



УКРАЇНА

(19) UA (11) 41109 (13) A

(51) 7 G01F3/12

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ  
НА ВІНАХІДвидається під  
відповідальність  
власника  
патенту

## (54) П'ЕЗОЕЛЕКТРОННИЙ ВИТРАТОМІР РІДКИХ І ГАЗОПОДІБНИХ СЕРЕДОВИЩ

(21) 2001020966

(22) 13.02.2001

(24) 15.08.2001

(46) 15.08.2001, Бюл. № 7, 2001 р.

(72) Глазева Оксана Володимирівна, Плавинський  
Євген Броніславович(73) ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ

(57) П'єзоелектронний витратомір рідких і газоподібних середовищ, який містить перший та другий біморфний п'єзоелектричні перетворювачі, жорстко закріплені у трубопроводі, генератор, пристрій підсилення, обробки та реєстрації інформації з інформаційним виходом, причому двохпровідний вихід генератора з'єднаний з першим п'єзоелементом першого біморфного п'єзоелектричного перетворювача, першим п'єзоеле-

ментом другого біморфного п'єзоелектричного перетворювача і їх спільними електричними виводами, який відрізняється тим, що в нього введені диференційний підсилювач, причому другий п'єзоелемент першого біморфного п'єзоелектричного перетворювача з'єднаний з першим входом диференційного підсилювача, а другий п'єзоелемент другого біморфного п'єзоелектричного перетворювача з'єднаний з другим входом диференційного підсилювача, вихід якого з'єднаний зі входом пристрою підсилення, обробки та реєстрації інформації, перший вихід якого з'єднаний зі входом генератора, а другий вихід - інформаційний, а перший і другий біморфні п'єзоелектричні перетворювачі з'єднані жорстко їх спільними електричними виводами та розміщені в одній площині вздовж трубопроводу симетрично прямій в цій площині через точку з'єднання.

Винахід належить до контрольно-виміральної техніки, зокрема до витратомірів агресивних рідких середовищ.

Відомим пристроєм є п'єзоелектричний компенсаційний витратомір [1], який містить біморфний п'єзоелектричний перетворювач, виконаний у вигляді біморфного п'єзоелемента, жорстко закріпленого у корпусі трубопроводу під кутом до напрямку руху рідини, і пристрій підсилення, обробки і реєстрації інформації, вхід якого з'єднаний з першим п'єзоелементом біморфного п'єзоелектричного перетворювача, перший вихід - з другим п'єзоелементом біморфного п'єзоелектричного перетворювача, а другий вихід - інформаційний.

Недолік даного витратоміра полягає у жорсткому закріпленні біморфного п'єзоелектричного перетворювача під кутом до потоку, тому через крихкість п'єзоелементів величини вимірюваних гідродинамічних сил будуть обмежені, і витратомір буде мати обмежений діапазон вимірювань витрат і недостатню точність та надійність. Крім того в даному витратомірі не здійснюється урахування впливу температури, густини та в'язкості середовища, що рухається, на показання пристрою. Тому витратомір трудно застосовувати для контролю

витрат рідких і газоподібних середовищ у промислових умовах.

Найближчим за технічною сутністю і результатом, який досягається, до винаходу, що пропонується, є п'єзоелектронний витратомір рідких і газоподібних середовищ [2], який містить перший біморфний п'єзоелектричний перетворювач, другий біморфний п'єзоелектричний перетворювач, генератор, пристрій підсилення, обробки і реєстрації інформації з інформаційним виходом, причому двохпровідний вихід генератора з'єднаний з першим п'єзоелементом першого п'єзоелектричного перетворювача, а другий п'єзоелемент першого п'єзоелектричного перетворювача, зв'язаний з першим двохпровідним входом пристрою підсилення, обробки і реєстрації інформації, а вхід генератора з'єднаний з першим виходом пристрою підсилення, обробки і реєстрації інформації, до другого двохпровідного входу останнього приєднаний другий п'єзоелемент другого біморфного п'єзоелектричного перетворювача, з'єднаний з двохпровідним виходом генератора, а перший і другий біморфні п'єзоелектричні перетворювачі розташовані у двох взаємно перпендикулярних площинах у середовищі, що рухається.

Недолік даного витратоміра полягає в тому, що розміщення одного з біморфних п'єзоелектричних перетворювачів у горизонтальній площині призведе до істотної зміни поля швидкостей і знизить відповідно точність і надійність вимірювань.

В основу винаходу поставлене завдання - у п'єзоелектронному витратомірі рідких і газоподібних середовищ шляхом введення диференційного підсилювача, жорсткого з'єднання загальних електричних виводів двох біморфних п'єзоелектричних перетворювачів та їх розміщення у трубопроводі підвищити точність урахування впливу фізичних властивостей середовища на результати вимірювання витрати і підвищити надійність пристрою.

Поставлене завдання розв'язується тим, що у п'єзоелектронному витратомірі рідких і газоподібних середовищ, який містить перший та другий біморфний п'єзоелектричний перетворювачі, жорстко закріплені у трубопроводі, генератор і пристрій підсилення, обробки та реєстрації інформації з інформаційним виходом, причому двохпровідний вихід генератора з'єднаний з першим п'єзоелементом першого біморфного п'єзоелектричного перетворювача, першим п'єзоелементом другого біморфного п'єзоелектричного перетворювача, і їх спільними електричними виводами, згідно з винаходом введені диференційний підсилювач, причому другий п'єзоелемент першого біморфного п'єзоелектричного перетворювача з'єднаний з першим входом диференційного підсилювача, а другий п'єзоелемент другого біморфного п'єзоелектричного перетворювача з'єднаний з другим входом диференційного підсилювача, вихід якого з'єднаний зі входом пристрою підсилення, обробки та реєстрації інформації, перший вихід якого з'єднаний зі входом генератора, а другий вихід - інформаційний, а перший і другий біморфні п'єзоелектричні перетворювачі з'єднані спільними електричними виводами жорстко та розміщені в одній площині вздовж трубопроводу симетрично прямій в цій площині через точку з'єднання.

Технічний результат, якого можна досягти при здійсненні винаходу, полягає в тому, що пропонуване жорстке з'єднання та розміщення біморфних п'єзоелектричних перетворювачів в одній площині і введення диференційного підсилювача дозволяє підвищити точність обліку впливу фізичних властивостей середовища (температури, в'язкості, густини та ін.) на показання пристрою та підвищити його надійність.

Винахід ґрунтується на таких теоретичних передумовах. Відомо, що, згідно з рівнянням Бернуллі, в стаціонарних, вільних від тертя потоках, сума кінетичної енергії, потенційної енергії положення і тиску уздовж потоку - постійна [3].

Для одиниці маси потоку нестисливого середовища, що має об'єм  $v = \frac{1}{\rho}$ , рівняння Бернуллі записується у вигляді:

$$\frac{v^2}{2} + gh + \frac{P}{\rho} = \text{const}, \quad (1)$$

де  $v$  - швидкість потоку, м/с;  
 $h$  - висота над рівнем моря, м;  
 $P$  - абсолютний тиск, Па;

$\rho$  - густина, кг/м<sup>3</sup>;

$g$  - прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>.

Якщо у потік вмістити тверде тіло, то швидкість набігаючого потоку в точці його змикання з тілом стає рівною нулю. Якщо використати напорний пристрій типу трубки Прандтля, як в аналозі, тоді рівняння Бернуллі (1) набуває вигляду:

$$\frac{\rho v^2}{2} + P_0 = P_{\Sigma}, \quad (2)$$

де  $P_{\text{дин}} = \frac{\rho v^2}{2}$  - динамічний тиск або динамічний напір, кг/м с;

$P_0$  - статичний тиск, Па;

$P_{\Sigma}$  - сумарний тиск у потоку, Па.

Відомо також, що під дією механічної сили (і, відповідно, тиску) на поверхнях деяких кристалів, наприклад, кварцу, виникають електричні заряди, величини яких пропорційні докладеній силі [1]. Цей ефект зветься прямим п'єзоэффектом. Існує і зворотний п'єзоэффект - при якому під дією електричної напруги, поданої на грані кристала, в останньому виникають механічні сили, що його деформують.

На цих ефектах ґрунтується дія багатьох п'єзоелектричних перетворювачів механічних зусиль і тисків. Як матеріали чутливих елементів використовують штучні матеріали, наприклад п'єзокераміку. Основним вузлом п'єзоперетворювачів сили та тисків часто служить біморфний п'єзоелемент.

Біморфний п'єзоелемент - конструкція з двох "тонких" п'єзокерамічних пластин, які механічно жорстко шляхом склеювання, паяння, зварювання з'єднані між собою.

У біморфному п'єзоелектричному перетворювачі (БПП) п'єзоелементи з'єднують різноіменними полюсами поляризації. Середній електрод утворюється шляхом спаювання двох внутрішніх електродів п'єзоелементів. Зовнішні електроди п'єзоелементів з'єднані гальванічно.

При співпадінні полярності зовнішнього джерела електричної напруги і полярності поляризації одного з п'єзоелементів один, наприклад, перший буде подовжуватися на довжину  $\Delta l_1$ , а другий п'єзоелемент стиснеться на величину  $\Delta l_2$ . Така взаємопротилежна деформація п'єзоелементів приведе до згину БПП.

При зміні полярності БПП вигнеться в інший бік. Величина згину (кривина)  $\alpha$  знаходиться за формулою [1]:

$$\alpha = 3d_{31}l \frac{2U}{x^2}, \quad (3)$$

де  $d_{31}$  - п'єзомодуль, м/В;

$l$  - довжина елемента, м;

$U$  - керуюча напруга, В;

$x$  - товщина елемента, м.

Розглянутий ефект належить до зворотного. У режимі прямого п'єзоэффекту, коли БПП використовується як джерело напруги, залежність (3) не втрачає сенсу [1, с. 22].

Таким чином, якщо вмістити у потік БПП, то можна визначати тиск середовища у потоку, вимірюючи напругу  $U$ .

Сигнал (напруга  $U$ ), який знімається з п'єзоелемента, що працює в режимі прямого п'єзоелефекту, буде функцією від суми тисків

$$U = f(P_{\text{дин}} + P_0). \quad (4)$$

Таким чином, швидкість потоку визначається різницею сумарною і статичного тисків:

$$v = \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_{\Sigma} - P_0)}. \quad (5)$$

Витрату середовища можна визначити на підставі залежності:

$$Q = S \int_s v(r) dr \quad (6)$$

або

$$Q = S \cdot \bar{v}, \quad (7)$$

де  $S$  - площа поперечного перерізу трубопроводу,  $\text{м}^2$ ;

$\bar{v}$  - усереднена швидкість потоку,  $\text{м/с}$ .

Комбінуючи ефекти та електричні зв'язки, можна досягти і положення рівноваги БПП при дії на нього електричних і механічних напружень.

Якщо розташувати БПП у потоці і на один з п'єзоелементів подати від генератора змінну електричну напругу, то під дією цієї напруги БПП коливатиметься, і електрична напруга, що знімається з другого п'єзоелемента, яка виникає під дією прямого п'єзоелефекту, буде пропорційна величині цієї напруги, яка залежить, у свою чергу, від величини гідродинамічних тисків у потоці.

Однак амплітуда коливань БПП залежить і від фізичних параметрів середовища, наприклад, температури. Як показують спеціально проведені дослідження, збільшення температури середовища приводить до збільшення вихідного сигналу БПП, який працює на частотах першого резонансу.

Крім того, амплітуда коливань БПП залежить від напрямку обтікання середовищем біморфної пластини, що коливається.

Якщо розмістити два БПП, як у запропонованому винаході в одній площині, наприклад вертикальній, вздовж потоку у трубопроводі, то амплітуда коливань першого БПП і, відповідно, амплітуда електричної напруги (вихідний сигнал) збільшуватиметься, а для другого БПП вихідний сигнал зменшуватиметься. Наприклад, якщо вихідні сигнали від БПП в цьому разі подати на диференційний підсилювач, то вплив температури середовища на показання витратоміра можна виключити.

Таким чином, за допомогою диференційної схеми вимірювань і розміщення БПП у одній площині можна також виключити зміни густини, в'язкості та інших параметрів середовища.

Суть винаходу пояснюється фігурою, на якій витратомір містить перший 1 та другий 2 біморфний п'єзоелектричні перетворювачі з п'єзоелементами відповідно 3, 4 та 5, 6 і їх спільними виводами 7, 8, генератор 9, диференційний підсилювач 10, пристрій підсилення, обробки та реєстрації інформації 11, причому п'єзоелементи 3 і 5 першого 1 та другого 2 біморфних п'єзоелектричних перет-

ворювачів приєднані до двохпроводного виходу генератора 9, а п'єзоелементи 4 і 6 першого і другого біморфних п'єзоелектричних перетворювачів приєднані відповідно до першого та другого входів диференційного підсилювача 10, вихід якого приєднаний до входу пристрою підсилення, обробки і реєстрації інформації 11, перший вихід якого приєднаний до входу генератора 9, а другий вихід пристрою підсилення, обробки і реєстрації інформації 11 - інформаційний, а перший 1 та другий 2 біморфний п'єзоелектричні перетворювачі з'єднані їх спільними електричними виводами 7, 8 та розміщені в одній площині симетрично прямій в цій площині через точку з'єднання у трубопроводі.

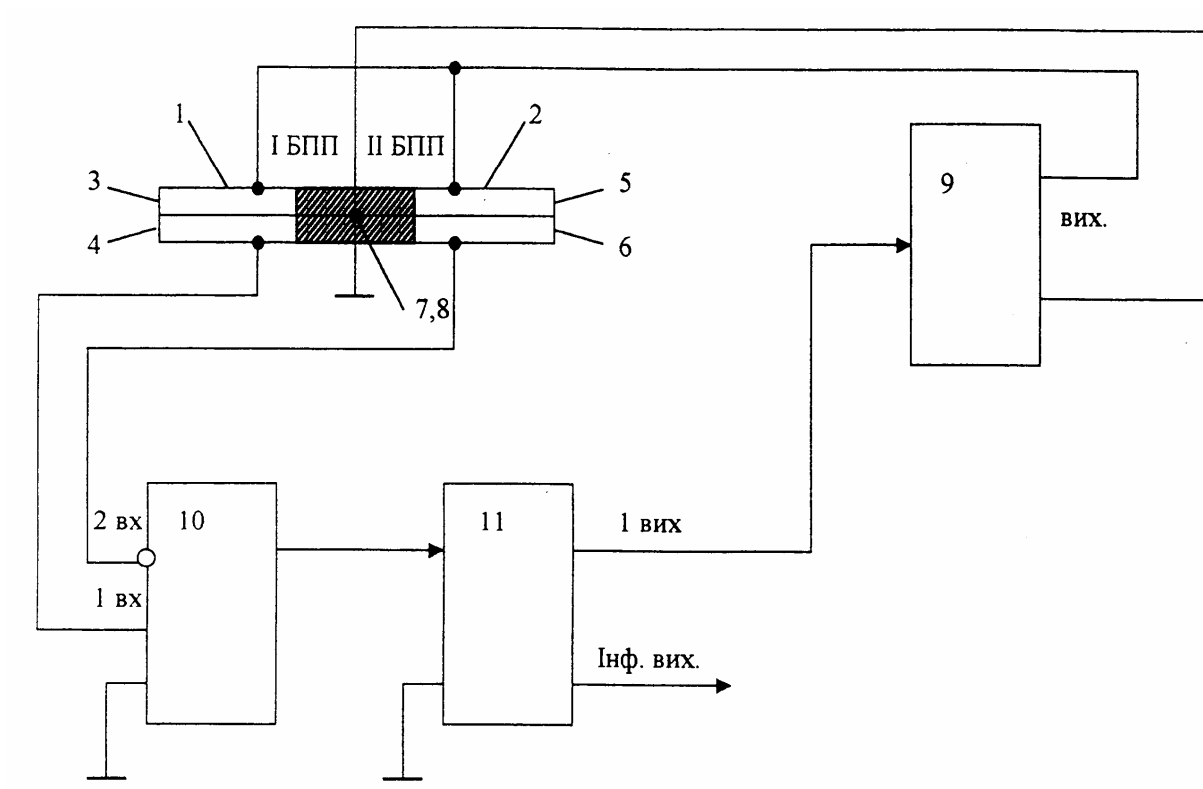
Витратомір працює таким чином. На перший 1 і другий 2 біморфні п'єзоелектричні перетворювачі з п'єзоелементами відповідно 3, 4 і 5, 6, які з'єднані їх спільними електричними виводами 7, 8 і які розташовані у трубопроводі і встановлені в одній площині, подається змінний сигнал від генератора 9. Змінний сигнал генератора 9 подається водночас на п'єзоелементи 3 і 5, змушуючи механічно коливатися перший 1 і другий 2 біморфні п'єзоелектричні перетворювачі, встановлені в одній площині. Сигнали, що знімаються з п'єзоелементів 4 і 6 першого 1 і другого 2 біморфних п'єзоелектричних перетворювачів, будуть пропорційні величинам гідродинамічних тисків, причому сигнал одного з них буде прямо пропорційний тиску, а другий - обернено пропорційний. Ці сигнали подають на перший і другий інверсний входи диференційного підсилювача 10, де різниця сигналів підсилюється, і вихідний сигнал диференційного підсилювача 10 подається на вхід пристрою підсилення, обробки і реєстрації інформації 11, де він обробляється. З інформаційного виходу пристрою підсилення, обробки і реєстрації інформації 11 надходить інформація про величину вимірюваної витрати середовища. Параметри сигналів, що генеруються генератором 9, можуть змінюватися за командами пристрою підсилення, обробки і реєстрації інформації 11.

Перед введенням витратоміра в експлуатацію він градується за показаннями зразкового витратоміра у відповідності з чинними державними стандартами.

Винахід може бути реалізований за допомогою виробів, що випускають серійно, біморфні п'єзоелементи можуть бути виготовлені на основі п'єзокераміки ЦТС різних складів, наприклад, ЦТС-19, ЦТС-23.

#### Література

1. Джагулов Р. Г., Ерофеев А. Л. Пьезоэлектрические элементы в приборостроении и автоматике. -Л.: «Машиностроение», Ленингр. отд-ние, 1986. - С.106.
2. Глазева О. В., Плавинский С. Б. П'єзоелектронний витратомір рідких та газоподібних середовищ. Патент України. Рішення про видачу патенту 09.12.99 на заявку 99063164 від 09.06.1999 р.
3. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. -М.: «Наука». 1973. - С. 157-159.
4. Джагулов Р. Г., Ерофеев А. А. Пьезоэлектронные устройства вычислительной техники, систем контроля и управления. Спр. - Спб.: «Политехника». 1994.



Тираж 50 екз.

Відкрите акціонерне товариство «Патент»  
Україна, 88000, м. Ужгород, вул. Гагаріна, 101  
(03122) 3 – 72 – 89 (03122) 2 – 57 – 03