



УКРАЇНА

(19) UA (11) 78380 (13) C2  
(51) МПК (2006)  
G01L 11/00МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

## (54) СТРУКТУРНО-НАДЛИШКОВИЙ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИЙ СЕНСОР ТИСКУ

1

(21) а200503757

(22) 20.04.2005

(24) 15.03.2007

(46) 15.03.2007, Бюл. № 3, 2007 р.

(72) Кондратов Владислав Тимофійович, Редько Віталій Володимирович

(73) ІНСТИТУТ КІБЕРНЕТИКИ ІМ. В.М. ГЛУШКОВА НАН УКРАЇНИ

(56) SU 1500889, 15.08.1989

SU 1796937, 23.02.1993

SU 1076788, 28.02.1984

RU 2003118757, 20.12.2004

SU 1631329, 28.02.1991

(57) Структурно-надлишковий волоконно-оптичний сенсор тиску, який містить виконані за одне ціле штуцер з мембраною, яка має дзеркальну внутрішню поверхню, корпус, функціональний утримувач, який, як і штуцер, з'єднаний з корпусом сенсора, два світловоди, що закріплені в функціональному утримувачі, причому спільний торець світловодів розташований напроти дзеркальної поверхні мембрани на нормованій за значенням відстані  $d_0$ , який відрізняється тим, що додатково введені високовольтний перетворювач,

2

посріблений контактний елемент кільцевої форми, перша та друга клеми, п'єзоелектричний перетворювач „напруга-переміщення” тороїдальної форми, який розміщений між мембраною та виготовленим з діелектричного матеріалу функціональним утримувачем, у якому додатково виконані наскрізний отвір та паз для фіксації п'єзоелектричного перетворювача відносно повздовжньої осі симетрії сенсора, причому п'єзоелектричний перетворювач „напруга-переміщення” тороїдальної форми виготовлений із зовнішнім діаметром у 1,2...1,5 рази меншим, ніж діаметр мембрани, перша клема з'єднана зі сполученими між собою штуцером і корпусом за допомогою гвинтового з'єднання, друга клема виконана у вигляді пістона, розташована з зовнішньої сторони наскрізного отвору функціонального утримувача та з'єднана з контактним елементом кільцевої форми через відрізок струмопровідника, обидва кінці якого з'єднані, відповідно, з пістоном та з контактним елементом кільцевої форми, а входи високовольтного перетворювача підключені до клем живлення, перший та другий входи високовольтного перетворювача з'єднані з відповідними клеммами сенсора.

Винахід відноситься до області вимірювальної техніки і може бути застосований для високоточного вимірювання тиску в умовах дії теплових і електромагнітних полів, амплітудних вібрацій та високої радіації.

Відомий волоконно-оптичний сенсор тиску [А.С. SU 1500889 А1 МКИ<sup>4</sup>. Датчик давления /В.А.Раков, В.Г.Тимошенко, Е.Ф.Волосожар. Бюл. №30, 1987], що включає в себе закріплений в корпусі мембранний чутливий елемент з жорстким центром і стовщеною периферійною частиною і два волоконно-оптичні перетворювачі, виконані у вигляді світловодів, причому кінці світловодів закріплені в платі і торець одного з них встановлений напроти жорсткого центра мембрани, а торець другого - напроти стовщеної периферійної частини мембрани, і встановлену в платі між світловодами світлозахисну кільцеву перегородку.

Недоліком даного сенсора тиску є значна похибка від не лінійності функції перетворення, яка призводить до обмеження динамічного діапазону вимірюваних тисків. Відомому сенсору тиску властива також похибка, що обумовлена неточністю встановлення нормованої за значенням відстані між центром мембрани та торцем світловода. Дана похибка призводить до збільшення не лінійності функції перетворення сенсора тиску.

Відомий волоконно-оптичний сенсор тиску [А.С. SU 1796937 А1 МКИ<sup>5</sup>. Волоконно-оптический датчик давления /Е.М.Белозубов, В.С.Полунин. Бюл. №7, 1990], що включає в себе закріплений в корпусі мембранний чутливий елемент з жорстким центром і стовщеною периферійною частиною, компенсаційний елемент у вигляді металевого диску з діаметром, рівним діаметру жорсткого центру мембрани, два волоконно-оптичні перетворювачі, виконані у вигляді світловодів, причому

(13) C2

(11) 78380

(19) UA

кінці світловодів закріплені в платі і торець одного з них встановлений напроти жорсткого центра мембрани, а торець другого - напроти стовщеної периферійної частини мембрани, яка зі сторони світловоду виконана з кільцевим виступом, і встановлену із зазором відносно мембрани світлозахисну кільцеву перегородку, яка розташована між жорстким центром і кільцевим виступом.

Недоліком даного сенсора струму є наявність похибки від не лінійності функції перетворення і похибки обумовленої неточністю встановлення нормованої за значенням відстані між мембраною та торцем світловода. Крім того, відомому сенсору тиску властива похибка, яка обумовлена зміною потужності потоку оптичного випромінювання, який подають на дзеркальну поверхню мембрани, при вимірах світловодів.

Відомий волоконно-оптичний сенсор тиску [А.С. SU 1631329 А1 МКІ<sup>5</sup>. Датчик давления /И.С.Явелов. Бюл. №8, 1988], що включає в себе виконані за одне ціле штуцер з мембраною, яка має дзеркальну внутрішню поверхню, корпус, функціональний утримувач, який, як і штуцер з'єднаний з корпусом сенсора, два світловоди, що закріплені в функціональному утримувачі, причому один торець світловодів розташований напроти дзеркальної поверхні мембрани на нормованій за значенням відстані  $d_0$ .

Недоліком відомого сенсора є обмежений діапазон вимірюваних тисків. Це обумовлено тим, що робоча точка сенсора розташована на лінійній ділянці функції перетворення. За межами цієї ділянки зростає похибка від не лінійності. Відомому сенсору властива також додаткова похибка, яка викликана лінійним розширенням конструктивних елементів сенсора при зміні температури оточуючого середовища.

В основу винаходу покладена технічна задача створення структурно-надлишкового волоконно-оптичного сенсора тиску, який завдяки додатковому введенню нових функціональних елементів та зв'язків між ними та з іншими функціональними елементами сенсора, забезпечував би виключення похибки від не лінійності функції перетворення, похибки від зміщення початкового зазору між мембраною та торцем світловодів, похибки від зміни потужності потоку оптичного випромінювання внаслідок вигинів волоконних світловодів, додаткової (температурної) похибки та міг би бути використаний при надлишкових вимірюваннях тиску.

Поставлена технічна задача вирішується завдяки тому, що у структурно-надлишковий волоконно-оптичний сенсор тиску, який містить виконані за одне ціле штуцер з мембраною, яка має дзеркальну внутрішню поверхню, корпус, функціональний утримувач, який, як і штуцер з'єднаний з корпусом сенсора, два світловоди, що закріплені в функціональному утримувачі, причому спільний торець світловодів розташований напроти дзеркальної поверхні мембрани на нормованій за значенням відстані  $d_0$  додатково введені високовольний перетворювач, посріблений контактний елемент кільцевої форми, перша та друга клеми, п'єзоелектричний перетворювач „напруга-переміщення” тороїдальної форми, який розміщений між мембраною та виготовленим з діелектричного матеріалу функціональним утримувачем 6, у якому додатково виконані наскрізний отвір та паз для фіксації п'єзоелектричного перетворювача 4 відносно повздовжньої вісі симетрії сенсора.

ного матеріалу функціональним утримувачем, у якому додатково виконані наскрізний отвір та паз для фіксації п'єзоелектричного перетворювача відносно повздовжньої вісі симетрії сенсора, причому п'єзоелектричний перетворювач „напруга-переміщення” тороїдальної форми виготовлений із зовнішнім діаметром у 1,2 ... 1,5 рази меншим ніж діаметр мембрани, перша клема з'єднана зі сполученими між собою штуцером і корпусом за допомогою гвинтового з'єднання, друга клема виконана у вигляді пістона, розташована з зовнішньої сторони наскрізного отвору функціонального утримувача та з'єднана з контактним елементом кільцевої форми через відрізок струмопровідника, обидва кінці якого з'єднані, відповідно, з пістоном та з контактним елементом кільцевої форми, а входи високовольного перетворювача підключені до клем живлення, перший та другий виходи високовольного перетворювача з'єднані з відповідними клемами сенсора.

На рисунку зображено конструкцію структурно-надлишкового волоконно-оптичного сенсора тиску, де 1 - штуцер; 2 - мембрана; 3 - корпус; 4 - п'єзоелектричний перетворювач „напруга-переміщення” тороїдальної форми; 5 - посріблений контактний елемент кільцевої форми; 6 - функціональний утримувач; 7 і 10 - перша і друга клеми; 8 - високовольний перетворювач; 9 - відрізок струмопровідника; 11 і 12 - перший і другий світловоди.

Структурно-надлишковий волоконно-оптичний сенсор тиску містить виконані за одне ціле штуцер 1 з мембраною 2, яка має дзеркальну внутрішню поверхню, корпус 3 і функціональний утримувач 6.

Штуцер 1 з'єднаний з корпусом 3 сенсора за допомогою зварювання, а функціональний утримувач 6 - за допомогою різьбового з'єднання. Волоконно-оптичний сенсор тиску містить також перший і другий світловоди 11 і 12, які закріплені в функціональному утримувачі 6. При цьому спільний торець світловодів 11 і 12 розташований напроти дзеркальної поверхні мембрани 2 на нормованій за значенням відстані  $d_0$ .

У структурно-надлишковий волоконно-оптичний сенсор тиску додатково введені високовольний перетворювач 8, посріблений контактний елемент 5 кільцевої форми, перша та друга клеми 7 і 10, а також п'єзоелектричний перетворювач „напруга-переміщення” 4 тороїдальної форми. Останній розміщений між мембраною 2 та виготовленим з діелектричного матеріалу функціональним утримувачем 6, у якому додатково виконані наскрізний отвір та паз для фіксації п'єзоелектричного перетворювача 4 відносно повздовжньої вісі симетрії сенсора.

П'єзоелектричний перетворювач „напруга-переміщення” 4 тороїдальної форми виготовлений із зовнішнім діаметром у 1,2 ... 1,5 рази меншим ніж діаметр мембрани 2.

Перша клема 7 з'єднана зі сполученими між собою штуцером 1 і корпусом 3 за допомогою гвинтового з'єднання. Друга клема 10 виконана у вигляді пістона і розташована з зовнішньої сторони наскрізного отвору функціонального утримувача. Друга клема 10 з'єднана з контактним елементом 5 кільцевої форми через відрізок струмопровідника 9, обидва кінці якого з'єднані відповідно з пісто-

ном 10 та з контактним елементом 5 кільцевої форми.

Входи високовольтного перетворювача 8 підключені до клем живлення, а перший та другий виходи з'єднані з відповідними клемами сенсора.

Середовище, тиск якого вимірюють, підводиться до штуцера структурно-надлишкового волоконно-оптичного сенсора через клапан тиску (на рисунку не показаний).

Запропонований структурно-надлишковий волоконно-оптичний сенсор тиску призначений для використання у цифрових вимірювачах, що реалізують не тільки методи прямих вимірювань, але й новітні методи надлишкових вимірювань.

Сутність методів надлишкових вимірювань тиску полягає у вимірюванні не однієї фізичної величини - тиску, а ряду однорідних фізичних величин, зв'язаних із тиском досліджуваного середовища за певними правилами, з наступною обробкою отриманих результатів згідно з рівняннями надлишкових вимірювань.

Тому запропоноване технічне рішення сенсора тиску забезпечує формування двох додаткових фізичних величин (тисків  $p_1$  і  $p_2$ ). Оскільки ці фізичні величини формують нормованими за значенням, то спочатку опишемо процес калібрування структурно-надлишкового волоконно-оптичного сенсора тиску.

Калібрування структурно-надлишкового волоконно-оптичного сенсора тиску виконується наступним чином.

Спочатку високовольтний перетворювач 8 вимикається. Клапан тиску на вході сенсора встановлюється у закритий стан. При цьому виключається дія зовнішнього тиску на мембрану 2. Значення тиску у штуцері 1 встановлюється рівним нормованому за значенням тиску  $p_0$  у внутрішній порожнині сенсора, що знаходиться з протилежного боку мембрани 2. Значення відстані між центром мембрани 2 та спільним торцем світловодів 11 і 12 залишається рівним  $d_0$  (див. рисунок).

Потік оптичного випромінювання від зовнішнього джерела по світловоду 11 подається на внутрішню поверхню мембрани 2. Частина потоку оптичного випромінювання, відбитого від дзеркальної поверхні мембрани 2 поступає у спільний торець світловодів 11 і 12. Потік оптичного випромінювання з виходу другого світловода 12 подається на фотоприймач (на рисунку не показаний) і перетворюється у напругу  $U_0$ , значення якої запам'ятовується.

Потім клапан тиску встановлюється у відкритий стан. У штуцер 1 підводиться регульований з високою точністю тиск  $p_{01}$ , значення якого на нормований за значенням тиску приріст тиску  $\Delta p_0$  більше ніж значення тиску  $p_0$  ( $\{p_{01}\} = \{p_0\} + \{\Delta p_0\}$ ). Під дією тиску  $p_{01}$  мембрана 2 прогинається у бік спільного торця світловодів 11 і 12 на нормовану за значенням відстань  $\Delta d_0$ :

$\{\Delta d_0\} = \{S_{px}\} \{\Delta p_0\}$ ,  
де  $S_{px}$  - коефіцієнт перетворення тиску у відстань, причому  $\{S_{px}\} = \left[ \frac{3}{16} R_m^4 (1 - \mu_m^2) \right] / [16 \{E_m\} \{h_m\}]$ ;  $[1] R_m$  - радіус мембрани;  $h_m$  - товщина мембрани;  $E_m$  -

модуль Юнга матеріалу мембрани;  $\mu_m$  - коефіцієнт Пуассона матеріалу мембрани.

Одночасно на входи високовольтного перетворювача 8 від зовнішнього джерела живлення подається напруга  $U_b$ . За допомогою високовольтного перетворювача 8 напруга  $U_b$  перетворюється у вихідну напругу  $\pm U_p$ , яка подається на першу та другу клеми 7 та 10. В результаті між мембраною 2 та контактним елементом 5 утворюється електричне поле з напруженістю  $E_p$ . Під дією цього поля ширина  $h_0$  п'єзоелектричного перетворювача „напруга-переміщення" 4 збільшується на нормовану за значенням величину  $\Delta h_0$  ( $\{\Delta h_0\} = \{S_d\} \{E_p\}$ , де  $S_d$  - коефіцієнт перетворення перетворювача „напруга-переміщення" 4).

Збільшення ширини п'єзоелектричного перетворювача „напруга-переміщення" 4 на величину  $\Delta h_0$  призводить до зменшення відстані, на яку прогинається центр мембрани 2 в бік спільного торця світловодів 11 і 12.

Потік оптичного випромінювання, що відбивається від дзеркальної поверхні мембрани 2, через світловод 12 подається на фотоприймач і перетворюється у напругу  $U_{01}$ .

За допомогою високовольтного перетворювача 8 підбирається таке значення напруги  $\pm U_{p1}$  при якому забезпечується виконання умови

$\{U_{01}\} = \{U_{00}\}$  і значення відстані, на яку прогинається центр мембрани 2, дорівнює нулю. Значення напруги  $\pm U_{p1}$  запам'ятовується.

Таким чином, збільшення відстані  $d_0$  між центром мембрани 2 та спільним торцем світловодів 11 і 12 на величину  $\Delta d_0$  еквівалентно дії на мембрану 2 тиску;  $p_1$  ( $\{p_1\} = \{p_0\} - \{\Delta p_0\}$ ).

Далі у штуцер 1 підводиться інший регульований з високою точністю тиск  $p_{02}$  ( $\{p_{02}\} = \{p_0\} - \{\Delta p_0\}$ ). Під дією тиску  $p_{02}$  мембрана 2 прогинається у бік спільного торця світловодів 11 і 12 на подвоєне значення відстані  $\Delta d_0$ .

Потім, за допомогою високовольтного перетворювача 8, підбирається таке значення напруги  $\pm U_{p2}$ , при якому: ширина п'єзоелектричного перетворювача „напруга-переміщення" 4 збільшується на подвоєне значення величини  $\Delta h_0$ ; значення відстані, на яку прогинається центр мембрани 2, стає рівним нулю; значення напруги  $U_{02}$  на виході фотоприймача дорівнює значенню напруги  $U_0$  ( $\{U_{02}\} = \{U_0\}$ ). Значення напруги  $\pm U_{p2}$  запам'ятовується.

Таким чином, збільшення відстані  $d_0$  між центром мембрани 2 та спільним торцем світловодів 11 і 12 на подвоєне значення відстані  $\Delta d_0$  еквівалентно дії на мембрану 2 тиску  $p_2$  ( $\{p_2\} = \{p_0\} - 2\{\Delta p_0\}$ ).

На цьому процес калібрування закінчується.

Запропонований структурно-надлишковий волоконно-оптичний сенсор тиску реалізує п'ять режимів роботи.

У першому режимі клапан тиску на вході сенсора встановлюється у закритий стан, а високовольтний перетворювач 8 вимикається. Потік оптичного випромінювання  $\Phi_0$  від зовнішнього джерела по світловоду 11 подається на мембрану 2. Частина потоку оптичного випромінювання  $\Phi_{m1}$ , відбитого від дзеркальної поверхні мембрани 2, поступає

у спільний торець світловодів 11 і 12. Значення потужності потоку оптичного випромінювання  $\Phi_{m1}$  на вихідному торці світловоду 12 дорівнює [2]

$$\Phi_{m1} = \frac{R_c^2 \Phi_0}{\left[ R_c + k_2 d_0 \sqrt{n_c^2 - n_{об}^2} \right]^2}, \quad (1)$$

де  $R_c$  - радіус серцевини світловодів;  $n_c$  - показник заломлення серцевини світловодів;  $n_{об}$  - показник заломлення оболонки світловодів;  $k_2$  - постійний коефіцієнт,  $k_2 = 1$ .

Потік оптичного випромінювання  $\Phi_{m1}$  (1) з виходу другого світловода 12 подається на фотоприймач (на рисунку не показаний) і перетворюється у напругу

$$U_{\phi 1} = S_U \Phi_{m1} \quad (2)$$

де  $S_U$  - вольтова чутливість фотоприймача. Значення напруги  $U_{\phi 1}$  (2) запам'ятовується.

У другому режимі на вхід високовольного перетворювача 8 подається напруга  $U_{в1}$ . В результаті на виході високовольного перетворювача 8 формується напруга  $\pm U_{p1}$ , яка подається на клеми 7 та 10. В результаті між мембраною 2 та контактним елементом 5 утворюється електричне поле з напруженістю  $E_{p1}$ . Під дією цього поля ширина  $h_0$  п'єзоелектричного перетворювача „напруга-переміщення” 4 збільшується на нормовану за значенням величину  $\Delta h_0$ . Це призводить до збільшення відстані між центром мембрани 2 та спільним торцем світловодів 11 і 12 на нормовану за значенням величину  $\Delta d_0$ .

Частина потоку оптичного випромінювання

$$\Phi_{m2} = \frac{R_c^2 \Phi_0}{\left[ R_c + k_2 (d_0 + \Delta d_0) \sqrt{n_c^2 - n_{об}^2} \right]^2}, \quad (3)$$

відбитого від дзеркальної поверхні мембрани 2, поступає на спільний торець світловодів 11 і 12. Потік оптичного випромінювання  $\Phi_{m2}$  (3) з виходу другого світловода 12 подається на фотоприймач і перетворюється у напругу

$$U_{\phi 2} = S_U \Phi_{m2} \quad (4)$$

значення якої запам'ятовується.

У третьому режимі на вхід високовольного перетворювача 8 подається напруга  $U_{в2}$ . В результаті на виході високовольного перетворювача 8 формується напруга  $\pm U_{p2}$ , яка подається на першу і другу клеми 7 і 10. Під дією електричного поля з напруженістю  $E_{p2}$ , що утворюється між мембраною 2 та контактним елементом 5, ширина  $h_0$  п'єзоелектричного перетворювача „напруга-переміщення” 4 збільшується на подвоєне значення величини  $\Delta h_0$ . В результаті мембрана 2 прогинається у бік протилежний до спільного торця світловодів 11 і 12 на подвоєне значення відстані  $\Delta d_0$ .

Частина потоку оптичного випромінювання

$$\Phi_{m3} = \frac{R_c^2 \Phi_0}{\left[ R_c + k_2 (d_0 + k_2 \Delta d_0) \sqrt{n_c^2 - n_{об}^2} \right]^2}, \quad (5)$$

відбитого від дзеркальної поверхні мембрани 2, поступає на спільний торець світловодів 11 і 12. З виходу другого світловода 12 потік оптичного випромінювання  $\Phi_{m3}$  (5) подається на фотоприймач і перетворюється у напругу

$$U_{\phi 3} = S_U \Phi_{m3} \quad (6)$$

Значення напруги  $U_{\phi 3}$  (6) запам'ятовується.

У четвертому режимі клапан тиску, що встановлений на вході сенсора переводиться у відкритий стан. У штуцер 1 підводиться середовище, тиск  $p_x$  якого вимірюється. В результаті під дією тиску  $p_x$  центр мембрани 2 прогинається в бік спільного торця світловодів 11 і 12 на відстань  $d_x$  ( $\{d_x\} = \{S_{p_x}\}$ ).

Одночасно, як і у третьому режимі, за допомогою високовольного перетворювача 8 між мембраною 2 і контактним елементом 5 кільцевої форми створюється електричне поле з напруженістю  $E_{p2}$ . В результаті збільшення ширини п'єзоелектричного перетворювача 4 на подвоєне значення величини  $\Delta h_0$  відстань  $d_x$  на яку прогнувся центр мембрани 2, зменшується на подвоєне значення величини  $\Delta d_0$ .

Частина потоку оптичного випромінювання

$$\Phi_{m4} = \frac{R_c^2 \Phi_0}{\left[ R_c + k_2 (d_0 - d_x + k_2 \Delta d_0) \sqrt{n_c^2 - n_{об}^2} \right]^2}, \quad (7)$$

відбитого від дзеркальної поверхні мембрани 2, поступає на спільний торець світловодів 11 і 12. З виходу другого світловода 12 потік оптичного випромінювання  $\Phi_{m4}$  (7) подається на фотоприймач і перетворюється у напругу

$$U_{\phi 4} = S_U \Phi_{m4} \quad (8)$$

значення якої запам'ятовується.

П'ятий режим роботи сенсора ідентичний четвертому режиму за винятком того, що між мембраною 2 і контактним елементом 5 кільцевої форми створюється електричне поле з напруженістю  $E_{p1}$ , а ширина п'єзоелектричного перетворювача 4 збільшується на нормовану за значенням величину  $\Delta h_0$ . В результаті дії тиску  $p_x$  на мембрану 2 відстань між її центром та спільним торцем світловодів 11 і 12 зменшується на величину  $d_x$ . Збільшення ширини п'єзоелектричного перетворювача 4 на величину  $\Delta h_0$  призводить до зменшення на  $\Delta d_0$  відстані  $d_x$  на яку прогнувся центр мембрани 2 до спільного торця світловодів 11 і 12.

Частина потоку оптичного випромінювання

$$\Phi_{m5} = \frac{R_c^2 \Phi_0}{\left[ R_c + k_2 (d_0 - d_x + \Delta d_0) \sqrt{n_c^2 - n_{об}^2} \right]^2}, \quad (9)$$

відбитого від дзеркальної поверхні мембрани 2, поступає на спільний торець світловодів 11 і 12. З виходу другого світловода 12 потік оптичного випромінювання  $\Phi_{m5}$  (9) подається на фотоприймач і перетворюється у напругу

$$U_{\phi 5} = S_U \Phi_{m5} \quad (10)$$

Значення напруги  $U_{\phi 5}$  (10) запам'ятовується.

Якщо за допомогою запропонованого волоконно-оптичного сенсора тиску реалізувати всі п'ять режими роботи, то можна визначити значення невідомого тиску  $p_x$  згідно з рівнянням надлишкових вимірювань

$$p_x = \Delta p_0 \frac{U_{\phi 1} U_{\phi 2} U_{\phi 3} (U_{\phi 4} - U_{\phi 5}) + U_{\phi 4} U_{\phi 5} (U_{\phi 2} - U_{\phi 3})}{U_{\phi 4} U_{\phi 5} (U_{\phi 1} U_{\phi 2} - U_{\phi 3}) + U_{\phi 3} (U_{\phi 2} - U_{\phi 1})}. \quad (11)$$

При обробці результатів проміжних вимірювань (2), (4), (6), (8) і (10) за рівнянням надлишкових вимірювань (11) забезпечується виключення

похибки від не лінійності функції перетворення, похибки від зміщення початкового зазору між мембраною та спільним торцем світловодів 11 і 12, похибки від зміни потужності потоку оптичного випромінювання внаслідок вигинів волоконних світловодів 11 і 12 та додаткової (температурної) похибки. Це неважко показати, якщо у рівняння надлишкових вимірювань (11) підставити рівняння величин (2), (4), (6), (8) та (10) і привести подібні.

Завдяки створенню описаного сенсора тиску був досягнутий позитивний ефект - створення структурно-надлишкового волоконно-оптичного сенсора тиску, який може бути використаний не тільки при прямих, але й при надлишкових вимірюваннях тиску.

Позитивний ефект отриманий завдяки додатковому введенню нових функціональних елементів та їх зв'язків між собою та з іншими функціональними елементами структурно-надлишкового волоконно-оптичного сенсора тиску.

Таким чином, структурно-надлишковий волоконно-оптичний сенсор тиску забезпечує вирішення зазначеної технічної задачі.

1. Бусурин В.И., Носов Ю.Р. Волоконно-оптические датчики: Физические основы, вопросы расчёта и применения. -М.: Энергоатомиздат, 1990. -С.170.

2. Волоконная оптика и приборостроение /М.М. Бутусов, С.Л. Галкин, С.П. Оробинский, Б.П. Пал. -Л.: Машиностроение, 1987. -С.95.

