi_x \quad (12)$$

де $n_1 = 3$, $n_2 = 2$, $n_3 = 3$,

ΔU_0 - приріст каліброваного зазначенням світлового потоку, причому $\{\Delta U_0\} = 0.5(\{U'_4\} - \{U'_3\})$, U'_2 - напруга, яка пропорційна інтенсивності світлового потоку Φ_1 , U_1 , U_5 напруги, що відповідають світловим потокам Φ_1 , Φ_5 , $S_{пр}$ - крутість загальної функції перетворення світлового потоку в напругу при надлишкових вимірах ($\{S_{пр}\} = 1$), по якому визначають дійсне значення температури T_x об'єкта з використанням електронних таблиць відповідності

Для проведення калібрування стабільних по інтенсивності в заданому інтервалі довжин хвиль світлових потоків Φ_1 , Φ_2 і Φ_3 , їх формують рівними по інтенсивності світловим потокам Φ_{01} , Φ_{02} і Φ_{03} від моделі абсолютно чорного тіла (АЧТ) і пропорційними відповідним напругам U'_2 , U'_3 і U'_4 . У цьому випадку мають місце наступні співвідношення

$$\{U'_2\} = \{\Phi_1\} \{S_{пр}\},$$

$$\{U'_3\} = \{\Phi_2\} - \{\Delta \Phi_0\} \{S_{пр}\},$$

$$\{U'_4\} = \{\Phi_1\} + \{\Delta \Phi_0\} \{S_{пр}\},$$

де $\{S_{пр}\}$ - значення крутості загальної функції перетворення світлового потоку в напругу, обумовлена при вимірі каліброваного по інтенсивності потоку Φ_{0x} від фізичної моделі АЧТ, яка нагріта до температури T_{0x}

Значення напруг U'_2 , U'_3 і U'_4 вибирають у межах динамічного діапазону їх значень. Світлові потоки Φ_1 , Φ_2 і Φ_3 формують шляхом почергової подачі напруг U'_2 , U'_3 і U'_4 на додаткове джерело оптичного випромінювання. Потім здійснюють високоточне вимірювання інтенсивності сформованих світлових потоків у заданому інтервалі довжин хвиль за допомогою зразкового чи еталонного оптичного пірометра. У випадку відхилення отриманих результатів вимірювань від заданих, уточнюють значення обраних напруг U'_2 , U'_3 і U'_4 чи

значення крутості загальної функції перетворення $S_{пр}$

Для визначення коефіцієнта перепускання випромінювання середовищем, спочатку послаблюють інтенсивність інформативного світлового потоку Φ_x до значення інтенсивності світлового потоку Φ_2 , що відповідає температурі T_1 , за допомогою сірого клина. Фіксують перше положення X_1 сірого клина. Припустимо, що цьому положенню відповідає значення напруги U''_3

Далі послаблюють інтенсивність інформативного світлового потоку Φ_x до значення інтенсивності світлового потоку Φ_3 , що відповідає температурі T_3 . Це здійснюється шляхом подальших мікропереміщень сірого клина. Потім фіксують друге положення X_2 сірого клина. Припустимо, що цьому положенню відповідає значення напруги U''_4

Визначають різницю заданих і отриманих напруг U'_4 , U'_3 і U''_4 і U''_3 . По відношенню отриманих значень різниць ΔU_1 і ΔU_2 напруг визначають коефіцієнт перепускання випромінювання середовищем по рівнянню числових значень

$$k_{пр} = (\{U'_4\} - \{U'_3\}) / (\{U''_4\} - \{U''_3\}) = \{\Delta U_1\} / \{\Delta U_2\}$$

Отримане значення температури T_x зменшують у $k_{пр}$ раз, а по одержаному результату $\{T_x\} = \{T_x\} / k_{пр}$ судять про уточнене значення температури

Використовуючи електронні таблиці відповідності за отриманим значенням напруги U_x визначають дійсне значення температури T_x , а з урахуванням отриманого значення коефіцієнта перепускання середовища $k_{пр}$ не складно виключити вплив середовища на результат виміру напруги U_x , пропорційної світловому потоку Φ_x , а, отже, і на результат вимірювання температури

$$\{T_x\} = \{T_x\} / k_{np}$$

Скориговане дійсне значення температури T_x виводиться на цифрове табло як результат вимірювання

Таким чином, введення нової сукупності операцій вимірювання високої температури і істотних ознак дало можливість вивести рівняння надлишкових вимірювань (12), аналіз якого показав, що обчислене значення напруги U_x пропорційно значенню світлового потоку Φ_x у заданому діапазоні довжин хвиль, а, отже, і відповідному дійсному значенню температури T_x . Обробка результатів проміжних вимірювань згідно з рівнянням надлишкових вимірів (12), забезпечує виключення впливу на результат вимірювання температури T_x , абсолютних значень параметрів (S_n , S_n) ФП фотоприймача і відхилення їх значень від номінальних. За рахунок виконання операції віднімання виключається адитивна складова систематичної похибки вимірювань, а за рахунок виконання операції ділення - мультиплікативна складова похибки. Обробка результатів проміжних вимірювань згідно з рівнянням надлишкових вимірів (12), у цілому забезпечує системну лінеаризацію загальної (результуючої) ФП потоку Φ_x у напругу U_x , а, отже, і виключення впливу нелінійної (кубічної) складової ФП фотоприймача на кінцевий результат визначення значення напруги U_x .

Продемонструємо суть запропонованого способу на наступному прикладі

Необхідно виміряти температуру, наприклад платини, нагрітої до (1000 - 3000)°C

Діапазон вихідного сигналу з фотоприймача після підсилювача складає (3 - 10)В, а діапазон по інтенсивності світлового потоку - (300 - 1000)лм. Коефіцієнт пропорційності $S_{np} = 10$ мВ/лм, значення параметрів функції перетворення $S_n = 0,101 \cdot 10$

мВ/лм³, $S_n = 9,9$ мВ/лм. Вибираємо інтенсивність світлового потоку Φ_1 таким чином, щоб вона дорівнювала 10% від максимального світлового потоку Φ_0 , а значення інтенсивності світлового потоку $\Delta\Phi_0$ - 10% від значення інтенсивності світлового потоку Φ_1 . В першому такті вимірювання одержуємо напругу $U_1 = 0,01$ мВ. Використовуючи аналітичні вирази (7) - (10) при значенні світлового потоку $\Phi_x = 1000$ лм, одержимо наступні значення результатів проміжних вимірів інтенсивностей світлових потоків

$$U_2 = 1089,1444\text{мВ}, U_3 = 891,0836\text{мВ}, U_4 = 11127,14\text{мВ}, U_5 = 10921,807\text{мВ}$$

Отримані результати разом з обчисленими значеннями напруг $U_2 = 1000$ мВ, $\Delta U_0 = 100$ мВ підставляють у рівняння надлишкових вимірювань (12). Після обчислення, одержимо, що $U_x = 9999,88$ мВ. Визначаємо відповідне йому значення інтенсивності світлового потоку $\Phi_x = 999,988$ лм.

Коефіцієнт пропорційності k_{np} між вимірюваною температурою і інтенсивністю світлового потоку Φ_x обчислюється згідно із аналітичним виразом

$$k_{np} = T_x / \Phi_x$$

Підставляючи вихідні дані знаходимо

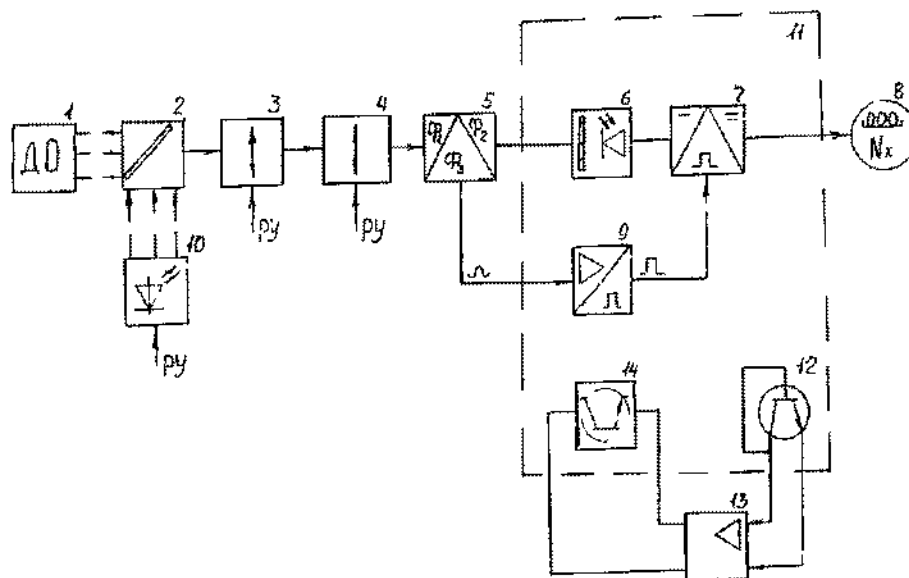
$$k_{np} = 3000 / 1000 = 3$$

Отже, значення температури T_x , виміряне запропонованим методом надлишкових вимірів, буде складати

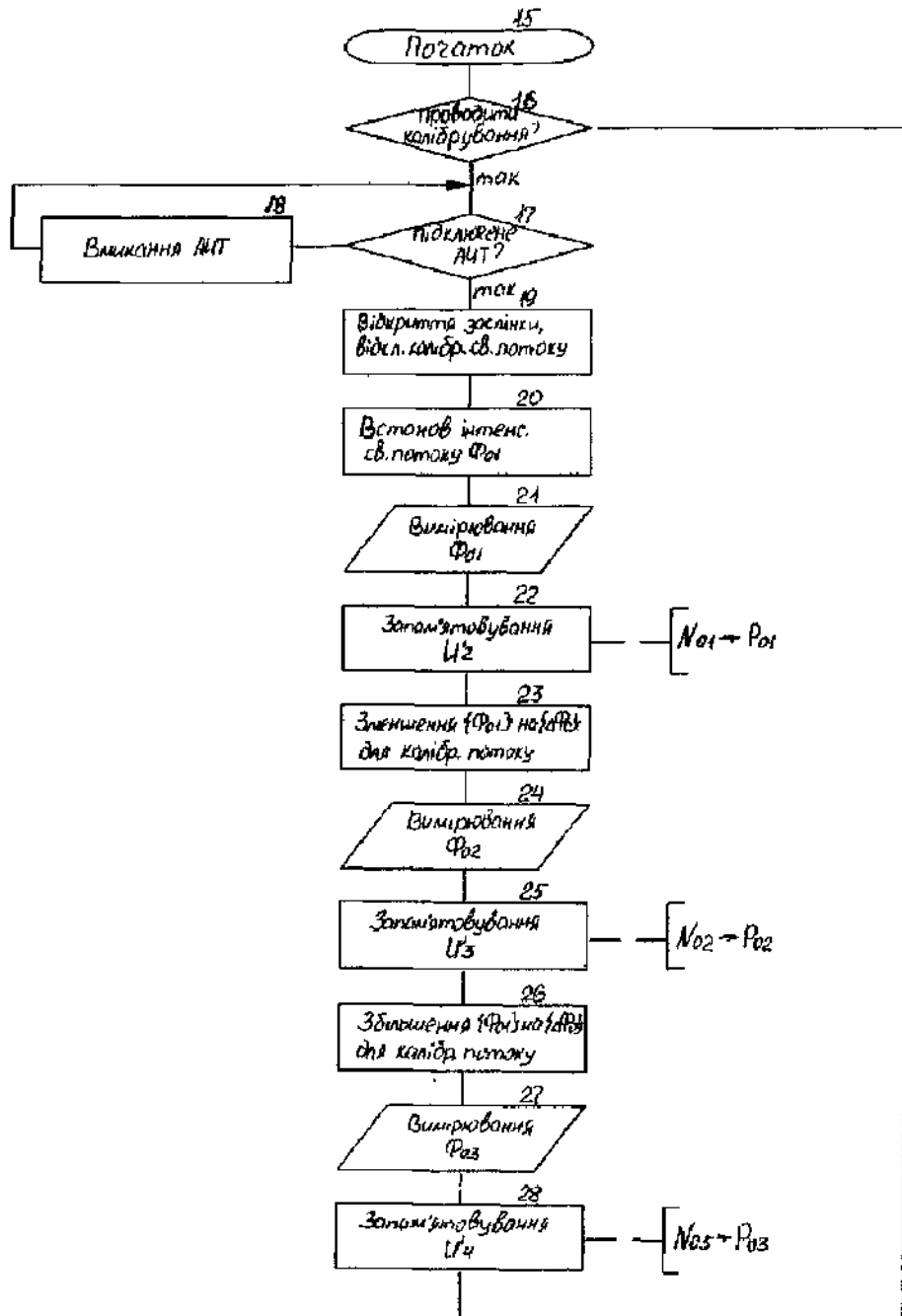
$$T_x = k_{np} \Phi_x = 3 \cdot 999,988 = 2999,964^\circ\text{C}$$

Абсолютна методична похибка складає 0,036°C, що в три рази менше похибок існуючих оптико-електронних способів вимірювання температури

Таким чином, запропонований спосіб забезпечує підвищену точність вимірювання температури

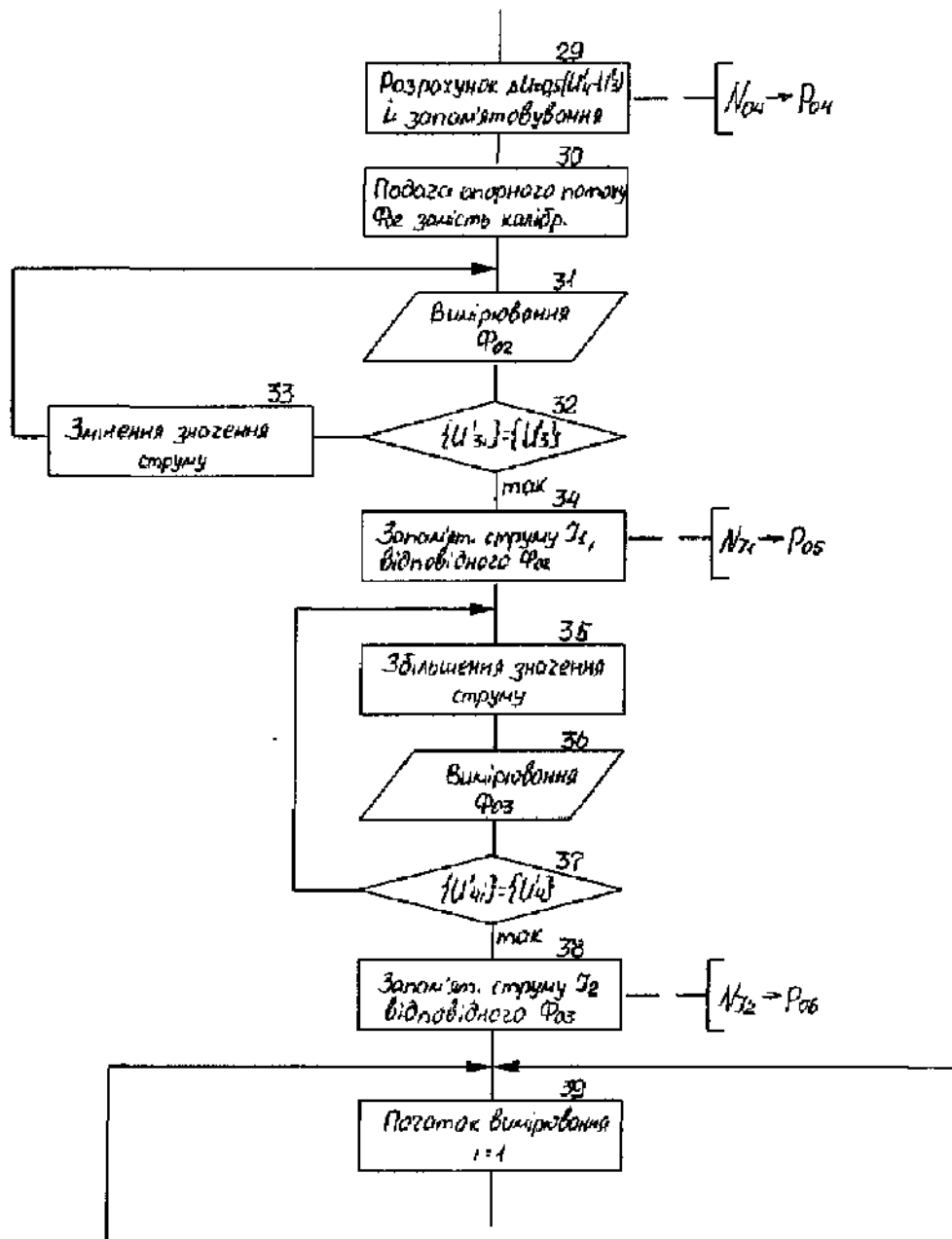


Фиг 1

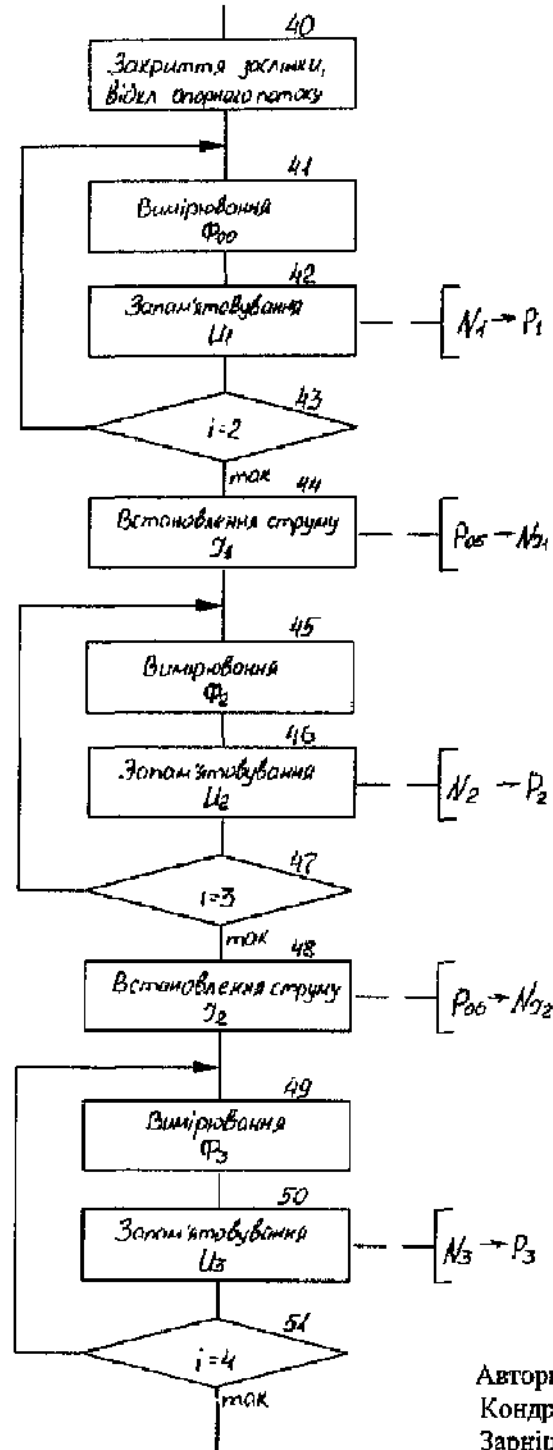


Фіг.2

продовження



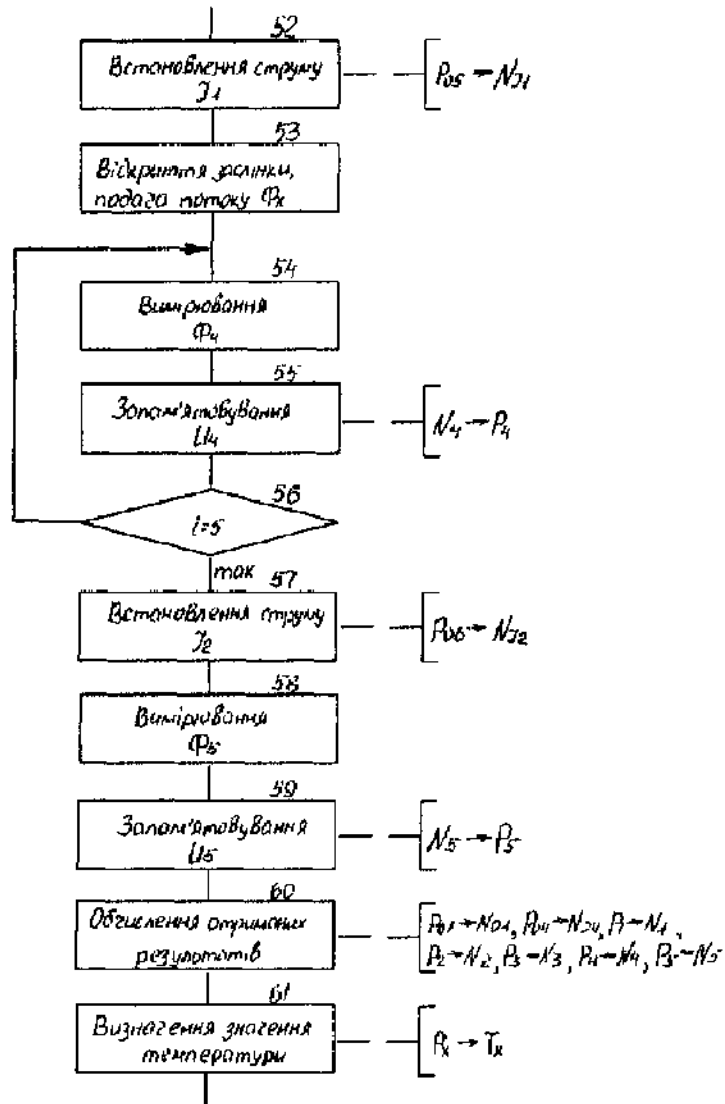
Фиг.2
продовження



Автори:
 Кондратов В.В.
 Зарецька Г.О.
 Сердюк Н.М.

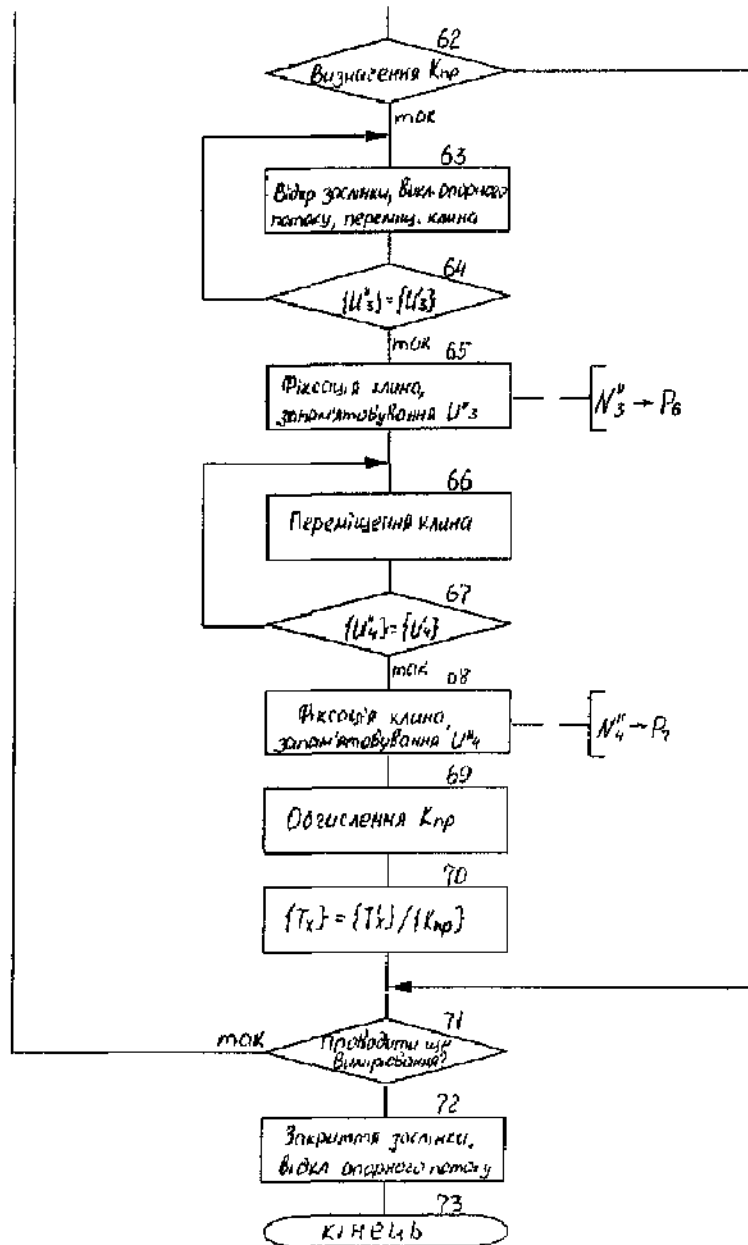
Фиг. 2

продовження



Фіг 2

представлений



Фіг 2

продовження