



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 88238

(13) C2

(51) МПК (2009)

G01J 5/00

G01J 5/02

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД**(54) РАДІОМЕТРИЧНИЙ СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ВІДДАЛЕНИХ ОБ'ЄКТІВ В ІНФРАЧЕРВОНОМУ ДІАПАЗОНІ ДОВЖИН ХВИЛЬ ТА ПРИСТРІЙ (ІЧ-РАДІОМЕТР) ДЛЯ ЙОГО ЗДІЙСНЕННЯ**

1

(21) а200804536

(22) 09.04.2008

(24) 25.09.2009

(46) 25.09.2009, Бюл. № 18, 2009 р.

(72) КОНДРАТОВ ВЛАДИСЛАВ ТИМОФІЙОВИЧ,
МАКОГОН ОЛЕКСАНДР ВОЛОДИМИРОВИЧ(73) ІНСТИТУТ КІБЕРНЕТИКИ ІМ.В.М.ГЛУШКОВА
НАН УКРАЇНИ

(56) UA 68026 A, 15.07.2004

UA 56614 A, 15.05.2003

UA 79162 C2, 25.05.2007

UA 66299 A, 15.04.2004

RU 61871 U1, 10.03.2007

UA 78064 C2, 15.02.2007

US 4974182, 27.11.1990

JP 60011124, 21.01.1985

SU 1717974, 07.03.1992

SU 1235305, 10.03.2000

(57) 1. Пристрій (ІЧ-радіометр), що має оптичну систему з послідовно розташованими на головній оптичній осі об'єктивом, що складається з ІЧ-світлофільтрів та системи лінз, управління яким здійснюється за допомогою системи управління, першу діафрагму, перший виконавчий механізм, вихід якого кінематично з'єднаний з першою діафрагмою, мікроконтролер, цифровий відліковий пристрій, десятковий міні-індикатор, модулятор, що складається з об'єктивної лінзи та мікро-двигуна для обертання диска, фокусуючу лінзу, параболічне дзеркало, перше відбиваюче дзеркало та окуляр з візором, який оптично з'єднаний з десятковим міні-індикатором через перше відбиваюче дзеркало, послідовно і електрично з'єднані між собою фотоприймач, підсилювач, синхронний детектор, узгоджувальний підсилювач, вихід якого підключений до порту "А", яким є вхід аналого-цифрового перетворювача, вбудованого в мікроконтролер, входи-виходи паралельного порту "С" якого з'єднані з однойменними входами-виходами клавіатури і флеш-пам'яті, входи-виходи третього паралельного порту "D" підключені до входів-виходів системи управління об'єктивом, входи-виходи четвертого паралельного порту "Е" підключені до об'єднаних між собою однойменних входів-виходів цифрового відлікового пристрою і десяткового міні-індикатора, який **відрізняється** тим,

2

що має додатково введену напівпрозору пластину, другу діафрагму та другий виконавчий механізм, які кінематично з'єднані між собою, кодокероване джерело нормованого за значенням потужності потоку оптичного ІЧ-випромінювання (чорне тіло), входи якого підключені до входів-виходів другого паралельного порту "С" мікроконтролера, вихід кодокерованого джерела оптично з'єднаний з оптичним входом фотоприймача через отвори у корпусі оптичної системи і другої діафрагми, напівпрозору пластину, гіперболічне дзеркало, лінзу і отвори у об'єктивній лінзі модулятора, входи управління синхронним детектором, мікродвигуном модулятора, першим та другим виконавчими механізмами підключені, відповідно, до відповідних розрядів першого паралельного порту "В" мікроконтролера, при цьому напівпрозора пластина розташована в середині оптичної системи, а гіперболічне дзеркало виконано з отвором у його геометричному центрі, що співпадає з оптичною віссю оптичної системи і її віссю симетрії.

2. Радіометричний спосіб вимірювання температури віддалених об'єктів в інфрачервоному діапазоні довжин хвиль за допомогою пристрою (ІЧ-радіометра), виконаного за п. 1, згідно з яким визначають місцеположення досліджуваного об'єкта, візуалізують його зображення, направляють потік оптичного випромінювання від об'єкта дослідження на фотоприймач радіометра, формують нормовані за значенням потужності першого та другого потоків оптичного випромінювання Φ_1 та Φ_2 , виключають дію потоків оптичного випромінювання на поверхню чутливого елемента фотоприймача, перетворюють у постійну напругу потужності теплового потоку Φ_1 при температурі T_1 навколишнього середовища, вимірюють її та запам'ятовують отримане значення напруги U_0 , перетворюють потужність потоку оптичного випромінювання Φ_1 в постійну напругу U_1 , вимірюють її та запам'ятовують отримане значення, перетворюють потужність потоку оптичного випромінювання Φ_2 в постійну напругу U_2 , вимірюють її та запам'ятовують отримане значення, формують третій потік оптичного випромінювання Φ_3 ($\{\Phi_3\} = \{\Phi_1\} + \{\Phi_2\}$) шляхом об'єднання дії на чутливий елемент фотоприймача двох потоків оптичного випромінювання - потоку Φ_x від

(13) C2

(11) 88238

(19) UA

об'єкта дослідження та потоку Φ_1 від чорного тіла з першим значенням потужності, перетворення потужності третього потоку в постійну напругу U_3 , вимірювання її та запам'ятовування отриманого значення, формування четвертого потоку оптичного випромінювання Φ_4 ($\{\Phi_4\}=\{\Phi_2\}+\{\Phi_x\}$) шляхом об'єднання дії на чутливий елемент фотоприймача двох потоків оптичного випромінювання - потоку Φ_x від об'єкта дослідження та потоку Φ_2 від чорного тіла з другим значенням потужності, перетворення потужності четвертого потоку в постійну напругу U_4 , вимірювання її та запам'ятовування отриманого значення, з наступним визначенням дійсного значення температури за рівнянням вимірювань

$$T_x = S_\Phi \sqrt[4]{\Phi_x},$$

де Φ_x - потужність потоку інфрачервоного випромінювання;

S_Φ - крутість перетворення потужності потоку інфрачервоного випромінювання у температуру

$$\left(S_\Phi = 4 \sqrt[4]{\frac{1}{\sigma \epsilon S_{\text{пр}}}} \right); \tau - \text{коефіцієнт прозорості ат-}$$

мосфери (додатково вимірюється); $S_{\text{пр}}$ - площа приймача потоку оптичного випромінювання; ϵ - відносна випромінююча здатність об'єкта, яка априорі відома чи додатково вимірюється; $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-12}$ Вт/см²•град⁴ - постійна випромінювання, який **відрізняється** тим, що перший та другий потоки оптичного випромінювання Φ_1 та Φ_2 формують

такими, щоб півсума значень їх потужностей дорівнювала $\{\Phi_0\}=\{\{\Phi_1\}+\{\Phi_2\}\}/k_2$ і відповідала першій нормованій за розміром температури T_0 у четвертому степені, при цьому напіврізниця значень потужностей дорівнювала $\{\Delta \Phi_0\}=\{\{\Phi_1\}-\{\Phi_2\}\}/k_2$ і відповідала нормованій за розміром температури ΔT_0 у четвертому степені, всі зазначені потоки оптичного випромінювання, що фокусують на вхідний отвір фотоприймача заданої форми та з заданою площею поверхні, оптично підсилюють у однакове число разів, формують з однаковими тілесними кутами і з однаковими діаметрами оптичних плям, рівними діаметру площі поверхні вхідного отвору фотоприймача, за допомогою окуляра радіометра встановлюють оптичний зв'язок між вхідним отвором фотоприймача та оком оператора, шляхом точного наведення оптичної системи на об'єкт дослідження здійснюють збігання геометричної та оптичної осей до моменту часу повного суміщення діаметрів оптичної плями, вхідного отвору фотоприймача та кола вирізу окуляра, а після здійснення зазначених тактів вимірювання визначають дійсне значення потужності потоку оптичного випромінювання від досліджуваного об'єкта і судять за рівнянням вимірювань

$$\Phi_x = \Phi_0 \cdot \frac{\gamma_\Phi^2 - k_1}{k_2} \cdot \frac{((U_3 - U_4) - (U_1 - U_2))}{(U_2 - U_1) + \gamma_\Phi [((U_2 - U_0) + (U_1 - U_0))]},$$

де $\gamma_\Phi = \Delta \Phi_0 / \Phi_0$; $k_1=1$; $k_2=2$.

Винахід відноситься до радіометрії, зокрема до вимірювання температури віддалених тіл по потужності інфрачервоного випромінювання і може бути використаний у радіометрах, приладах нічного бачення, далекомірах тощо для високоточного вимірювання температури об'єктів.

Відомий радіометричний спосіб вимірювання температури віддалених об'єктів (див. Криксунов Л.З. Приборы ночного видения. М.: Техника, 1975, с. 64-67), оснований на оптичному підсиленні потужності інфрачервоного випромінювання Φ_x від віддаленого нагрітого об'єкта, перетворенні у напругу потужності підсиленого потоку інфрачервоного випромінювання, вимірюванні та запам'ятовуванні діючого значення напруги з подальшим визначенням дійсного значення температури T_x згідно з відомим рівнянням вимірювання.

Недоліком відомого способу є залежність результату вимірювання від абсолютних значень функції перетворення вимірювального каналу та їх відхилень від номінальних значень (нестабільність) під дією зовнішніх дестабілізуючих факторів. Відомий спосіб не забезпечує виключення адитивної та мультиплікативної складових похибки вимірювання, а також похибки від нелінійності функції перетворення вимірювального каналу. Це обмежує практичне використання запропонованого способу.

Відомий радіометричний спосіб вимірювання температури віддалених об'єктів (див., наприклад, Кондратов В.Т., Зарніцина Г.О. Спосіб визначення дійсного значення температури. Деклараційний патент №56614 А від 15.05.2003. Бюл. №5, 2003. МПК 7 G 01 R 7/00), оснований на поділі світлового потоку від нагрітого тіла на два сфокусованих потоки, візуалізації зображення об'єкту по одному з потоків, направленні другого світлового потоку на поверхню чутливого елемента фотоприймача, виділенні з нього інформативного світлового потоку 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.

У відомому способі на результат вимірювання впливає похибка від неточного визначення місцеположення об'єкту дослідження і неточного наведення радіометра на об'єкт дослідження. Недоліком цього способу є також вплив на результат вимірювання послаблення потоку оптичного випромінювання, що вносить оптична система.

Найбільш близьким до запропонованого є радіометричний спосіб вимірювання температури віддалених об'єктів (див. Кондратов В.Т., Зарніцина Т.О. Деклараційний патент на винахід

№68026 А від 15.07.2004. Бюл. №7, 2007. МПК 7 G01 R 7/00), заснований на тому, що розділяють потік випромінювання від нагрітого об'єкту на два інформативні потоки, визначають місцеположення досліджуваного об'єкта по першому потоку, виключають дію другого потоку випромінювання Φ_x на поверхню чутливого елемента фотоприймача, перетворюють у постійну напругу інтенсивність темного потоку Φ_1 при температурі T_1 навколишнього середовища, вимірюють її і запам'ятовують отримане значення напруги U_1 , формують перший нормований за розміром інтенсивності потік випромінювання Φ_2 , що відповідає першій нормованій за розміром температурі T_2 , перетворюють інтенсивність потоку випромінювання Φ_2 в постійну напругу U_2 , вимірюють її і запам'ятовують отримане значення, формують другий нормований за розміром інтенсивності потік випромінювання Φ_3 , що відповідає другій нормованій за розміром температурі T_3 , близькій за розміром температурі T_2 , перетворюють інтенсивність потоку випромінювання Φ_3 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 інтенсивності потоку випромінювання Φ_x на розмір інтенсивності першого потоку випромінювання Φ_2 , перетворюють інтенсивність першого сумарного потоку випромінювання Φ_4 в постійну напругу U_4 , вимірюють її і запам'ятовують отримане значення, збільшують розмір інтенсивності потоку випромінювання Φ_x на розмір інтенсивності другого потоку випромінювання Φ_3 , перетворюють інтенсивність другого сумарного потоку випромінювання Φ_5 в постійну напругу U_5 , вимірюють її і запам'ятовують отримане значення, по одержаним значенням напруг визначають дійсне значення інтенсивності потоку випромінювання, по одержаному результату з використанням таблиць відповідності судять про температуру досліджуваного об'єкта, від відомих відрізняється тим, що перед формуванням першого та другого потоків випромінювання Φ_2 та Φ_3 , генерують стабільний та калібрований за розміром інтенсивності потік випромінювання Φ_0 , формування першого потоку випромінювання Φ_2 здійснюють шляхом зменшення інтенсивності стабільного за розміром потоку випромінювання Φ_0 в k_1 рази, де $k_1=1,01, \dots, 1,30$, формування другого потоку випромінювання Φ_3 здійснюють шляхом зменшення інтенсивності стабільного за розміром потоку випромінювання Φ_0 в k_2 рази, де $k_2=k_1+(3\div 10)\Delta_n$, де Δ_n - максимально допустима похибка вимірювання потоку випромінювання, а дійсне значення інтенсивності потоку випромінювання визначають згідно з рівняннями надлишкових вимірювань

$$\Phi_x = \Phi_0 \cdot \frac{\gamma_{\Phi}^2 - k_1}{k_2} \cdot \frac{((U_4 - U_5) - (U_3 - U_2))}{(U_3 - U_2) + \gamma_{\Phi}((U_3 - U_1) + (U_2 - U_1))},$$

де U_0 - напруга, пропорційна потоку випромінювання ($\{U_0\} = \{S_0\}\{\Phi_0\}$, де S_0 - коефіцієнт пропорційності); $\gamma_{\Phi} = \Delta\Phi_0/\Phi_0$.

Недоліком відомого способу є вплив на результат вимірювання температури похибки наве-

дення оптичної системи на об'єкт дослідження, похибки від наявності різниці діаметрів оптичних плям кожного потоку, що поступає на фотоприймач, а також похибки від нерівності коефіцієнтів підсилення оптичних сигналів. Все це обумовлює недостатньо високу точність вимірювання температури.

В основу винаходу поставлена технічна задача створення такого радіометричного способу вимірювання температури віддалених об'єктів, при якому забезпечується високоточне направлення радіометра на досліджуваний об'єкт та зворотного направлення потоку оптичного випромінювання від нього на фотоприймач радіометра, рівність діаметрів оптичних плям кожного потоку, що поступає на фотоприймач, рівності коефіцієнтів підсилення оптичних сигналів, виключення дії на результат вимірювання абсолютних значень параметрів функції перетворення і їх відхилень від номінальних значень, по причині старіння функціональних блоків та елементів вимірювального каналу за часом та від дії зовнішніх дестабілізуючих факторів, тобто автоматична корекція похибок вимірювання.

Для вирішення поставленої задачі запропоновано радіометричний спосіб вимірювання температури віддалених об'єктів в інфрачервоному діапазоні довжин хвиль та пристрій (ІЧ-радіометр) для його здійснення, оснований на визначенні місцеположення досліджуваного об'єкта, візуалізації його зображення, направленні потоку оптичного випромінювання від об'єкту дослідження на фотоприймач радіометра, формуванні нормованих за значенням потужності першого та другого потоків оптичного випромінювання Φ_1 та Φ_2 , виключенні дії потоків оптичного випромінювання на поверхню чутливого елемента фотоприймача, перетворенні у постійну напругу потужності темного потоку Φ_T при температурі T_1 навколишнього середовища, вимірюванні її та запам'ятовуванні отриманого значення напруги U_0 , перетворенні потужності потоку оптичного випромінювання Φ_1 в постійну напругу U_1 , вимірюванні її та запам'ятовуванні отриманого значення, перетворенні потужності потоку оптичного випромінювання Φ_2 в постійну напругу U_2 , вимірюванні її та запам'ятовуванні отриманого значення, формуванні третього потоку оптичного випромінювання Φ_3 ($\{\Phi_3\} = \{\Phi_1\} + \{\Phi_x\}$) шляхом об'єднання дії на чутливий елемент фотоприймача двох потоків оптичного випромінювання, - потоку Φ_x від об'єкту дослідження та потоку Φ_1 від чорного тіла з першим значенням потужності, перетворенні потужності третього потоку в постійну напругу U_3 , вимірюванні її та запам'ятовуванні отриманого значення, формуванні четвертого потоку оптичного випромінювання Φ_4 ($\{\Phi_4\} = \{\Phi_2\} + \{\Phi_x\}$) шляхом об'єднання дії на чутливий елемент фотоприймача двох потоків оптичного випромінювання, - потоку Φ_x від об'єкту дослідження та потоку Φ_2 від чорного тіла з другим значенням потужності, перетворенні потужності четвертого потоку в постійну напругу U_4 , вимірюванні її та запам'ятовуванні отриманого значення, з наступним визначенням дійсного значення температури за рівнянням вимірювань

$$T_x = S_{\Phi} \sqrt[4]{\Phi_x}$$

де Φ_x - потужність потоку інфрачервоного випромінювання; S_{Φ} - крутість перетворення потужності потоку інфрачервоного випромінювання у темпе-

ратуру $\left(S_{\Phi} = \sqrt[4]{\frac{1}{\sigma \epsilon S_{\text{пр}}}} \right)$; τ - коефіцієнт прозоро-

сті атмосфери (додатково вимірюється); $S_{\text{пр}}$ - площа приймача потоку оптичного випромінювання; ϵ - відносна випромінююча здатність об'єкту, яка апіорі відома чи додатково вимірюється; $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-12} \text{ Вт/см}^2 \cdot \text{град}^4$ - постійна випромінювання, від відомих відрізняється тим, що перший та другий потоки оптичного випромінювання Φ_1 та Φ_2 формують такими, щоб напівсума значень їх потужностей дорівнював $\{\Phi_0\} = (\{\Phi_1\} + \{\Phi_2\})/k_2$ і відповідав першій нормованій за розміром температури T_0 у четвертій степені, при цьому напіврізниця значень потужностей дорівнювала $\{\Delta\Phi_0\} = (\{\Phi_1\} - \{\Phi_2\})/k_2$ і відповідала нормованій за розміром температури ΔT_0 у четвертій степені, всі зазначені потоки оптичного випромінювання, що фокусують на вхідний отвір фотоприймача заданої форми та з заданою площею поверхні, оптично підсилюють у однакове число разів, формують з однаковими тілесними кутами і з однаковими діаметрами оптичних плям, рівними діаметру площі поверхні вхідного отвору фотоприймача, за допомогою окуляра радіометра встановлюють оптичний зв'язок між вхідним отвором фотоприймача та оком оператора, шляхом точного наведення оптичної системи на об'єкт дослідження здійснюють збігання геометричної та оптичної осей до моменту часу повного суміщення діаметрів оптичної плями, вхідного отвору фотоприймача та кола вирізу окуляра, а після здійснення зазначених тактів вимірювання визначають дійсне значення потужності потоку оптичного випромінювання від досліджуваного об'єкту судять за рівнянням вимірювань

$$\Phi_x = \Phi_0 \cdot \frac{\gamma_{\Phi}^2 - k_1}{k_2} \cdot \frac{(U_3 - U_4) - (U_1 - U_2)}{(U_2 - U_1) + \gamma_{\Phi}[(U_2 - U_0) + (U_1 - U_0)]},$$

де $\gamma_{\Phi} = \Delta\Phi_0/\Phi_0$; $k_1=1$; $k_2=2$.

2. Пристрій (ІЧ-радіометр) по п.1, який включає в собі оптичну систему з послідовно розташованими на головній оптичній вісі об'єктивом, що складається з ІЧ-світлофільтрів та системи лінз, управління яким здійснюється за допомогою системи управління, першу діафрагму, перший виконавчий механізм, вихід якого кінематично з'єднаний з першою діафрагмою, мікроконтролер, цифровий відліковий пристрій, десятковий міні-індикатор, модулятор, що складається з об'єктивного диску та мікродвигуна, що здійснює обертання цього диску, фокусуючу лінзу, параболічне дзеркало, перше відбиваюче дзеркало та окуляр з візиром, який оптично з'єднаний з десятковим міні-індикатором через перше відбиваюче дзеркало, послідовно і електрично з'єднані між собою фотоприймач, підсилювач, синхронний детектор, узгоджувальний підсилювач, вихід якого підключений до порту "А", яким є вхід аналого-цифрового перетворювача вбудованого в мікроконтролер, входи-виходи паралельного порту "С" якого з'єднані з

однойменними входами-виходами клавіатури і флеш-пам'яті, входи-виходи третього паралельного порту "D" підключені до входів-виходів системи управління об'єктивом, входи-виходи четвертого паралельного порту "Е" підключені до об'єднаних між собою однойменних входів-виходів цифрового відлікового пристрою і десяткового міні-індикатора, від відомих відрізняється тим, що додатково введені напівпрозора пластина, друга діафрагма та другий виконавчий механізм, які кінематично з'єднані між собою, кодокероване джерело нормованого за значенням потужності потоку оптичного ІЧ-випромінювання (чорне тіло), входи якого підключені до входів-виходів другого паралельного порту "С" мікроконтролера, вихід кодокерованого джерела оптично з'єднаний з оптичним входом фотоприймача через отвори у корпусі оптичної системи і другої діафрагми, напівпрозору пластину, гіперболічне дзеркало, лінзу і отвори у об'єктивному диску модулятора, входи управління синхронним детектором, мікро-двигуном модулятора, першим та другим виконавчими механізмами підключені, відповідно, до відповідних розрядів першого паралельного порту "В" мікроконтролера, при цьому напівпрозора пластина розташована в середині оптичної системи, а гіперболічне дзеркало виконано з отвором у його геометричному центрі, що співпадає з оптичною віссю оптичної системи і її віссю симетрії.

На малюнку наведена структурна схема цифрового ІЧ-радіометра, де: 1 - об'єктив; 2 і 3 - перша і друга діафрагми; 4 - напівпрозора пластина; 5 - фотоприймач потоку оптичного ІЧ-випромінювання; 6 - об'єктивний диск модулятора; 7 - фокусуюча лінза; 8 - параболічне дзеркало з отвором; 9 - відбивне дзеркало; 10 - об'єктив з окуляром; 11 - міні-індикатор; 12 - кодокероване джерело потоку оптичного випромінювання (чорне тіло); 13 - система управління; 14 і 15 - перший і другий виконавчі механізми; 16 - мікродвигун модулятора; 17 - цифровий відліковий пристрій; 18 - клавіатура; 19 - підсилювач; 20 - синхронний детектор; 21 - узгоджувальний підсилювач; 22 - флеш-пам'ять; 23 - мікроконтролер.

Відомо, що потужність потоку інфрачервоного випромінювання від нагрітого об'єкту пов'язана з температурою за законом Стефана-Больцмана:

$$\Phi_x = \tau \cdot S_{\text{пр}} \cdot \epsilon \cdot \sigma \cdot T_x^4 = S_T \cdot T_x^4, \quad (1)$$

де Φ_x - потужність потоку інфрачервоного випромінювання об'єкту вимірювання; τ - коефіцієнт прозорості атмосфери (визначається експериментально); $S_{\text{пр}}$ - площа фотоприймача потоку оптичного випромінювання (визначається експериментально); ϵ - відносна випромінююча здатність об'єкту (вибирається з довідкової технічної літератури); $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-12} \text{ Вт/см}^2 \cdot \text{град}^4$ - постійна випромінювання; T_x - температура віддаленого об'єкту дослідження; $S_T = \tau \cdot S_{\text{пр}} \cdot \epsilon \cdot \sigma$ - крутість перетворення температури у потужність потоку інфрачервоного випромінювання.

Припустимо, що реальна функція перетворення вимірювального каналу описується рівнянням величин виду

$$U_x = S'_H \cdot (\Phi_x)^2 + S'_L \cdot \Phi_x + \Delta U'_H, \quad (2)$$

де S'_H - реальна кубічна складова чутливості приймача потоку інфрачервоного випромінювання ($\{S'_H\} = \{S_H\}(1 + \gamma_H)$); S_H - номінальна за значенням квадратична складова чутливості фотоприймача потоку оптичного випромінювання; γ_H - відносна зміна квадратичної складової чутливості приймача ($\gamma_H = \{\Delta S_H\}/\{S_H\}$); ΔS_H - абсолютна зміна квадратичної складової чутливості фотоприймача під дією зовнішніх дестабілізуючих факторів; S'_L - лінійна складова чутливості фотоприймача ($\{S'_L\} = \{S_L\}(1 + \gamma_L)$); S_L - номінальна за значенням лінійна складова чутливості фотоприймача; γ_L - відносна зміна лінійної складової чутливості фотоприймача ($\gamma_L = \{\Delta S_L\}/\{S_L\}$); $\Delta U'$ - реальна вихідна напруга вимірювального каналу при нульовому значенні потужності потоку оптичного випромінювання Φ_x ($\{\Delta U'\} = \{\Delta U\} + \{\Delta_{ad}\}$); ΔU - номінальна за значенням вихідна напруга вимірювального каналу; Δ_{ad} - адитивна складова похибки перетворення потоку оптичного випромінювання у вихідну напругу вимірювального каналу; $\Delta_{мп}$ - мультиплікативна складова похибки перетворення потоку оптичного випромінювання у вихідну напругу вимірювального каналу ($\{\Delta_{мп}\} = \{\Delta_{мпн}\} + \{\Delta_{мпл}\}$).

З урахуванням закону Стефана-Больцмана (1), функція перетворення (2) прийме вид:

$$U_x = S'_H (S_T T_x^4)^2 + S'_L (S_T T_x^4) + \Delta U'_H. \quad (3)$$

Запропонований радіометричний спосіб вимірювання температури віддалених об'єктів в інфрачервоному діапазоні довжин хвиль та пристрій (14-радіометр) для його здійснення оснований на визначенні місцеположення досліджуваного об'єкта, візуалізації його зображення, формуванні нормованих за значенням потужності першого та другого потоків оптичного випромінювання Φ_1 та Φ_2 , направленні потоку оптичного випромінювання від об'єкту дослідження на фотоприймач радіометра та на перетворенні у напругу

$$U_{xi} = S'_H \cdot \Phi_{xi}^2 + S'_L \cdot \Phi_{xi} + \Delta U'_H; \quad (4)$$

потужності відповідних потоків оптичного випромінювання від об'єкту та від чорного тіла.

Отримані напруги вимірюються, а діючі значення кожної з них запам'ятовуються у вигляді кодів чисел

$$N_i = S_0 \cdot U_{xi}, \quad (5)$$

де S_0 - крутість аналого-цифрового перетворення; N_i - числове значення напруги U_{xi} .

Дійсне значення температури T_x визначають за відповідним рівнянням вимірювання.

Згідно з запропонованим радіометричним способом вимірювання температури віддалених об'єктів в інфрачервоному діапазоні довжин хвиль, виключають дію потоків оптичного випромінювання від об'єкту дослідження на фотоприймач радіометра. Перетворюють у постійну напругу

$$U_0 = \Delta U'_H. \quad (6)$$

потужність темрявого потоку Φ_T при температурі T_1 навколишнього середовища.

Діюче значення напруги U_0 (6) запам'ятовують.

Почергово формують перший та другий потоки оптичного ІЧ-випромінювання Φ_1 і Φ_2 . Причому ці

потоки формують такими, щоб напівсума значень їх потужностей дорівнював $\{\Phi_0\} = (\{\Phi_1\} + \{\Phi_2\})/k_2$ і відповідав першій нормованій за розміром температурі T_0 у четвертій степені, а напіврізниця значень потужностей дорівнювала б $\{\Delta \Phi_0\} = (\{\Phi_1\} - \{\Phi_2\})/k_2$ і відповідала нормованій за розміром температурі ΔT_0 у четвертій степені.

Спочатку формують потік оптичного ІЧ-випромінювання Φ_1 , потужність якого пропорційна нормованій за значенням температурі T_{01} ($\{T_{01}\} = \{T_0\} + \{\Delta T_0\}$) у четвертій степені. Причому значення потоку Φ_1 оптичного ІЧ-випромінювання дорівнює $\{\Phi_1\} = \{\Phi_0\} - \{\Delta \Phi_0\}$, де Φ_0 і $\Delta \Phi_0$ - нормовані за значенням потужності потоки оптичного випромінювання. Причому $\{\Delta \Phi_0\}$ приблизно складає 2%... 20% від $\{\Phi_0\}$ і перевищує поріг чутливості фотоприймача не менше ніж у 3-10 разів.

Перетворюють потужність першого потоку Φ_1 оптичного ІЧ-випромінювання в постійну напругу

$$U_1 = S'_H \cdot \Phi_1^2 + S'_L \cdot \Phi_1 + \Delta U'_H. \quad (7)$$

Діюче значення напруги U_1 (7) також запам'ятовують.

Потім формують другий потік оптичного інфрачервоного випромінювання Φ_2 , потужність якого пропорційна нормованій за значенням температурі T_{02} ($\{T_{02}\} = \{T_0\} + \{\Delta T_0\}$) у четвертій степені. Причому значення потужності потоку Φ_2 дорівнює $\{\Phi_2\} = \{\Phi_0\} + \{\Delta \Phi_0\}$.

Перетворюють потужність другого потоку оптичного випромінювання у напругу

$$U_2 = S'_H \cdot \Phi_2^2 + S'_L \cdot \Phi_2 + \Delta U'_H. \quad (8)$$

Діюче значення напруги U_2 (8) запам'ятовують.

Після цього формують третій потік оптичного ІЧ-випромінювання Φ_3 шляхом об'єднання дії на чутливий елемент фотоприймача оптичних потоків інфрачервоного випромінювання з відомим ($\{\Phi_1\}$) і невідомим ($\{\Phi_x\}$) значеннями потужностей. В результаті потужність потоку оптичного ІЧ-випромінювання Φ_3 буде дорівнювати $\{\Phi_3\} = \{\Phi_1\} + \{\Phi_x\}$. Перетворюють потужність третього потоку інфрачервоного випромінювання у напругу

$$U_3 = S'_H \cdot \Phi_3^2 + S'_L \cdot \Phi_3 + \Delta U'_H. \quad (9)$$

Діюче значення напруги U_3 (9) запам'ятовують.

Далі формують четвертий потік оптичного інфрачервоного випромінювання Φ_4 ($\{\Phi_4\} = \{\Phi_2\} + \{\Phi_x\}$) шляхом об'єднання дії на приймач оптичних потоків інфрачервоного випромінювання з відомим ($\{\Phi_2\}$) і невідомим ($\{\Phi_x\}$) значеннями потужностей. Перетворюють потужність четвертого сформованого оптичного потоку у напругу

$$U_4 = S'_H \cdot \Phi_4^2 + S'_L \cdot \Phi_4 + \Delta U'_H. \quad (10)$$

Діюче значення напруги U_4 (10) запам'ятовують.

Про дійсне значення температури судять згідно з рівнянням надлишкових вимірювань

$$T_x = 4 \sqrt{\frac{\Phi_x}{\sigma \cdot \tau \cdot \varepsilon \cdot S_{пр}}} = 4 \sqrt{\frac{1}{\sigma \tau \varepsilon S_{пр}}} \cdot \sqrt{\Phi_x} = S_{\Phi} \sqrt{\Phi_x}, \quad (11)$$

де $k_{\Delta\lambda}$ - коефіцієнт пропорційності, який залежить від смуги довжин хвиль інфрачервоного випромінювання, у якій визначається температура об'єкту дослідження; Φ_x - потужність потоку інфрачервоного випромінювання від віддаленого об'єкту

дослідження, яка визначається за рівнянням надлишкових вимірювань

$$\Phi_x = \Phi_0 \cdot \frac{\gamma_{\Phi}^2 - k_1}{k_2} \cdot \frac{(U_3 - U_4) - (U_1 - U_2)}{(U_2 - U_1) + \gamma_{\Phi}(U_2 - U_0 + U_1 - U_0)}, \quad (12)$$

$\gamma_{\Phi} = \Delta \Phi_0 / \Phi_0$; $k_1=1$; $k_2=2$; S_{Φ} - крутість перетворення потужності потоку ІЧ-випромінювання у температуру $\left(S_{\Phi} = 4 \sqrt{\frac{1}{\sigma_{\text{те}} S_{\text{пр}}}} \right)$; τ - коефіцієнт про-

зорості атмосфери (додатково вимірюється); $S_{\text{пр}}$ - площа приймача потоку оптичного випромінювання; ε - відносна випромінююча здатність об'єкту, яка апіорі відома чи додатково вимірюється; $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-12} \text{ Вт/см}^2 \cdot \text{град}^4$ - постійна випромінювання.

Слід підкреслити, що згідно запропонованому способу, зазначені потоки оптичного випромінювання фокусують на вхідний отвір фотоприймача заданої форми та з заданою площею поверхні. Причому отвір фотоприймача може бути прямокутної, квадратної чи круглої форм. Бажано щоб й оптичні плями були тієї ж форми, щоб на 100% використати площу чутливої поверхні фотоприймача. Оскільки оптимальним є отвір круглої форми, то, у разі наявності отвору іншої форми, можливо його маскування, тобто встановлення на фотоприймач вхідної діафрагми з круглим отвором.

Потоки ІЧ-випромінювання оптично підсилюють у однакове число разів. Це необхідно для отримання рівно точних вимірювань їх потужностей, тобто для підвищення точності вимірювання.

Крім того, потоки оптичного випромінювання формують з однаковими тілесними кутами і з однаковими діаметрами оптичних плям, рівними діаметру площі поверхні вхідного отвору фотоприймача. У цьому випадку мінімізуються витрати потужності потоків оптичного випромінювання, тобто у напруги перетворюється практично вся потужність цих потоків.

Особливістю зазначеного способу є необхідність встановлення оптичного зв'язку між вхідним отвором фотоприймача та оком оператора. Це дає можливість оператору візуально виключити витрати потоків оптичного випромінювання, завдяки 100% попаданні їх на вхідний отвір фотоприймача.

Шляхом точного наведення оптичної системи на об'єкт дослідження здійснюють збігання геометричної та оптичної осей до моменту часу повного суміщення діаметрів оптичної плями, вхідного отвору фотоприймача та кола вирізу окуляра. Це забезпечує підвищення точності визначення дійсного значення потужності потоку оптичного випромінювання від об'єкту дослідження.

Як видно з рівняння величин (12), результат вимірювання потужності потоку оптичного випромінювання не залежить від параметрів функції перетворення вимірювального каналу з фотоприймачем ($S'_{\text{н}}$, $S'_{\text{л}}$ і $\Delta U'$) та їх відхилень від номінальних значень. Тобто складові систематичної похибки вимірювання $\Delta_{\text{мп}}$ ($\{\Delta_{\text{мп}}\} = \{\Delta_{\text{мпн}}\} + \{\Delta_{\text{мпл}}\}$) та $\Delta_{\text{ад}}$ виключаються. Виключається також дія на результат вимірювання похибки від нелінійності,

що обумовлена наявністю квадратичної складової у функції перетворення вимірювального каналу.

Це свідчить про те, що запропонований спосіб забезпечує виключення систематичних похибок вимірювання завдяки використанню описаного способу та відповідного рівняння надлишкових вимірювань. Останнє характерне тільки для функції перетворення вимірювального каналу, що описується квадратичним тричленом.

Таким чином, запропонований радіометричний спосіб надлишкових вимірювань температури віддалених об'єктів в інфрачервоному діапазоні довжин хвиль забезпечує автоматичну корекцію похибок вимірювання, виключення дії на похибки вимірювання нелінійності функції перетворення вимірювального каналу, абсолютних значень параметрів функції перетворення та їх відхилень від номінальних значень, що обумовлені процесами старіння функціональних блоків та елементів вимірювального каналу за часом, впливом температури, вологості, тиску та інших дестабілізуючих факторів. Крім того, запропонований спосіб забезпечує високу точність наведення оптичної системи на об'єкт дослідження та переносу його зображення на чутливий елемент фотоприймача. В цілому запропонований спосіб забезпечує вирішення зазначеної технічної задачі.

Пояснимо сутність запропонованого методу на прикладі роботи цифрового ІЧ-радіометру, структурна схема якого наведена на малюнку.

Першим на головній оптичній осі ІЧ-радіометра розташований об'єктів 1. Він складається з ІЧ-світлофільтрів для пропускання оптичного випромінювання у діапазоні довжин хвиль 8мкм... 14мкм, та системи лінз, яка забезпечує необхідний коефіцієнт оптичного підсилення вхідних сигналів. Управління об'єктивом здійснюється за допомогою системи управління 13. На головній оптичній вісі ІЧ-радіометра розташована також перша діафрагма 2, вихід якої кінематично з'єднаний з першим виконавчим механізмом 14. Також на головній оптичній осі ІЧ-радіометра розташовані фотоприймач 5 потоку оптичного ІЧ-випромінювання, модулятор 6, фокусуюча лінза 7, параболічне дзеркало з отвором 8, відбиваюче дзеркало 9 та окуляр 10 з візором. Останній оптично з'єднаний з десятковим міні-індикатором 11 через відбиваюче дзеркало 9.

Також у ІЧ-радіометр введені послідовно і електрично з'єднані між собою фотоприймач 5 потоку оптичного ІЧ-випромінювання 5, підсилювач 19, синхронний детектор 20, узгоджувальний підсилювач 21, вихід якого підключений до порту "А", яким є вхід аналого-цифрового перетворювача вбудованого в мікроконтролер 23.

Входи-виходи паралельного порту "С" мікроконтролера 23 з'єднані з однойменними входами-виходами клавіатури 18 і флеш-пам'яті 22. Входи-виходи третього паралельного порту "D" підключені до входів-виходів системи управління 13 об'єктивом 1. Входи-виходи четвертого паралельного порту "Е" мікроконтролера 23 підключені до об'єднаних між собою однойменних входів-виходів цифрового відлікового пристрою 17 і десяткового міні-індикатора 11.

Від відомих ІЧ-радіометр відрізняється тим, що в нього додатково введені напівпрозора пластина 4, друга діафрагма 3 та другий виконавчий механізм 15, які кінематично з'єднані між собою. Крім того, у ІЧ-радіометр введено кодокероване джерело 12 нормованого за значенням потужності потоку оптичного ІЧ-випромінювання (чорне тіло). Входи джерела 12 потоку оптичного ІЧ-випромінювання підключені до входів-виходів другого паралельного порту "С" мікроконтролера 23. Вихід кодокерованого джерела 12 оптично з'єднаний з оптичним входом фотоприймача 5 через отвори у корпусі оптичної системи і другої діафрагми 3, напівпрозору пластину 4, гіперболічне дзеркало 8, лінзу 7 і отвори у обтюраторному диску 6 модулятора.

Входи управління синхронним детектором 20, мікродвигуном модулятора 16, першим та другим виконавчими механізмами 14 і 15 (див. малюнок, виходи "в" і "г" порту "В") підключені, відповідно, до відповідних розрядів першого паралельного порту "5" мікроконтролера 23. При цьому напівпрозора пластина 4 розташована в середині оптичної системи, а гіперболічне дзеркало 8 виконано з отвором у його геометричному центрі, що співпадає з оптичною віссю оптичної системи і її віссю симетрії.

Після включення джерела живлення (на малюнку не показаний), всі функціональні блоки ІЧ-радіометра встановлюються у початковий стан: цифровий відліковий пристрій 17 та десятковий міні-індикатор 11 показують нулі.

Перший виконавчий механізм 14 встановлюється у відкрите положення, при якому діафрагма 2 відкрита. Наводять ІЧ-радіометр на об'єкт дослідження. Наведення відбувається за допомогою візиру, що накреслений в площині окуляра 10. Частина потоку оптичного ІЧ-випромінювання від об'єкту дослідження відбивається від параболічного дзеркала 8 і за допомогою лінзи 7 фокусується на чутливий елемент фотоприймача 5. Це видно за допомогою окуляра 10 з візиром. При цьому об'єкт дослідження чи його частина площі повинні відобразитися в середині (в центрі) вхідного отвору фотоприймача 5 з одного боку і в центрі кола візира окуляра 10, - з другого. У такому випадку потік оптичного випромінювання відповідної потужності точно поступить від об'єкту дослідження на фотоприймач 5 оптичного ІЧ-випромінювання.

Друга діафрагма 3 встановлюється у положення, протилежне показаному на малюнку, тобто забезпечує переривання проходження потоку оптичного випромінювання від джерела 12 на фотоприймач 5.

За допомогою клавіатури 18 у вбудовану пам'ять мікроконтролера 23 вводяться необхідні константи та таблиця значень коефіцієнтів випромінювання об'єктів різного типу та залежність значень коефіцієнт пропорційності $k_{\Delta\lambda}$ від встановленої смуги довжин хвиль інфрачервоного випромінювання, у якій визначається температура об'єкту дослідження.

Після включення джерела живлення, з виходів порту "С" мікроконтролера 22 видається сигнал, що включає мікродвигун 16. Останній здійснює

обертання обтюраторного диску 6 і, таким чином, модуляцію потоку оптичного випромінювання, що поступає на фотоприймач 5. ІЧ-радіометр готовий до проведення вимірювань.

Процес вимірювання температури об'єкту дослідження складається з 5 тактів. У першому такті по команді з порту "D" мікроконтролера 23 перший виконавчий механізм 14 переводить діафрагму 2 у закритий стан. На другий виконавчий механізм 15 з виходів порту "D" мікроконтролера 23 поступає сигнал, за яким друга діафрагма 3 закривається, тобто переводиться у стан, протилежний показаному на малюнку. Друга діафрагма 3 перекриває потік оптичного випромінювання від кодокерованого джерела 12 (чорного тіла).

У першому такті на вхід приймача 5 потоки оптичного випромінювання від об'єкту та чорного тіла не поступають.

Змінний електричний сигнал з приймача 5 підсилюється до необхідного рівня за допомогою підсилювача 19 вимірювального каналу, детектується за допомогою синхронного детектора 20 і, через узгоджуючий підсилювач 21, поступає на вхід аналого-цифрового перетворювача у вигляді напруги U_0 (6). Після перетворення на виході аналого-цифрового перетворювача маємо код числа

$$N_0 = S_0 \cdot U_0 = S_0 \Delta U'_H, \quad (13)$$

який запам'ятовується у пам'яті мікроконтролера 23 й використовується для подальших перетворень.

У другому такті по команді з порту "С" мікроконтролера 23 встановлюється перше нормоване значення потужності потоку Φ_1 оптичного ІЧ-випромінювання на виході джерела 12 (чорного тіла).

Одночасно по команді з порту "В" мікроконтролера 23 другий виконавчий механізм 15 переводить другу діафрагму 3 у відкритий стан. При цьому потік оптичного ІЧ-випромінювання Φ_1 проходить крізь відкриту діафрагму 3 і отвір у корпусі оптичної системи, відбивається від напівпрозорого дзеркала 4, гіперболічної лінзи 8 і крізь оптичну лінзу поступає на вхід фотоприймача 5 вже модульованим у часі обтюраторним диском 6.

Змінний електричний сигнал фотоприймача 5 підсилюється до необхідного рівня за допомогою підсилювача 19 вимірювального каналу, детектується за допомогою синхронного детектора 20 і, через узгоджувальний підсилювач 21, поступає на вхід аналого-цифрового перетворювача у вигляді напруги U_1 (7). Після перетворення у код напруги (7) на виході аналого-цифрового перетворювача формується код числа

$$N_1 = S_0 \cdot U_1 = S_0 (S'_0 \cdot \Phi_1^2 + S'_H \cdot \Phi_1) + \Delta U', \quad (14)$$

який запам'ятовується у пам'яті мікроконтролера 23 й використовується для подальших перетворень.

У третьому такті по команді з виходу порту "С" мікроконтролера 23 встановлюється другий, нормований за значенням потужності потік Φ_2 ($\{\Phi_2\} = \{\Phi_0\} + \{\Delta \Phi_0\}$) оптичного випромінювання з виходу джерела 12 (чорного тіла). При цьому потік оптичного ІЧ-випромінювання Φ_2 проходить крізь відкриту діафрагму 3 і отвір у корпусі оптичної системи, відбивається від напівпрозорого дзеркала,

гіперболічної лінзи 8 і крізь оптичну лінзу 7 і обтюраторний диск 6 поступає на вхід приймача 5 вже модульованим у часі.

Змінний електричний сигнал з виходу приймача 5 підсилюється до необхідного рівня за допомогою підсилювача 19 вимірювального каналу, детектується за допомогою синхронного детектора 20 і, через узгоджуючий підсилювач 21, поступає на вхід аналого-цифрового перетворювача у вигляді напруги U_2 (8). Після перетворення на виході аналого-цифрового перетворювача формується код числа

$$N_2 = S_0 \cdot U_2 = S_0 (S'_0 \cdot \Phi_2^2 + S'_n \cdot \Phi_2) + \Delta U'_n, \quad (15)$$

який запам'ятовується у пам'яті мікроконтролера 23 й використовується для подальших перетворень.

У четвертому такті по команді з порту "С" мікроконтролера 22 потік оптичного ІЧ-випромінювання з виходу джерела 12 (чорного тіла) встановлюється рівним потоку Φ_1 оптичного випромінювання з нормованою за значенням потужністю ($\{\Phi_1\} = \{\Phi_0\} - \{\Delta \Phi_0\}$). По команді з порту "b" мікроконтролера 23 перший виконавчий механізм 14 переводить першу діафрагму 2 у відкритий стан.

Потік Φ_1 оптичного ІЧ-випромінювання від джерела 12 проходить крізь відкриту другу діафрагму 3 і отвір у корпусі оптичної системи, відбивається від напівпрозорого дзеркала 4, гіперболічної лінзи 8 і крізь оптичну лінзу 7 і обтюраторний диск 6 поступає на вхід приймача 5 вже модульованим у часі.

Одночасно з ним потік оптичного ІЧ-випромінювання Φ_x від об'єкту дослідження проходить крізь об'єктив 1, відкриту першу діафрагму 2 і, відбиваючись від гіперболічного дзеркала 8, поступає через лінзу 7 і обтюраторний диск 6 на вхід приймача 5 вже модульованим у часі. У цьому такті на вхід фотоприймача 5 потрапляє перший сумарний потік Φ_3 з потужністю $\{\Phi_3\} = \{\Phi_1\} + \{\Phi_x\}$.

Змінний електричний сигнал з фотоприймача 5 підсилюється до необхідного рівня за допомогою підсилювача 19 вимірювального каналу, детектується за допомогою синхронного детектора 20 і, через узгоджувальний підсилювач 21, поступає на вхід аналого-цифрового перетворювача у вигляді напруги U_3 (9). Після перетворення на виході аналого-цифрового перетворювача маємо код числа

$$N_3 = S_0 \cdot U_3 = S_0 (S'_n \cdot (\Phi_1 + \Phi_x)^2 + S'_n \cdot (\Phi_1 + \Phi_x)) + \Delta U'_n, \quad (16)$$

який запам'ятовується у пам'яті мікроконтролера 23 й використовується для подальших перетворень.

$$\{\Phi_x\} = \{\Phi_0\} \cdot \frac{\{\gamma_\Phi^2\} - \{k_1\}}{\{k_2\}} \cdot \frac{(\{N_3\} - \{N_4\}) - (\{N_1\} - \{N_2\})}{(\{N_2\} - \{N_1\}) + \{\gamma_\Phi\}(\{N_2\} - \{N_0\} + \{N_1\} - \{N_0\})}. \quad (19)$$

Значення температури об'єкту через порт "Е" мікроконтролера 23 поступає на мінііндикатор 11 та на цифровий обчислювальний пристрій 18, де й відображається. Завдяки відбивному дзеркалу 9 результат вимірювання можливо спостерігати безпосередньо у верхній частині вікна окуляра 10.

У п'ятому такті по команді з порту "С" мікроконтролера 23 на виході джерела 12 (чорного тіла) встановлюється потік Φ_2 оптичного випромінювання з другою нормованою за значенням потужністю, тобто $\{\Phi_2\} = \{\Phi_0\} + \{\Delta \Phi_0\}$. Потік Φ_2 оптичного випромінювання проходить крізь відкриту другу діафрагму 3 і отвір у корпусі оптичної системи, відбивається від напівпрозорого дзеркала 4, гіперболічної лінзи 8 і крізь оптичну лінзу 7 і обтюраторний диск 6 також поступає на вхід фотоприймача 5 вже модульованим у часі.

Одночасно з ним потік оптичного ІЧ-випромінювання Φ_x від об'єкту дослідження проходить крізь об'єктив 1, відкриту першу діафрагму 2 і, відбиваючись від гіперболічного дзеркала 8, поступає через лінзу 7 і обтюраторним диском 6 на вхід фотоприймача 5 також модульованим у часі. В п'ятому такті на вхід фотоприймача 5 потрапляє другий сумарний потік Φ_4 з потужністю $\{\Phi_4\} = \{\Phi_2\} + \{\Phi_x\}$.

Змінний електричний сигнал з виходу приймача 5 підсилюється до необхідного рівня за допомогою підсилювача 18 вимірювального каналу, детектується за допомогою синхронного детектора 19 і, через узгоджуючий підсилювач 20, поступає на вхід аналого-цифрового перетворювача у вигляді напруги U_4 (10). Після перетворення на виході аналого-цифрового перетворювача отримуємо код числа

$$N_5 = S_0 \cdot U_5 = S_0 (S'_n \cdot (\Phi_2 + \Phi_x)^2 + S'_n \cdot (\Phi_2 + \Phi_x)) + \Delta U'_n, \quad (17)$$

який запам'ятовується у пам'яті мікроконтролера 23 й використовується для подальших перетворень.

Далі мікроконтролер 23 по заданій програмі здійснює обчислення дійсного значення температури згідно з рівнянням числових значень

$$N_x = 4 \sqrt{\frac{\{\Phi_x\}}{\{\tau\} \cdot \{\epsilon\} \cdot \{\sigma\} \cdot \{S_{пр}\}}}, \quad (18)$$

де $\{\Phi_x\}$ - значення потужності потоку ІЧ-випромінювання від об'єкту дослідження τ - коефіцієнт прозорості атмосфери (визначається заздалегідь й записується у пам'ять мікроконтролера); $\{S_{пр}\}$ - значення площі приймача потоку оптичного випромінювання; ϵ - відносна випромінююча здатність об'єкту (для об'єктів різного типу вибирається з довідкової технічної літератури і записується у пам'ять мікроконтролера); $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-12} \text{ Вт/см}^2 \cdot \text{град}^4$ - постійна випромінювання.

Причому значення $\{\Phi_x\}$ потужності потоку ІЧ-випромінювання від об'єкту дослідження визначається за рівнянням числових значень

Як видно з рівняння числових значень (12), результат визначення потужності потоку оптичного ІЧ-випромінювання від об'єкту дослідження не залежить від параметрів функції перетворення вимірювального каналу та їх відхилень від номіналь-

них значень під дією зовнішніх дестабілізуючих факторів.

Завдяки незалежності результату вимірювання від параметру S_H , виключається похибка й від нелінійності функції перетворення вимірювального каналу. У цьому можна впевнитися, якщо у (12) підставити вирази для результатів проміжних вимірювань. Отримання з високою точністю значення $\{\Phi_x\}$ потужності потоку оптичного ІЧ-випромінювання забезпечує й отримання з високою точністю дійсного значення температури об'єкту дослідження.

Як було сказано вище, в кожному такті вимірювання потоки оптичного випромінювання фокусуються на вхідний отвір фотоприймача 5 заданої форми та з заданою площею поверхні. Причому отвір фотоприймача 5 бажано щоб був круглої форм, щоб на 100% використати площу його чутливої поверхні.

Особливістю зазначеного технічного рішення є те, що потоки ІЧ-випромінювання оптично підсилюють у однакове число разів. Це необхідно для отримання рівноточних результатів вимірювань їх потужностей, тобто для підвищення точності вимірювання.

Другою особливістю зазначеного способу є встановлення оптичного зв'язку між вхідним отво-

ром фотоприймача 5 та оком оператора. Це дає можливість оператору візуально виключити витрати потоків оптичного випромінювання, завдяки точному наведенні їх на вхідний отвір фотоприймача 5.

Шляхом точного наведення оптичної системи на об'єкт дослідження здійснюється збігання геометричної та оптичної осей і повне суміщення діаметрів оптичної плями, вхідного отвору фотоприймача та кола вирізу окуляра 10. Це забезпечує підвищення точності визначення дійсного значення потужності потоку оптичного випромінювання від об'єкту дослідження.

Таким чином, запропоноване технічне рішення забезпечує вирішення поставленої технічної задачі і забезпечує автоматичне виключення похибки від нелінійності функції перетворення вимірювального каналу, впливу на результат вимірювання абсолютних значень параметрів функції перетворення та їх відхилень від номінальних значень, що обумовлені процесами старіння функціональних блоків та елементів вимірювального каналу за часом, зміною їх значень під впливом температури, вологості, тиску та інших дестабілізуючих факторів.

