



УКРАЇНА

(19) UA (11) 77840 (13) C2  
(51) МПК (2006)  
G01J 5/08  
G01K 7/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) ЦИФРОВИЙ ПІРОМЕТР ВІДНОШЕННЯ

1

(21) а200501402  
(22) 15.02.2005  
(24) 15.01.2007  
(46) 15.01.2007, Бюл. № 1, 2007 р.  
(72) Кондратов Владислав Тимофійович, Зарнічна Ганна Олександрівна  
(73) ІНСТИТУТ КІБЕРНЕТИКИ ІМ. В.М.ГЛУШКОВА НАН УКРАЇНИ  
(56) UA 66084, 15.04.2004  
SU 178143, 18.11.1966  
SU 178144, 18.11.1966  
RU 2113696, 20.06.1998  
RU 2225600, 10.04.2003  
(57) Цифровий пірометр відношення, що містить перше джерело монохроматичного випромінювання, сірий клин, канал візуалізації зображення об'єкта дослідження, який включає скляний об'єктив та перше відбивне дзеркало, перший оптичний канал, в якому послідовно розташовані на оптичній осі і оптично з'єднані між собою перша заслінка, яка екранує потік випромінювання, друга апертурна діафрагма, перша фокусуюча лінза, перше та друге напівпрозорі дзеркала, друга фокусуюча лінза, обтюраторний диск із синхронним двигуном, третю фокусуючу лінзу і фотоприймач-підсилювач, вихід якого через фільтр верхніх частот підключений до синхронного детектора, вихід якого з'єднаний через фільтр нижніх частот з аналого-цифровим перетворювачем, вхід керування синхронного детектора підключений до виходу підсилювача-формуваця синхроімпульсів, до входу якого підключено фотодіод, вхід якого оптично зв'язаний через обтюраторний диск з світловипромінювальним діодом, та з'єднані між собою через загальну шину мікроконтролер, аналого-цифровий перетворювач, електронний стабілізатор температури, який має тепловий зв'язок з фотоприймачем-підсилювачем, оперативний запам'ятовуючий пристрій, постійний запам'ятовуючий пристрій, цифровий відліковий пристрій, перетворювач «код-струм», перетворювач «код-напруга», вихід якого підключений до входу керування синхронним двигуном, при цьому перша заслінка, яка екранує потік випромінювання, і сірий клин механічно з'єднані з виходами першого і п'ятого перетворювачів «код-переміщення» відповідно, входи ке-

2

рування яких підключені через загальну шину з мікроконтролером, який **відрізняється** тим, що додатково введені другий оптичний канал, в якому послідовно розташовані на оптичній осі і оптично з'єднані між собою друга заслінка, яка екранує потік випромінювання, друга апертурна діафрагма, четверта фокусуюча лінза, третє та четверте напівпрозорі дзеркала і п'ята фокусуюча лінза, перша оптична призма, вхідна грань якої оптично з'єднана з досліджуванним об'єктом і встановлена між двома оптичними каналами, перша і друга вихідні грані якої оптично зв'язані через друге, третє, четверте і п'яте відбивні дзеркала з першою і другою вхідними гранями другої оптичної призми, відповідно, вихідна грань якої оптично з'єднана через складений світлофільтр з третьою фокусуючою лінзою і входом фотоприймача-підсилювача, перший опорний канал, що містить оптично з'єднані між собою перше джерело монохроматичного випромінювання та третю оптичну призму, перша вихідна грань якої безпосередньо, а друга - через складену напівпрозору пластину, оптично з'єднані через перше та третє напівпрозорі дзеркала з першим і другим оптичними каналами відповідно, другий опорний канал, який містить оптично з'єднані між собою друге джерело монохроматичного випромінювання та четверту оптичну призму, перша вихідна грань якої безпосередньо, а друга - через третю заслінку, що екранує потік випромінювання, оптично з'єднані через друге та четверте напівпрозорі дзеркала з першим та другим оптичними каналами відповідно, причому друга і третя заслінки, складена напівпрозора пластина, складений світлофільтр механічно з'єднані з другим і четвертим, третім та п'ятим перетворювачами «код-переміщення» відповідно, виходи яких підключені через загальну шину до мікроконтролера, з яким з'єднаний перетворювач «код-струм», вихід якого підключений до другого джерела монохроматичного випромінювання, а третє джерело монохроматичного випромінювання оптично з'єднано через третю апертурну діафрагму та п'яте напівпрозоре дзеркало з скляним об'єктивом каналу візуалізації.

(19) UA (11) 77840 (13) C2

Винахід відноситься до області вимірювальної техніки і може бути застосований для вимірювання температур важко доступних об'єктів (тіл чи середовищ). "

Відомий пірометр відношення [див. Назаренко Л.А., Слипушенко В.П., Ромоданов И.С. і ін. // Український метрологічний журнал. - 1995. - вин. 1. - с.26-31], який містить оптичну систему, послідовно з'єднані фотоприймач, підсилювач та вольтметр, з'єднані відомим способом.

Відомому пристрою властива недостатня точність вимірювання температури, обумовлена нелінійністю, довгостроковою і температурною нестабільністю функції перетворення фотоприймача. Останнє є причиною появи похибки від нелінійності, адитивної і мультиплікативної складових систематичної похибки. Відомому пристрою також властива похибка, обумовлена впливом середовища на інтенсивність потоку випромінювання від досліджуваного об'єкта. Відомий пристрій не забезпечує визначення коефіцієнта перепускання середовища і його урахування при визначенні дійсного значення температури. Крім того всі фотоприймачі чутливі до впливу температури оточуючого середовища. Це призводить до появи додаткових адитивної, мультиплікативної і нелінійної складових похибки результату вимірювань. Термостатування фотоприймача частково забезпечує зменшення зазначених похибок, тому що створення термостатів з похибкою термостатування менше ніж  $\pm 0,1^\circ\text{K}$  практично ускладнено і потребує додаткових матеріальних затрат.

Відомий пірометр відношення [див. А.с. СРСР № 1584530 А1, кл. G01J5/22, бюл. №34, 1995], що містить оптично зв'язані оптико-механічну систему і приймач випромінювання, вихід якого через підсилювач і синхронний детектор з'єднаний з регістратором, а також блок синхронізації, зв'язаний з оптико-механічною системою, і фазозсувну схему, вихід якої приєднаний до входу керування синхронного детектора, а вхід - до першого виходу блока синхронізації, причому пірометр містить опорне джерело випромінювання, оптично спряжене з оптико-механічною системою, і блок пошуку екстремуму, а фазозсувна схема виконана керуючою, вхід керування якої з'єднаний з виходом блока пошуку екстремуму, чий вхід приєднаний до виходу синхронного детектора, а вхід керування - до другого виходу блоку синхронізації.

Відомому пристрою властиві нелінійність, довгострокова і температурна нестабільність функції перетворення фотоприймача. Нелінійність характеристик призводить до появи похибки від нелінійності, адитивної і мультиплікативної складових систематичної похибки результату вимірювання. Поряд з цим в даному пристрої не виключається вплив зовнішніх дестабілізуючих факторів, які призводять до зміни його спектральних характеристик, що також обумовлює додаткові частотні похибки вимірювання. Крім того, не вказується яким чином враховується коефіцієнт, який залежить від параметрів пристрою і середовища.

Відомий також пірометр відношення [див. патент України №66084, кл. G01J5/20, бюл.№4, 2004], що містить перше джерело монохроматичного випромінювання, сірий клин, канал візуалізації зображення об'єкта дослідження, який включає скляний об'єктив та перше відбивне дзеркало, перший оптичний канал, в якому послідовно розташовані на оптичній осі і оптично з'єднані між собою перша заслінка, яка екранує потік випромінювання, перша апертурна діафрагма, перша фокусуюча лінза, перше та друге напівпрозорі дзеркала, друга фокусуюча лінза, об'єкторний диск із синхронним двигуном, третю фокусуючу лінзу і фотоприймач-підсилювач, вихід якого через фільтр верхніх частот підключений до синхронного детектора, вихід якого з'єднаний через фільтр нижніх частот з аналого-цифровим перетворювачем, вхід керування синхронного детектора підключений до виходу підсилювача-формуваця синхроімпульсів, до входу якого підключено фотодіод, чий вхід оптично зв'язаний через об'єкторний диск з світловипромінюючим діодом, та з'єднані між собою через загальну шину мікроконтролер, аналого-цифровий перетворювач, електронний стабілізатор температури, який має тепловий зв'язок з фотоприймачем-підсилювачем, оперативний запам'ятовуючий пристрій, постійний запам'ятовуючий пристрій, цифровий відліковий пристрій, перетворювач «код-струм», перетворювач «код-напруга», вихід якого підключений до входу керування синхронним двигуном, при цьому перша заслінка, яка екранує потік випромінювання, і сірий клин механічно з'єднані з виходами першого і п'ятого перетворювачів «код-переміщення» відповідно, входи керування яких підключені через загальну шину з мікроконтролером.

Відомий пірометр не забезпечує високоточне визначення коефіцієнта перепускання середовища. Крім того, пірометр реалізує спосіб надлишкових вимірювань при кубічній апроксимації функції перетворення фотоприймача і не забезпечує розширення діапазону вимірювання температури. Все це приводить до часткового зниження точності вимірювання температури і до обмеження діапазону вимірювання температури.

В основу винаходу покладена задача створення такого цифрового пірометра відношення, в якому введення нових елементів та їх зв'язків, забезпечило б розширення діапазону вимірювання температури та підвищення точності результату вимірювання температури з будь-якими типами фотоприймачів.

Поставлена задача вирішується тим, що в цифровий пірометр відношення, який містить перше джерело монохроматичного випромінювання, сірий клин, канал візуалізації зображення об'єкта дослідження, який включає скляний об'єктив та перше відбивне дзеркало, перший оптичний канал, в якому послідовно розташовані на оптичній осі і оптично з'єднані між собою перша заслінка, яка екранує потік випромінювання, перша апертурна діафрагма, перша фокусуюча лінза, перше та дру-

ге напівпрозорі дзеркала, друга фокусуюча лінза, об'єктораторний диск із синхронним двигуном, третю фокусуючу лінзу і фотоприймач-підсилювач, вихід якого через фільтр верхніх частот підключений до синхронного детектора, вихід якого з'єднаний через фільтр нижніх частот з аналого-цифровим перетворювачем, вхід керування синхронного детектора підключений до виходу підсилювача-формуваця синхроімпульсів, до входу якого підключено фотодіод, чий вихід оптично зв'язаний через об'єктораторний диск з світловипромінюючим діодом, та з'єднані між собою через загальну шину мікроконтролер, аналого-цифровий перетворювач, електронний стабілізатор температури, який має тепловий зв'язок з фотоприймачем-підсилювачем, оперативний запам'ятовуючий пристрій, постійний запам'ятовуючий пристрій, цифровий відліковий пристрій, перетворювач «код-струм», перетворювач «код-напруга», вихід якого підключений до входу керування синхронним двигуном, при цьому перша заслінка, яка екранує потік випромінювання, і сірий клин механічно з'єднані з виходами першого і п'ятого перетворювачів «код-переміщення» відповідно, входи керування яких підключені через загальну шину з мікроконтролером, згідно з винаходом додатково введені другий оптичний канал, в якому послідовно розташовані на оптичній осі і оптично з'єднані між собою друга заслінка, яка екранує потік випромінювання, друга апертурна діафрагма, четверта фокусуюча лінза, третє та четверте напівпрозорі дзеркала і п'ята фокусуюча лінза, перша оптична призма, вхідна грань якої оптично з'єднана з досліджуванним об'єктом і встановлена між двома оптичними каналами, перша і друга вихідні грані якої оптично зв'язані через друге, третє і четверте, п'яте відбиваючі дзеркала з першою і другою вхідними гранями другої оптичної призми відповідно, вихідна грань якої оптично з'єднаний через складений світлофільтр з третьою фокусуючою лінзою і входом фотоприймача-підсилювача, перший опорний канал, що містить оптично з'єднані між собою перше джерело монохроматичного випромінювання та третю оптичну призму, перша вихідна грань якої безпосередньо, а друга - через складену напівпрозору пластину оптично з'єднані через перше та третє напівпрозорі дзеркала з першим і другим оптичними каналами відповідно, другий опорний канал, який містить оптично з'єднані між собою друге джерело монохроматичного випромінювання та четверту оптичну призму, перша вихідна грань якої безпосередньо, а друга - через третю заслінку, що екранує потік випромінювання, оптично з'єднані через друге та четверте напівпрозорі дзеркала з першим та другим оптичними каналами відповідно, причому друга і третя заслінки, складена напівпрозора пластинка, складений світлофільтр механічно з'єднані з другим і четвертим, третім та п'ятим перетворювачами «код-переміщення» відповідно, виходи яких підключені через загальну шину до мікроконтролеру, з яким з'єднаний перетворювач «код-струм», вихід якого підключений до другого джерела монохроматичного випромінювання, а третє джерело монохроматичного випромінювання оптично з'єднано через третю апертурну діафрагму та п'яте напівпрозоре дзеркало з скляним об'єкти-

вом каналу візуалізації.

Запропоноване технічне рішення цифрового пірометра відношення забезпечує виключення всіх складових похибки вимірювання, а також похибки, що обумовлена впливом коефіцієнта перепускання середовищем. Це досягається за рахунок введення нової сукупності функціональних блоків та їх зв'язків між собою та з іншими функціональними блоками. В результаті забезпечується досягнення технічного результату.

Особливістю запропонованого технічного рішення є введення в цифровий пірометр відношення другого оптичного каналу, першого та другого опорних каналів та об'єктораторного диска з такою формою вікон, при якій забезпечується в кінцевому випадку, тобто на виході фільтра верхніх частот, формування гармонічного сигналу, амплітуда якого дорівнює різниці інтенсивностей потоків першого і другого оптичних каналів. Завдяки апроксимації логарифмічної функції перетворення фотоприймача поліномом третього ступеня досягається розширення діапазону вимірювання температури в 6,8 раз.

На рисунку 1 показана структурна схема цифрового пірометра відношення, де 1, 2 і 3 - перше, друге і третє джерела монохроматичного випромінювання, 4, 5, 6 і 7 - перша, друга, третя і четверта оптичні призми, 8, 9, 10, 11 і 12 - перше, друге, третє, четверте і п'яте відбивні дзеркала, 13, 14 і 15 - перша, друга і третя заслінки, що екранують потік випромінювання, 16, 17 і 18 - перша, друга і третя апертурні діафрагми, 19 - скляний об'єктив, 20, 21, 22, 23 і 24 - перша, друга, третя, четверта і п'ята фокусуючі лінзи, 25, 26, 27, 28 і 29 - перше, друге, третє, четверте і п'яте напівпрозорі дзеркала, 30 - складена напівпрозора пластинка, 31 - складений світлофільтр, 32 - сірий клин, 33 - об'єктораторний диск, 34 - синхронний двигун, 35, 36, 37, 38, 39 і 40 - перший, другий, третій, четвертий, п'ятий і шостий перетворювачі «код-переміщення», 41 - електронний стабілізатор температури, 42 - фотоприймач-підсилювач, 43 - фільтр верхніх частот, 44 - синхронний детектор, 45 - фільтр нижніх частот, 46 - аналого-цифровий перетворювач, 47 - підсилювач-формуваця синхроімпульсів, 48 - фотодіод, 49 - світловипромінюючий діод, 50 - перетворювач «код-напруга», 51 - перетворювач «код-струм», 52 - оперативний запам'ятовуючий пристрій, 53 - постійний запам'ятовуючий пристрій, 54 - мікроконтролер, 55 - цифровий відліковий пристрій, 56 - загальна шина.

В цифровому пірометрі відношення канал візуалізації зображення об'єкта дослідження містить скляний об'єктив 19 та перше відбивне дзеркало 8.

В першому оптичному каналі послідовно розташовані на оптичній осі і оптично з'єднані між собою перша заслінка 13, яка екранує потік випромінювання, перша апертурна діафрагма 16, перша фокусуюча лінза 20, перше та друге напівпрозорі дзеркала 25 та 26, друга фокусуюча лінза 21, об'єктораторний диск 33 із синхронним двигуном 34, який підключено до виходу а перетворювача «код-напруга» 50.

Крім того цифровий пірометр відношення містить третю фокусуючу лінзу 22, фотоприймач-підсилювач 42, вихід якого через фільтр верхніх

частот 43 синхронного детектора 44, фільтр нижніх частот 45 підключений до аналого-цифрового перетворювача 46.

Вхід керування синхронного детектора 44 підключений до виходу підсилювача-формуєча синхроімпульсів 47, до входу якого підключено фотодіод 48. Вхід цього фотодіоду оптично зв'язаний через обтюраторний диск 33 з світловипромінюючим діодом 49.

Через загальну шину 56 з'єднані між собою мікроконтролер 54, аналого-цифровий перетворювач 46, електронний стабілізатор температури 41, який має тепловий зв'язок з фотоприймачем-підсилювачем 42, оперативний запам'ятовуючий пристрій 52, постійний запам'ятовуючий пристрій 53, цифровий відліковий пристрій 55, перетворювач «код-напруга» 50, перетворювач «код-струм» 51, вихід якого підключений до другого джерела 2 монохроматичного випромінювання.

Другий оптичний канал містить послідовно розташовані на оптичній осі і оптично з'єднані між собою другу заслінку 14, яка екранує потік випромінювання, другу апертурну діафрагму 17, четверту фокусуючу лінзу 23, третє і четверте напівпрозорі дзеркала 27 і 28 та п'яту фокусуючу лінзу 24.

Перша оптична призма 4 встановлена між двома оптичними каналами. Вхідна грань призми 4 оптично з'єднана з досліджуванним об'єктом. Перша і друга вихідні грані цієї призми оптично зв'язані через друге 9, третє 10 і четверте 11, п'яте 12 відбиваючи дзеркала з першою і другою вхідними гранями другої оптичної призми 5 відповідно.

Перший опорний канал містить оптично з'єднані між собою перше джерело 1 монохроматичного випромінювання та третю оптичну призму 6, перша вихідна грань якої безпосередньо, а друга - через складену напівпрозору пластину 30 оптично з'єднані через перше та третє напівпрозорі дзеркала 25 і 27 з першим і другим оптичними каналами відповідно.

Другий опорний канал містить оптично з'єднані між собою друге джерело 2 монохроматичного випромінювання та четверту оптичну призму 7, перша вихідна грань якої безпосередньо, а друга - через третю заслінку 15, що екранує потік випромінювання, оптично з'єднані через друге та четверте напівпрозорі дзеркала 26 і 28 з першим та другим оптичними каналами відповідно.

Перша, друга і третя заслінки 13, 14 і 15, що екранують потік випромінювання, складена напівпрозора пластина 30, складений світлофільтр 31 та сірий клин 32 механічно з'єднані з першим 35, другим 36 і четвертим 38, третім 37, п'ятим 39 та шостим 40 перетворювачами «код-переміщення» відповідно. Виходи цих перетворювачів підключені через загальну шину 56 до мікроконтролера 54.

Третє джерело монохроматичного випромінювання 3 оптично з'єднано через третю апертурну діафрагму 18 та п'яте напівпрозоре дзеркало 29 з скляним об'єктивом 19 каналу візуалізації.

Обтюраторний диск 33 виконаний таким чином, що у перший півперіод він пропускає на фотоприймач-підсилювач 42 потік випромінювання тільки першого каналу, а в другий півперіод - тільки другого каналу. Це забезпечує за один період  $T_{об}$  обертання диску 33 отримання на виході філь-

тра верхніх частот 43 змінної напруги, амплітуда якої пропорційна інтенсивності потоку оптичного випромінювання.

Розглянемо роботу цифрового пірометра відношення.

По результатах калібрування цифрового пірометра відношення за допомогою стандартних джерел білого світла з нормованими характеристиками в постійній запам'ятовуючій пристрій 53 записують коди чисел  $N_1, N_{11}, N_{12}$  і  $N_{Nj}$ .

Код числа  $N_1$  відповідає каліброваному за значенням інтенсивності потоку випромінювання  $\{F_0\}$ , що випромінює перше джерело 1 монохроматичного випромінювання.

Коди чисел  $N_{11}$  і  $N_{12}$  вибирають і встановлюють такими, що забезпечують формування на виході перетворювача «код-струм» 51 струмів  $I_1$  і  $I_2$ , які подаються на друге джерело 2 монохроматичного випромінювання. Значення цих струмів дорівнюють відповідно каліброваним за значенням інтенсивності потоків випромінювання  $\{\Delta F\}$  і  $2\{\Delta F\}$ .

Код числа  $N_{N0}$  відповідає каліброваному за значенням інтенсивності потоку випромінювання  $F_{x0}$  на довжині хвилі  $\lambda_z$ , який випромінює третє джерело 3 монохроматичного випромінювання. Цей потік відповідає наперед заданому значенню температури  $T_0$ .

Заздалегідь у пам'ять мікроконтролера 54 записується програма виконання заданої послідовності операцій вимірювання та перетворення. Вона забезпечує функціонування цифрового пірометра відношення як єдиного програмно-технічного засобу вимірювання, а також обробку результатів проміжних вимірювань по заданому рівнянню числових значень.

Пристрій працює наступним чином.

Після включення живлення включаються перше і друге джерела монохроматичного випромінювання 1 і 2 відповідно. По команді з мікроконтролера 54 перша, друга і третя заслінки 13, 14 і 15, що екранують потік випромінювання, встановлюються в закриті положення. З виходу а перетворювача «код-напруга» 50 на вихід керування синхронного двигуна 34 поступає напруга, в результаті чого починає обертатися обтюраторний диск 33. За допомогою п'ятого перетворювача «код-переміщення» 39 між другою призмою 5 і третьою фокусуючою лінзою 22 встановлюється складений світлофільтр 31 з довжиною хвилі  $\lambda_1$ . Одночасно, за допомогою третього та шостого перетворювачів «код-переміщення» 37 та 40 складена напівпрозора пластина 30 та сірий клин 32 встановлюються, відповідно, в крайнє ліве та крайнє праве положення. За командою з мікроконтролера 54 перетворювач «код-струм» 51 також встановлюється у вихідний стан. Цифровий відліковий пристрій 55 показує нульовий результат вимірювання.

Після виходу електронного стабілізатора температури 41 на робочий режим за час  $\Delta t$ , по команді з мікроконтролера 54 здійснюється процес зрівнювання коефіцієнтів перепускання першого та другого оптичних каналів. Для цього на вхід перетворювача «код-струм» 51 подається код числа  $N_{11}$ , при якому на його виході формується струм  $I_1$ . Цей струм забезпечує формування на виході дру-

гого джерела монохроматичного випромінювання 2 каліброваного за значенням інтенсивності потоку випромінювання  $\Delta\Phi$ . По команді з мікроконтролера 54 на четвертий перетворювач «код-переміщення» 38 подається код числа, при якому здійснюється відкриття третьої заслінки 15, яка екранує потік випромінювання. В результаті калібровані за значенням інтенсивностей потоки випромінювання  $\Phi_0$  і  $\Delta\Phi$  від першого і другого джерел монохроматичного випромінювання 1 і 2 поступають на третю і четверту оптичні призми 6 і 7 відповідно.

За допомогою цих призм зазначені потоки поділяються на пари ідентичних потоків з зменшеною удвічі інтенсивністю. Ці потоки відбившись від першого, третього і другого, четвертого напівпрозорих дзеркал 25, 27 і 26, 28 відповідно, фокусуються за допомогою другої і п'ятої фокусуючих лінз 21 і 24 відповідно. Одночасно вони модулюються об'єктивним диском 33 і поступають на третє і п'яте відбивні дзеркала 10 і 12 відповідно. Відбиті від них модульовані потоки оптичного випромінювання по чергово поступають через другу оптичну призму 5, складений світлофільтр 31 і третю фокусуючу лінзу 22 на фотоприймач-підсилювач 42.

Змінний вихідний сигнал фотоприймача-підсилювача 42, фільтрується за допомогою фільтра верхніх частот 43, синхронно детектується за допомогою синхронного детектора 44 і усереднюється за допомогою фільтра нижніх частот 45. В результаті на вхід аналого-цифрового перетворювача 46 поступає напруга, пропорційна різниці інтенсивностей зазначених потоків оптичного випромінювання. Ця напруга за допомогою блока 46 перетворюється у відповідний код числа.

За допомогою мікроконтролера 54 здійснюється порівняння цього коду з кодом нуля. За результатом порівняння формується код числа, що, за допомогою шостого перетворювача «код-переміщення» 40, змінює положення сірого клину 32 до моменту часу, при якому встановлюється нульове значення вихідної напруги аналого-цифрового перетворювача 46.

Про готовність пірометра до вимірювання свідчить звуковий чи цифровий сигнал (генератор звукового сигналу на рисунку 1 не показано).

Після закінчення процесу вимірювання та зрівняння коефіцієнтів перепускання оптичних каналів пірометр направляють на досліджуваний об'єкт. По команді з мікроконтролера 54 на перший і четвертий перетворювачі «код-переміщення» 35 і 38 подаються коди чисел, при яких, відповідно, перша заслінка 13, що екранує потік випромінювання, відкривається, а третя заслінка 15, яка екранує потік випромінювання, закривається. Потік випромінювання від досліджуваного об'єкта поступає на скляний об'єктив 19 через першу оптичну призму 4, друге відбивне дзеркало 9, першу заслінку 13, що екранує потік випромінювання, першу апертурну діафрагму 16, першу фокусуючу лінзу 20, перше напівпрозоре дзеркало 25, перше відбивне дзеркало 8 і п'яте напівпрозоре дзеркало 29. Після закінчення процесу направлення пірометра на досліджуваний об'єкт, закривається перша заслінка 13, що екранує потік випромінювання. Циф-

ровий пірометр відношення готов до вимірювання.

Після натискання кнопки «Пуск» (на рисунку 1 не зображено), на мікроконтролер 54 надходить сигнал початку процесу вимірювання температури досліджуваного нагрітого об'єкта.

При обертанні об'єктивного диска 33 формується сигнал керування синхронним детектором 44. Сигнал керування роботою синхронного детектора 44 формується за допомогою світловипромінюючого діоду 49 і фотодіоду 48, які розташовані по різні сторони об'єктивного диска 33. Потік оптичного випромінювання від світловипромінюючого діоду 49 перетворюється в змінну електричну напругу. З виходу фотодіоду 48 електричний сигнал поступає на підсилювач-формуєць синхроімпульсів 47. За допомогою блока 47 формуються синхроімпульси, що керують роботою синхронного детектора 44.

У першому такті вимірювання потік випромінювання від досліджуваного об'єкта на фотоприймач-підсилювач 42 не надходить. По команді з мікроконтролера 54 на вхід третього перетворювача «код-переміщення» 37 поступає код числа, при якому складена напівпрозора пластина 30 встановлюється в положення, що зображено на рисунку 1 пунктирною лінією, при якому інтенсивність потоку оптичного випромінювання від другої вихідної грані третьої оптичної призми 6 послаблюється на  $\Delta\Phi_2$  (причому вибирають  $\{\Delta\Phi_2\}=2\{\Delta\Phi\}$ ).

Одночасно мікроконтролер 54 видає команду на встановлення на вхід перетворювача «код-струм» 51 коду числа  $N_{12}$ , при якому на вхід другого джерела 2 монохроматичного випромінювання поступає струм  $I_2$ . Друге джерело 2 монохроматичного випромінювання генерує калібрований за значенням інтенсивності потік оптичного випромінювання  $\Delta\Phi_2$  ( $\{\Delta\Phi_2\}=2\{\Delta\Phi\}$ ).

У першому оптичному каналі в непарний півперіод обертання об'єктивного диска 33 потік оптичного випромінювання від першого джерела 1 монохроматичного випромінювання через першу вихідну грань третьої оптичної призми 6, перше та друге напівпрозорі дзеркала 25 і 26 поступає на другу фокусуючу лінзу 21, на яку одночасно поступає і потік випромінювання від другого джерела 2 через першу вихідну грань четвертої оптичної призми 7 та друге напівпрозоре дзеркало 26. Далі потоки оптичного випромінювання модулюються за допомогою об'єктивного диска 33. Модульований потік через третє відбивне дзеркало 10, першу вхідну грань другої оптичної призми 5, третю фокусуючу лінзу 22, складений світлофільтр 31 поступають на фотоприймач-підсилювач 42 (див. рис.2, а, I такт). В результаті за допомогою об'єктивного диска 33 модулюється потік оптичного випромінювання  $\Phi_{11}$  ( $\{\Phi_{11}\}=\{\Phi_0\}+2\{\Delta\Phi\}$ ).

У другому оптичному каналі в парний півперіод обертання об'єктивного диска 33 потік випромінювання від першого джерела 1 монохроматичного випромінювання поступає на п'яте відбивне дзеркало 12 через другу вихідну грань третьої оптичної призми 6, складену напівпрозору пластину 30, третє і четверте напівпрозорі дзеркала 27 і 28, п'яту фокусуючу лінзу 24 і об'єктивний диск 33. Відбившись від дзеркала 12 модульо-

ваний потік оптичного випромінювання через другу вхідну грань другої оптичної призми 5, складений світлофільтр 31 і третю фокусуючу лінзу 22 поступає на фотоприймач-підсилювач 42. В результаті за допомогою обтюраторного диску 33 модулюється потік оптичного випромінювання  $\Phi_{12}$  ( $\{\Phi_{12}\} = \{\Phi_0\} - 2\{\Delta\Phi\}$ ).

Таким чином, в непарний і парний півперіод частоти обертання обтюраторного диску 33 на виході фотоприймача-підсилювача 42 з'являються, по чергово, напруги  $u_{H11}$  та  $u_{H12}$ , що відповідають потокам оптичного випромінювання з першого

$$U_1 = \frac{1}{T_{yc}} \int_0^{T_{yc}} u_{1-}(t) dt = k_{yc2} (S'_{12} (\dot{\Phi}_0 + k_2 \Delta \dot{\Phi})^3 + S'_{11} (\dot{\Phi}_0 + k_2 \Delta \dot{\Phi})^2 + S'_8 (\dot{\Phi}_0 + k_2 \Delta \dot{\Phi})) - k_{yc2} (S'_{12} (\dot{\Phi}_0 - k_2 \Delta \dot{\Phi})^3 + S'_{11} (\dot{\Phi}_0 - k_2 \Delta \dot{\Phi})^2 + S'_8 (\dot{\Phi}_0 - k_2 \Delta \dot{\Phi})), \quad (1)$$

де  $T_{yc}$  - час усереднення чи постійна фільтру нижніх частот 45;  $S'_{H2}$ ,  $S'_{H1}$ ,  $S'_L$  - крутість перетворення двох нелінійних і лінійної складових функції перетворення фотоприймача-підсилювача 42;  $\Phi_0$  і  $\Delta\Phi$  - калібровані за значенням інтенсивностей потоки випромінювання;  $k_{yc2}$  - результуючий коефіцієнт підсилення;  $k_2=2$ . Причому

$$\{T_{yc}\} = (1 \dots 10) \{T_{06}\}; \{S'_{H2}\} = \{S_{H2}\} (1 + \gamma'_H); \{S'_{H1}\} = \{S_{H1}\} (1 + \gamma_H);$$

Напруга (1) за допомогою аналого-цифрового перетворювача 46 перетворюється в код числа  $N_1$  ( $N_1 = S_{np} U_1$ , де  $S_{np}$  - крутість перетворення напруги в код) і запам'ятовується в оперативній пам'яті 52 мікроконтролера 54.

У другому такті вимірювань в непарний півперіод обертання обтюраторного диску 33 по команді з мікроконтролера 54 перша 13 і третя 15 заслінки відкриваються, а складена напівпрозора пластина 30 переміщується в крайнє ліве положення (див. рис.1). В результаті в першому оптичному каналу до каліброваних потоків випромінювання  $\Phi_0$  і  $\Delta\Phi$  через першу вихідну грань першої оптичної призми 4 і друге відбивне дзеркало 9 додається потік випромінювання від досліджуваного об'єкта. В результаті за допомогою обтюраторного диску 33 модулюється потік оптичного випромінювання  $\Phi_{21}$  ( $\{\Phi_{21}\} = \{\Phi_x\} + \{\Phi_0\} + 2\{\Delta\Phi\}$ ).

В парний півперіод обертання обтюраторного диску 33 потоки оптичного випромінювання від першого джерела 1 монохроматичного випромінювання через другу вихідну грань третьої оптичної призми 6, третє та четверте напівпрозорі дзеркала

$$U_2 = \frac{1}{T_{yc}} \int_0^{T_{yc}} u_{2-}(t) dt = k_{yc2} (S_{H2} (\Phi_x + \Phi_0 + k_2 \Delta \Phi)^3 + S'_{H1} (\Phi_x + \Phi_0 + k_2 \Delta \Phi)^2 + S'_H (\Phi_x + \Phi_0 + k_2 \Delta \Phi)) - k_{yc2} (S'_{H2} (\Phi_0 + k_2 \Delta \Phi)^3 + S'_{H1} (\Phi_0 + k_2 \Delta \Phi)^2 + S'_H (\Phi_0 + k_2 \Delta \Phi)). \quad (2)$$

Напруга (2) за допомогою аналого-цифрового перетворювача 46 перетворюється в код числа  $N_2$  ( $N_2 = S_{np} U_2$ ) і запам'ятовується у оперативній пам'яті 52 мікроконтролера 54.

В третьому такті вимірювань по команді з мікроконтролера 54 друга заслінка 14 відкривається, а третя 15 заслінка закривається. Складена напівпрозора пластина 30 встановлюється в положення, що зображене на рисунку 1 пунктирної лінією, при якому інтенсивність потоку оптичного випромінювання  $\Phi_0$  від другої вихідної грані третьої оптичної призми 6 послаблюється на  $\Delta\Phi_2$ . Причому вибірають  $\{\Delta\Phi_2\} = 2\{\Delta\Phi\}$ .

В непарний півперіод обертання обтюраторно-

і другого оптичних каналів відповідно (рис.2, а, I такт). За допомогою фільтра верхніх частот 43 із по чергово слідуючих з частотою обертання обтюраторного диску 33 напруг виділяється гармонічний сигнал частоти модуляції (рис.2, б, I такт). Гармонічний сигнал  $u_1(t)$ , підсилений у  $k_{yc1}$  раз у блоці 43, демодулюється за допомогою синхронного детектора 44 та усереднюється за допомогою фільтра нижніх частот 45 (чи інтегратора). В результаті на аналого-цифровий перетворювач 46 поступає постійна напруга  $U_1$  (рис.2, в, I такт):

27 та 28 поступають на п'яту фокусуючу лінзу 24, на яку одночасно поступає і потік оптичного випромінювання від другого джерела 2 монохроматичного випромінювання, який поступає через другу вихідну грань четвертої оптичної призми 7, відкрити третю заслінку 15 і четверте напівпрозоре дзеркало 28 на п'яту фокусуючу лінзу 24. Вихідний потік від п'ятої фокусуючої лінзи 24 моделюється, поступає на п'яте відбивне дзеркало 12, відбивається від нього і через другу вхідну грань другої оптичної призми 5, складений світлофільтр 31 і третю фокусуючу лінзу 22 поступає на фотоприймач-підсилювач 42. В результаті за допомогою обтюраторного диску 33 модулюється потік оптичного випромінювання  $\Phi_{22}$  ( $\{\Phi_{22}\} = \{\Phi_0\} + 2\{\Delta\Phi\}$ ).

В результаті, в непарний і парний півперіоди обертання обтюраторного диску 33 на виході фотоприймача-підсилювача 42 по чергово з'являються напруги  $u_{H21}$  та  $u_{H22}$ , що відповідають потокам оптичного випромінювання з першого та другого оптичних каналів відповідно (рис.2, а, II такт). За допомогою фільтра верхніх частот 43 із зазначених напруг виділяється гармонічний сигнал частоти модуляції (рис.2, б, II такт). Гармонічний сигнал  $u_2(t)$  підсилений у  $k_{yc1}$  раз у фільтрі верхніх частот 43, демодулюється за допомогою синхронного детектора 44 та усереднюється за допомогою фільтра нижніх частот 45. В результаті на аналого-цифровий перетворювач 46 поступає постійна напруга  $U_2$  (рис.2, в, II такт):

го диску 33 потік випромінювання по першому оптичному каналу залишається незмінним, тобто  $\Phi_{31} = \Phi_{21}$  ( $\{\Phi_{31}\} = \{\Phi_x\} + \{\Phi_0\} + 2\{\Delta\Phi\}$ ).

В парний півперіод обертання обтюраторного диску 33 формується калібрований за значенням інтенсивності потік оптичного випромінювання  $\Phi_{30}$  шляхом послаблення інтенсивності потоку випромінювання  $\Phi_0$  від другої вихідної грані третьої оптичної призми 6 за допомогою складеної пластини 30. В результаті маємо  $\{\Phi_{30}\} = \{\Phi_0\} - 2\{\Delta\Phi\}$ . До цього каліброваного потоку оптичного випромінювання  $\Phi_0$ , що проходить через другий оптичний канал, додається потік випромінювання  $\Phi_x$  від досліджуваного об'єкта, який також поступає цей канал че-

рез другу вихідну грань першої оптичної призми 4 і четверте відбивне дзеркало 11. В результаті за допомогою обтюраторного диску 33 модулюється потік оптичного випромінювання  $\Phi_{32}$

$$(\{\Phi_{32}\} = \{\Phi_x\}^+ \{\Phi_0\} - 2\{\Delta\Phi\}).$$

Потоки оптичного випромінювання, що проходять по першому і другому оптичним каналам в перший та другий півперіоди обертання обтюраторного диску 33, по чергово поступають на вхід фотоприймача-підсилювача 42. На виході фотоприймача-підсилювача 42 з'являються напруги  $u_{n31}$  та  $u_{n32}$ , що відповідають потокам оптичного випромінювання

$$U_3 = \frac{1}{T_{yc}} \int_0^{T_{yc}} u_{3-}(t) dt = k_{yc2} (S_{i2} (\dot{\Phi}_x + \dot{\Phi}_0 + k_2 \Delta \dot{\Phi})^3 + S_{i1} (\dot{\Phi}_x + \dot{\Phi}_0 + k_2 \Delta \dot{\Phi})^2 + S_e (\dot{\Phi}_0 + \dot{\Phi}_0 + k_2 \Delta \dot{\Phi})) - k_{yc2} (S_{i2} (\dot{\Phi}_x + \dot{\Phi}_0 + k_2 \Delta \dot{\Phi})^3 + S_{i1} (\dot{\Phi}_0 + \dot{\Phi}_0 - k_2 \Delta \dot{\Phi})^2 + S_e (\dot{\Phi}_0 + \dot{\Phi}_0 - k_2 \Delta \dot{\Phi})). \quad (3)$$

Напруга (3) за допомогою аналого-цифрового перетворювача 46 перетворюється в код числа  $N_3 (N_3 = S_{np} U_3)$  і запам'ятовується у оперативній пам'яті 52 мікроконтролера 54. В четвертому такті вимірювання мікроконтролер 54 видає команду на встановлення на вході перетворювача «код-струм» 51 коду числа  $N_{i1}$ . В результаті на виході перетворювача «код-струм» 51 з'являється струм  $I_1$ . Друге джерело монохроматичного випромінювання 2 генерує калібрований за значенням інтенсивності потік випромінювання  $\Delta\Phi_1$  ( $\{\Delta\Phi_1\} = \{\Delta\Phi\}$ ). Одночасно по команді з мікроконтролера 54 на вхід третього перетворювача «код-переміщення» 37 поступає код числа, при якому складена напівпрозора пластина 30 встановлюється в положення, при якому інтенсивність потоку оптичного випромінювання  $\Phi_0$  послаблюється на  $\Delta\Phi_1$ . Причому вибирають  $\Delta\Phi_1$  таким, щоб виконувалась рівність  $\{\Delta\Phi_1\} = \{\Delta\Phi\}$ . В непарний півперіод по першому оптичному каналу на другу фокусуючу лінзу 21 поступає потік оптичного випромінювання  $\Phi_{4i}$ , причому  $\{\Phi_{4i}\} = \{\Phi_x\} + \{\Phi_0\} + \{\Delta\Phi\}$ . В парний півперіод на

$$U_4 = \frac{1}{T_{yc}} \int_0^{T_{yc}} u_{4-}(t) dt = k_{yc2} (S_{i2} (\Phi_x + \Phi_0 + \Delta\Phi)^3 + S_{i1} (\Phi_x + \Phi_0 + \Delta\Phi)^2 + S_{i1} (\Phi_x + \Phi_0 + \Delta\Phi)) - k_{yc2} (S_{i2} (\Phi_x + \Phi_0 - \Delta\Phi)^3 + S_{i1} (\Phi_x + \Phi_0 - \Delta\Phi)^2 + S_{i1} (\Phi_x + \Phi_0 - \Delta\Phi)). \quad (4)$$

Напруга (4) за допомогою аналого-цифрового перетворювача 46 перетворюється в код числа  $N_4 (N_4 = S_{np} U_4)$  і запам'ятовується у оперативній пам'яті 52 мікроконтролера 54. В п'ятому такті вимірювання по команді з мікроконтролера 54 складена напівпрозора пластина 30 переводиться у крайнє ліве положення, третя заслінка 15 відкривається, а друга заслінка 14 закривається. В результаті в непарний період обертання обтюраторного диска 33 потік оптичного випромінювання по першому оптичному каналу не змінюється. Тобто  $\{\Phi_{51}\} = \{\Phi_{41}\}$ . В парний півперіод потік випромінювання по другому оптичному каналу встановлюється рівним  $\Phi_{52}$  (причому  $\{\Phi_{52}\} = \{\Phi_0\} - \{\Delta\Phi\}$ ). За допомогою обтюраторного диска 33 потоки  $\Phi_{51}$  і  $\Phi_{52}$  модулюються. Ці потоки, відбиті від третього і п'ятого відбивних дзеркал 10 і 12, відповідно через першу і

$$U_5 = \frac{1}{T_{yc}} \int_0^{T_{yc}} u_{5-}(t) dt = k_{yc2} (S_{i2} (\Phi_x + \Phi_0 + \Delta\Phi)^3 + S_{i1} (\Phi_x + \Phi_0 + \Delta\Phi)^2 + S_{i1} (\Phi_x + \Phi_0 + \Delta\Phi)) - k_{yc2} (S_{i2} (\Phi_x + \Delta\Phi)^3 + S_{i1} (\Phi_0 - \Delta\Phi)^2 + S_{i1} (\Phi_0 + \Delta\Phi)). \quad (5)$$

Напруга (5) за допомогою аналого-цифрового перетворювача 46 перетворюється в код числа  $N_5 (N_5 = S_{np} U_5)$  і запам'ятовується у оперативній па-

м'яті 52 мікроконтролера 54. По одержаним значенням напруг визначають дійсне значення потоку випромінювання  $\Phi_x(\lambda_1)$  згідно із рівнянням надли-

нювання з першого та другого оптичних каналів відповідно (рис.2, а, III такт). За допомогою фільтра верхніх частот 43 із зазначених напруг виділяється гармонічний сигнал частоти модуляції (рис.2, б, III такт). Гармонічний сигнал  $u_{3-}(t)$ , підсилений у фільтрі верхніх частот 43 в  $k_{yc1}$  раз, демодулюється за допомогою синхронного детектора 44 та усереднюється за допомогою фільтра нижніх частот 45. В результаті на аналого-цифровий перетворювач 46 поступає постійна напруга  $U_3$  (рис.2, в, III такт):

п'яту фокусуючу лінзу 24 поступає потік оптичного випромінювання  $\Phi_{42}$ . Причому  $\{\Phi_{42}\} = \{\Phi_x\}^+ \{\Phi_0\} - \{\Delta\Phi\}$ . В результаті модульовані потоки  $\Phi_{41}$  і  $\Phi_{42}$  за допомогою обтюраторного диска 33, на третє і п'яте відбивні дзеркала 10 і 12 поступають модульовані потоки, які, після відбиття через першу і другу вхідні грані другої оптичної призми 5, поступають через складений світлофільтр 31 і третю фокусуючу лінзу 22 на фотоприймач-підсилювач 42. На виході фотоприймача-підсилювача 42 з'являються напруги  $u_{n41}$  та  $u_{n42}$ , що відповідають потокам оптичного випромінювання з першого та другого оптичних каналів відповідно (рис. 2, а, IV такт). За допомогою фільтра верхніх частот 43 із зазначених напруг виділяється гармонічний сигнал частоти модуляції (рис.2, б, IV такт). Гармонічний сигнал  $u_{4-}(t)$ , підсилений за допомогою фільтра верхніх частот 43 у  $k_{yc1}$  раз, демодулюється за допомогою синхронного детектора 44 та усереднюється за допомогою фільтра нижніх частот 45. В результаті на аналого-цифровий перетворювач 46 поступає постійна напруга  $U_4$ , (рис. 2, в, IV такт):

другу вхідні грані другої оптичної призми 5, складений світлофільтр 31 і третю фокусуючу лінзу 22 поступають на фотоприймач-підсилювач 42. На виході фотоприймача-підсилювача 42 з'являються напруги  $u_{n51}$  та  $u_{n52}$ , що відповідають потокам оптичного випромінювання з першого та другого оптичних каналів відповідно (рис.2, а, V такт). За допомогою фільтра верхніх частот 43 із зазначених напруг виділяється гармонічний сигнал частоти модуляції (рис.2, б, V такт). Гармонічний сигнал  $u_{5-}(t)$  підсилений за допомогою фільтра верхніх частот 43 у  $k_{yc1}$  раз, демодулюється за допомогою синхронного детектора 44 та усереднюється за допомогою фільтра нижніх частот 45. В результаті на аналого-цифровий перетворювач 46 поступає постійна напруга  $U_5$  (рис.2, в, V такт):

м'яті 52 мікроконтролера 54. По одержаним значенням напруг визначають дійсне значення потоку випромінювання  $\Phi_x(\lambda_1)$  згідно із рівнянням надли-

шкових вимірювань  $N_x = \frac{N_3 - N_1 - 4(N_2 - N_5)}{3(N_3 - 2N_4)}$ . Далі

аналогічним чином здійснюється визначення дійсного значення температури  $T_0$ . Для цього, по команді з мікроконтролера 54, що поступає на п'ятий перетворювач «код-переміщення» 39, складний світлофільтр 31 на довжину хвилі  $\lambda_2$  встановлюється між другою оптичною призмою 5 і третьою фокусуючою лінзою 22. В результаті з потоку оптичного випромінювання  $\Phi_x$  виділяється потік випромінювання  $\Phi_x(\lambda_2)$ , який відповідає температурі  $T_0$ , (наприклад 100 С) на границі "об'єкт-середовище". Потім, по команді з мікроконтролера 54 включається третє джерело 3 монохроматичного випромінювання, яке формує потік випромінювання, що відповідає нормованій за значенням температурі  $T_0$ . В результаті формується калібрований за значенням інтенсивності потік випромінювання  $\Phi_{x0}$ . Потік  $\Phi_{x0}$  через третю апертурну діафрагму 18 поступає на п'яте напівпрозоре дзеркало 29, відбивається від нього і через скляний об'єктів 1 поступає на око оператора. Оператор порівнює кольори штучного потоку випромінювання  $\Phi_{x0}$ , сформованого зазначеним вище чином, з потоком випромінювання  $\Phi_x(\lambda_2)$  від досліджува-

ного об'єкта. Останній поступає в канал візуалізації через першу вихідну грань першої оптичної призми 4, друге відбивне дзеркало 9, першу заслінку 13, першу апертурну діафрагму 16, першу фокусуючу лінзу 20 і перше напівпрозоре дзеркало 25. При розбіжності кольорів, змінюють інформативний потік випромінювання  $\Phi_x(\lambda_2)$  від досліджуваного нагрітого об'єкта шляхом, наприклад, переміщення фотометричного клину, який є складовим елементом складного світлофільтру 31 з змінною частотною характеристикою. Зміну довжини хвилі потоку випромінювання  $\Phi_x(\lambda_2)$  здійснюють до моменту рівності зазначених кольорів, тобто до  $\{\Phi_x(\lambda_2 \pm \Delta\lambda)\} = \{\Phi_{x0}\}$ . В результаті отримують потік випромінювання  $\Phi_{x0}$  заданої інтенсивності, що відповідає температурі  $T_0$ . Далі, по команді з мікроконтролера 54, виключається третє джерело 3 монохроматичного випромінювання і аналогічним чином повторюють другий, третій, четвертий та п'ятий такти вимірювання. Епюри напруг для цих тактів такі, як епюри, наведені на рисунку 2 для другого, третього, четвертого і п'ятого тактів, якщо замість  $\Phi_x$  підставити  $\Phi_{x0}$ . В результаті цього отримують наступні постійні напруги  $U_{20}$ ,  $U_{30}$ ,  $U_{40}$ ,  $U_{50}$ :

$$U_{20} = \frac{1}{T_{yc}} \int_0^{T_{yc}} u_{20}-(t) dt = k_{yc2}(S'_{H2}(\Phi_{x0} + \Phi_0 + k_2\Delta\Phi)^3 + S'_{H1}(\Phi_{x0} + \Phi_0 + k_2\Delta\Phi)^2 + S'_n(\Phi_{x0} + \Phi_0 + k_2\Delta\Phi)) - k_{yc2}(S'_{H2}(\Phi_0 + k_2\Delta\Phi)^3 + S'_{H1}(\Phi_0 + k_2\Delta\Phi)^2 + S'_n(\Phi_0 - k_2\Delta\Phi)). \quad (6)$$

$$U_{30} = \frac{1}{T_{yc}} \int_0^{T_{yc}} u_{30}-(t) dt = k_{yc2}(S'_{i2}(\hat{O}_{x0} + \hat{O}_0 + k_2\Delta\hat{O})^3 + S'_{i1}(\hat{O}_{x0} + \hat{O}_0 + k_2\Delta\hat{O})^2 + S'_e(\hat{O}_{x0} + \hat{O}_0 + k_2\Delta\hat{O})) - k_{yc2}(S'_{i2}(\hat{O}_{x0} + \hat{O}_0 - k_2\Delta\hat{O})^3 + S'_{i1}(\hat{O}_{x0} + \hat{O}_0 - k_2\Delta\hat{O})^2 + S'_e(\hat{O}_{x0} + \hat{O}_0 - k_2\Delta\hat{O})). \quad (7)$$

$$U_{40} = \frac{1}{T_{yc}} \int_0^{T_{yc}} u_{40}-(t) dt = k_{yc2}(S'_{H2}(\Phi_{x0} + \Phi_0 + \Delta\Phi)^3 + S'_{H1}(\Phi_{x0} + \Phi_0 + \Delta\Phi)^2 + S'_n(\Phi_{x0} + \Phi_0 + \Delta\Phi)) - k_{yc2}(S'_{H2}(\Phi_{x0} + \Phi_0 - \Delta\Phi)^3 + S'_{H1}(\Phi_{x0} + \Phi_0 - \Delta\Phi)^2 + S'_n(\Phi_{x0} + \Phi_0 - \Delta\Phi)). \quad (8)$$

$$U_{50} = \frac{1}{T_{yc}} \int_0^{T_{yc}} u_{50}-(t) dt = k_{yc2}(S'_{H2}(\Phi_{x0} + \Phi_0 + \Delta\Phi)^3 + S'_{H1}(\Phi_{x0} + \Phi_0 + \Delta\Phi)^2 + S'_n(\Phi_{x0} + \Phi_0 + \Delta\Phi)) - k_{yc2}(S'_{H2}(\Phi_0 + \Delta\Phi)^3 + S'_{H1}(\Phi_0 + \Delta\Phi)^2 + S'_n(\Phi_0 + \Delta\Phi)). \quad (9)$$

Напруги (6) - (9) за допомогою аналого-цифрового перетворювача 46 перетворюються в коди чисел  $N_6, \dots, N_9$  ( $N_6 = S_{np}U_{20}, \dots, N_9 = S_{np}U_{50}$ ) і запам'ятовуються у оперативній пам'яті 52 мікроконтролера 54. По одержаним значенням напруг визначають дійсне значення потоку випромінювання  $\Phi_{x0}(\lambda_2)$  згідно із рівнянням надлишкових

$$N_{Tx} = N_{T0} \sqrt[4]{\frac{\{N_x\}}{\{N_{x0}\}}} = N_{T0} \sqrt[4]{\frac{\frac{N_3 - N_1 - 4(N_2 - N_5)}{3(N_3 - 2N_4)}}{\frac{N_{30} - N_{10} - 4(N_{20} - N_{50})}{3(N_{30} - 2N_{40})}}}$$

Код числа  $N_{Tx}$  (10), який дорівнює дійсному значенню температури  $T_x$  об'єкта, висвітлюється цифровим відліковим пристроєм 55. Особливістю схематехнічного рішення цифрового пірометра відношення є те, що результат обчислення безпосередньо характеризує дійсне значення тем-

$$\text{вимірювань } N_{x0} = \frac{N_{30} - N_{10} - 4(N_{20} - N_{50})}{3(N_{30} - 2N_{40})} \text{ у деся-}$$

тому такті, за допомогою мікроконтролера 54 проводиться обробка результатів проміжних вимірювань по обом каналам згідно з рівнянням числових значень

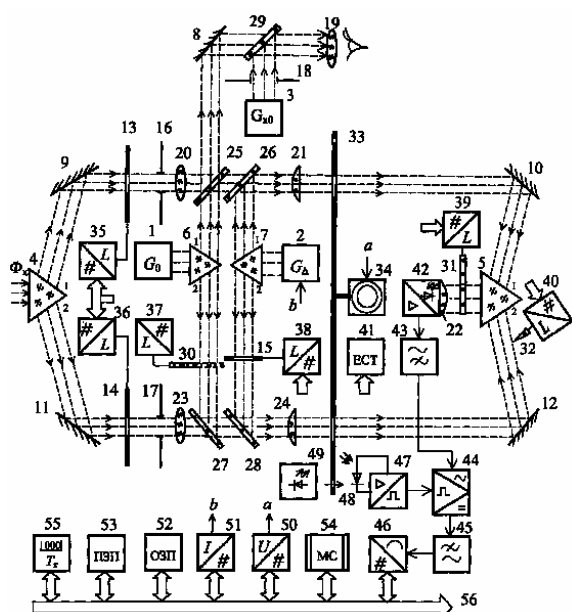
ператури. Виключаються всі систематичні похибки вимірювання, а також похибка від впливу перепускання середовищем. Запропоноване технічне рішення цифрового пірометра відношення забезпечує виключення всіх складових похибки вимірювання, а також похибки, що обумовлена

(10)



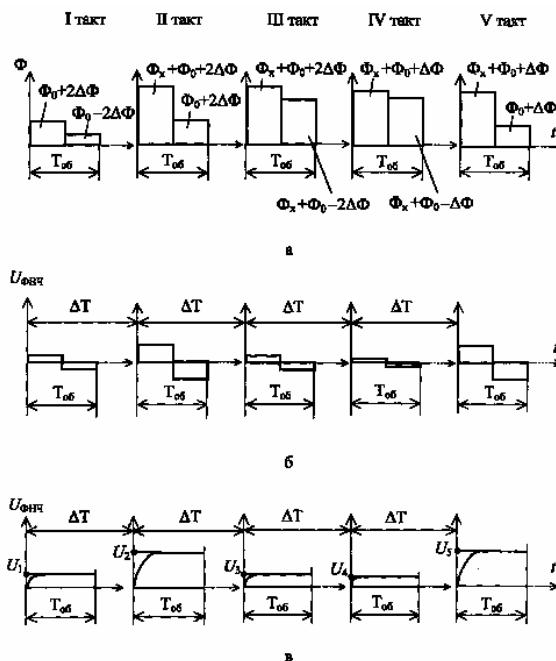
впливом коефіцієнта перепускання середовищем. Це досягається за рахунок введення нової сукупності функціональних блоків 2 - 7, 9 - 12, 14, 15, 17, 18, 23, 24, 27 - 31, 36 - 39 та їх зв'язків між собою та з іншими функціональними блоками цифрового пірометра відношення. В результаті забезпечується досягнення технічного результату. Завдяки використанню апроксимації логарифмічної функції перетворення фотоприймача поліномом третього ступеня досягається розширення діапазону вимірювання температури в 6,8 раз. Таким чином, запропоноване технічне рішення цифрового пірометра відношення забезпечує автоматичне виключення похибки від нелі-

нійності, аддитивної і мультиплікативної складових систематичної похибки результату визначення дійсного значення температури нагрітого об'єкта. Крім того, в запропонованому технічному рішенні автоматично, за рахунок обчислення по рівнянню числових значень (10), виключається вплив перепускання середовищем на похибку результату вимірювання. Завдяки цьому майже на порядок підвищується точність вимірювання температури важкодоступних тіл чи середовищ та розширюється діапазону її вимірювання.



Цифровий пірометр відношення

Рис. 1



Епюри, що пояснюють сутність цифрового пірометра відношення

Рис. 2