

УДК 658.011.56

М. Д. Кошовий, Т. Г. Рожнова

*Національний аерокосмічний університет імені М. Є. Жуковського «ХАІ»*

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ АВІАЦІЙНИХ АЕРОМЕТРИЧНИХ ДАТЧИКІВ ТИСКУ

Запропоновано нові функціональні і конструктивні схеми датчиків тиску, що можуть використовуватися в авіаційному приладобудуванні та порівняно з існуючими мають низку переваг. Датчики знайдуть застосування в системах контролю та діагностики, а також в інформаційно-вимірювальних системах різноманітного призначення для вимірювання тиску.

*Ключові слова:* методи вимірювання тиску, барометрична інформаційно-вимірювальна система, датчики тиску.

Предложены новые функциональные и конструктивные схемы датчиков давления, которые могут применяться в авиационном приборостроении и имеют ряд преимуществ по сравнению с существующими. Датчики найдут широкое применение в системах контроля и диагностики, а также в информационно-измерительных системах разного назначения для измерения давления.

*Ключевые слова:* методы измерения давления, датчики давления, барометрическая информационно-измерительная система.

The paper suggests new functional and construction schemes of pressure sensors that can be used in aviation instrumentation and that have a number of advantages in comparison with existing ones. The sensors will find their application in control and diagnostic systems as well as in information measuring systems of various purposes to pressure measurement.

*Key words:* pressure measurement methods, information and measuring barometric system, pressure sensor.

**Постановка завдання.** Аналіз існуючих пристроїв для вимірювання тиску [1, 9] показав, що по принципу перетворення тиску в електричний сигнал найбільш широке застосування на літальних апаратах усіх класів знайшли пристрої, у принцип роботи яких покладено пружинний, частотний та волоконно-оптичний методи вимірювання тиску. Вони забезпечують достатньо точне вимірювання тиску у необхідному діапазоні, а також повинні задовольняти вимогам швидкодії, контролепридатності та іншим.

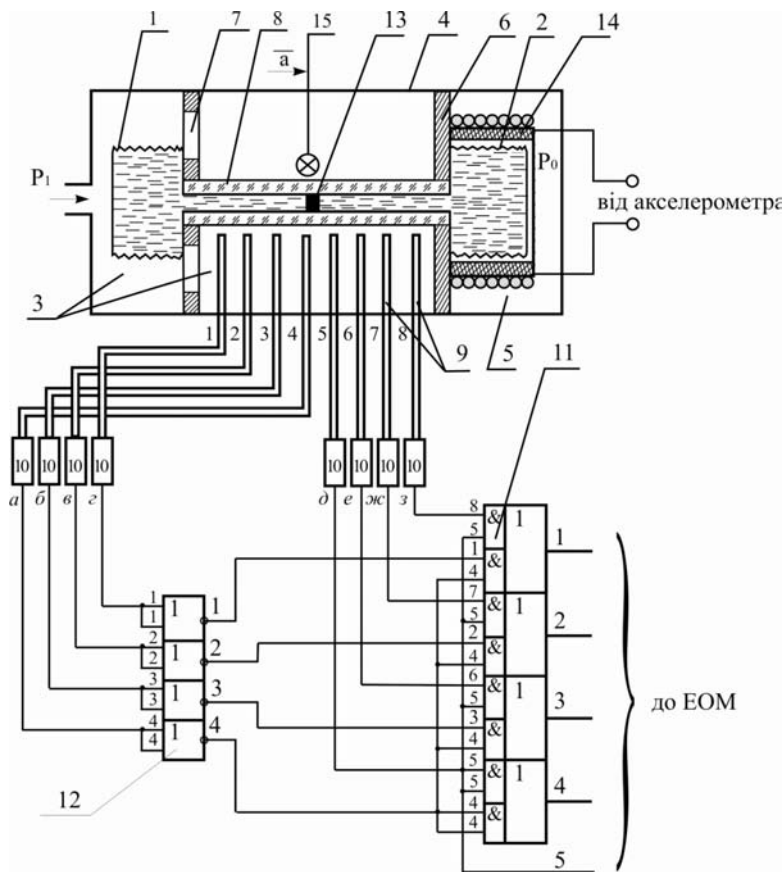
Враховуючи те, що в авіації найчастіше застосовуються індуктивні, частотні та волоконно-оптичні датчики, виникають задачі точного вимірювання та перетворення тиску в цифровий код або частоту.

**Мета статті.** Проаналізувавши існуючі системи автоматизації процесів вимірювання тиску в аеродинамічних об'єктах та визначивши низку недоліків, пов'язаних із використанням технічно застарілого обладнання, складністю конструкції, низькою технологічністю, обмеженими функціональними можливостями, поставлена мета розробки пристроїв і систем для вимірювання тиску, які дадуть можливість підвищити роздільну здатність, точність, чутливість і швидкість вимірювання вказаного параметра.

**Основні матеріали дослідження.** Запропоновано пристрій, в якому перетворення інформації від чутливих елементів (сильфонів) виконується фотоелектричним методом за рахунок уведення джерела світла, волоконно-оптичного кабелю і волоконно-оптичного перетворювача [6].

У цьому датчику тиску (рис. 1) запропоновано використовувати світлоносні жили волоконно-оптичного кабелю, входні торці 9 яких розміщені перед стінкою трубки 8 рівномірно по її довжині, а їх вихідні торці з'єднані із фотоприймачами 10. При цьому феромагнітна рідина в одному сильфоні має темний колір, у другому – прозора, а з протилежної стінки трубки розміщено джерело світла 15.

Пристрій працює таким чином. При зміні тиску  $P_1$  об'єм чутливого елемента 1 змінюється і його рухома основа переміщується на деяку величину. Внаслідок цього рухома перегородка 13 також переміщується, прозора і темна рідини займають інше положення, що приводить до того, що будуть засвічені інші торці світлоносних жил, а з виходу пристрою 11 знімається цифровий код, що відповідає новій



**Рис. 1.** Функціональна схема фотоелектричного пристрою для вимірювання тиску

- 1, 2 – пружні чутливі елементи у вигляді сильфонів;
- 3 – порожнина герметичного корпусу;
- 4 – герметичний корпус;
- 5 – порожнина герметичного корпусу;
- 6 – теплопровідна перегородка;
- 7 – перегородка, що має отвори;
- 8 – трубка зі скла;
- 9 – торці світлоносних жил волоконно-оптичного кабелю;
- 10 – фотоприймачі;
- 11 – логічний елемент (І-АБО);
- 12 – інвертори;
- 13 – перегородка;
- 14 – обмотка електромагніту;
- 15 – джерело світла.

різниці значень тиску  $P_1$  та  $P_0$ . При цьому сигнал зі світлоносної жили (5) визначає знак цієї різниці. При дії прискорення  $\vec{a}$  на обмотку електромагніта 14 подається напруга, величина якої пропорційна діючому на датчик прискоренню  $\vec{a}$ . У результаті взаємодії магнітних полів електромагніта та намагніченої феромагнітної рідини остання втягується в чутливий елемент 2.

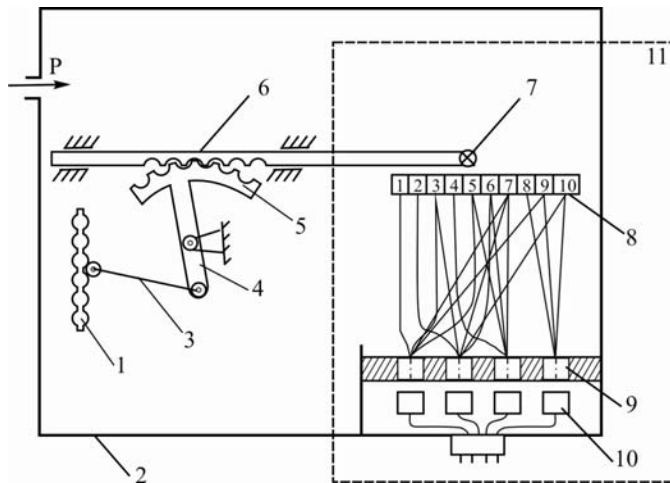
Застосування запропонованого датчика вимірювання тиску дає можливість підвищити роздільну здатність у 5 разів і зменшити похибку вимірювання в 7 разів у порівнянні з аналогом, принцип роботи якого заснований на електричному методі перетворення тиску. Підвищується також швидкодія пристрою, оскільки швидкість світла значно вища за швидкість руху електронів у металі.

Запропоновано датчики тиску, які фотоелектричним методом перетворюють інформацію, що надходить від чутливого елемента 1, на основі введення джерела світла 7, волоконно-оптичного кабелю 8 і волоконно-оптичного перетворювача 11 [3].

Для підвищення технологічності і спрощення конструкції цих датчиків тиску запропоновано замінити перетворювачі кутового переміщення світлового променя в код на перетворювачі лінійного переміщення в код (рис. 2).

Розкладка вихідних торців світлоносних жил (1–10) волоконно-оптичного кабелю по отворах волоконно-оптичного перетворювача 11 реалізується відповідно до необхідного цифрового коду.

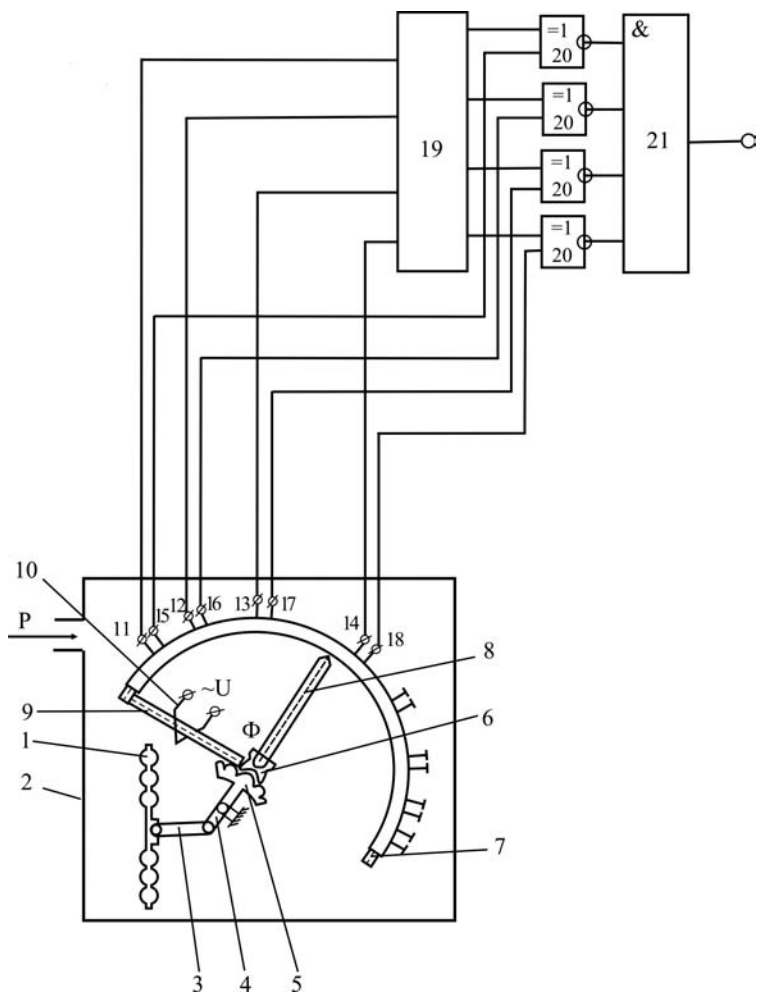
Застосування фотоелектричного датчика тиску дало можливість зменшити похибку вимірювання в 7 разів та підвищити роздільну здатність у 5 разів порівняно з аналогом.



**Рис. 2.** Функціональна схема датчика тиску з волоконно-оптичним перетворювачем лінійного переміщення в код

- 1 – пружний чутливий елемент;
- 2 – герметичний корпус;
- 3 – шатун;
- 4 – кривошип;
- 5 – зубчастий сектор;
- 6 – зубчаста рейка;
- 7 – джерело світла;
- 8 – вхідні торці волоконно-оптичного кабелю;
- 9 – отвори;
- 10 – фотоприймачі;
- 11 – функціональний волоконно-оптичний перетворювач.

Реалізацію контролю працездатності індуктивного датчика вимірювання тиску запропоновано шляхом порозрядного порівняння схемами 20 вихідних сигналів з обмоток 15–18 двійкового коду і перетворених перетворювачем 19 коду Грея в двійковий код вихідних сигналів з обмоток 11–14 коду Грея (рис. 3). У випадку їх рівності схеми 20 видають сигнал рівня логічної «1» на входи чотирьох-



**Рис. 3.** Функціональна схема датчика тиску з 4-розрядними вихідними кодами у вигляді коду Грея і двійкового коду

- 1 – пружний чутливий елемент;
- 2 – герметичний корпус;
- 3 – шатун;
- 4 – кривошип;
- 5 – зубчастий сектор;
- 6 – трибка;
- 7 – незамкнуте кільцеве осердя;
- 8 – стержневе рухоме осердя;
- 9 – стержневе осердя;
- 10 – обмотка живлення;
- 11–18 – вихідні обмотки;
- 19 – перетворювач коду Грея у двійковий код;
- 20 – схема «вилучення АБО з інверсією»;
- 21 – чотирьохвхідна схема «І».

вхідної схеми 21 «I», а коли сигнали не співпадають – сигнал рівня логічного «0». Якщо хоча б один вхідний сигнал схеми 21 «I» відповідає рівню логічного «0», тоді на виході схеми «I» також буде сигнал рівня логічного «0». У цьому випадку датчик буде непрацездатним. Сигнал рівня логічної «1» на виході схеми «I» відповідає випадку працездатного датчика.

Схема взаємного розміщення і підключення секцій вихідних обмоток 15–18 двійкового коду і секцій вихідних обмоток 11–14 коду Грея показана на рис. 4.

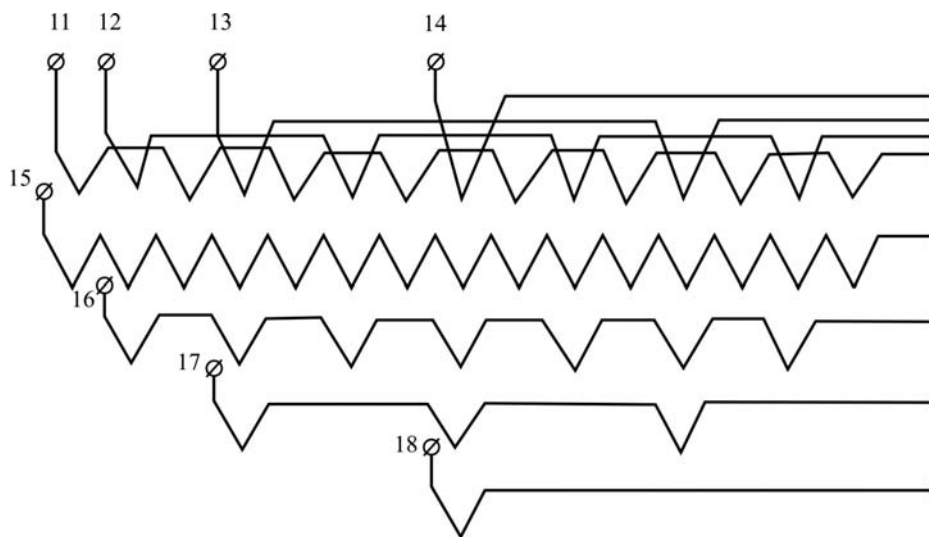


Рис. 4. Схема взаємного розміщення і підключення секцій вихідних обмоток 11–18

Номера секцій, що включені в кожен з вихідних обмоток 11–14 для отримання коду Грея (рис. 4), можна знайти із виразу  $2^{m-1}(1 + 2i)$ , де  $m$  – номер розряду кода, що знімається з відповідної вихідної обмотки;  $i = 0, 1, 2, 3, \dots$  – натуральний ряд чисел.

Номера секцій, що включені в кожен з вихідних обмоток 15–18 для отримання двійкового коду, можна знайти із виразу  $2^{n-1}(1 + i)$ , де  $n$  – номер розряду кода вихідного двійкового коду, що знімається з відповідної вихідної обмотки.

Запропоновано індукційний датчик вимірювання тиску [8], принцип роботи якого заснований на визначенні величини вхідного тиску по координатах вимірювальної котушки, яка закріплена на мембранній коробці.

Уведення системи котушок збудження 3 і двохпозиційних вимикачів 2, аналого-цифрового перетворювача 6 і мікроконтролера 7 дало можливість підвищити точність вимірювання і чутливість датчика (рис. 5).

По координатах вимірювальної котушки L6, яка закріплена на мембранній коробці, можна визначити величину вхідного параметра тиску, а також провести аналіз результатів для введення калібруючих поправок і корекцій. У мікроконтролері 7 здійснюється усереднювання і математична обробка результатів вимірювань.

Точність вимірювання і чутливість датчика порівняно з прототипом збільшується в  $k - 1$  разів, де  $k$  – кількість обмоток збудження.

Запропоновано також ультразвукові датчики тиску [2], які можуть застосовуватися як еталонні, наприклад, для перевірки барометричних висотомірів, а також у різних системах керування тиском, наприклад, у стенді динамічних випробувань системи контролю аеродинамічних параметрів.

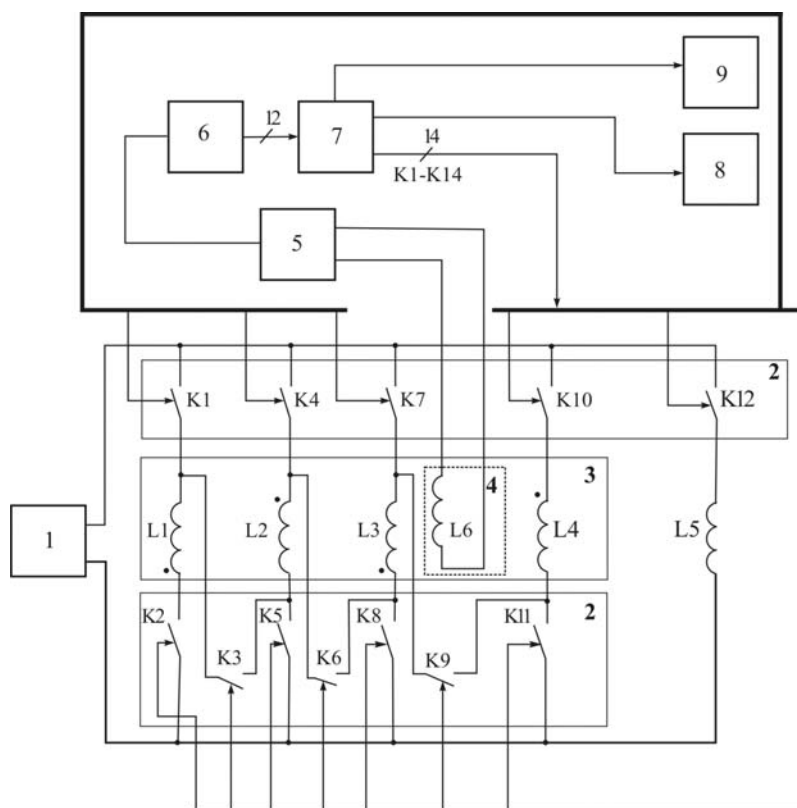


Рис. 5. Функціональна схема індуктивного датчика тиску

- 1 – генератор;
- 2 – система двохпозиційних ключів;
- 3 – обмотки збудження;
- 4 – вимірювальна котушка;
- 5 – смуговий фільтр;
- 6 – аналого-цифровий перетворювач;
- 7 – мікроконтролер;
- 8 – індикатор;
- 9 – інтерфейсний блок.

**Висновки.** Запропоновані аерометричні датчики тиску із цифровим виходом, сумісні з бортовою обчислювальною машиною і мають вбудований контроль для оцінки їх працездатності, можуть знайти широке застосування в авіаційному приладобудуванні для вимірювання тиску, висоти, швидкості та інших параметрів [5].

Застосування в багатоканальній барометричній інформаційно-вимірювальній системі замість датчиків тиску ДМІ-01 (або ДМІ-03) запропонованих датчиків із цифровим виходом дало можливість вивести із складу системи блок АЦП і зменшити похибку вимірювання в 3,2 рази.

### Бібліографічні посилання

1. Измерительные преобразователи систем контроля параметров энергоносителей летательных аппаратов и промышленных топливно-энергетических комплексов / Н. Д. Кошовой, А. В. Заболотный, В. А. Кныш [и др.] // Гіротехнології, навігація, керування рухом та конструювання авіаційно-космічної техніки : VII міжнар. наук.-техн. конф., 23–24 квіт. 2009 р. : тези доп. – К., 2009. – Ч. 1. – С. 59–63.

2. **Кошевой Н. Д.** Ультразвуковой датчик давления / Н. Д. Кошевой, Т. Г. Рожнова, Т. А. Шевченко // Приборостроение 2003 : XII междунар. науч.-техн. конф., 16–19 сент. 2003 г. : тезисы докл. – Винница ; Кореиз, 2003. – С. 56–58.
3. **Кошовий М. Д.** Датчики тиску з волоконно-оптичними перетворювачами / М. Д. Кошовий, Т. Г. Рожнова, В. О. Кунич // Вісник Харк. нац. техн. ун-ту сільського господарства імені Петра Василенка. – Х. : ХНТУСГ, 2006. – Вип. 43, т. 2. – С. 128–132.
4. **Кошовий М. Д.** Датчики тиску з цифровим виходом / М. Д. Кошовий, Т. Г. Рожнова // Вісник Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – 2004. – № 12 (82). – С. 121–123.
5. **Кошовий М. Д.** Пристрої та системи для вимірювання тиску / М. Д. Кошовий, Т. Г. Рожнова // Вісник Черкас. держ. технол. ун-ту. – 2005. – № 3. – С. 157–158.
6. Патент на винахід № 58353 А Україна, МКІ<sup>7</sup> G 01 L 7/06, G 01 L 7/18. Пристрій для вимірювання тиску / Кошовий М. Д., Кошовий О. М., Рожнова Т. Г. ; заявник та власник Національний аерокосмічний університет імені М. Є. Жуковського «ХАІ». – № 2002129565 ; заявл. 02.12.2002 ; опубл. 15.07.2003, Бюл. № 7.
7. Патент на винахід № 58973 А Україна, МКІ<sup>7</sup> G 01 L 9/00. Датчик тиску / Кошовий М. Д., Кошовий О. М., Рожнова Т. Г. ; заявник та власник Національний аерокосмічний університет імені М. Є. Жуковського «ХАІ». – № 2002129582 ; заявл. 02.12.2002 ; опубл. 15.08.2003, Бюл. № 8.
8. Патент на корисну модель № 14425 Україна, МКВ<sup>7</sup> G 01 L 9/10. Датчик тиску / Гончаров С. О., Кошовий М. Д., Рожнова Т. Г. ; заявник та власник Національний аерокосмічний університет імені М. Є. Жуковського «ХАІ». – № U 200510966 ; заявл. 21.11.2005 ; опубл. 15.05.2006, Бюл. № 5.
9. Comparative Analysis of Pressure Sensors with Digital Output / N. D. Koshevoy, V. A. Gordienko, O. N. Koshevoy, T. G. Rozhnova // Telecommunication and Radio Engineering. – 2003. – Vol. 60, N 3, 4. – P. 154–156.

*Надійшла до редколегії 16.05.2013.*