



УКРАЇНА

(19) UA (11) 86075 (13) C2  
(51) МПК (2009)  
G01L 11/00МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

## (54) СПОСІБ НАДЛИШКОВИХ ВИМІРЮВАНЬ ТИСКУ

1

(21) а200700964

(22) 30.01.2007

(24) 25.03.2009

(46) 25.03.2009, Бюл. № 6, 2009 р.

(72) КОНДРАТОВ ВЛАДИСЛАВ ТИМОФІЙОВИЧ,  
UA, РЕДЬКО ВІТАЛІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ, UA(73) ІНСТИТУТ КІБЕРНЕТИКИ ІМ. В.М.ГЛУШКОВА  
НАН УКРАЇНИ, UA

(56) SU 1500889, 15.08.1989

SU 1796937, 23.02.1993

UA 74970, 15.02.2006

SU 1599685, 15.10.1990

CA 1209230, 05.08.1986

US 5111055, 05.05.1992

CA 1117312, 02.02.1982

(57) 1. Спосіб надлишкових вимірювань тиску, оснований на формуванні направленного потоку оптичного випромінювання  $\Phi_0$  у заданому діапазоні довжин хвиль і розділенні його на два потоки оптичного випромінювання  $\Phi_{01}$  і  $\Phi_{02}$ , одночасній модуляції їх потужностей нормованим за значенням тиском  $p_0$  і невідомим за значенням тиском  $p_x$ , відповідно, перетворенні потужностей модульованих потоків оптичного випромінювання  $\Phi_{m1}$  і  $\Phi_{m2}$  у напруги  $U_{\Phi 1}$  і  $U_{\Phi 2}$ , відповідно, їх вимірюванні і запам'ятовуванні отриманих дійсних значень зазначених напруг з подальшим визначенням дійсного значення тиску  $p_x$  за рівнянням вимірювання, який відрізняється тим, що додатково формують потік оптичного випромінювання  $\Phi_{03}$ , вирівнюють потужності потоків оптичного випромінювання  $\Phi_{01}$ ,  $\Phi_{02}$  і  $\Phi_{03}$ , одночасно з модуляцією потужностей потоків оптичного випромінювання  $\Phi_{01}$  і  $\Phi_{02}$  модулюють потужність потоку оптичного випромінювання  $\Phi_{03}$  тиском  $p_{\Sigma}$ , значення якого дорівнює сумі значень тисків  $p_0$  і  $p_x$ , перетворюють потужність модульованого потоку оптичного випромінювання  $\Phi_{m3}$  у

2

напругу  $U_{\Phi 3}$ , вимірюють її та запам'ятовують отримане дійсне значення зазначеної напруги, вимірюють температуру оточуючого середовища  $T_x$ , запам'ятовують її дійсне значення і визначають дійсне значення тиску  $p_x$  згідно з рівнянням надлишкових вимірювань

$$p_x = p_0 \frac{e^{\frac{q}{kT_x}(U_{\Phi 3}-U_{\Phi 2})} - e^{\frac{q}{kT_x}(U_{\Phi 1}-U_{\Phi 2})}}{e^{\frac{q}{kT_x}(U_{\Phi 3}-U_{\Phi 2})} - k_1},$$

де  $k$  - стала Больцмана ( $k=1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К);  $q$  - заряд електрона ( $q=1,60 \cdot 10^{-19}$  Кл);  $k_1$  - постійний коефіцієнт, причому  $k_1=1$ .

2. Спосіб за п. 1, який відрізняється тим, що температуру оточуючого середовища  $T_x$  вимірюють шляхом додаткового перетворення напруги  $U_{\Pi}$  термочутливого опору р-п-переходу напівпровідникового сенсора, при першому значенні струму  $I_{T1}$  через нього, вимірюють напругу  $U_{\Pi}$  та запам'ятовують її дійсне значення, перетворюють у напругу  $U_{T2}$  термочутливий опір р-п-переходу напівпровідникового сенсора, що відповідає температурі оточуючого середовища  $T_x$ , при другому значенні струму  $I_{T2}$  через нього, причому  $\{I_{T2}\}=(0,05...0,1)\{I_{T1}\}$ , далі вимірюють напругу  $U_{T2}$  та запам'ятовують її дійсне значення, а дійсне значення тиску  $p_x$  визначають згідно з рівнянням надлишкових вимірювань

$$p_x = p_0 \frac{\left(\frac{I_{T2}}{I_{T1}}\right)^{\frac{U_{\Phi 3}-U_{\Phi 2}}{U_{T2}-U_{T1}}} - \left(\frac{I_{T2}}{I_{T1}}\right)^{\frac{U_{\Phi 1}-U_{\Phi 2}}{U_{T2}-U_{T1}}}}{\left(\frac{I_{T2}}{I_{T1}}\right)^{\frac{U_{\Phi 3}-U_{\Phi 2}}{U_{T2}-U_{T1}}} - k_1}.$$

Винахід відноситься до області вимірювальної техніки і може бути застосований для високоточного вимірювання тиску оптико - електронними методами.

Відомий спосіб вимірювання тиску [А.с. 1500889 СССР, МКІ<sup>5</sup> G01L11/00. Датчик давления / В.А. Раков, В.Г. Тимошенко, Е.Ф. Волосожар. - №4350110/24-10;

Заявл.17.11.87; Опубл.15.08.89. Бюл. №30. - 3с], який оснований на формуванні направленного потоку оптичного випромінювання  $\Phi_0$  у заданому діапазоні довжин хвиль і розділенні його на два потоки оптичного випромінювання  $\Phi_{01}$  і  $\Phi_{02}$ , одночасній модуляції їх потужностей нормованим за значенням тиском  $p_0$  і невідомим за значенням

(19) UA (11) 86075 (13) C2

тиском  $p_x$ , відповідно, перетворенні потужностей модульованих потоків оптичного випромінювання  $\Phi_{m1}$  і  $\Phi_{m2}$  у напруги  $U_{\Phi 1}$  і  $U_{\Phi 2}$ , відповідно, їх вимірюванні і запам'ятовуванні отриманих дійсних значень зазначених напруг з подальшим визначенням дійсного значення тиску  $p_x$  за рівнянням вимірювання.

Відомий спосіб не дозволяє забезпечити високу точність вимірювання дійсного значення тиску. Причинами цього є нелінійність і нестабільність функції перетворення тиску у потужність потоку оптичного випромінювання, а також нелінійність і нестабільність функції перетворення потужності модульованого потоку оптичного випромінювання у напругу, які призводять до появи похибки від нелінійності, адитивної і мультиплікативної складових систематичної похибки.

Відомий інший спосіб вимірювання тиску [Бадеева Е.А., Гориш А.В., Котов А.Н., Мурашкина Т.И., Пивкин А.Г. Теоретические основы проектирования амплитудных волоконно - оптических датчиков давления с открытым оптическим каналом: Монография. - М: МГУЛ, 2004. - 246с], який оснований на формуванні направленного потоку оптичного випромінювання  $\Phi_0$  у заданому діапазоні довжин хвиль і розділенні його на два потоки оптичного випромінювання  $\Phi_{01}$  і  $\Phi_{02}$ , одночасній модуляції їх потужностей нормованим за значенням тиском  $p_0$  і невідомим за значенням тиском  $p_x$ , відповідно, перетворенні потужностей модульованих потоків оптичного випромінювання  $\Phi_{m1}$  і  $\Phi_{m2}$  у напруги  $U_{\Phi 1}$  і  $U_{\Phi 2}$  відповідно, їх вимірюванні і запам'ятовуванні отриманих дійсних значень зазначених напруг з подальшим визначенням дійсного значення тиску  $p_x$  за рівнянням вимірювання.

Відомий спосіб також не забезпечує високу точність вимірювання. Причинами, що заважають досягненню поставленої задачі підвищення точності вимірювання, є нелінійність і нестабільність функції перетворення тиску у потужність потоку оптичного випромінювання, а також нелінійність і нестабільність функції перетворення потужності модульованого потоку оптичного випромінювання у напругу.

Відомий спосіб вимірювання тиску [А.с. 1796937 СССР, МКИ<sup>5</sup> G01L11/00. Волоконно - оптический датчик давления / Е.М. Белозубов, В.С. Полунин. - №4907744/10; Заявл.25.12.90; Оubl.23.02.93. Бюл. №7. - 3с], який оснований на формуванні направленного потоку оптичного випромінювання  $\Phi_0$  у заданому діапазоні довжин хвиль і розділенні його на два потоки оптичного випромінювання  $\Phi_{01}$  і  $\Phi_{02}$ , одночасній модуляції їх потужностей нормованим за значенням тиском  $p_0$  і невідомим за значенням тиском  $p_x$ , відповідно, перетворенні потужностей модульованих потоків оптичного випромінювання  $\Phi_{m1}$  і  $\Phi_{m2}$  у напруги  $U_{\Phi 1}$  і  $U_{\Phi 2}$ , відповідно, їх вимірюванні і запам'ятовуванні отриманих дійсних значень зазначених напруг з подальшим визначенням дійсного значення тиску  $p_x$  за рівнянням вимірювання.

Причинами, що заважають досягненню поставленої задачі підвищення точності вимірювання, є нестабільність функції перетворення тиску в потужність потоку оптичного випромінювання і нелінійність та нестабільність функції перетворення потужності модульованого потоку оптичного

випромінювання у напругу. Це обумовлює появу похибки від нелінійності, адитивної і мультиплікативної складових систематичної похибки. Зазначений спосіб не повністю виключає ці похибки, оскільки не вирішує задачу лінеаризації загальної функції механіко - оптико - електронного перетворення тиску у напругу.

В основу винаходу покладена технічна задача створення такого способу надлишкових вимірювань тиску, у якому шляхом введення заданої кількості, послідовності, умов виконання операцій та обробки результатів проміжних вимірювань по заздалегідь заданому рівнянню надлишкових вимірювань, забезпечувалося б підвищення точності вимірювання тиску при нелінійній та нестабільній функції механіко - оптико - електронного перетворення тиску в напругу.

Поставлена задача вирішується завдяки тому, що спосіб надлишкових вимірювань тиску, оснований на формуванні направленного потоку оптичного випромінювання  $\Phi_0$  у заданому діапазоні довжин хвиль і розділенні його на два потоки оптичного випромінювання  $\Phi_{01}$  і  $\Phi_{02}$ , одночасній модуляції їх потужностей нормованим за значенням тиском  $p_0$  і невідомим за значенням тиском  $p_x$ , відповідно, перетворенні потужностей модульованих потоків оптичного випромінювання  $\Phi_{m1}$  і  $\Phi_{m2}$  у напруги  $U_{\Phi 1}$  і  $U_{\Phi 2}$ , відповідно, їх вимірюванні і запам'ятовуванні отриманих дійсних значень зазначених напруг з подальшим визначенням дійсного значення тиску  $p_x$  за рівнянням вимірювання, від відомих способів відрізняється тим, що додатково формують потік оптичного випромінювання  $\Phi_{03}$ , вирівнюють потужності потоків оптичного випромінювання  $\Phi_{01}$ ,  $\Phi_{02}$  і  $\Phi_{03}$ , одночасно з модуляцією потужностей потоків оптичного випромінювання  $\Phi_{01}$  і  $\Phi_{02}$  модулюють потужність потоку оптичного випромінювання  $\Phi_{03}$  тиском  $p_{\Sigma}$ , значення якого дорівнює сумі значень тисків  $p_0$  і  $p_x$ , перетворюють потужність модульованого потоку оптичного випромінювання  $\Phi_{m3}$  у напругу  $U_{\Phi 3}$ , вимірюють її та запам'ятовують отримане дійсне значення зазначеної напруги, вимірюють температуру оточуючого середовища  $T_x$  одним з відомих способів, запам'ятовують її дійсне значення і визначають дійсне значення тиску  $p_x$  згідно з рівнянням надлишкових вимірювань

$$p_x = p_0 \frac{e^{\frac{q}{kT_x}(U_{\Phi 3}-U_{\Phi 2})} - e^{\frac{q}{kT_x}(U_{\Phi 1}-U_{\Phi 2})}}{e^{\frac{q}{kT_x}(U_{\Phi 3}-U_{\Phi 2})} - k_1}$$

де  $k$  - стала Больцмана ( $k=1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К);  $q$  - заряд електрону ( $q=1,60 \cdot 10^{-19}$  Кл);  $k_1$  - постійний коефіцієнт, причому  $k_1=1$ .

Другий спосіб надлишкових вимірювань тиску відрізняється від першого тим, що додатково перетворюють у напругу  $U_{T1}$  термочутливий опір р-п - переходу напівпровідникового сенсора, що відповідає температурі оточуючого середовища  $T_x$ , при першому значенні струму  $I_{T1}$  через нього, вимірюють напругу  $U_{T1}$  та запам'ятовують її дійсне значення, перетворюють у напругу  $U_{T2}$  термочутливий опір р-п - переходу напівпровідникового сенсора, що відповідає температурі оточуючого

середовища  $T_x$ , при другому значенні струму  $I_{T2}$  через нього, причому  $\{I_{T2}\} = (0,05 \dots 0,1) \{I_{T1}\}$ , далі вимірюють напругу  $U_{T2}$  та запам'ятовують її дійсне значення, а дійсне значення тиску  $p_x$  визначають згідно з рівнянням надлишкових вимірювань

$$p_x = p_0 \frac{\left(\frac{I_{T2}}{I_{T1}}\right)^{\frac{U_{\Phi 3}-U_{\Phi 2}}{U_{T2}-U_{T1}}} - \left(\frac{I_{T2}}{I_{T1}}\right)^{\frac{U_{\Phi 1}-U_{\Phi 2}}{U_{T2}-U_{T1}}}}{\left(\frac{I_{T2}}{I_{T1}}\right)^{\frac{U_{\Phi 3}-U_{\Phi 2}}{U_{T2}-U_{T1}}} - k_1}$$

Суть запропонованого способу надлишкових вимірювань тиску пояснюється структурною схемою пристрою наведеною на Фіг., де 1 - світлодіод; 2 - волоконно - оптичний сенсор тиску; 3 - оптичний перемикач з ручним керуванням (РК); 4 - напівпровідниковий фотодіод; 5 - напівпровідниковий сенсор температури (термодіод); 6 - електричний перемикач з ручним керуванням; 7 - вольтметр з цифровим відліковим пристроєм.

В якості сенсора тиску 2 у пропонованому технічному рішенні пристрою використовують волоконно - оптичний сенсор тиску рефлексометричного типу з трьома підвідними-відвідними волоконними світловодами. Волоконно - оптичний сенсор тиску 2 має дві робочі камери, в кожній з яких закріплено по мембрані з дзеркальною внутрішньою поверхнею. Напроти центрів першої та другої мембран на відстані  $d_0$  закріплені торці першого і другого підвідних-відвідних волоконних світловодів, відповідно. Торці третього підвідного - відвідного волоконного світловода закріплені напроти нерухомої дзеркальної поверхні також на відстані  $d_0$ . Слід зазначити, що друга робоча камера волоконно - оптичного сенсора 2 виконана таким чином, що в неї можна одночасно подавати як невідомий за значенням тиск  $p_x$ , так і нормований за значенням тиск.

Модуляція потужності потоку оптичного випромінювання у волоконно - оптичному сенсорі рефлексометричного типу здійснюється за рахунок переміщення відносно торця підвідного - відвідного волоконного світловода дзеркальної поверхні мембрани при її прогині під дією тиску.

Функція перетворення волоконно - оптичного сенсора тиску, в якому використовується закріплена по контуру плавка мембрана, описується наступним рівнянням величин [Кондратов В.Т., Редько В.В. Цифровий вимірювач абсолютного тиску зі структурно - надлишковим волоконно - оптичним сенсором // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. 2005. - №1. - С.25-33].

$$\Phi_M = \Phi_0 \frac{r_c - [d_0 - S_{TP}(p_x - p_0)] \operatorname{tg} \Theta_{NA}}{k_2 r_c},$$

де  $\Phi_0$  - потік оптичного випромінювання, що випромінюється з торця волоконного світловода у напрямку дзеркальної поверхні мембрани;  $\Theta_{NA}$  і  $r_c$  - апертурний кут і радіус сердцевини волоконного світловода;  $d_0$  - початкова відстань між центром мембрани і торцем волоконного світловода;  $p_0$  - тиск у внутрішній порожнині волоконно-оптичного сенсора;  $S_{TP}$  - коефіцієнт перетворення тиску у прогин мембрани, причому  $\{S_{TP}\} = \{3\{R_M\}^4(1 -$

$\mu_M^2)\}/(16\{E_M\}\{h_M\}^3)$ ;  $\{R_M\}$  і  $\{h_M\}$  - значення радіусу і товщини мембрани;  $\{E_M\}$  - значення модуля Юнга матеріалу мембрани;  $\mu_M$  - коефіцієнт Пуассона матеріалу мембрани;  $k_2$  - постійний коефіцієнт, причому  $k_2=2$ .

Перетворення модульованих потоків оптичного випромінювання у напруги здійснюється за допомогою напівпровідникового фотодіоду 4. Функція перетворення зазначеного фотодіода описується відомим рівнянням величин [Соболева Н.А., Меламид А.Е. Фотоелектронные приборы. Учеб. пособие для студентов специальности «Электронные приборы» вузов. - М.: «Высшая школа», 1974. - 376с.]:

$$U_{\Phi} = \frac{kT_x}{q} \ln \left( \frac{S_1}{I_s} \Phi_M + k_1 \right),$$

де  $k$  - стала Больцмана ( $k=1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К);  $T_x$  - абсолютна температура середовища, в якому знаходиться фотодіод 4;  $q$  - заряд електрону ( $q=1,60 \cdot 10^{-19}$  Кл);  $S_1$  і  $I_s$  - струмова чутливість і темновий струм фотодіоду 4.

Якщо потужність потоку оптичного випромінювання  $\Phi_M$  встановлюють такою, що виконується нерівність  $\{S_1\} \{ \Phi_M \} / \{ I_s \} >> 1$ , то функція перетворення фотодіода 4 може бути представлена у наступному вигляді:

$$U_{\Phi} = \frac{kT_x}{q} \ln \left( \frac{S_1}{I_s} \Phi_M \right).$$

Згідно із запропонованим способом, спочатку за допомогою світлодіода 1 формують направлений потік оптичного випромінювання  $\Phi_0$  у заданому діапазоні довжин хвиль і розділяють його на три рівні за потужністю потоки оптичного випромінювання  $\Phi_{01}$ ,  $\Phi_{02}$  і  $\Phi_{03}$  ( $\{\Phi_{01}\} = \{\Phi_{02}\} = \{\Phi_{03}\}$ ). Останні по підвідним - відвідним волоконним світловодам поступають у волоконно - оптичний сенсор тиску 2.

Потужність потоку оптичного випромінювання  $\Phi_{01}$  модулюють тиском, значення якого дорівнює значенню тиску  $p_0$  у внутрішній порожнині волоконно - оптичного сенсора 2. Для цього потік оптичного випромінювання  $\Phi_{01}$  по третьому підвідному - відвідному волоконному світловоду направляють на нерухому дзеркальну поверхню. Відбиваючись від неї частина потоку оптичного випромінювання повертається у третій підвідний-відвідний волоконний світловод. У результаті на виході останнього утворюється модульований потік оптичного випромінювання  $\Phi_{M1}$ :

$$\Phi_{M1} = \Phi_{01} \frac{r_c - d_0 \operatorname{tg} \Theta_{NA}}{k_2 r_c} \quad (1)$$

Потужність потоку оптичного випромінювання  $\Phi_{02}$  модулюють невідомим за значенням тиском  $p_x$ . Для цього тиск  $p_x$  подають у другу робочу камеру волоконно - оптичного сенсора 2, а потік оптичного випромінювання  $\Phi_{02}$  по першому підвідному-відвідному волоконному світловоду направляють на дзеркальну поверхню мембрани, закріпленої у даній камері. Відбиваючись від дзеркальної поверхні мембрани частина потоку оптичного випромінювання повертається у перший підвідний-відвідний волоконний світловод. У результаті на виході останнього

утворюється модульований потік оптичного випромінювання  $\Phi_{M2}$ :

$$\Phi_{M2} = \Phi_{02} \frac{r_c - [d_0 - S_{ТП}(p_x - p_0)] \lg \Theta_{NA}}{k_2 r_c} \quad (2)$$

Одночасно з модуляцією потужностей потоків оптичного випромінювання  $\Phi_{01}$  і  $\Phi_{02}$  модулюють потужність потоку оптичного випромінювання  $\Phi_{03}$  тиском  $p_\Sigma$ , значення якого дорівнює сумі значень тисків  $p_0$  і  $p_x$ . Для цього у другу робочу камеру волоконно - оптичного сенсора 2 одночасно подають тиски  $p_0$  і  $p_x$ . Потік оптичного випромінювання  $\Phi_{03}$  по другому підвідному - відвідному волоконному світловоду направляють на дзеркальну поверхню мембрани, закріпленої у другій робочій камері. Відбиваючись від неї частина потоку оптичного випромінювання повертається у другий підвідний - відвідний волоконний світловод. У результаті на його виході утворюється модульований потік оптичного випромінювання  $\Phi_{M3}$ :

$$\Phi_{M3} = \Phi_{03} \frac{r_c - (d_0 - S_{ТП} p_x) \lg \Theta_{NA}}{k_2 r_c} \quad (3)$$

Далі потужності модульованих потоків оптичного випромінювання  $\Phi_{M1}$  (1),  $\Phi_{M2}$  (2) і  $\Phi_{M3}$  (3) перетворюють у напруги  $U_{\Phi 1}$ ,  $U_{\Phi 2}$  і  $U_{\Phi 3}$ , відповідно. Для цього модульовані потоки оптичного випромінювання  $\Phi_{M1}$  (1),  $\Phi_{M2}$  (2) і  $\Phi_{M3}$  (3) через оптичний перемикач 3 по чергово подають на фотодіод 4. У результаті на виході останнього у відповідні моменти часу утворюються напруги

$$U_{\Phi 1} = \frac{kT_x}{q} \ln \left( \frac{S_1}{I_s} \Phi_{M1} \right) \quad (4)$$

$$U_{\Phi 2} = \frac{kT_x}{q} \ln \left( \frac{S_1}{I_s} \Phi_{M2} \right) \quad (5)$$

$$U_{\Phi 3} = \frac{kT_x}{q} \ln \left( \frac{S_1}{I_s} \Phi_{M3} \right) \quad (6)$$

Напруги  $U_{\Phi 1}$  (4),  $U_{\Phi 2}$  (5) і  $U_{\Phi 3}$  (6) через електричний перемикач 6 по чергово подають на вхід вольтметра 7, вимірюють їх і запам'ятовують отримані дійсні значення напруг.

Далі одним з відомих способів вимірюють температуру оточуючого середовища  $T_x$  і запам'ятовують її дійсне значення.

Дійсне значення тиску  $p_x$  визначають згідно з рівнянням надлишкових вимірювань

$$p_x = p_0 \frac{\frac{q}{e k T_x} (U_{\Phi 3} - U_{\Phi 2})}{\frac{q}{e k T_x} (U_{\Phi 3} - U_{\Phi 2}) - k_1} \quad (7)$$

Аналіз рівняння надлишкових вимірювань (7) показав, що обробка результатів проміжних вимірювань (4)-(6) зазначеним чином забезпечує виключення впливу на результат вимірювання тиску абсолютних значень параметрів функції механіко - оптико - електронного перетворення тиску в напругу, а також їх змін під дією дестабілізуючих факторів. Крім того при цьому забезпечується лінійна залежність результату вимірювання від вимірюваного тиску.

Як видно з рівняння (7) для отримання точного значення тиску  $p_x$  необхідно виконати високоточне

вимірювання температури оточуючого середовища  $T_x$ . Для цього в конструкцію пристрою для вимірювання тиску додатково введений напівпровідниковий сенсор температури 5 (термодіод). Його функція перетворення описується відомих рівнянням величин [Абидов М.А. Статические характеристики диодных структур. - М.: Радио и связь, 1989. - 152с.].

$$U_T = \frac{kT_x}{q} \ln \left[ \frac{I_T}{I_0} \exp \left( \frac{qU_k}{kT_x} \right) + k_1 \right],$$

де  $U_T$  - падіння напруги на р-п - переході;  $I_T$  - струм через р-п - перехід;  $I_0$  - струм насичення при  $T_x \rightarrow \infty$ ;  $U_k$  - контактна різниця потенціалів на межі розділу областей з провідностями п-і р - типу.

При умові, що  $\{I_T\} \exp \left\{ \frac{q}{k} \left( \frac{U_k}{T_x} \right) \right\} > \{I_0\}$ , то функція перетворення напівпровідникового сенсора температури 5 може бути представлена у наступному вигляді:

$$U_T = U_k - \frac{kT_x}{q} \ln \left( \frac{I_0}{I_T} \right).$$

Згідно із запропонованим способом спочатку через р-п - перехід напівпровідникового сенсора температури 5 пропускають струм  $I_{T1}$ . Значення цього струму обирають гранично малим, виходячи з початкової ділянки вольт - амперної характеристики напівпровідникового сенсора температури 5, що виключає додатковий нагрів р-п - переходу відносно температури оточуючого середовища  $T_x$ .

Термочутливий опір р-п - переходу напівпровідникового сенсора температури 5 перетворюють у напругу  $U_{T1}$ :

$$U_{T1} = U_k - \frac{kT_x}{q} \ln \left( \frac{I_0}{I_{T1}} \right) \quad (8)$$

Напругу  $U_{T1}$  через електричний перемикач 6 подають на вхід вольтметра 7, вимірюють її та запам'ятовують отримане дійсне значення.

Потім через р-п - перехід напівпровідникового сенсора температури 5 пропускають струм  $I_{T2}$ . Значення струму  $I_{T2}$  встановлюють на (5... 10)% більшим за значення струму  $I_{T1}$  (тобто  $\{I_{T2}\} = (0,05... 0,1) \{I_{T1}\}$ ), що практично не змінює теплового стану р-п - переходу.

Термочутливий опір р-п - переходу напівпровідникового сенсора температури 5 перетворюють у напругу  $U_{T2}$ :

$$U_{T2} = U_k - \frac{kT_x}{q} \ln \left( \frac{I_0}{I_{T2}} \right) \quad (9)$$

Напругу  $U_{T2}$  через електричний перемикач 6 подають на вхід вольтметра 7, вимірюють її та запам'ятовують отримане дійсне значення.

Дійсне значення тиску  $p_x$  визначають згідно з рівнянням надлишкових вимірювань

$$p_x = p_0 \frac{\left( \frac{I_{T2}}{I_{T1}} \right) \frac{U_{\Phi 3} - U_{\Phi 2}}{U_{T2} - U_{T1}} - \left( \frac{I_{T2}}{I_{T1}} \right) \frac{U_{\Phi 1} - U_{\Phi 2}}{U_{T2} - U_{T1}}}{\left( \frac{I_{T2}}{I_{T1}} \right) \frac{U_{\Phi 3} - U_{\Phi 2}}{U_{T2} - U_{T1}} - k_1} \quad (10)$$

Аналіз рівняння надлишкових вимірювань (10) показав, що обробка результатів проміжних вимі-

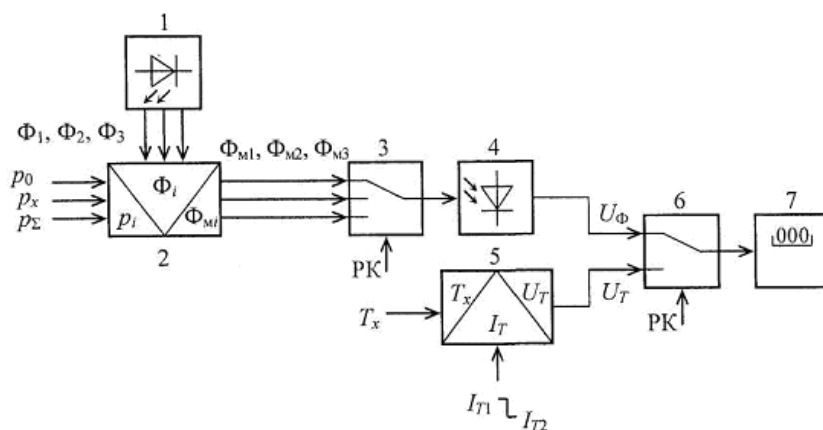
рювань (4)-(6), (8) і (9) зазначеним чином забезпечує додаткове підвищення точності вимірювання тиску за рахунок виключення впливу на результат вимірювання тиску абсолютних значень параметрів функції перетворення температури у напругу (функції перетворення напівпровідникового сенсора температури 5), а також їх змін під дією дестабілізуючих факторів.

Отже, спосіб надлишкових вимірювань тиску забезпечує виключення похибки від нелінійності,

адитивної і мультиплікативної складових систематичної похибки.

Позитивний ефект отриманий завдяки введенню нової сукупності та послідовності операцій вимірювання різних за значеннями тисків і використання нового рівняння надлишкових вимірювань.

Таким чином, запропонований спосіб надлишкових вимірювань тиску забезпечує вирішення поставленої технічної задачі.



Фіг.