



УКРАЇНА

(19) UA (11) 78064 (13) C2
(51) МПК (2006)
G01J 5/00
G01J 5/10

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) СПОСІБ НАДЛИШКОВИХ ВИМІРЮВАНЬ ДІЙСНОГО ЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

1

(21) а200500301
(22) 13.01.2005
(24) 15.02.2007
(46) 15.02.2007, Бюл. № 2, 2007 р.
(72) Кондратов Владислав Тимофійович, Зарнічна Ганна Олександрівна
(73) ІНСТИТУТ КІБЕРНЕТИКИ ІМ.В.М.ГЛУШКОВА НАН УКРАЇНИ
(56) UA 55947, 15.04.2003
UA 56614, 15.05.2003
UA 66299, 15.04.2004
UA 68026, 15.07.2004
US 4974182, 27.11.1990
(57) Спосіб надлишкових вимірювань дійсного значення температури, який полягає у направленні на чутливий елемент фотоприймача потоку випромінювання від досліджуваного нагрітого об'єкта, розділенні потоку оптичного випромінювання від досліджуваного нагрітого об'єкта на два інформативні потоки, які обмежені заданим діапазоном довжин хвиль з максимумом спектральної щільності потоку оптичного випромінювання на довжині хвилі λ_1 , і визначенні місцеположення досліджуваного нагрітого об'єкта по першому потоку, виключенні дії другого інформативного потоку випромінювання Φ_x на поверхню чутливого елемента фотоприймача, додатковому формуванні у тому ж діапазоні довжин хвиль першого та другого каліброваних за значеннями інтенсивності потоків випромінювання Φ_1 і Φ_2 , що відповідають нормованим за значенням температурам T_1 і T_2 , перетворенні інтенсивності потоку випромінювання Φ_1 в постійну напругу U_1 , вимірюванні її і запам'ятовуванні отриманого значення, відновленні дії інформативного потоку випромінювання Φ_x , що відповідає температурі T_x на поверхню чутливого елемента фотоприймача, зміні значення інтенсивності інформативного потоку випромінювання Φ_x на значення інтенсивності першого потоку випромінювання Φ_1 , перетворенні інтенсивності отриманого першого сумарного потоку випромінювання $\Phi_{\Sigma 1} (\Phi_{\Sigma 1} = \Phi_x + \Phi_1)$ в постійну напругу $U_{\Sigma 1}$, вимірюванні її і запам'ятовуванні отриманого значення, зміні значення інтенсивності інформативного потоку випромінювання Φ_x на значення інтенсивності

2

другого потоку випромінювання Φ_2 , перетворенні інтенсивності отриманого другого сумарного потоку випромінювання $\Phi_{\Sigma 2} (\Phi_{\Sigma 2} = \Phi_x + \Phi_2)$ в постійну напругу $U_{\Sigma 2}$, вимірюванні її і запам'ятовуванні отриманого значення, виділенні потоку випромінювання $\Phi(\lambda_2)$ на довжині хвилі λ_2 , який відповідає температурі T_0 на границі "об'єкт-середовище", порівнянні кольору одержаного потоку випромінювання з кольором штучно сформованого потоку випромінювання (кольором порівняння), що відповідає нормованій за значенням температурі T_0 , при розбіжності кольорів змінюють інтенсивність потоку випромінювання $\Phi(\lambda_2)$ від досліджуваного нагрітого об'єкта до рівності зазначених кольорів і формуванні потоку випромінювання Φ_{x0} заданої інтенсивності, зміні значення інтенсивності потоку випромінювання Φ_{x0} на значення інтенсивності першого каліброваного за значенням інтенсивності потоку випромінювання Φ_1 , перетворенні третього сумарного потоку випромінювання $\Phi_{\Sigma 3} (\Phi_{\Sigma 3} = \Phi_{x0} + \Phi_1)$ в постійну напругу $U_{\Sigma 3}$, вимірюванні її і запам'ятовуванні отриманого значення, зміні значення інтенсивності потоку випромінювання Φ_{x0} на значення інтенсивності другого потоку випромінювання Φ_2 , перетворенні інтенсивності отриманого четвертого сумарного потоку випромінювання $\Phi_{\Sigma 4} (\Phi_{\Sigma 4} = \Phi_{x0} + \Phi_2)$ в постійну напругу $U_{\Sigma 4}$, вимірюванні її і запам'ятовуванні отриманого значення з подальшим визначенням дійсного значення температури відповідно до рівнянь надлишкових вимірювань, який відрізняється тим, що до відновлення дії інформативного потоку випромінювання Φ_x , що відповідає температурі T_x на поверхню чутливого елемента фотоприймача, формують третій калібрований за значенням інтенсивності потік випромінювання Φ_3 , що відповідає нормованій за значенням температурі T_3 і дорівнює різниці каліброваного за значенням інтенсивності потоку випромінювання Φ_0 і подвоєного значення інтенсивності потоку випромінювання $\Delta\Phi_0$, тобто $(\Phi_3 = \Phi_0 - 2\Delta\Phi_0)$, перетворюють потік випроміню-

(13) C2
(11) 78064
(19) UA

вання Φ_3 в постійну напругу U_3 , вимірюють її і запам'ятовують отримане значення, формують четвертий калібрований за значенням інтенсивності потік випромінювання Φ_4 , що відповідає нормованій за значенням температурі T_4 , інтенсивність якого дорівнює сумі каліброваного за значенням інтенсивності потоку випромінювання Φ_0 і подвоєного значення інтенсивності потоку випромінювання $\Delta\Phi_0$, тобто ($\Phi_4 = \Phi_0 + 2\Delta\Phi_0$), перетворюють потік випромінювання Φ_4 в постійну напругу U_4 , вимірюють її і запам'ятовують отримане значення, змінюють значення інтенсивності інформативного потоку випромінювання Φ_x на значення інтенсивності третього потоку випромінювання Φ_3 , перетворюють п'ятий сумарний потік випромінювання $\Phi_{\Sigma 5}$ ($\Phi_{\Sigma 5} = \Phi_x + \Phi_3$) в постійну напругу $U_{\Sigma 5}$, вимірюють її і запам'ятовують отримане значення, змінюють значення інтенсивності інформативного потоку випромінювання Φ_x на значення інтенсивності четвертого потоку випромінювання Φ_4 , перетворюють шостий сумарний потік випромінювання $\Phi_{\Sigma 6}$ ($\Phi_{\Sigma 6} = \Phi_x + \Phi_4$) в постійну напругу $U_{\Sigma 6}$, вимірюють її і запам'ятовують отримане значення,

далі змінюють значення інтенсивності інформативного потоку випромінювання Φ_{x0} на значення інтенсивності третього потоку випромінювання Φ_3 , перетворюють сьомий сумарний потік випромінювання $\Phi_{\Sigma 7}$ ($\Phi_{\Sigma 7} = \Phi_{x0} + \Phi_3$) в постійну напругу $U_{\Sigma 7}$, вимірюють її і запам'ятовують отримане значення, змінюють значення інтенсивності інформативного потоку випромінювання Φ_{x0} на значення інтенсивності четвертого потоку випромінювання Φ_4 , перетворюють восьмий сумарний потік випромінювання $\Phi_{\Sigma 8}$ ($\Phi_{\Sigma 8} = \Phi_{x0} + \Phi_4$) в постійну напругу $U_{\Sigma 8}$, вимірюють її і запам'ятовують отримане значення, а дійсне значення температури T_x досліджуваного нагрітого об'єкта визначають відповідно до рівнянь надлишкових вимірювань:

$$T_x = T_{04} \sqrt{\frac{(U_{\Sigma 6} - U_{\Sigma 5}) - (U_4 - U_3) - n_4((U_{\Sigma 6} - U_4) - (U_{\Sigma 1} - U_1))}{n_3((U_{\Sigma 6} - U_{\Sigma 5}) - n_2(U_{\Sigma 1} - U_{\Sigma 2}))} \cdot \frac{(U_{\Sigma 8} - U_{\Sigma 7}) - (U_4 - U_3) - n_4((U_{\Sigma 8} - U_4) - (U_{\Sigma 3} - U_1))}{n_3((U_{\Sigma 8} - U_{\Sigma 7}) - n_2(U_{\Sigma 3} - U_{\Sigma 4}))}},$$

де $n_2=2$, $n_3=3$, $n_4=4$.

Винахід відноситься до області вимірювальної техніки, зокрема до оптико-електронних способів надлишкових вимірювань температури при нелінійній функції перетворення фотоприймача і може бути використаний для створення високоточних оптичних пірометрів відношення.

Відомий оптико-електронний спосіб визначення температури [див. Назаренко Л.А., Ромоданов І.С., Кисіль О.М., Сергієнко П.П. Еталонний оптичний пірометр ЕОП-93//Харків: ДНВО «Метрологія» Український метрологічний журнал.-1996.-Вип. 23.- с.46-48], який заснований на поділі потоку випромінювання від нагрітого об'єкта на два сфокусованих потоки, візуалізації зображення об'єкта по одному з потоків, направленні другого потоку випромінювання на поверхню чутливого елемента фотоприймача, виділенні з нього інформативного потоку випромінювання $\Phi_x(\lambda)$ у заданому діапазоні довжин хвиль, перетворенні його у постійну напругу шляхом низькочастотної модуляції потоку, перетворенні 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 функції перетворення фотоприймача. Це приводить до появи похибки від нелінійності, адитивної і мультиплікативної складових систематичної похибки. Крім того, в даному способі не враховується вплив коефіцієнта поглинання навколишнім середовищем на результат вимірювання. Не урахування коефіцієнта поглинання середовища обумовлює додаткову похибку вимірювання, що впливає на точність кінцевого результату.

Відомий спосіб визначення дійсного значення температури [див. деклараційний патент України №56614 А, МПК G01R7/02, бюл.№5, 2003], який полягає у тому, що приймають потік випромінювання на довжині хвилі λ_1 від центральної частини досліджуваного об'єкта, розділяють потоки випромінювання від нагрітого об'єкта на два інформативні потоки, визначають місцезоположення досліджуваного об'єкта по першому потоку, виключають дію другого потоку випромінювання Φ_x на поверхню чутливого елемента фотоприймача, перетворюють у постійну напругу U_1 тепловий потік Φ_1 при температурі T_1 навколишнього середовища, вимірюють її і запам'ятовують отримане значення, формують перший нормований за розміром потік випромінювання Φ_2 , що відповідає першій нормованій за розміром температурі T_2 та перетворюють його в постійну напругу U_2 , вимірюють її і запам'ятовують отримане значення, формують другий нормований за розміром потік випромінювання Φ_3 , що відповідає другій нормованій за розміром температурі T_3 , близькій за розміром температурі T_2 та перетворюють його в постійну напругу U_3 , вимірюють її і запам'ятовують отримане значення, діють потоком випромінювання Φ_x , що відповідає вимірювальній температурі T_x , на поверхню чутливого елемента фотоприймача, збільшують розмір потоку випромінювання Φ_x на розмір першого потоку випромінювання Φ_2 , перетворюють перший сумарний потік випромінювання Φ_4 в постійну напругу U_4 , вимірюють її і запам'ятовують отримане значення, збільшують розмір потоку випромінювання Φ_x на розмір другого потоку випромінювання Φ_3 , перетворюють другий сумарний потік випромінювання Φ_5 в постійну напругу U_5 , вимірюють її і запам'ятовують отримане значення, по одержаних значеннях напруг визначають дійсне значення потоку випромінювання Φ_x .

Відомий спосіб забезпечує високоточне вимірювання потоку випромінювання Φ_x , але потребує використання таблиць відповідності. Записані в цих таблицях значення температур мають кінцеву дискретність, що обумовлює виникнення похибки дискретності. Використання таблиць відповідності з малою дискретністю значень температури менших, ніж похибка вимірювання, потребує великого об'єму пам'яті, що не завжди доцільно. Крім того, відомий спосіб потребує використання додаткових апаратних затрат на вирішення проблеми впливу коефіцієнта поглинання середовища. Все це приводить до часткового зниження точності вимірювання температури.

Відомий також оптико-електронний спосіб надлишкових вимірювань температури [див. деклараційний патент України №66299 А, МПК G01J5/00, G01J5/10 бюл.№4, 2004], який заснований на направленні на чутливий елемент фотоприймача потоку випромінювання від досліджуваного нагрітого об'єкта, розділенні потоку оптичного випромінювання від досліджуваного нагрітого об'єкта на два інформативні потоки, які обмежені заданим діапазоном довжин хвиль з максимумом спектральної щільності потоку оптичного випромінювання на довжині хвилі λ_1 і визначенні місцезположення досліджуваного нагрітого об'єкта по першому потоку, на виключенні дії другого інформативного потоку випромінювання Φ_x на поверхню чутливого елемента фотоприймача, додатковому формуванні у тому ж діапазоні довжин хвиль першого та другого каліброваних за значеннями інтенсивності потоків випромінювання Φ_1 і Φ_2 , що відповідають нормованим за значенням температур T_1 і T_2 перетворенні інтенсивності потоку випромінювання Φ_1 в постійну напругу U_1 , вимірюванні її і запам'ятовуванні отриманого значення, відновленні дії інформативного потоку випромінювання Φ_x , що відповідає температурі T_x , на поверхню чутливого елемента фотоприймача, зміни значення інтенсивності інформативного потоку випромінювання Φ_x на значення інтенсивності першого потоку випромінювання Φ_1 , перетворенні інтенсивності отриманого першого сумарного потоку випромінювання $\Phi_{\Sigma 1} (\{\Phi_{\Sigma 1}\} = \{\Phi_x\} + \{\Phi_1\})$ в постійну напругу $U_{\Sigma 1}$, вимірюванні її і запам'ятовуванні отриманого значення, змінени значення інтенсивності інформативного потоку випромінювання Φ_x на значення інтенсивності другого потоку випромінювання Φ_2 , перетворенні інтенсивності отриманого другого сумарного потоку випромінювання $\Phi_{\Sigma 2} (\{\Phi_{\Sigma 2}\} = \{\Phi_x\} + \{\Phi_2\})$ в постійну напругу $U_{\Sigma 2}$, вимірюванні її і запам'ятовуванні отриманого значення, виділенні потоку випромінювання $\Phi(\lambda_2)$ на довжині хвилі λ_2 , який відповідає температурі T_0 на границі "об'єкт-середовище", порівнянні кольору одержаного потоку випромінювання з кольором штучно формованого потоку випромінювання (кольором порівняння), що відповідає нормованій за значенням температурі T_0 , при розбіжності кольорів змінюють інтенсивність потоку випромінювання $\Phi(\lambda_2)$ від досліджуваного нагрітого об'єкта до рівності зазначених кольорів і формуванні потоку випромінювання Φ_0 заданої інтенсивності, зміні значення інтенсивності потоку випромінювання Φ_0 на значення інтенсивності першого каліброваного

за значенням інтенсивності потоку випромінювання Φ_1 , перетворенні третього сумарного потоку випромінювання $\Phi_{\Sigma 3} (\{\Phi_{\Sigma 3}\} = \{\Phi_0\} + \{\Phi_1\})$ в постійну напругу $U_{\Sigma 3}$, вимірюванні її і запам'ятовуванні отриманого значення, зміні значення інтенсивності потоку випромінювання Φ_0 на значення інтенсивності другого потоку випромінювання Φ_2 , перетворенні інтенсивності отриманого четвертого сумарного потоку випромінювання $\Phi_{\Sigma 4} (\{\Phi_{\Sigma 4}\} = \{\Phi_0\} + \{\Phi_2\})$ в постійну напругу $U_{\Sigma 4}$, вимірюванні її і запам'ятовуванні отриманого значення з подальшим визначенням дійсного значення температури згідно з рівнянь надлишкових вимірювань.

В основу винаходу покладена задача створення такого способу надлишкових вимірювань дійсного значення температури, в якому шляхом введення нових операцій вимірювання, порядки і умов їх проведення, забезпечилося би розширення діапазону вимірювання температури та підвищення точності результату вимірювання температури при апроксимації логарифмічної функції перетворення фотоприймача поліномом третього ступеня.

Поставлена задача вирішується тим, що в оптико-електронному способі надлишкових вимірювань температури, який заснований на направленні на чутливий елемент фотоприймача потоку випромінювання від досліджуваного нагрітого об'єкта, розділенні потоку оптичного випромінювання від досліджуваного нагрітого об'єкта на два інформативні потоки, які обмежені заданим діапазоном довжин хвиль з максимумом спектральної щільності потоку оптичного випромінювання на довжині хвилі λ_1 і визначенні місцезположення досліджуваного нагрітого об'єкта по першому потоку, на виключенні дії другого інформативного потоку випромінювання Φ_x на поверхню чутливого елемента фотоприймача, додатковому формуванні у тому ж діапазоні довжин хвиль першого та другого каліброваних за значеннями інтенсивності потоків випромінювання Φ_1 і Φ_2 , що відповідають нормованим за значенням температур T_1 і T_2 , перетворенні інтенсивності потоку випромінювання Φ_1 в постійну напругу U_1 , вимірюванні її і запам'ятовуванні отриманого значення, відновленні дії інформативного потоку випромінювання Φ_x , що відповідає температурі T_x , на поверхню чутливого елемента фотоприймача, зміни значення інтенсивності інформативного потоку випромінювання Φ_x на значення інтенсивності першого потоку випромінювання Φ_1 , перетворенні інтенсивності отриманого першого сумарного потоку випромінювання $\Phi_{\Sigma 1} (\{\Phi_{\Sigma 1}\} = \{\Phi_x\} + \{\Phi_1\})$ в постійну напругу $U_{\Sigma 1}$, вимірюванні її і запам'ятовуванні отриманого значення, змінени значення інтенсивності інформативного потоку випромінювання Φ_x на значення інтенсивності другого потоку випромінювання Φ_2 , перетворенні інтенсивності отриманого другого сумарного потоку випромінювання $\Phi_{\Sigma 2} (\{\Phi_{\Sigma 2}\} = \{\Phi_x\} + \{\Phi_2\})$ в постійну напругу $U_{\Sigma 2}$, вимірюванні її і запам'ятовуванні отриманого значення, виділенні потоку випромінювання $\Phi(\lambda_2)$ на довжині хвилі λ_2 , який відповідає температурі T_0 на границі "об'єкт-середовище", порівнянні кольору одержаного потоку випромінювання з кольором штучно формованого потоку випромінювання (кольором порівняння), що відповідає нормованій за значенням

температурі T_0 , при розбіжності кольорів змінюють інтенсивність потоку випромінювання $\Phi(\lambda_2)$ від досліджуваного нагрітого об'єкта до рівності зазначених кольорів і формуванні потоку випромінювання Φ_0 заданої інтенсивності, зміні значення інтенсивності потоку випромінювання Φ_0 на значення інтенсивності першого каліброваного за значенням інтенсивності потоку випромінювання Φ_1 , перетворенні третього сумарного потоку випромінювання $\Phi_{\Sigma 3}(\{\Phi_{\Sigma 3}\}=\{\Phi_0\}+\{\Phi_1\})$ в постійну напругу $U_{\Sigma 3}$, вимірюванні її і запам'ятовуванні отриманого значення, зміні значення інтенсивності потоку випромінювання Φ_0 на значення інтенсивності другого потоку випромінювання Φ_2 , перетворенні інтенсивності отриманого четвертого сумарного потоку випромінювання $\Phi_{\Sigma 4}(\{\Phi_{\Sigma 4}\}=\{\Phi_0\}+\{\Phi_2\})$ в постійну напругу $U_{\Sigma 4}$, вимірюванні її і запам'ятовуванні отриманого значення з подальшим визначенням дійсного значення температури згідно з рівнянь надлишкових вимірювань, згідно з винаходом, до відновлення дії інформативного потоку випромінювання Φ_x , що відповідає температурі T_x , на поверхню чутливого елемента фотоприймача, формують третій калібрований за значенням інтенсивності потік випромінювання Φ_3 , що відповідає нормованій за значенням температурі T_3 і дорівнює різниці каліброваного за значенням інтенсивності потоку випромінювання Φ_0 і подвоєного значення інтенсивності потоку випромінювання $\Delta\Phi_0$, тобто $(\{\Phi_3\}=\{\Phi_0\}-2\{\Delta\Phi_0\})$, перетворюють потік випромінювання Φ_3 в постійну напругу U_3 , вимірюють її і запам'ятовують отримане значення, формують четвертий калібрований за значенням інтенсивності потік випромінювання Φ_4 , що відповідає нормованій за значенням температурі T_4 , і інтенсивність якого дорівнює сумі каліброваного за значеннями інтенсивності потоку випромінювання Φ_0 і подвоєного значення інтенсивності потоку випромінювання $\Delta\Phi_0$, тобто $(\{\Phi_4\}=\{\Phi_0\}+2\{\Delta\Phi_0\})$, перетворюють потік випромінювання Φ_4 в постійну напругу U_4 , вимірюють її і запам'ятовують отримане значення, змінюють значення інтенсивності інформативного потоку випромінювання Φ_x на значення інтенсивності третього потоку випромінювання Φ_3 , перетворюють п'ятий сумарний потік випромінювання $\Phi_{\Sigma 5}(\{\Phi_{\Sigma 5}\}=\{\Phi_3\}+\{\Phi_3\})$ в постійну напругу $U_{\Sigma 5}$, вимірюють її і запам'ятовують отримане значення, змінюють значення інтенсивності інформативного потоку випромінювання Φ_x на значення інтенсивності четвертого потоку випромінювання Φ_4 , перетворюють шостий сумарний потік випромінювання $\Phi_{\Sigma 6}(\{\Phi_{\Sigma 6}\}=\{\Phi_3\}+\{\Phi_4\})$ в постійну напругу $U_{\Sigma 6}$, вимірюють її і запам'ятовують отримане значення, далі змінюють значення інтенсивності інформативного потоку випромінювання Φ_0 на значення інтенсивності третього потоку випромінювання Φ_3 , перетворюють сьомий сумарний потік випромінювання $\Phi_{\Sigma 7}(\{\Phi_{\Sigma 7}\}=\{\Phi_0\}+\{\Phi_3\})$ в постійну напругу $U_{\Sigma 7}$, вимірюють її і запам'ятовують отримане значення, змінюють значення інтенсивності інформативного потоку випромінювання Φ_0 на значення інтенсивності четвертого потоку випромінювання Φ_4 , перетворюють восьмий сумарний потік випромінювання $\Phi_{\Sigma 8}(\{\Phi_{\Sigma 8}\}=\{\Phi_0\}+\{\Phi_4\})$ в постійну напругу $U_{\Sigma 8}$, вимірюють її і запам'ятовують отримане значення, а про дійсне значення температури T_x досліджува-

ного нагрітого об'єкта визначають згідно з рівнянь надлишкових вимірювань

$$T_x = T_0 \sqrt{\frac{(U_{\Sigma 6} - U_{\Sigma 5}) - (U_4 - U_3) - n_4((U_{\Sigma 6} - U_4) - (U_{\Sigma 1} - U_1))}{n_3((U_{\Sigma 6} - U_{\Sigma 5}) - n_2(U_{\Sigma 1} - U_{\Sigma 2}))} \cdot \frac{(U_{\Sigma 8} - U_{\Sigma 7})(U_4 - U_3) - n_4((U_{\Sigma 8} - U_4) - (U_3 - U_1))}{n_3((U_{\Sigma 8} - U_{\Sigma 7}) - n_2(U_{\Sigma 3} - U_{\Sigma 4}))}}$$

де $n_2=2$; $n_3=3$; $n_4=4$.

В запропонованому способі надлишкових вимірювань дійсного значення температури при апроксимації логарифмічної функції перетворення фотоприймача поліномом третього ступеня для розширення діапазону вимірюваних температур та підвищення точності вимірювання запропоновано формування двох додаткових каліброваних за значенням інтенсивності потоків випромінювання, які відповідають каліброваним за значенням температур T_3 і T_4 . Це забезпечує одержання високоточного результату визначення температури об'єкту в широкому діапазоні температур.

На рисунку наведена структурна схема пристрою, що реалізує зазначений спосіб, де 1 - досліджуваний об'єкт, 2 - заслінка з входом ручного керування, 3 - оптико-механічний канал, 4 - світлофільтр з входом ручного керування, 5, 6 і 7 - напівпрозорі дзеркала; 8 - апертурна діафрагма, 9 і 10 - перше і друге керовані джерела каліброваних за значенням інтенсивності потоків оптичного випромінювань, 11- відбивне дзеркало, 12 - окуляр, 13 - обтюраторний диск, 14 - фотоприймач, 15 - МДМ-підсилювач, 16 - світловипромінюючий діод, 17 - фотоприймач-формуваць імпульсів, 18 - цифровий вольтметр.

Причому на одній оптичній осі послідовно розташовані та оптично з'єднані між собою досліджуваний об'єкт 1, заслінка 2, оптико-механічний канал 3, світлофільтр 4, напівпрозорі дзеркала 5 і 7, обтюраторний диск 13, і фотоприймач 14, вихід якого підключений до МДМ-підсилювача 15, до виходу якого підключений цифровий вольтметр 18, вхід керування МДМ-підсилювача 14 з'єднаний з виходом фотоприймача-формуваць імпульсів 17, вхід якого через отвори обтюраторного диска 13 оптично з'єднані з світловипромінюючим діодом 16. Друге кероване джерело 10 каліброваних за значенням інтенсивності потоків випромінювань оптично зв'язане через напівпрозоре дзеркало 7 і обтюраторний диск 13 з фотоприймачем 14. Основний оптичний канал через напівпрозоре дзеркало 5, відбивне дзеркало 11 і напівпрозоре дзеркало 6 оптично зв'язаний з окуляром 12, з яким оптично зв'язане через напівпрозоре дзеркало 6 і апертурну діафрагму 8 перше джерело 9 каліброваних за значенням інтенсивностей потоку випромінювання.

В основу запропонованого способу вимірювання температури покладена залежність потоку випромінювання від температури T_x , яка описується законом Стефана-Больцмана: $\Phi_x = A' \sigma T_x^4$, де $A' = A \tau_{\lambda, c}$, A' - коефіцієнт, який залежить від коефіцієнта використання потоку від об'єкта A і коефіцієнта поглинання середовищем $\tau_{\lambda, c}$. Аналогічну залежність має інтенсивність потоку оптичного випромінювання Φ_0 при вимірюванні температури

T_0 , тобто $\Phi_{x0} = A \cdot \sigma T_0^4$. Якщо розділити аналітичний вираз для Φ_x на вираз для Φ_{x0} і розв'язати відносно T_x , то отримаємо рівняння вимірювання температури виду (для пірометрів відношення)

$$T_x = T_0 \sqrt[4]{\frac{\Phi_x}{\Phi_0}} \quad (1)$$

Відомо, що функція перетворення фотоприймача на базі фотодіода має логарифмічний характер і описується рівнянням величин виду

$$U_x = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{S_i \Phi_x}{I_s} + k_1 \right) + \Delta U_{3M},$$

де k - стала Больцмана; $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К; T - абсолютна температура; q - заряд електрона; $q = 1,60 \cdot 10^{-19}$ Кл; Φ - потік оптичного випромінювання, що потрапляє на фотодіод; S_i - струмова чутливість фотодіода; I_s - темновий струм фотодіода; ΔU_{3M} - напруга зміщення.

Для розширення діапазону вимірювання температури апроксимуємо цю функцію поліномом третього степеня

$$U_x(\Phi_x) = k_1 \frac{kT}{q} \frac{S_i^3}{I_s^3} \Phi_x^3 + k_2 \frac{kT}{q} \frac{S_i^2}{I_s^2} \Phi_x^2 + k_3 \frac{kT}{q} \frac{S_i}{I_s} \Phi_x + \Delta U.$$

де k_1, k_2, k_3 - вагові коефіцієнти. Для спрощення вигляду цієї функції запишемо її наступним чином

$$U_x(\Phi_x) = S'_{H2} \Phi_x^3 + S'_{H1} \Phi_x^2 + S'_L \Phi_x + \Delta U_{3M},$$

де S'_{H2}, S'_{H1}, S'_L - крутість перетворення двох нелінійних і лінійної складових функції перетворення фотоприймача, причому

$$\{S'_{H2}\} = \{S_{H2}\}(1 + \gamma_H);$$

$$\{S'_{H1}\} = \{S_{H1}\}(1 + \gamma_H);$$

$$\{S'_L\} = \{S_L\}(1 + \gamma_H);$$

$$S_{H2} = k_1 \frac{kT}{q} \frac{S_i^3}{I_s^3};$$

$$S_{H1} = k_2 \frac{kT}{q} \frac{S_i^2}{I_s^2};$$

$$S_L = k_3 \frac{kT}{q} \frac{S_i}{I_s},$$

γ - відносна зміна крутості перетворення двох нелінійних і лінійної складових функції перетворення фотоприймача відповідно, яка обумовлена дією дестабілізуючих факторів навколишнього середовища і старінням елементів фотоприймача.

Розглянемо сутність процесу вимірювання температури запропонованим способом. Спочатку на чутливий елемент фотоприймача направляють потік

випромінювання від досліджуваного нагрітого об'єкта. Розділяють потік випромінювання від досліджуваного нагрітого об'єкта на два інформативні потоки, які обмежені заданим діапазоном довжин хвиль з максимумом спектральної щільності потоку оптичного випромінювання на довжині хвилі λ_1 . Місцеположення досліджуваного нагрітого об'єкта визначають по першому потоку. Виключають дію другого інформативного потоку випромінювання Φ_x на поверхню чутливого елемента фотоприймача.

У тому ж діапазоні довжин хвиль і максимумом спектральної щільності потоку оптичного випромінювання додатково формують перший нормований за розміром потік випромінювання Φ_1 , причому $\{\Phi_1\} = \{\Phi_0\} + \{\Delta\Phi_0\}$. Цей потік відповідає першій нормованій за значенням температурі T_1 . Перетворюють інтенсивність потоку випромінювання Φ_1 в постійну напругу

$$U_1 = S'_{H2}(\Phi_0 + \Delta\Phi)^3 + S'_{H1}(\Phi_0 + \Delta\Phi)^2 + S'_L(\Phi_0 + \Delta\Phi) + \Delta U_{3M} \quad (2)$$

де Φ_0 - калібрований за значеннями інтенсивності потоків випромінювання,

$\Delta\Phi$ - зміна (приріст) каліброваного за значеннями інтенсивності потоку випромінювання.

Вимірюють і запам'ятовують отримане значення постійної напруги (2).

Формують третій калібрований за значеннями інтенсивності потік випромінювання Φ_3 , що відповідає нормованій за значенням температурі T_3 і дорівнює різниці каліброваного за значенням інтенсивності потоку випромінювання Φ_0 і подвоєного значення інтенсивності потоку випромінювання $\Delta\Phi_0$, тобто $\{\Phi_3\} = \{\Phi_0\} - 2\{\Delta\Phi_0\}$. Перетворюють потік випромінювання Φ_3 в постійну напругу

$$U_3 = S'_{H2}(\Phi_0 - 2\Delta\Phi)^3 + S'_{H1}(\Phi_0 - 2\Delta\Phi)^2 + S'_L(\Phi_0 - 2\Delta\Phi) + \Delta U_{3M} \quad (3)$$

вимірюють її і запам'ятовують отримане значення.

Формують четвертий калібрований за значенням інтенсивності потік випромінювання Φ_4 , що відповідає нормованій за значенням температурі T_4 , і який дорівнює сумі каліброваного за значеннями інтенсивності потоку випромінювання Φ_0 і подвоєного значення інтенсивності потоку випромінювання $\Delta\Phi_0$, тобто $\{\Phi_4\} = \{\Phi_0\} + 2\{\Delta\Phi_0\}$. Перетворюють потік випромінювання Φ_4 в постійну напругу

$$U_4 = S'_{H2}(\Phi_0 + 2\Delta\Phi)^3 + S'_{H1}(\Phi_0 + 2\Delta\Phi)^2 + S'_L(\Phi_0 + 2\Delta\Phi) + \Delta U_{3M} \quad (4)$$

вимірюють її і запам'ятовують отримане значення.

Відновлюють дію інформативного потоку випромінювання Φ_x , що відповідає невідомій температурі T_x , на поверхню чутливого елемента фотоприймача. Змінюють значення інтенсивності потоку випромінювання Φ_x на значення інтенсивності першого каліброваного за значенням інтенсивності потоку випромінювання Φ_1 . В результаті отримують перший сумарний потік випромінювання. Перетворюють перший сумарний потік випромінювання $\Phi_{\Sigma 1}$, значення інтенсивності якого дорівнює $\{\Phi_{\Sigma 1}\} = \{\Phi_x\} + \{\Phi_1\}$, в постійну напругу

$$U_{\Sigma 1} = S'_{H2}(\Phi_x + \Phi_0 + \Delta\Phi)^3 + S'_{H1}(\Phi_x + \Phi_0 + \Delta\Phi)^2 + S'_L(\Phi_x + \Phi_0 + \Delta\Phi) + \Delta U_{3M} \quad (5)$$

Вимірюють і запам'ятовують отримане значення напруги (5).

Змінюють значення інтенсивності потоку випромінювання Φ_x на значення інтенсивності другого каліброваного за значенням інтенсивності потоку випромінювання Φ_2 , що відповідає другій нормованій за розміром температурі T_2 . Цей потік дорівнює різниці каліброваного за значенням інтенсивності потоку випромінювання Φ_0 і подвоєного значення інтенсивності потоку випромінювання $\Delta\Phi_0$, тобто $\{\Phi_2\} = \{\Phi_0\} - 2\{\Delta\Phi_0\}$.

нсивності потоку випромінювання Φ_0 і подвоєного значення інтенсивності потоку випромінювання $\Delta\Phi_0$, тобто його інтенсивність дорівнює $\{\Phi_2\}=\{\Phi_0\}-\{\Delta\Phi_0\}$. В результаті отримують другий сумарний потік випромінювання. Перетворюють другий сумарний потік випромінювання $\Phi_{\Sigma 2}(\{\Phi_{\Sigma 2}\}=\{\Phi_x\}+\{\Phi_2\})$ в постійну напругу

$$U_{\Sigma 2} = S'_{H2}(\Phi_x + \Phi_0 - \Delta\Phi)^3 + S'_{H1}(\Phi_x + \Phi_0 - \Delta\Phi)^2 + S'_{\Gamma}(\Phi_x + \Phi_0 - \Delta\Phi) + \Delta U_{3M} \quad (6)$$

Постійну напругу (6) вимірюють, а отримане значення запам'ятовують.

Змінюють значення інтенсивності інформативного потоку випромінювання Φ_x на значення інтенсивності третього каліброваного за значенням інтенсивності потоку випромінювання Φ_3 , і отримують п'ятий сумарний потік випромінювання. Перетворюють п'ятий сумарний потік випромінювання $\Phi_{\Sigma 5}(\{\Phi_{\Sigma 5}\}=\{\Phi_x\}+\{\Phi_3\})$ в постійну напругу

$$U_{\Sigma 5} = S'_{H2}(\Phi_x + \Phi_0 - 2\Delta\Phi)^3 + S'_{H1}(\Phi_x + \Phi_0 - 2\Delta\Phi)^2 + S'_{\Gamma}(\Phi_x + \Phi_0 - 2\Delta\Phi) + \Delta U_{3M} \quad (7)$$

Постійну напругу (7) вимірюють, а отримане значення запам'ятовують.

Змінюють значення інтенсивності інформативного потоку випромінювання Φ_x на значення інтенсивності четвертого каліброваного за значенням інтенсивності потоку випромінювання Φ_4 і отримують шостий сумарний потік випромінювання. Перетворюють шостий сумарний потік випромінювання $\Phi_{\Sigma 6}(\{\Phi_{\Sigma 6}\}=\{\Phi_x\}+\{\Phi_4\})$ в постійну напругу

$$U_{\Sigma 6} = S'_{H2}(\Phi_x + \Phi_0 + 2\Delta\Phi)^3 + S'_{H1}(\Phi_x + \Phi_0 + 2\Delta\Phi)^2 + S'_{\Gamma}(\Phi_x + \Phi_0 + 2\Delta\Phi) + \Delta U_{3M} \quad (8)$$

Вимірюють і запам'ятовують отримане значення напруги (8).

Дійсне значення інформативного потоку випромінювання $\Phi_x(\lambda_1)$ визначають згідно із рівнянням надлишкових вимірювань

$$U_x = \frac{(U_{\Sigma 6} - U_{\Sigma 5}) - (U_4 - U_3) - n_4((U_{\Sigma 6} - U_4) - (U_{\Sigma 1} - U_1))}{n_3((U_{\Sigma 6} - U_{\Sigma 5}) - n_2(U_{\Sigma 1} - U_{\Sigma 2}))} \quad (9)$$

де $n_2=2$; $n_3=3$; $n_4=4$.

Далі виділяють потік випромінювання $\Phi_x(\lambda_2)$ на довжині хвилі λ_2 який відповідає температурі T_0 , (наприклад 100°C) на границі "об'єкт-середовище". Порівнюють колір одержаного потоку випромінювання з кольором штучно зформованого потоку випромінювання (кольором порівняння), що відповідає нормованій за значенням температурі T_0 . При розбіжності кольорів змінюють інтенсивність потоку випромінювання $\Phi_x(\lambda_2)$ від досліджуваного нагрітого об'єкта до рівності зазначених кольорів. Це здійснюється одним з відомих способів, наприклад, шляхом зміни інтенсивності потоку випромінювання чи подстройки довжини хвилі λ_2 потоку випромінювання на $\pm\Delta\lambda_2$. В результаті отримують потік випромінювання Φ_{x0} заданої інтенсивності, що відповідає температурі T_0 . Змінюють значення інтенсивності отриманого потоку випромінювання Φ_{x0} на значення інтенсивності першого каліброваного за значенням інтенсивності потоку випромінювання Φ_1 . В результаті отримують третій сумарний потік випромінювання. Перетворюють третій сумарний потік випромінювання $\Phi_{\Sigma 3}(\{\Phi_{\Sigma 3}\}=\{\Phi_{x0}\}+\{\Phi_1\})$ в постійну напругу

$$U_{\Sigma 3} = S'_{H2}(\Phi_{x0} + \Phi_0 + \Delta\Phi)^3 + S'_{H1}(\Phi_{x0} + \Phi_0 + \Delta\Phi)^2 + S'_{\Gamma}(\Phi_{x0} + \Phi_0 + \Delta\Phi) + \Delta U_{3M} \quad (10)$$

Постійну напругу (10) вимірюють, а отримане значення запам'ятовують.

Змінюють значення потоку випромінювання Φ_{x0} на розмір другого каліброваного за значенням інтенсивності потоку випромінювання Φ_2 і отримують четвертий сумарний потік випромінювання. Перетворюють інтенсивність четвертий сумарний потік випромінювання $\Phi_{\Sigma 4}(\{\Phi_{\Sigma 4}\}=\{\Phi_{x0}\}+\{\Phi_2\})$ в постійну напругу

$$U_{\Sigma 4} = S'_{H2}(\Phi_{x0} + \Phi_0 - \Delta\Phi)^3 + S'_{H1}(\Phi_{x0} + \Phi_0 - \Delta\Phi)^2 + S'_{\Gamma}(\Phi_{x0} + \Phi_0 - \Delta\Phi) + \Delta U_{3M} \quad (11)$$

Постійну напругу (11) вимірюють, а отримане значення запам'ятовують.

Змінюють значення потоку випромінювання Φ_{x0} на розмір третього каліброваного за значенням інтенсивності потоку випромінювання Φ_3 . В результаті отримують сьомий сумарний потік випромінювання. Перетворюють сьомий сумарний потік випромінювання $\Phi_{\Sigma 7}(\{\Phi_{\Sigma 7}\}=\{\Phi_{x0}\}+\{\Phi_3\})$ в постійну напругу

$$U_{\Sigma 7} = S'_{H2}(\Phi_{x0} + \Phi_0 - 2\Delta\Phi)^3 + S'_{H1}(\Phi_{x0} + \Phi_0 - 2\Delta\Phi)^2 + S'_{\Gamma}(\Phi_{x0} + \Phi_0 - 2\Delta\Phi) + \Delta U_{3M} \quad (12)$$

Постійну напругу (12) вимірюють, а отримане значення запам'ятовують.

Змінюють значення потоку випромінювання Φ_{x0} на розмір четвертого каліброваного за значенням інтенсивності потоку випромінювання Φ_4 . В результаті отримують восьмий сумарний потік випромінювання. Перетворюють восьмий сумарний потік випромінювання $\Phi_{\Sigma 8}(\{\Phi_{\Sigma 8}\}=\{\Phi_{x0}\}+\{\Phi_4\})$ в постійну напругу

$$U_{\Sigma 8} = S'_{H2}(\Phi_{x0} + \Phi_0 + 2\Delta\Phi)^3 + S'_{H1}(\Phi_{x0} + \Phi_0 + 2\Delta\Phi)^2 + S'_{\Gamma}(\Phi_{x0} + \Phi_0 + 2\Delta\Phi) + \Delta U_{3M} \quad (13)$$

Вимірюють і запам'ятовують отримане значення напруги (13).

По одержаним значенням напруг визначають дійсне значення потоку випромінювання $\Phi_0(\lambda_2)$ згідно із рівнянням надлишкових вимірювань

$$U_0 = \frac{(U_{\Sigma 8} - U_{\Sigma 7})(U_4 - U_3) - n_4((U_{\Sigma 8} - U_4) - (U_{\Sigma 1} - U_1))}{n_3((U_{\Sigma 8} - U_{\Sigma 7}) - n_2(U_{\Sigma 3} - U_{\Sigma 4}))} \quad (14)$$

де $n_2=2$; $n_3=3$; $n_4=4$.

Дійсне значення температури T_x об'єкта визначають згідно з рівняннями надлишкових вимірювань

$$T_x = T_0 \sqrt[4]{\frac{(U_{\Sigma 6} - U_{\Sigma 5}) - (U_4 - U_3) - n_4((U_{\Sigma 6} - U_4) - (U_{\Sigma 1} - U_1))}{n_3((U_{\Sigma 6} - U_{\Sigma 5}) - n_2(U_{\Sigma 1} - U_{\Sigma 2}))} \cdot \frac{(U_{\Sigma 8} - U_{\Sigma 7})(U_4 - U_3) - n_4((U_{\Sigma 8} - U_4) - (U_{\Sigma 1} - U_1))}{n_3((U_{\Sigma 8} - U_{\Sigma 7}) - n_2(U_{\Sigma 3} - U_{\Sigma 4}))}} \quad (15)$$

де $n_2=2$; $n_3=3$; $n_4=4$, U_x - напруга, пропорційна потоку випромінювання $\Phi_x(\lambda_1)$, U_0 - напруга, пропорційна потоку випромінювання $\Phi_0(\lambda_2)$.

Не важко показати, що обробка результатів проміжних вимірювань згідно з рівнянням надлишкових вимірювань (15) забезпечує автоматичне виключення впливу абсолютних значень параметрів функції перетворення фотоприймача та їх нестабільності під дією дестабілізуючих факторів, тобто систематичних та випадкових складових похибки вимірювання, а також впливу коефіцієнта поглинання середовищем на результат вимірю-

вання температури.

Для цього в рівняння надлишкових вимірювань (15) підставимо різниці напруг, які описуються аналітичними виразами (2)-(8) і (10)-(13):

$$T_x = T_{04} \sqrt{\frac{(U_{\Sigma 6} - U_{\Sigma 5}) - (U_4 - U_3) - n_4((U_{\Sigma 6} - U_4) - (U_{\Sigma 1} - U_1))}{n_3((U_{\Sigma 6} - U_{\Sigma 5}) - n_2(U_{\Sigma 1} - U_{\Sigma 2}))} \cdot \frac{(U_{\Sigma 8} - U_{\Sigma 7}) - (U_4 - U_3) - n_4((U_{\Sigma 8} - U_4) - (U_3 - U_1))}{n_3((U_{\Sigma 8} - U_{\Sigma 7}) - n_2(U_{\Sigma 3} - U_{\Sigma 4}))}} = T_{04} \sqrt{\frac{36S'_{H2}\Delta\Phi^2\Phi_x}{3 \cdot 12S'_{H2}\Delta\Phi^2}} = T_{04} \sqrt{\frac{\Phi_x}{\Phi_0}} \quad (16)$$

Пояснимо сутність запропонованого способу на прикладі роботи пристрою, наведеному на рисунку.

Пристрій на рисунку, що реалізує зазначений спосіб працює наступним чином.

Припустимо, що об'єкт дослідження 1, температуру T_x якого необхідно визначити, формує інформативний потік оптичного випромінювання Φ_x . Згідно з запропонованим способом, у першому такті вимірювання відкривають заслінку 2, що екранує потік випромінювання Φ_x . В результаті чого потік випромінювання Φ_x від досліджуваного нагрітого об'єкта 1 через заслінку 2, оптико-механічний канал 3 і напівпрозоре дзеркало 4 поступає на напівпрозоре дзеркало 5. За допомогою останнього потік випромінювання від досліджуваного нагрітого об'єкту розділяється на два інформативні потоки.

Перший потік випромінювання, що відбився від напівпрозорого дзеркала 5, поступає на відбивне дзеркало 11. Потім відбитий від відбивного дзеркала 11 цей потік через напівпрозоре дзеркало 6 потрапляє на окуляр 12, за допомогою якого здійснюється направлення пристрою на об'єкт дослідження 1 і визначення його місцеположення.

Встановлюють світлофільтр 4 з максимумом спектральної щільності потоку оптичного випромінювання на довжині хвилі λ_1 . Закривають заслінку 2, що екранує потік випромінювання Φ_x . На виході другого джерела 10 каліброваних потоків випромінювань встановлюють перше задане значення струму I_1 . В результаті формується перший калібрований за значенням інтенсивності потік випромінювання Φ_1 . Цей потік через напівпрозоре дзеркало 7 і об'єкторний диск 13 поступає на фотоприймач 14. Вихідну напругу фотоприймача 14 підсилюють за допомогою МДМ-підсилювача 15. Синхроімпульси, що керують роботою МДМ-підсилювача 15 формують за допомогою фотоприймача-формуваця імпульсів 17, світловипромінюючого діоду 16 і об'єкторного диску 13. Вихідну напругу МДМ-підсилювача U_1 (2) вимірюють за допомогою цифрового вольтметра 18. Отриманий код числа N_1 ($N_1 = S_{np}U_1$ де S_{np} - коефіцієнт перетворення напруги в код) запам'ятовують.

У другому такті на виході другого джерела 10 каліброваних потоків випромінювань встановлюють третє I_3 задане значення струму. Це забезпечує формування третього каліброваного за значенням інтенсивності потоку випромінювання Φ_3 . Цей потік через напівпрозоре дзеркало 7 і об'єкторний диск 13 поступають на фотоприймач 14. Вихідна напруга фотоприймача 14 підсилюється

за допомогою МДМ-підсилювача 15. Одержана постійна напруга U_3 (3) вимірюється за допомогою цифрового вольтметра 18. Отриманий код числа N_3 , ($N_3 = S_{np}U_3$) запам'ятовують.

В третьому такті аналогічним чином на виході другого джерела 10 каліброваних потоків випромінювань встановлюють четверте I_4 задане значення струму і здійснюють вимірювання четвертого каліброваного за значенням інтенсивності потоку випромінювання Φ_4 . Отримане значення напруги U_4 , (4) вимірюється за допомогою цифрового вольтметра 18, а отриманий код числа N_4 ($N_4 = S_{np}U_4$) запам'ятовують.

У четвертому такті відкривають заслінку 2, яка екранує потік випромінювання Φ_x . На виході другого джерела 10 каліброваних потоків випромінювань встановлюють перше задане значення струму I_1 . В результаті формується перший калібрований за значенням інтенсивності потік випромінювання Φ_1 . На чутливий елемент фотоприймача 14 поступає перший сумарний потік випромінювання $\Phi_{\Sigma 1}$. Він складається з інформативного потоку випромінювання Φ_x від досліджуваного нагрітого об'єкта і з потоку випромінювання Φ_1 від другого джерела 10 каліброваних потоків випромінювань. Вихідна постійна напруга фотоприймача 14 підсилюється за допомогою МДМ-підсилювача 15. Вихідну напругу $U_{\Sigma 1}$ (4) МДМ-підсилювача вимірюють за допомогою цифрового вольтметра 18. Отриманий код числа N_4 ($N_4 = S_{np}U_4$) запам'ятовують.

В п'ятому, шостому та сьомому тактах за допомогою другого джерела 10 каліброваних потоків випромінювань встановлюють відповідно друге, третє та четверте задане значення струму I_2 , I_3 та I_4 . На виході другого джерела 10 каліброваних потоків випромінювань формуються відповідно другий, третій та четвертий калібрований за значенням інтенсивності потоки випромінювання Φ_2 , Φ_3 та Φ_4 . На фотоприймач 14 поступають відповідно другий, п'ятий та шостий сумарні потоки випромінювання $\Phi_{\Sigma 2}$, $\Phi_{\Sigma 5}$ та $\Phi_{\Sigma 6}$. За допомогою фотоприймача ці потоки перетворюються в постійні напруги $U_{\Sigma 2}$ (6), $U_{\Sigma 5}$ (7) та $U_{\Sigma 6}$ (8) відповідно. Ці напруги підсилюють за допомогою МДМ-підсилювача 15 і вимірюють за допомогою цифрового вольтметра 18. Отримані коди чисел N_5 ($N_5 = S_{np}U_{\Sigma 2}$), N_6 ($N_6 = S_{np}U_{\Sigma 5}$) та N_7 ($N_7 = S_{np}U_{\Sigma 6}$) запам'ятовують.

По результатам проміжних вимірів $N_1 \dots N_5$, отриманим в кожному з п'яти тактів вимірювань, визначають дійсне значення потоку випромінювання $\Phi_1(\lambda_1)$ згідно із рівнянням числових значень

$$N_x = \frac{S_{np}((N_7 - N_6) - (N_3 - N_2) - 4((N_7 - N_3) - (N_4 - N_1)))}{3S_{np}((N_7 - N_6) - 2(N_4 - N_5))} \quad (17)$$

Як видно з рівняння числових значень (17), воно відповідає рівнянню надлишкових вимірювань (9). Отриманий результат (17) запам'ятовують.

Далі виключають друге джерело 10 каліброваних потоків випромінювань. Встановлюють світлофільтр 4 з довжиною хвилі λ_2 і приймають потік випромінювання $\Phi_0(\lambda_2)$, який відповідає температурі T_0 на границі "об'єкт-середовище". Включають перше джерело 9 каліброваних за значенням інтенсивності потоку випромінювання, шляхом подачі на нього заданого значення струму I_0 . В результаті

формується калібрований за значенням інтенсивності потік випромінювання Φ_0 . Цей потік через апертурну діафрагму 8 поступає на напівпрозоре дзеркало 6, відбивається від нього і поступає на окуляр 12. Оператор порівнює колір одержаного потоку випромінювання Φ_0 , що відображається на напівпрозорому дзеркалі 6, з кольором штучно сформованого в першому 9 джерелі каліброваного за значенням інтенсивності потоку випромінювання Φ_0 (кольором порівняння), що відповідає нормованій за значенням температури T_0 . При розбіжності кольорів, змінюють інформативний потік випромінювання $\Phi_0(\lambda_2)$ від досліджуваного нагрітого об'єкта шляхом, наприклад, переміщення фотометричного клину, який є складовим елементом світлофільтру 4 з змінною характеристикою. Зміну інтенсивності потоку випромінювання $\Phi_0(\lambda_2)=\Phi_{x0}$ здійснюють до моменту рівності зазначених кольорів.

В восьмому, дев'ятому, десятому та одинадцятому тактах вимірювання за допомогою другого 10 джерела каліброваних потоків випромінювань встановлюють відповідно перше, друге третє та четверте задане значення струмів I_1, I_2, I_3 та I_4 . Тим самим змінюють значення інтенсивності потоку випромінювання Φ_{x0} на значення інтенсивності відповідно першого, другого та третього каліброваних за значенням інтенсивності потоків випромінювання Φ_1, Φ_2, Φ_3 та Φ_4 . На фотоприймач 14 поступають відповідно третій, четвертий, сьомий та восьмий сумарні потоки випромінювання $\Phi_{\Sigma 3}, \Phi_{\Sigma 4}, \Phi_{\Sigma 7}$ та $\Phi_{\Sigma 8}$. За допомогою фотоприймача ці потоки перетворюються в постійні напруги $U_{\Sigma 3}, (9), U_{\Sigma 4} (10), U_{\Sigma 7} (11)$ та $U_{\Sigma 8} (12)$ відповідно. Зазначені напруги підсилюють за допомогою МДМ-підсилювача 15 і вимірюють за допомогою цифрового вольт-

метра 18. Отримані коди чисел $N_8(N_8=S_{np}U_{\Sigma 3}), N_9(N_9=S_{np}U_{\Sigma 4}), N_{10}(N_{10}=S_{np}U_{\Sigma 7})$ та $N_{11}(N_{11}=S_{np}U_{\Sigma 8})$ запам'ятовують.

За результатами проміжних вимірів $N_8...N_{11}$ визначають дійсне значення потоку випромінювання $\Phi_0(\lambda_2)$ згідно із рівнянням числових значень

$$N_0 = \frac{S_{np}((N_{11}-N_{10})-(N_3-N_2)-4((N_{11}-N_3)-(N_8-N_4)))}{3S_{np}((N_{11}-N_{10})-2(N_8-N_9))} \quad (18)$$

після визначення значень інтенсивностей потоків випромінювання Φ_x і Φ_0 про дійсне значення температури T_x об'єкта судять згідно з рівняннями числових значень (15)

$$T_x = T_0 \sqrt{\frac{S_{np}((N_7-N_6)-(N_3-N_2)-4((N_7-N_3)-(N_4-N_1)))}{3S_{np}((N_7-N_6)-2(N_4-N_5))} \cdot \frac{S_{np}((N_{11}-N_{10})-(N_3-N_2)-4((N_{11}-N_3)-(N_8-N_4)))}{3S_{np}((N_{11}-N_{10})-2(N_8-N_9))}} = T_0 \sqrt{\frac{((N_7-N_6)-(N_3-N_2)-4((N_7-N_3)-(N_4-N_1)))}{3((N_7-N_6)-2(N_4-N_5))} \cdot \frac{((N_{11}-N_{10})-(N_3-N_2)-4((N_{11}-N_3)-(N_8-N_4)))}{3((N_{11}-N_{10})-2(N_8-N_9))}} \quad (19)$$

Таким чином, зазначена сукупність та послідовність запропонованих та відомих суттєвих ознак забезпечує розширення діапазону та підвищення точності вимірювання температури.

Обробка результатів проміжних вимірювань згідно з рівняннями числових значень (19) забезпечує виключення впливу на результат вимірювання температури T_x абсолютних значень параметрів ($\Delta U_{cm}, S_{np}, S_{л}$) нелінійної функції перетворення фотоприймача та їх відхиленя від номінальних значень і забезпечує системну лінеаризацію загальної (результуючої) нелінійної функції перетворення пристрою.

В цілому, запропонований спосіб забезпечує вирішення поставленої задачі.

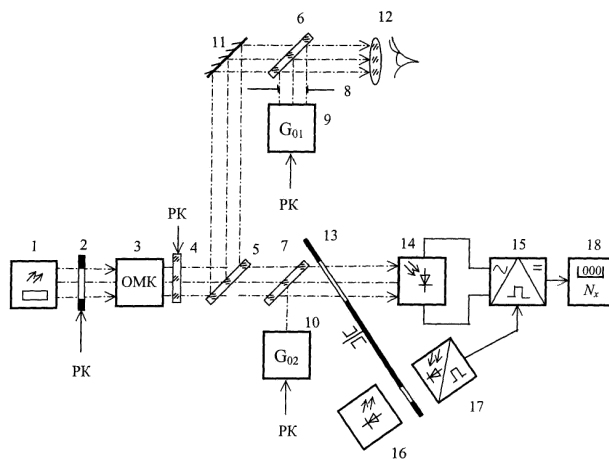


Рисунок. Структурна схема пристрою для надлишкових вимірювань дійсного значення температури