



УКРАЇНА

(19) UA (11) 34149 (13) A

(51) 6 G01F3/12

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ  
НА ВИНАХІДвидається під  
відповідальність  
власника  
патенту

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

(21) 99063164

(22) 09.06.1999

(24) 15.02.2001

(33) UA

(46) 15.02.2001, Бюл. № 1, 2001 р.

(72) Глазєва Оксана Володимірівна, Плавинський  
Євген Броніславович(73) Одеський державний політехнічний універ-  
ситет(57) П'єзоелектронний витратомір рідких та газопо-  
дібних середовищ, який містить перший біморфний  
п'єзоелектричний перетворювач, і пристрій поси-  
лення, обробки і реєстрації інформації з інформа-  
ційним виходом, причому 2-х провідний вихід гене-  
ратора з'єднаний з першим п'єзоелементом першо-  
го біморфного п'єзоелектричного перетворювача, а

другий п'єзоелемент першого п'єзоелектричного пе-  
ретворювача, зв'язаний з першим двопровідним  
входом пристрою посилення, обробки і реєстрації  
інформації, **відрізняючийся** тим, що у нього введе-  
ні другий біморфний п'єзоелектричний перетворю-  
вач і генератор, причому вхід генератора з'єднаний  
з першим виходом пристрою посилення, обробки і  
реєстрації інформації, до другого двопровідного  
входу останнього приєднаний другий п'єзоелемент  
другого біморфного п'єзоелектричного перетворю-  
вача, а перший п'єзоелемент другого біморфного  
п'єзоелектричного перетворювача з'єднаний з дво-  
провідним виходом генератора, а перший і другий  
біморфні п'єзоелектричні перетворювачі розташо-  
вані у двох взаємноперпендикулярних площинах у  
середовищі, що рухається.

Винахід належить до контрольно-вимірюваль-  
ної техніки, зокрема до витратомірів агресивних рі-  
дких середовищ. Відомий пристрій для вимірюван-  
ня витрати рідких та газоподібних середовищ [1].

Пристрій містить диференційний манометр,  
кронштейн, напорний пристрій, який являє собою  
тіло обертання, у якого на носіку виконаний пер-  
ший отвір і другий отвір, розташований на боковій  
поверхні, від отворів відведені канали, які крізь  
кронштейн, прикріплені до корпусу трубопро-  
воду, з'єднані з диференційним манометром, пока-  
зання якого пропорційні вимірюваній витраті. Не-  
доліком даного пристрою є те, що через конст-  
рукцію пристрою забезпечується малий перепад тис-  
ку і, як наслідок цього, пристрій має низьку точ-  
ність, крім того, у пристрої не враховується гус-  
тина середовища, що рухається [2].

Найближчим за технічною сутністю і досягну-  
тим результатом до винаходу, що пропонується, є  
п'єзоелектричний компенсаційний витратомір [3],  
який містить біморфний п'єзоелектричний пере-  
творювач, виконаний у вигляді біморфного п'єзо-  
елемента, жорстко закріплені у корпусі трубопро-  
вода під кутом до напрямку руху рідини, і пристрій  
посилення, обробки і реєстрації інформації, вхід  
якого з'єднаний з першим п'єзоелементом біморф-  
ного п'єзоелектричного перетворювача, перший ви-  
хід - з другим п'єзоелементом біморфного п'єзо-  
електричного перетворювача, а другий вихід - ін-

формаційний вихід. Недолік даного витратоміра  
полягає у розташуванні біморфного п'єзоелектрич-  
ного перетворювача під кутом до потоку, через  
крихкість п'єзоелементів величини вимірюваних гі-  
дродинамічних сил будуть обмежені як наслідок  
цього витратомір має обмежений діапазон вимірю-  
вань і недостатню надійність. Крім того, у витрато-  
мірі не враховуються зміни параметрів середови-  
ща: густини, в'язкості та інших. Тому витратомір  
трудно застосовувати для контролю витрат рідких  
і газоподібних середовищ у промислових умовах.  
В основу винаходу поставлено завдання - у п'єзо-  
електронному витратомірі рідких і газоподібних се-  
редовищ шляхом введення другого біморфного  
п'єзоелектричного перетворювача і генератора  
розширити діапазон вимірювань, забезпечити  
більш точний облік фізичних властивостей середо-  
вища і підвищити надійність пристрою. Поставле-  
не завдання вирішується тим, що у п'єзоелектрон-  
ному витратомірі рідких і газоподібних середовищ,  
який містить перший біморфний п'єзоелектричний  
перетворювач, і пристрій посилення, обробки і ре-  
єстрації інформації з інформаційним виходом, при-  
чому 2-х провідний вихід генератора з'єднаний з  
першим п'єзоелементом першого біморфного п'є-  
зоелектричного перетворювача, а другий п'єзоеле-  
мент першого п'єзоелектричного перетворювача,  
зв'язаний з першим двопровідним входом при-  
строю посилення, обробки і реєстрації інформації,

згідно з винаходом у нього введені другий біморфний п'єзоелектричний перетворювач і генератор, причому вхід генератора з'єднаний з першим виходом пристрою посилення, обробки і реєстрації інформації, до другого двопровідного входу останнього приєднаний другий п'єзоелемент другого біморфного п'єзоелектричного перетворювача, а перший п'єзоелемент другого біморфного п'єзоелектричного перетворювача з'єднаний з двопровідним виходом генератора, а перший і другий біморфні п'єзоелектричні перетворювачі розташовані у двох взаємоперпендикулярних площинах у середовищі, що рухається.

Запропонований витратомір дозволяє вимірювати у широкому діапазоні. Зміна діапазонів вимірювань досягається як зміною кута розміщення біморфних п'єзоелектричних перетворювачів, відносно потоку що рухається, так і зміною величини електричної напруги, що докладається до біморфних п'єзоелементів.

Технічний результат, який може бути досягнутий при здійсненні винаходу, полягає у підвищенні надійності пристрою та точності вимірювань витрати рідкого або газоподібного середовища. Винахід ґрунтується на таких теоретичних передумовах. Відомо [2], що згідно з рівнянням Бернуллі в стаціонарних, вільних від тертя потоках сума кінетичної енергії, потенційної енергії положення і тиску уздовж потоку-постійна.

Для одиниці маси потоку нестисливого середовища, що має об'єм  $V = 1/\rho$  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>).

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

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

де  $\frac{\rho v^2}{2}$  - динамічний тиск або динамічний напір, (кг/мс<sup>2</sup>);

$P_0$  - статичний тиск (Па);

$P_\Sigma$  - сумарний тиск у потоку, (Па);

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

$$v = \sqrt{\frac{2}{\rho}(P_\Sigma - P_0)}, \quad (3)$$

Витрату середовища можна визначити на підставі залежності

$$Q = s \int_s v(r) dr, \quad (4)$$

або, використовуючи усереднену швидкість потоку,  $\bar{v}$

$$Q = s \cdot \bar{v}, \quad (5)$$

де  $s$  - площа поперечного січення трубопроводу.

Відомо також [3], що під дією механічної сили (і, відповідно, тиску) на поверхнях деяких кристалів, наприклад, кварцу, з'являються електричні заряди, величини яких пропорційні докладеній силі. Цей ефект зветься прямим п'єзоефектом. Існує й зворотний п'єзоефект - коли 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, так звану п'єзокераміку. Основним вузлом п'єзоперетворювачів сили та тисків часто служить біморфний п'єзоелемент (БПЕ).

Біморфний п'єзоелемент-конструкція із 2-х "тонких" п'єзокерамічних пластин, які механічно жорстко шляхом склеювання, паяння, зварювання з'єднані між собою.

У пластині п'єзоелементи з'єднують різноименними полюсами поляризації. Середній електрод утворюється шляхом спаювання двох внутрішніх електродів п'єзоелементів. Зовнішні електроди - п'єзоелементів з'єднані гальванічно.

При співпаданні полярності зовнішнього джерела електричної напруги і полярності поляризації одного з п'єзоелементів, один, наприклад, перший буде подовжуватися на довжину  $\Delta \ell_1$ , а другий п'єзоелемент стиснеться на величину  $\Delta \ell_2$ . Така взаємопротилежна деформація п'єзоелементів приведе до згину БПЕ. При зміні полярності БПЕ вигнеться в інший бік. Величина згину (кривина)  $\alpha$  знаходиться за формулою [3, С.198]

$$\alpha = 3d_{31}l \frac{2u}{x^2}, \quad (6)$$

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'єзоефекту, коли БПЕ використовується як джерело напруги, залежність (6) не втрачає сенсу [4, С.22].

Таким чином, якщо вмістити у потік БПЕ, то можна вимірювати тиск середовища у потоку, вимірюючи напругу  $u$ . Комбінуючи ефекти і електричні зв'язки, можна досягти і положення рівноваги БПЕ при дії на нього електричних і механічних напружень. У запропонованому винаході один із біморфних п'єзоелектричних перетворювачів, виконаний на основі БПЕ, розташовують у горизонтальній площині і на один із його п'єзоелементів подають від генератора змінну напругу. Під дією цієї напруги БПЕ буде коливатися, тоді електрична напруга, що знімається з другого п'єзоелемента, яка виникає під дією прямого п'єзоефекту, буде пропорційною величині цих коливань, які, у свою чергу, залежать від величини гідродинамічних тисків у потоці.

При цьому на БПЕ діятиме як статичний тиск, так і тиск динамічного напору, тобто тиск, що діє на цей БПЕ, буде у відповідності з (2) дорівнювати

$$P_{\text{дин}} + P_0 = P_{\Sigma}, \quad (7)$$

$$\text{де } P_{\text{дин}} = \frac{\rho v^2}{2}$$

Таким чином, сигнал напруги  $u$ , який знімається з п'єзоелемента, що працює в режимі прямого п'єзоефекту, буде функцією від суми тисків  $P_{\text{дин}}$  і  $P_0$ :

$$u = f(P_{\text{дин}} + P_0), \quad (8)$$

Однак амплітуда коливань БПЕ залежатиме і від фізичних властивостей середовища: густини, в'язкості, температури, тому в середовищі розміщують другий біморфний п'єзоелектричний перетворювач, на п'єзоелемент якого подають змінну електричну напругу від спільного генератора.

Напруга, що знімається з п'єзоелемента, який працює в режимі прямого п'єзоефекту, буде також підпорядковуватися залежності (8). Введення другого біморфного п'єзоелектричного перетворювача дозволяє врахувати зміну параметрів середовища, бо вони будуть однаковим чином впливати на обидва біморфні п'єзоелектричні перетворювачі. Другий біморфний п'єзоелектричний перетворювач розташовують у вертикальній площині, при цьому величиною тиску, що діє в цій площині, можна знехтувати, оскільки площа, яка сприймає цей тиск, буде у багато разів меншою, ніж для випадку розташування біморфного п'єзоелектричного перетворювача в горизонтальній площині. Отже, використовуючи диференціальні методи вимірювань швидкості потоку на підставі залежності (8), можна виключити вплив фізичних параметрів середовища, що рухається, на результати вимірювань витрати. На фіг. представлена блок-схема п'єзоелектронного витратоміра, що з'являється. Витратомір містить генератор 1, вхід якого зв'язаний з першим виходом пристрою посилення, обробки і реєстрації 2, а 2-х провідний вихід генератора 1 приєднаний до п'єзоелементів 3 і 5 - першого та другого біморфних п'єзоелектричних перетворювачів, а п'єзоелементи 4 і 6 першого і другого біморфних п'єзоелектричних перетворювачів приєднані відповідно до першого та другого двопровідного входів пристрою посилення, обробки і реєстрації інформації 2.

Витратомір працює таким чином.

Генератор 1 вмикають за сигналом від пристрою посилення, обробки і реєстрації інформації 2

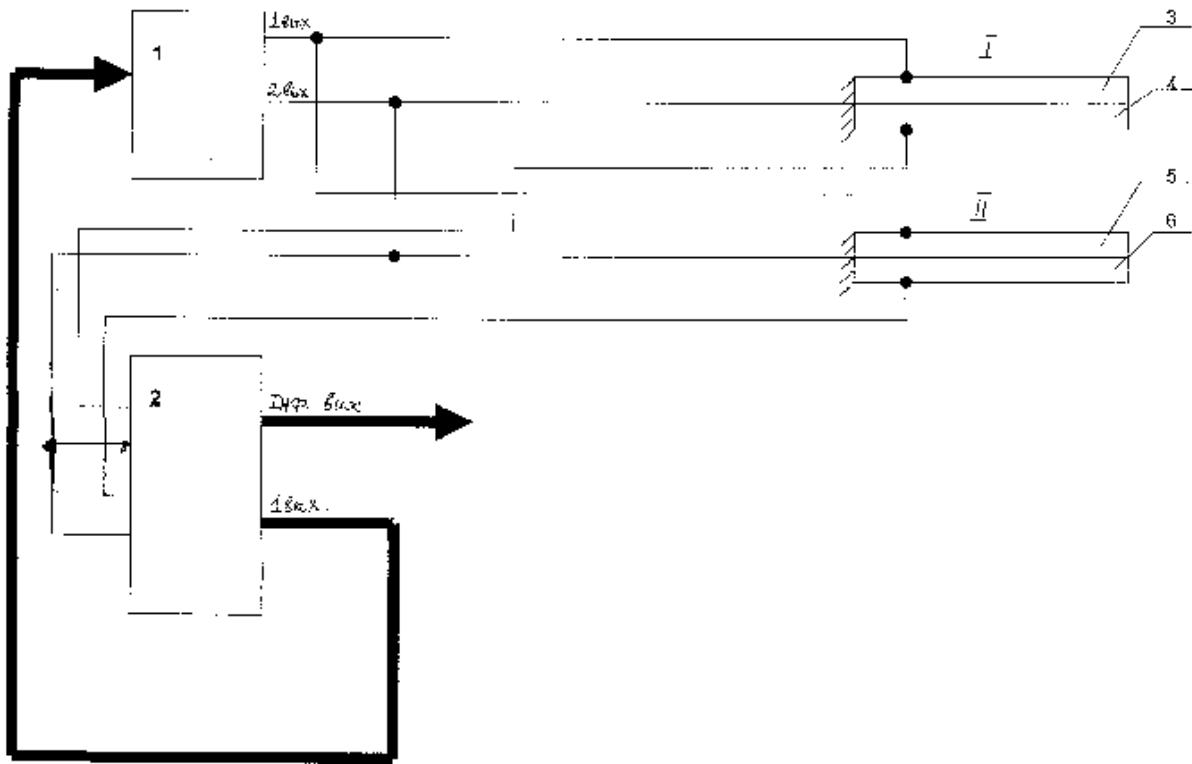
і генератор 1 виробляє змінний сигнал, що подається водночас на п'єзоелементи 3 і 5, змушуючи механічно коливатися перший і другий біморфні п'єзоелектричні перетворювачі, встановлені у 2-х взаємоперпендикулярних площинах. Перший біморфний п'єзоелектричний перетворювач з п'єзоелементом 3 розташований в горизонтальній площині, а другий біморфний п'єзоелектричний перетворювач з п'єзоелементом 5 розташований у вертикальній площині, і сигнали, що знімаються з п'єзоелементів 4 і 6 першого і другого біморфних п'єзоелектричних перетворювачів, будуть пропорційні величинам гідродинамічних тисків і, отже, витраті середовища. Ці сигнали подають на перший і другий входи двопровідні входи пристрою посилення, обробки і реєстрації інформації 2, де вони обробляються за певним алгоритмом. З інформаційного виходу пристрою посилення, обробки і реєстрації інформації 2 надходить інформація про величину вимірюваної витрати середовища. В залежності від обраного режиму параметри сигналів, що генеруються генератора 1, можуть змінюватися за командами пристрою посилення, обробки і реєстрації інформації 2.

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

Винахід може бути реалізований за допомогою виробів, що випускають серійно, бо біморфні п'єзоелементи можуть бути виготовлені на основі п'єзокераміки ЦТС різних складів, наприклад ЦТС-19, ЦТС-23. Генератор виконується за схемами З, С.106-115 на базі ТТЛ-логіки і біполярних транзисторів типу 2Т812Б. Пристрій посилення, обробки і реєстрації інформації може бути виконаний на базі операційних підсилювачів К140УД17 і мікропроцесорного набору серії КМ 1813ВЕ1.

### Література

1. Измерения в промышленности. Спрв.изд. под ред.П.Профоса. Пер. с нем., М., "Металлургия", 1980, С.344-345.
2. Лойцянский Л.Г., Механика жидкости и газа, М.: "Наука", 1973, С.157-159.
3. Джагулов Р.Г., Ерофеев А.А. Пьезоэлектронные устройства вычислительной техники, систем контроля и управления. Справочник. СПб.: "Политехника", 1994, С.414-415.
- Джагулов Р.Г., Ерофеев А.А. Пьезокерамические элементы в приборостроении и автоматике. Л.: "Машиностроение, Ленингр.отд-ние, 1986, С.22.



Фіг. 1

ДП "Український інститут промислової власності" (Укрпатент)  
 Україна, 01133, Київ-133, бульв. Лесі Українки, 26  
 (044) 295-81-42, 295-61-97

Підписано до друку \_\_\_\_\_ 2001 р. Формат 60x84 1/8.  
 Обсяг \_\_\_\_\_ обл.-вид. арк. Тираж 50 прим. Зам. \_\_\_\_\_

УкрІНТЕІ, 03680, Київ-39 МСП, вул. Горького, 180.  
 (044) 268-25-22