



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 74970

(13) C2

(51) МПК (2006)
G01L 11/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СПОСІБ НАДЛИШКОВИХ ВИМІРЮВАНЬ ТИСКУ ТА ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЙОГО ЗДІЙСНЕННЯ

1

2

(21) 20040706043

(22) 20.07.2004

(24) 15.02.2006

(46) 15.02.2006, Бюл. № 2, 2006 р.

(72) Кондратов Владислав Тимофійович, Редько Віталій Володимирович

(73) ІНСТИТУТ КІБЕРНЕТИКИ ІМ. В.М. ГЛУШКОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

(56) SU 1599685 A1, 15.10.1990

SU 1624290 A1, 30.01.1991

SU 1150504 A, 15.04.1985

SU 1185135 A, 15.10.1985

US 4322979, 06.04.1982

RU 2231762 C2, 27.06.2004

RU 2006016 C1, 15.01.1994

Красюк Б.А., Семенов О.Г., Шереметьев А.Г. и др. /Световодные датчики/ М.:Машиностроение, 1990, 16 18с

(57) 1. Спосіб надлишкових вимірювань тиску, оснований на формуванні направленої світлової потоку нормованої інтенсивності у заданому діапазоні довжин хвиль, формуванні першого та другого відбитих інформативних світлових потоків, модуляції їх інтенсивності тиском невідомого чи відомого розмірів, перетворенні першого та другого інформативних світлових потоків у пару напруг, вимірюванні отриманих напруг, їх запам'ятовуванні і визначенні дійсного значення тиску згідно з рівнянням вимірювання, який **відрізняється** тим, що до формування першого та другого інформативних світлових потоків формують перші та другі світлові

потоки нульової інтенсивності, перетворюють їх у першу пару напруг, отримані напруги вимірюють і запам'ятовують, формують першу пару додаткових світлових потоків, інтенсивності яких модулюють нормованим за розміром тиском p_1 , перетворюють інтенсивності цих потоків у другу пару напруг, отримані напруги вимірюють і запам'ятовують, формують другу пару додаткових світлових потоків, інтенсивності яких модулюють нормованим за розміром тиском p_2 , який встановлюють за умовою, де $0,5(\{p_1\}+\{p_2\})=\{p_0\}$ та $0,5(\{p_2\}-\{p_1\})=\{\Delta p_0\}$, причому $\{p_0\}=(3...10)\{\Delta p_0\}$, перетворюють інтенсивності другої пари додаткових світлових потоків у третю пару напруг, отримані напруги вимірюють і запам'ятовують, формують перший та другий відбиті інформативні світлові потоки, які модульовані по інтенсивності тиском, підсумовують їх з відповідними світловими потоками другої додаткової пари, перетворюють інтенсивності перших сумарних потоків у четверту пару напруг, отримані напруги вимірюють і запам'ятовують, підсумовують перший та другий відбиті інформативні світлові потоки з відповідними світловими потоками першої додаткової пари, перетворюють інтенсивності других сумарних потоків у п'яту пару напруг, отримані напруги вимірюють і запам'ятовують, а дійсне значення тиску визначають згідно з рівнянням надлишкових вимірювань:

$$p_x = \frac{1}{S_c} \left[\Phi_{01} \frac{\Phi_{01} [U_{H51} - U_{H21}] + (U_{H31} - U_{H41}) + k_3 \Delta \Phi_0 [U_{H51} - U_{H21}] + (U_{H31} - U_{H41})}{k_3 \Delta \Phi_0 [U_{H21} + U_{H31}] - k_2 U_{H11}} + \Phi_{01} [U_{H21} - U_{H31}] + (U_{H41} - U_{H51}) \right] - \Phi_{02} \frac{\Phi_{02} [U_{H42} - U_{H32}] + (U_{H22} - U_{H52}) + k_3 \Delta \Phi_0 [U_{H42} - U_{H32}] + (U_{H22} - U_{H52})}{k_3 \Delta \Phi_0 [U_{H32} + U_{H22}] - k_2 U_{H12}} + \Phi_{02} [U_{H32} - U_{H22}] + (U_{H52} - U_{H42})$$

де U_{H11} і U_{H12} U_{H21} і $U_{H22}, \dots U_{H51}, U_{H52}$ - перша, друга, ..., п'ята пари напруг;

k_2 і k_3 - коефіцієнти пропорційності, причому $k_2 = 2$, $k_3 = 3$;

S_c - коефіцієнт перетворення світлових потоків у тиск;

Φ_{01} і Φ_{02} - нормовані за значенням світлові потоки, різниця яких пропорційна нормованому за значенням тиску p_0 ;

$\Delta \Phi_0$ - нормований за значенням приріст світлового потоку, пропорційний нормованому за значенням приросту тиску Δp_0 .

2. Пристрій для здійснення способу за п. 1, що містить перший та другий вимірювальні канали, кожний з яких складається з послідовно з'єднаних між собою підсилювача та фотоприймача, генератор оптичного випромінювання та оптичний сенсор

(13) C2

(11) 74970

(19) UA

тиску, вхід якого оптично з'єднаний з генератором оптичного випромінювання, перший та другий виходи сенсора оптично з'єднані з входами першого та другого вимірювальних каналів відповідно, який **відрізняється** тим, що додатково містить шторку, першу та другу лінзи, перше та друге дзеркала, перший та другий сірі клини, призму і автоматичний перемикач, виконавчий механізм переміщення, перший та другий перетворювачі "код-переміщення", цифровий відліковий пристрій, оперативно запам'ятовуючий пристрій, постійно запам'ятовуючий пристрій і мікропроцесор, які з'єднані між собою через загальну шину, вихід одного з розрядів паралельного порту мікропроцесора з'єднаний з входом керування автоматичного перемикача, перший та другий входи якого підключені до виходів відповідних вимірювальних каналів, вихід

з'єднаний зі входом аналого-цифрового перетворювача, виходи якого підключені до загальної шини, при цьому виконавчий механізм переміщення механічно зв'язаний зі шторкою, яка встановлена на оптичній осі між входом оптичного сенсора тиску і першим виходом джерела оптичного випромінювання, другий вхід якого оптично з'єднаний з призмою, перший і другий виходи якої оптично з'єднані через перший та другий сірі клини з першим та другим дзеркалами, які оптично з'єднані зі входами фотоприймачів першого та другого вимірювальних каналів, що також оптично з'єднані через першу і другу лінзи з першим та другим виходами оптичного сенсора тиску, а виходи першого та другого перетворювачів "код-переміщення" кінематично з'єднані з першим та другим сірими клинами.

Винахід відноситься до області вимірювальної техніки і може бути застосований для вимірювання тиску оптичними методами.

Відомий спосіб вимірювання тиску та пристрій для його здійснення [А.С. SU 1599685 А1 МКІ⁵. Измеритель давления / Е.Ф. Волосожар. Бюл. №38, 1990], який ґрунтується на формуванні направленного світлового потоку нормованої інтенсивності у заданому діапазоні довжин хвиль, формуванні відбитого інформативного світлового потоку, модуляції його інтенсивності тиском невідомого розміру, перетворенні інформативного світлового потоку у напругу, вимірюванні отриманої напруги, її запам'ятовуванні і визначенні дійсного значення тиску згідно з рівнянням вимірювання.

Відомий спосіб не дозволяє забезпечити високу точність вимірювання дійсного значення тиску. Причинами цього є нелінійність і нестабільність функції перетворення інтенсивності світлового потоку у напругу, що призводить до появи похибок від нелінійності, адитивної і мультиплікативної складових систематичної похибки.

Пристрій по даному способу включає в себе: оптичний сенсор тиску, світловоди, генератор оптичного випромінювання, фотоприймач, підсилювач, аналого-цифровий перетворювач, цифровий відліковий пристрій.

Відомий пристрій не забезпечує достатню точність вимірювання тиску через реалізацію прямого методу вимірювання тиску, який передбачає використання фотоприймача функція перетворення якого є нелінійною та нестабільною у часі та від температури.

Вказані причини заважають досягненню поставленої задачі підвищення точності та розширення діапазону вимірювання тиску.

Відомий також спосіб вимірювання тиску та пристрій для його здійснення [А.С. SU 1624290 А1 МКІ⁵. Устройство для измерения давления / О.Ф. Иванов, Ф.Т. Вильконец, В.Б. Сидоров, В.В. Кирпичев, Б.А. Белгородский, В.Г. Лукаин и С.А. Гринев. Бюл. №4, 1991], який заснований на формуванні направленного світлового потоку нормованої інтенсивності у заданому діапазоні довжин

хвиль, формуванні відбитого інформативного світлового потоку, модуляції його інтенсивності тиском невідомого розміру, перетворенні інформативного світлового потоку у напругу, вимірюванні отриманої напруги, її запам'ятовуванні і визначенні дійсного значення тиску згідно з рівнянням вимірювання.

Відомий спосіб не забезпечує високу точність вимірювання. Причинами, що заважають досягненню поставленої задачі підвищення точності вимірювання, є нестабільність і нелінійність функції перетворення інтенсивності світлового потоку у напругу.

Пристрій по даному способу включає в себе: оптичний сенсор тиску, світловоди, генератор оптичного випромінювання, фотоприймач, аналого-цифровий перетворювач, цифровий відліковий пристрій.

Відомий пристрій не забезпечує достатню точність вимірювання тиску через реалізацію прямого методу вимірювання тиску, який передбачає використання фотоприймача функція перетворення якого є нелінійною та нестабільною у часі та від температури.

Зазначені причини заважають досягненню поставленої задачі підвищення точності та розширення діапазону вимірювання тиску.

Відомий спосіб вимірювання тиску та пристрій для його здійснення [Световодные датчики / Б.А. Красюк, О.Г. Семёнов, А.Г. Шереметьев и др. - М.: Машиностроение, 1990. - 256с.], який заснований на формуванні направленного світлового потоку нормованої інтенсивності у заданому діапазоні довжин хвиль, формуванні першого та другого відбитих інформативних світлових потоків, модуляції їх інтенсивності тиском невідомого розміру, перетворенні першого та другого інформативних світлових потоків у пару напруг, вимірюванні отриманих напруг, їх запам'ятовуванні і визначенні дійсного значення тиску згідно з рівнянням вимірювання.

Причинами, що заважають досягненню поставленої задачі підвищення точності вимірювання, є нелінійність, та довгострокова і температурна не-

стабільність функції перетворення інтенсивності світлового потоку у напругу. Останнє обумовлює появу систематичної похибки, в тому числі похибки від нелінійності функції перетворення. Зазначений спосіб не повністю виключає ці похибки, оскільки не вирішує задачу лінеаризації загальної функції перетворення інтенсивності світлового потоку у напругу.

Пристрій по даному способу включає в себе: оптичний сенсор тиску, світловоди, генератор оптичного випромінювання, перший та другий фотоприймачі, перший та другий підсилювачі, аналого-цифровий перетворювач, цифровий відліковий пристрій.

Відомий пристрій не забезпечує достатню точність вимірювання тиску через реалізацію прямого методу вимірювання тиску, який передбачає використання першого та другого фотоприймачів, функції перетворення яких є нелінійними та нестабільними у часі та від температури, а також першого та другого підсилювачів, дрейф нуля яких також залежить від температури.

Зазначені причини заважають досягненню поставленої задачі підвищення точності та розширення діапазону вимірювання тиску.

В основу винаходу покладена задача створення такого способу надлишкових вимірювань тиску, у якому шляхом введення заданої кількості, послідовності та умов виконання операцій забезпечувалося б підвищення точності вимірювання при будь-яких розбіжностях параметрів однотипних фотоприймачів з одним і тим же видом нелінійної функції перетворення.

Одночасно в основу винаходу покладена задача створення відповідного пристрою для вимірювання дійсного значення тиску, у якому завдяки введеної сукупності функціональних блоків та нових зв'язків між ними і з іншими блоками пристрою забезпечувалося б підвищення точності та розширення діапазону вимірювання тиску.

Поставлена задача вирішується завдяки тому, що спосіб надлишкових вимірювань тиску, основа-

ний на формуванні направленої світлового потоку нормованої інтенсивності у заданому діапазоні довжин хвиль, формуванні першого та другого відбитих інформативних світлових потоків, модуляції їх інтенсивності тиском невідомого чи відомого розмірів, перетворенні першого та другого інформативних світлових потоків у пару напруг, вимірюванні отриманих напруг, їх запам'ятовуванні і визначенні дійсного значення тиску згідно з рівнянням вимірювання. Від прототипу він відрізняється тим, що до формування першого та другого інформативних світлових потоків формують перші та другі світлові потоки нульової інтенсивності, перетворюють їх у першу пару напруг, отримані напруги вимірюють і запам'ятовують, формують першу пару додаткових світлових потоків, інтенсивності яких модулюють нормованим за розміром тиском p_1 , перетворюють інтенсивності цих потоків у другу пару напруг, отримані напруги вимірюють і запам'ятовують, формують другу пару додаткових світлових потоків, інтенсивності яких модулюють нормованим за розміром тиском p_2 , який встановлюють за умовою, що $0,5(\{p_1\} + \{p_2\}) = \{p_0\}$ та $0,5(\{p_2\} - \{p_1\}) = \{\Delta p_0\}$, причому $\{p_0\} = (3 \dots 10) \{\Delta p_0\}$, перетворюють інтенсивності другої пари додаткових світлових потоків у третю пару напруг, отримані напруги вимірюють і запам'ятовують, формують перший та другий відбиті інформативні світлові потоки, які модульовані по інтенсивності тиском невідомого розміру, сумують їх з відповідними світловими потоками другої додаткової пари, перетворюють інтенсивності перших сумарних потоків у четверту пару напруг, отримані напруги вимірюють і запам'ятовують, сумують перший та другий відбиті інформативні світлові потоки з відповідними світловими потоками першої додаткової пари, перетворюють інтенсивності других сумарних потоків у п'яту пару напруг, отримані напруги вимірюють і запам'ятовують, а дійсне значення тиску визначають згідно з рівнянням надлишкових вимірювань

$$p_x = \frac{1}{S_c} \cdot \left[\Phi_{01} \frac{\Phi_{01} \{U_{H51} - U_{H21}\} + \Phi_{H31} - U_{H41}}{k_3 \Delta \Phi_0 \{U_{H21} + U_{H31}\} + k_2 U_{H11}} + \Phi_{01} \{U_{H21} - U_{H31}\} + \Phi_{H41} - U_{H51} \right] - \left[\Phi_{02} \frac{\Phi_{02} \{U_{H42} - U_{H32}\} + \Phi_{H22} - U_{H52}}{k_3 \Delta \Phi_0 \{U_{H32} + U_{H22}\} + k_2 U_{H12}} + \Phi_{02} \{U_{H32} - U_{H22}\} + \Phi_{H52} - U_{H42} \right]$$

де U_{H11} і U_{H12} , U_{H21} і U_{H22} , ..., U_{H51} і U_{H52} - перша, друга, ..., п'ята пари напруг; k_2 і k_3 - коефіцієнти пропорційності, причому $k_2=2$; $k_3=3$; S_c - коефіцієнт перетворення світлових потоків у тиск; Φ_{01} і Φ_{02} - нормовані за значенням світлові потоки, різниця яких пропорційна нормованому за значенням тиску p_0 ; $\Delta \Phi_0$ - нормований за значенням приріст світлового потоку, пропорційний нормованому за значенням приросту тиску Δp_0 .

Пристрій для здійснення способу включає в себе перший та другий вимірювальні канали кожний з яких складається з послідовно з'єднаних між собою підсилювача та фотоприймача, генератор оптичного випромінювання та оптичний сенсор тиску, вхід якого оптично з'єднаний з генератором оптичного випромінювання, перший та другий ви-

ходи сенсора оптично з'єднані з входами першого та другого вимірювальних каналів відповідно. Від прототипу він відрізняється тим, що додатково введені шторка, перша та друга лінзи, перше та друге дзеркала, перший та другий сірі клини, призма і автоматичний перемикач, виконавчий механізм переміщення, перший та другий перетворювачі "код-переміщення", цифровий відліковий пристрій, оперативно запам'ятовуючий пристрій, постійно запам'ятовуючий пристрій і мікропроцесор, які з'єднані між собою через загальну шину, вихід одного з розрядів паралельного порту мікропроцесора з'єднаний із входом керування автоматичного перемикача, перший та другий входи якого підключені до виходів відповідних вимірювальних каналів, вихід з'єднаний зі входом аналого-

цифрового перетворювача, виходи якого підключені до загальної шини, при цьому виконавчий механізм переміщення, механічно зв'язаний зі шторкою, яка встановлена на оптичній осі між входом оптичного сенсора тиску і першим виходом джерела оптичного випромінювання, другий вихід якого оптично з'єднаний з призмою, перший і другий виходи якої оптично з'єднані, через перший та другий сірі клини, з першим та другим дзеркалами, які оптично з'єднані зі входами фотоприймачів першого та другого вимірювальних каналів, що також оптично з'єднані через першу і другу лінзи з першим та другим виходами оптичного сенсора тиску, а виходи першого та другого перетворювачів "код-переміщення" кінематично з'єднані з першим та другим сірими клинами.

На Фіг. зображена структурна схема пристрою для визначення тиску, який здійснює запропонований спосіб, де 1 - оптичний сенсор тиску (диференціальний за входною величиною); 2' і 2" - перший та другий світловоди; 3 - шторка; 4 - виконавчий механізм переміщення; 5 - генератор оптичного випромінювання; 6 і 7 - перша та друга лінзи; 8 і 9 - перше та друге дзеркала; 10 - призма; 11 і 12 - перший та другий сірі клини; 13 і 14 - перший та другий фотоприймачі; 15 і 16 - перший та другий перетворювачі "код-переміщення"; 17 і 18 - перший та другий підсилювачі; 19 - автоматичний перемикач; 20 - аналого-цифровий перетворювач; 21 - оперативно запам'ятовуючий пристрій; 22 - постійно запам'ятовуючий пристрій; 23 - цифровий відліковий пристрій; 24 - мікропроцесор; 25 - загальна шина.

Необхідно зазначити, що оптичний сенсор тиску містить в собі світловоди, оптичні волокна яких, розташовані по трьом концентричним кільцевим зонам, та чутливу мембрану із дзеркальною внутрішньою поверхнею. Оптичні волокна, що розміщені в середній кільцевій зоні, служать для направлення світлового потоку Φ_n нормованої інтенсивності на внутрішню дзеркальну поверхню мембрани.

Оптичні волокна, що розташовані у внутрішній та зовнішній концентричних кільцевих зонах призначені для передачі інформативних світлових потоків Φ_{x1} і Φ_{x2} , відбитих внутрішньою дзеркальною поверхнею мембрани.

Різниця значень інтенсивностей відбитих інформативних світлових потоків Φ_{x1} і Φ_{x2} пропорційна значенню тиску p_x , що діє на чутливу мембрану оптичного сенсора тиску, тобто

$$p_x = \frac{\Phi_{x1} - \Phi_{x2}}{S_c},$$

де $\Phi_{x1} = (\Phi_n + p_x S_c)/2$; $\Phi_{x2} = (\Phi_n - p_x S_c)/2$; S_c - коефіцієнт перетворення різниці першого та другого відбитих інформативних світлових потоків у тиск.

Припустимо, що функція перетворення фотоприймача описується рівнянням величин

$$U_n = S'_n \Phi^3 + S''_n \Phi + \Delta U_n,$$

де Φ - світловий потік, що поступає на фотоп-

риймач; U_n - вихідна напруга фотоприймача; ΔU_n - напруга зміщення фотоприймача; $S'_n = S_n \langle + \gamma_n \rangle$,

$S''_n = S_n \langle + \gamma_n \rangle$ - параметри кубічної функції перетворення фотоприймача, що враховують вплив на фотоприймач дестабілізуючих факторів, а також їх зміну у часі; S_n , S_n - номінальні за значенням параметри функцій перетворення фотоприймача; γ_n , γ_n - відхилення параметрів функцій перетворення фотоприймача від номінальних значень, що викликані впливом на фотоприймач дестабілізуючих факторів та їх зміною у часі.

Запропонований спосіб надлишкових вимірювань тиску оснований на тому, що формують направлений світловий потік Φ_n нормованої інтенсивності у заданому діапазоні довжин хвиль. Далі формують перший та другий відбиті інформативні світлові потоки Φ_{x1} і Φ_{x2} , модулюють їх інтенсивності тиском невідомого чи відомого розмірів. Перетворюють перший та другий інформативні світлові потоки Φ_{x1} і Φ_{x2} у пару напруг U_{n1} і U_{n2} . Причому при кубічній функції перетворення фотоприймачів рівняння зв'язку між величинами Φ_{x1} , Φ_{x2} та U_{n1} , U_{n2} мають вигляд:

$$U_{n1} = S'_n \Phi_{x1}^3 + S''_n \Phi_{x1} + \Delta U_{n1} \quad (1)$$

$$U_{n2} = S'_n \Phi_{x2}^3 + S''_n \Phi_{x2} + \Delta U_{n2} \quad (2)$$

де U_{n1} і U_{n2} - вихідні напруги фотоприймачів; ΔU_{n1} і ΔU_{n2} - напруги зміщення фотоприймачів;

$$S'_n = S_{n1} \langle + \gamma_{n1} \rangle, \quad S''_n = S_{n1} \langle + \gamma_{n1} \rangle,$$

$S'_n = S_{n2} \langle + \gamma_{n2} \rangle$, $S''_n = S_{n2} \langle + \gamma_{n2} \rangle$ - параметри кубічних функцій перетворення фотоприймачів, що враховують вплив на фотоприймачі дестабілізуючих факторів, а також їх зміну у часі; S_{n1} , S_{n1} , S_{n2} , S_{n2} - номінальні за значенням параметри функцій перетворення фотоприймачів; γ_{n1} , γ_{n1} , γ_{n2} , γ_{n2} - відхилення параметрів функцій перетворення фотоприймачів від номінальних значень, що викликані впливом на фотоприймачі дестабілізуючих факторів та їх зміною у часі.

Потім отримані напруги (1) та (2) вимірюють і запам'ятовують.

Згідно із запропонованим способом, до формування першого та другого інформативних світлових потоків формують перші та другі світлові потоки нульової інтенсивності Φ_{11} і Φ_{12} ($\{\Phi_{11}\} = \{\Phi_{12}\} = 0$). Перетворюють їх у першу пару напруг U_{n11} і U_{n12} :

$$U_{n11} = S'_n \Phi_{11}^3 + S''_n \Phi_{11} + \Delta U_{n1} \quad (3)$$

$$U_{n12} = S'_n \Phi_{12}^3 + S''_n \Phi_{12} + \Delta U_{n2} \quad (4)$$

Отримані напруги (3) і (4) вимірюють і запам'ятовують.

Формують першу пару додаткових світлових потоків Φ_{21} і Φ_{22} ($\{\Phi_{21}\} = \{\Phi_{01}\} + \{\Delta\Phi_0\}$, $\{\Phi_{22}\} = \{\Phi_{02}\} + \{\Delta\Phi_0\}$) інтенсивності яких модулюють нормованим за розміром тиском p_1 . Причому зна-

чення цього тиску встановлюють рівним

$$\{p_1\}=\{p_0\}-\{\Delta p_0\},$$

де $\{p_0\}$ - нормований за значенням тиск; $\{\Delta p_0\}$ — нормований за значенням приріст тиску.

Слід зазначити, що нормовані за значенням світлові потоки Φ_{01} , Φ_{02} та нормований за значенням приріст світлового потоку $\Delta\Phi_0$ встановлюються за умовами $\{\Phi_{01}\}=\{\{\Phi_n\}+\{p_0\}\{S_c\}/2\}$, $\{\Phi_{02}\}=\{\{\Phi_n\}-\{p_0\}\{S_c\}\}/2$, $\{\Delta\Phi_0\}=\{\Delta p_0\}\{S_c\}/2$.

Перетворюють інтенсивності потоків Φ_{21} і Φ_{22} у другу пару напруг U_{H21} і U_{H22}

$$U_{H21} = S'_H \Phi_{21}^3 + S'_L \Phi_{21} + \Delta U_{H1} \quad (5)$$

$$U_{H22} = S''_H \Phi_{22}^3 + S''_L \Phi_{22} + \Delta U_{H2} \quad (6)$$

Отримані напруги (6) і (7) вимірюють і запам'ятовують.

Формують другу пару додаткових світлових потоків Φ_{31} і Φ_{32} ($\{\Phi_{31}\}=\{\Phi_{01}\}+\{\Delta\Phi_0\}$, $\{\Phi_{32}\}=\{\Phi_{02}\}-\{\Delta\Phi_0\}$), інтенсивності яких модулюють нормованим за розміром тиском p_2 . У порівнянні з p_1 значення тиску p_2 вибирають рівним

$$\{p_2\}=\{p_0\}+\{\Delta p_0\}.$$

Перетворюють інтенсивності другої пари додаткових світлових потоків Φ_{31} і Φ_{32} у третю пару напруг U_{H31} і U_{H32} :

$$U_{H31} = S'_H \Phi_{31}^3 + S'_L \Phi_{31} + \Delta U_{H1} \quad (7)$$

$$U_{H32} = S''_H \Phi_{32}^3 + S''_L \Phi_{32} + \Delta U_{H2} \quad (8)$$

Отримані напруги (9) та (10) вимірюють і запам'ятовують.

Формують перший та другий відбиті інформа-

$$p_x = \frac{1}{S_c} \cdot \left[\Phi_{01} \frac{\Phi_{01} [U_{H51} - U_{H21}] + \Phi_{H31} - U_{H41} + k_3 \Delta\Phi_0 [U_{H51} - U_{H21}] - \Phi_{H31} - U_{H41}}{k_3 \Delta\Phi_0 [U_{H21} + U_{H31}] - k_2 U_{H11} + \Phi_{01} [U_{H21} - U_{H31}] + \Phi_{H41} - U_{H51}} \right] - \left[\Phi_{02} \frac{\Phi_{02} [U_{H42} - U_{H32}] + \Phi_{H22} - U_{H52} + k_3 \Delta\Phi_0 [U_{H42} - U_{H32}] - \Phi_{H22} - U_{H52}}{k_3 \Delta\Phi_0 [U_{H32} + U_{H22}] - k_2 U_{H12} + \Phi_{02} [U_{H32} - U_{H22}] + \Phi_{H52} - U_{H42}} \right] \quad (13)$$

де U_{H11} і U_{H12} , U_{H21} і U_{H22} , ..., U_{H51} і U_{H52} - перша, друга, ..., п'ята пари напруг; k_2 і k_3 - коефіцієнти пропорційності, причому $k_2=2$; $k_3=3$; S_c - коефіцієнт перетворення світлових потоків у тиск; Φ_{01} і Φ_{02} - нормовані за значенням світлові потоки, різниця яких пропорційна нормованому за значенням тиску p_0 ; $\Delta\Phi_0$ - нормований за значенням приріст світ-

тових світлових потоки Φ_{x1} і Φ_{x2} ($\{\Phi_{x1}\}=\{\{\Phi_n\}+\{p_x\}\{S_c\}\}/2$, $\{\Phi_{x2}\}=\{\{\Phi_n\}-\{p_x\}\{S_c\}\}/2$), які модульовані по інтенсивності тиском p_x невідомого розміру.

Сумують їх з відповідними світловими потоками Φ_{31} і Φ_{32} другої додаткової пари:

$$\{\Phi_{41}\}=\{\Phi_{x1}\}+\{\Phi_{31}\};$$

$$\{\Phi_{42}\}=\{\Phi_{x2}\}+\{\Phi_{32}\}.$$

Перетворюють інтенсивності перших сумарних потоків Φ_{41} і Φ_{42} у четверту пару напруг U_{H41} і U_{H42} :

$$U_{H41} = S'_H \Phi_{41}^3 + S'_L \Phi_{41} + \Delta U_{H1} \quad (9)$$

$$U_{H42} = S''_H \Phi_{42}^3 + S''_L \Phi_{42} + \Delta U_{H2} \quad (10)$$

Отримані напруги (13) та (14) вимірюють і запам'ятовують.

Сумують перший та другий відбиті інформаційні світлові потоки Φ_{x1} і Φ_{x2} ($\{\Phi_{x1}\}=\{\{\Phi_n\}+\{p_x\}\{S_c\}\}/2$, $\{\Phi_{x2}\}=\{\{\Phi_n\}-\{p_x\}\{S_c\}\}/2$) з відповідними світловими потоками Φ_{21} і Φ_{22} першої додаткової пари:

$$\{\Phi_{51}\}=\{\Phi_{x1}\}+\{\Phi_{21}\};$$

$$\{\Phi_{52}\}=\{\Phi_{x2}\}+\{\Phi_{22}\}.$$

Перетворюють інтенсивності других сумарних потоків Φ_{51} і Φ_{52} у п'яту пару напруг U_{H51} і U_{H52} :

$$U_{H51} = S'_H \Phi_{51}^3 + S'_L \Phi_{51} + \Delta U_{H1} \quad (11)$$

$$U_{H52} = S''_H \Phi_{52}^3 + S''_L \Phi_{52} + \Delta U_{H2} \quad (12)$$

Отримані напруги (17) та (18) вимірюють і запам'ятовують. Дійсне значення тиску визначають згідно з рівнянням надлишкових вимірювань

лового потоку, пропорційний нормованому за значенням приросту тиску Δp_0 .

Покажемо, що дійсно за допомогою запропонованого рівняння надлишкових вимірювань забезпечується одержання позитивного ефекту. Для цього в рівняння (13) підставимо аналітичні вирази (3)-(13) за зробимо спрощення:

$$p_x = \frac{1}{S_c} \cdot \left[\Phi_{01} \frac{\Phi_{01} [U_{H51} - U_{H21}] + \Phi_{H31} - U_{H41} + k_3 \Delta\Phi_0 [U_{H51} - U_{H21}] - \Phi_{H31} - U_{H41}}{k_3 \Delta\Phi_0 [U_{H21} + U_{H31}] - k_2 U_{H11} + \Phi_{01} [U_{H21} - U_{H31}] + \Phi_{H41} - U_{H51}} \right] - \left[\Phi_{02} \frac{\Phi_{02} [U_{H42} - U_{H32}] + \Phi_{H22} - U_{H52} + k_3 \Delta\Phi_0 [U_{H42} - U_{H32}] - \Phi_{H22} - U_{H52}}{k_3 \Delta\Phi_0 [U_{H32} + U_{H22}] - k_2 U_{H12} + \Phi_{02} [U_{H32} - U_{H22}] + \Phi_{H52} - U_{H42}} \right] =$$

$$= \frac{1}{S_c} \cdot \left[\Phi_{x1} \frac{6 \cdot \Phi_{01} \cdot \Delta\Phi_0 [S'_H \Phi_{x1} + \Phi_{01}^2 + 3 \cdot S'_H \cdot \Delta\Phi_0^2 + S'_L]}{6 \cdot \Phi_{01} \cdot \Delta\Phi_0 [S'_H \Phi_{x1} + \Phi_{01}^2 + 3 \cdot S'_H \cdot \Delta\Phi_0^2 + S'_L]} - \Phi_{x2} \frac{6 \cdot \Phi_{02} \cdot \Delta\Phi_0 [S''_H \Phi_{x2} + \Phi_{02}^2 + 3 \cdot S''_H \cdot \Delta\Phi_0^2 + S''_L]}{6 \cdot \Phi_{02} \cdot \Delta\Phi_0 [S''_H \Phi_{x2} + \Phi_{02}^2 + 3 \cdot S''_H \cdot \Delta\Phi_0^2 + S''_L]} \right] =$$

$$= \frac{\Phi_{x1} - \Phi_{x2}}{S_c}$$

Наведений на Фіг. пристрій для вимірювання

тиску включає в собі перший та другий вимірюва-

льні канали. Кожний із цих каналів складається з послідовно з'єднаних між собою підсилювача (17 і 18) та фотоприймача (13 і 14). Крім того, пристрій містить генератор оптичного випромінювання 5 та оптичний сенсор тиску 1. Вхід сенсора тиску 1 оптично з'єднаний з генератором оптичного випромінювання 5. Перший та другий виходи сенсора 1 оптично з'єднані з входами першого та другого вимірювальних каналів відповідно (див. Фіг., лінзи 6 і 7, що стоять на входах першого та другого вимірювальних каналів відповідно).

Згідно з запропонованим технічним рішенням, у пристрій додатково введені: плоскопаралельна непрозора пластина 3, перша та друга лінзи 6 і 7, перше та друге дзеркала 8 і 9, перший та другий сірі клини 11 та 12, призма 10 і автоматичний перемикач 19. Крім того, у пристрій введено виконавчий механізм переміщення 4, перший та другий перетворювачі "код-переміщення" 15 і 16, відліковий пристрій 23, оперативно запам'ятовуючий пристрій 21, постійно запам'ятовуючий пристрій 22 і мікропроцесор 24, які з'єднані між собою через загальну шину 25.

Вихід одного з розрядів паралельного порту мікропроцесора 24 з'єднаний із входом керування автоматичного перемикача 19. Перший та другий виходи автоматичного перемикача 19 підключені до виходів відповідних вимірювальних каналів. Вихід автоматичного перемикача 19 з'єднаний зі входом аналого-цифрового перетворювача 20, виходи якого підключені до загальної шини 25.

Виконавчий механізм переміщення 4, механічно зв'язаний зі шторкою 3, яка встановлена на оптичній осі між входом оптичного сенсора тиску 1 і першим виходом генератора оптичного випромінювання 5. Другий вихід генератора оптичного випромінювання 5 оптично з'єднаний з призмою 10. Перший і другий виходи призми 10 оптично з'єднані, через перший та другий сірі клини 11 і 12, з першим та другим дзеркалами 8 і 9. Дзеркала 8 і 9 оптично з'єднані зі входами фотоприймачів 13 і 14 першого та другого вимірювальних каналів. Фотоприймачі 13 і 14 також оптично з'єднані через першу і другу лінзи 6 та 7 з першим та другим виходами оптичного сенсора тиску 1. Виходи першого та другого перетворювачів "код-переміщення" 15 і 16 кінематично з'єднані з першим та другим сірими клинами 11 і 12.

В цілому робота пристрою складається з п'яти тактів вимірювання та одного такту обробки результатів проміжних вимірювань.

Після вмикання джерела живлення (на рисунку кнопка "пуск" не вказана) в початкове положення встановлюються функціональні блоки: виконавчий механізм переміщення 4 зі шторкою 3, перший та другий перетворювачі "код-переміщення" 15 і 16 з першим та другим сірими клинами 11 і 12, цифровий відліковий пристрій 23 обнуляється, а автоматичний перемикач 19 встановлюється у положення показане на Фіг.

В першому такті генератор оптичного випромінювання 5 вимкнений. На входи фотоприймачів 13 і 14 поступають світлові потоки нульової інтенсивності Φ_{11} і Φ_{12} ($\{\Phi_{11}\}=\{\Phi_{12}\}=0$). За допомогою фотоприймачів 13 і 14 нульові інтенсивності світлових потоків Φ_{11} і Φ_{12} перетворюють у напруги U_{H11} (3) і

U_{H12} (4) відповідно. Отримані напруги підсилюють за допомогою підсилювачів 17 і 18 і за командою з мікропроцесора 24 через автоматичний перемикач 19 подають на аналого-цифровий перетворювач 20. За допомогою аналого-цифрового перетворювача 20 напруги U_{H11} (3) і U_{H12} (4) перетворюють у цифрові коди $N_{11}=S_{\text{пр}}\{U_{H11}\}$ і $N_{12}=S_{\text{пр}}\{U_{H12}\}$, де $S_{\text{пр}}$ - крутість перетворення аналого-цифрового перетворювача 20. По загальній шині 25 цифрові коди N_{11} і N_{12} подають в оперативно запам'ятовуючий пристрій 21 і запам'ятовують.

В другому такті вмикають генератор 5. За допомогою виконавчого механізму переміщення шторку 3 встановлюють в положення, при якому вона припиняє проходження світлового потоку Φ_H від генератора 4 до світловоду оптичного сенсора тиску 1. Першу пару додаткових світлових потоків Φ_{21} і Φ_{22} формують за рахунок того, що на шляху світлових потоків, що поступають від призми 10 до дзеркал 8 і 9, за допомогою перетворювачів "код-переміщення" 15 і 16 встановлюють сірі клини 11 і 12 в такі положення, при яких забезпечуються рівності $\{\Phi_{21}\}=\{\Phi_{01}\}-\{\Delta\Phi_0\}$, $\{\Phi_{22}\}=\{\Phi_{02}\}+\{\Delta\Phi_0\}$. За допомогою фотоприймачів 13 і 14 інтенсивності світлових потоків Φ_{21} і Φ_{22} перетворюють у напруги U_{H21} (5) і U_{H22} (6) відповідно. Після підсилення за допомогою підсилювачів 17 і 18, зазначені напруги за командою з мікропроцесора 24 через автоматичний перемикач 19 подають на аналого-цифровий перетворювач 20. За допомогою аналого-цифрового перетворювача 20 напруги U_{H21} (5) і U_{H22} (6) перетворюють у цифрові коди $N_{21}=S_{\text{пр}}\{U_{H21}\}$ і $N_{22}=S_{\text{пр}}\{U_{H22}\}$. По загальній шині 25 цифрові коди N_{21} і N_{22} подають в оперативно запам'ятовуючий пристрій 21 і запам'ятовують.

В третьому такті другу пару додаткових світлових потоків Φ_{31} і Φ_{32} формують за рахунок того, що на шляху світлових потоків, що поступають від призми 10 до дзеркал 8 і 9, за допомогою перетворювачів "код-переміщення" 15 і 16 встановлюють сірі клини 11 і 12 в такі положення, при яких забезпечуються рівності $\{\Phi_{31}\}=\{\Phi_{01}\}+\{\Delta\Phi_0\}$, $\{\Phi_{32}\}=\{\Phi_{02}\}-\{\Delta\Phi_0\}$. За допомогою фотоприймачів 13 і 14 інтенсивності світлових потоків Φ_{31} і Φ_{32} перетворюють у напруги U_{H31} (7) і U_{H32} (8) відповідно. Ці напруги підсилюють за допомогою підсилювачів 17 і 18. Вихідні напруги підсилювачів 17 і 18 за командою з мікропроцесора 24 через автоматичний перемикач 19 подають на аналого-цифровий перетворювач 20. За допомогою аналого-цифрового перетворювача 20 напруги U_{H31} (7) і U_{H32} (8) перетворюють у цифрові коди $N_{31}=S_{\text{пр}}\{U_{H31}\}$ і $N_{32}=S_{\text{пр}}\{U_{H32}\}$. По загальній шині 25 цифрові коди N_{31} і N_{32} подають в оперативно запам'ятовуючий пристрій 21 і запам'ятовують.

В четвертому такті шторку 3 за допомогою виконавчого механізму переміщення 4 встановлюють в положення, при якому світловий потік Φ_H від генератора 5 поступає до світловоду оптичного сенсора тиску 1. Вихідні світлові потоки Φ_{x1} і Φ_{x2} ($\Phi_{x1}=(\Phi_H+p_x S_c)/2$, $\Phi_{x2}=(\Phi_H-p_x S_c)/2$) оптичного сенсора 1 через лінзи 6 і 7 поступають на фотоприймачі 13 і 14 відповідно. Одночасно, як і в третьому такті, формують другу пару додаткових світлових потоків Φ_{31} і Φ_{32} та подають їх на фотоприймачі 13 і 14 відповідно. За допомогою фотоприймачів 13 і

14 інтенсивності перших сумарних світлових потоків Φ_{41} і Φ_{42} ($\{\Phi_{41}\}=\{\Phi_{x1}\}+\{\Phi_{31}\}$, $\{\Phi_{42}\}=\{\Phi_{x2}\}+\{\Phi_{32}\}$) перетворюють у напруги U_{H41} (9) і U_{H42} (10). Отримані напруги підсилюють за допомогою підсилювачів 17 та 18 і за командою з мікропроцесора 24 через автоматичний перемикач 19 подають на аналого-цифровий перетворювач 20. За допомогою аналого-цифрового перетворювача 20 напруги U_{H41} (9) і U_{H42} (10) перетворюють у цифрові коди $N_{41}=S_{пр}\{U_{H41}\}$ і $N_{42}=S_{пр}\{U_{H42}\}$. По загальній шині 25 цифрові коди N_{41} і N_{42} подають в оперативно запам'ятовуючий пристрій 21 і запам'ятовують.

У п'ятому такті світловий потік Φ_n від генератора 5 подають по світловоду на оптичний сенсор тиску 1. Вихідні світлові потоки Φ_{x1} і Φ_{x2} ($\Phi_{x1}=(\Phi_n+p_x S_c)/2$, $\Phi_{x2}=(\Phi_n-p_x S_c)/2$) оптичного сенсора 1 через лінзи 6 і 7 поступають на фотоприймачі 13 і 14 відповідно. Одночасно, як і в другому такті,

формують першу пару додаткових світлових потоків Φ_{21} і Φ_{22} та подають їх на фотоприймачі 13 і 14 відповідно. Перетворюють у напруги U_{H51} (11) і U_{H52} (12) інтенсивності других сумарних світлових потоків Φ_{51} і Φ_{52} ($\{\Phi_{51}\}=\{\Phi_{x1}\}+\{\Phi_{21}\}$, $\{\Phi_{52}\}=\{\Phi_{x2}\}+\{\Phi_{22}\}$). Отримані напруги підсилюють за допомогою підсилювачів 17 та 18 і за командою з мікропроцесора 24 через автоматичний перемикач 19 подають на аналого-цифровий перетворювач 20. За допомогою аналого-цифрового перетворювача 20 напруги U_{H51} (11) і U_{H52} (12) перетворюють у цифрові коди $N_{51}=S_{пр}\{U_{H51}\}$ і $N_{52}=S_{пр}\{U_{H52}\}$. По загальній шині 25 цифрові коди N_{51} і N_{52} подають в оперативно запам'ятовуючий пристрій 21 і запам'ятовують.

В шостому такті результати п'яти тактів вимірювання обробляють згідно з рівнянням числових значень

$$p_x = \frac{1}{S_c} \cdot \left[\Phi_{01} \frac{\Phi_{01} N_{51} - N_{21} + \Phi_{H31} - N_{41} + 3 \Phi_{01} N_{51} - N_{21} - \Phi_{31} - N_{41}}{3 \Phi_{01} N_{21} + N_{31} - 2 N_{11} + \Phi_{01} N_{21} - N_{31} + \Phi_{41} - N_{51}} - \right. \\ \left. - \left[\Phi_{02} \frac{\Phi_{02} N_{42} - N_{32} + \Phi_{22} - N_{52} + 3 \Phi_{02} N_{42} - N_{32} - \Phi_{22} - N_{52}}{3 \Phi_{02} N_{32} + N_{22} - 2 N_{12} + \Phi_{02} N_{32} - N_{22} + \Phi_{52} - N_{42}} \right] \right] \quad (14)$$

згідно з яким отримують дійсне значення тиску p_x .

Як було показано вище, при обробці результатів проміжних вимірювань по рівнянню числових значень (14) виключаються вплив похибок вимірювання, обумовлених нестабільністю функції перетворення фотоприймачів 13 і 14. Одночасно виключаються вплив дрейфу нуля підсилювачів 17 і 18 та аналого-цифрового перетворювача 20.

Отриманий ефект отриманий завдяки введенню в пристрій суттєвих відрізняючих ознак (функціональних блоків) та їх зв'язків між собою та з іншими суттєвими ознаками.

Таким чином введення нової сукупності та послідовності операцій вимірювання різних за розмірами інтенсивності світлових потоків і використання нового рівняння числових значень, яке є

слідством рівняння надлишкових вимірювань, дало можливість виключити похибки вимірювання пов'язані з нелінійністю і нестабільністю функції перетворення інтенсивності світлового потоку у напругу.

Аналіз рівняння надлишкових вимірювань (13) і рівняння числових значень (14) показав, що обробка результатів проміжних вимірювань зазначеним чином забезпечує виключення впливу абсолютних значень параметрів нелінійної функції перетворення інтенсивності світлового потоку у напругу, а також їх зміни в часі та за температурою, відносно номінальних.

Як видно з приведенного рівняння числових значень (14) похибка вимірювання залежить тільки від похибки відтворення інтенсивностей світлових потоків.

