

УДК 621.6-52

С.Д. Недзельський, А.А. Стеценко

## СИСТЕМА ОБЛІКУ РЕЧОВИН НА БАЗІ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ВИТРАТОМІРІВ

Розглянуто питання можливості побудови системи вимірювання та обліку витрати речовини на базі ультразвукового часо-імпульсного методу з використанням сучасних інформаційних технологій.

**Ключові слова:** вимірювання витрати, інформаційні технології.

### Аналіз публікацій та постановка проблеми

Завдання організації технологічного та комерційного обліку витрати різних речовин з потрібною точністю набуло актуальності в Україні у зв'язку з необхідністю економії енергоресурсів у всіх сферах діяльності [1].

Існує велике різноманіття приладів [2] для вимірювання витрати. Однак найбільш ефективно дане завдання вирішується з використанням ультразвукових витратомірів. В даний час найбільшого поширення набули ультразвукові витратоміри, які реалізують часо-імпульсний метод. Цей метод використовують в витратомірах ALTOSONIC UFM 600 фірми «KROHNE» (Німеччина), PT868 фірми «PANAMETRICS» (США), UPCB-010 акціонерного товариства «ВЗЛЕТ» (Росія, м. Санкт-Петербург). Такі прилади у відповідності з Законом «Про метрологію та метрологічну діяльність» [3] мають пройти процедуру сертифікації і внесення до Державного реєстру засобів вимірювальної техніки, допущених до застосування в Україні, що збільшує їх і так велику вартість. До того ж, методи випробувань цих приладів достатньо складні і потребують використання додаткового обладнання.

Таким чином, завдання створення сучасних вітчизняних витратомірів та засобів обліку витрат речовин не можна вважати вирішеним, що і обумовлює актуальність і мету даної статті – розглянути можливість побудови системи вимірювання та обліку витрат речовини на базі ультразвукового часо-імпульсного методу із застосуванням сучасних інформаційних технологій.

### Виклад основного матеріалу

Одноканальний ультразвуковий часо-імпульсний метод вимірювання витрат текучого середовища передбачає декілька варіантів розташування акустичних каналів [2, 4, 5]. На рис. 1 наведено первинний перетворювач ультразвукового витратоміру [6, 7], акустичний канал якого утворений накладними приймально-передавальними електроакустичними перетворювачами (ЕП), розміщеними у так званий Z-спосіб під деяким кутом до осі трубопроводу завдяки призмам. Безперечним достоїнством наклад-

них ЕП є те, що, по-перше, не порушується цілісність трубопроводу, а, по-друге, в потік вимірюваного середовища не вноситься ніяка перешкода.

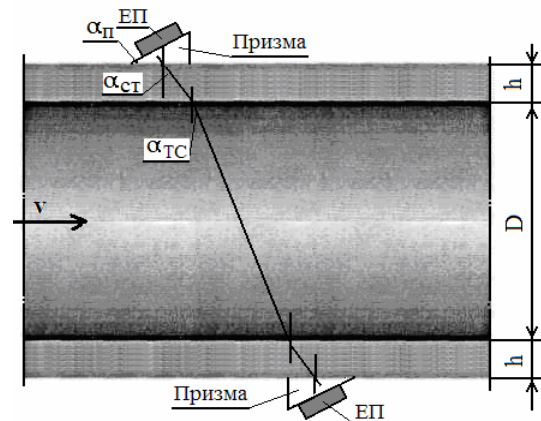


Рис. 1. Первинний перетворювач ультразвукового витратоміру з накладними електроакустичними перетворювачами

Для наведеного прикладу (див. рис. 1) час поширення сигналу вздовж потоку в припущенні, що вимірюване середовище, наприклад, рідина тече зліва направо, можна записати у вигляді [8]

$$t_{\uparrow} = 2(t_{\text{п}} + t_{\text{ст}}) + \frac{D}{\cos \alpha_{\text{ТС}} \cdot (C_{\text{ТС}} + V \cdot \sin \alpha_{\text{ТС}})}, \quad (1)$$

де  $t_{\text{п}}$  – час поширення ультразвуку в призмі;  $t_{\text{ст}}$  – час поширення ультразвуку в стінці трубопроводу;  $D$  – внутрішній діаметр трубопроводу;  $\alpha_{\text{ТС}}$  – кут між вертикаллю і напрямом поширення ультразвуку в ТС;  $C_{\text{ТС}}$  – швидкість розповсюдження ультразвуку в ТС;  $V$  – швидкість потоку вимірюваного середовища. Час поширення сигналу проти потоку можна обчислити за формулою

$$t_{\downarrow} = 2(t_{\text{п}} + t_{\text{ст}}) + \frac{D}{\cos \alpha_{\text{ТС}} \cdot (C_{\text{ТС}} - V \cdot \sin \alpha_{\text{ТС}})}. \quad (2)$$

Взявши різницю  $\Delta t = t_{\downarrow} - t_{\uparrow}$  і вирішивши рівняння відносно  $V$ , отримаємо

$$V = (C_{\text{ТС}} / \sin \alpha_{\text{ТС}}) \cdot (t_{\downarrow} - t_{\uparrow}) / (t_{\downarrow} + t_{\uparrow} - 4(t_{\text{п}} + t_{\text{ст}})). \quad (3)$$

У відповідності до закону Снелліуса [9]

$$V = \frac{C_{\text{ТС}}}{\sin \alpha_{\text{ТС}}} = \frac{C_{\text{п}}}{\sin \alpha_{\text{п}}} = f(\alpha_{\text{п}}, C_{\text{п}}) = \text{const}, \quad (4)$$

де  $C_{\text{п}}$  – швидкість ультразвуку в матеріалі призми;  $\alpha_{\text{п}}$  – кут між вертикаллю і напрямком вводу ультра-

звукових коливань в стінку трубопроводу, який дорівнює куту призми, можна записати [7]:

$$V = \frac{f(\alpha_n, C_n) \cdot (t_{\downarrow} - t_{\uparrow})}{t_{\downarrow} + t_{\uparrow} - 4(t_n + t_{ст})} \quad (5)$$

Витрату рідини в м<sup>3</sup>/год можна розрахувати як

$$Q = 900 \cdot S_G \cdot \pi D^2 \cdot V, \quad (6)$$

де  $S_G$  – величина, зворотно пропорційна гідродинамічному коефіцієнту, який залежить від профілю швидкостей [4].

Таким чином, визначивши величини  $t_{\uparrow}$  і  $t_{\downarrow}$ , можна оцінити значення  $V$  за формулою (5) і розрахувати об'ємну витрату (6). Очевидно, що результат розрахунку не залежить від швидкості  $C_{ТС}$  розповсюдження ультразвуку в ТС. Оскільки кут призми  $\alpha_n$  при експлуатації не змінюється, то  $V$  залежить тільки від швидкості ультразвуку  $C_n$  в матеріалі призми: в призмі, виготовленій з полістиролу, зміна  $C_n$  в робочому діапазоні температур від 0 до 50 °С не перевищить 0,25% [10]. Фактично, похибка вимірювання витрати визначається відносною похибкою вимірювання швидкості рідини  $\delta V$ , яка, в свою чергу, обумовлена кінцевою роздільною здатністю  $\theta$  вимірювача часових інтервалів:

$$\delta V = \theta / \Delta t. \quad (7)$$

Різниця  $\Delta t$  часів розповсюдження сигналів вздовж і проти потоку прямо пропорційна довжині шляху поширення сигналів. Тому при малих діаметрах трубопроводу необхідно довжину шляху поширення сигналу збільшувати. На рис. 2 наведено приклади розміщення ЕП у V-спосіб (рис. 2, а) та у W-спосіб (рис. 2, б). При цьому, зрозуміло, відносна похибка вимірювання швидкості зменшиться відповідно у 2 та 4 рази.

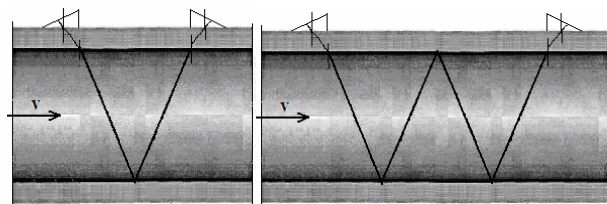


Рис. 2. Схеми акустичних каналів

Розглянуті приклади побудови одноканальних первинних перетворювачів передбачають діаметральне розташування п'єзоелементів акустичного каналу, як це показано на рис. 3 (а – ЕП розташовані з одного боку труби, б – ЕП розташовані по різні боки труби).

У первинних перетворювачах ультразвукових витратомірів застосовують також хордове розташування акустичного каналу, як це показано на рис. 4 (а – ЕП розташовані по різні боки труби, б – ЕП розташовані з одного боку труби; їх орієнтація у просторі забезпечує триразове відбиття сигналу від стінок труби). Хордове розташування фактично усуває гідродинамічну похибку [11].

Приймально-передавальні електроакустичні перетворювачі ЕП1 і ЕП2 встановлюють так (рис. 5, а), щоб центри їхніх випромінюючих поверхонь знаходилися на одному рівні з внутрішньою поверхнею труби. Випромінююча поверхня ЕП орієнтована під кутом  $\alpha = 30 - 60$  град до його поздовжньої осі. Проекція нормалі до випромінюючої поверхні кожного з ЕП на горизонтальну поверхню, яка проходить через вісь труби (рис. 5, б), утворює з віссю труби кут

$$\beta = \arccos \sqrt{1 - 1 / (3 \operatorname{ctg}^2 \alpha)},$$

а відстань між центрами встановлення ЕП становить

$$R = 3L = 3\sqrt{3} \cdot (D/4) \cdot \sqrt{3 \operatorname{ctg}^2 \alpha - 1},$$

де  $L$  – відстань вздовж осової лінії труби між центрами двох відбиваючих областей на внутрішній поверхні труби або між центром області відбиття і віссю ЕП;  $D$  – внутрішній діаметр труби.

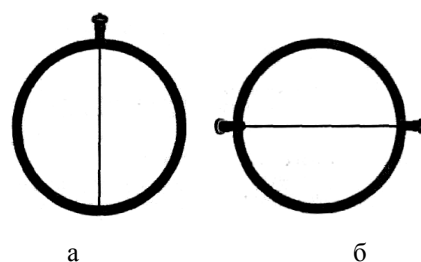


Рис. 3. Діаметральна траєкторія

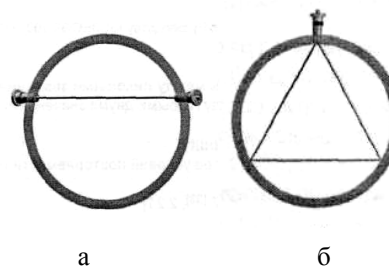


Рис. 4. Хордова траєкторія

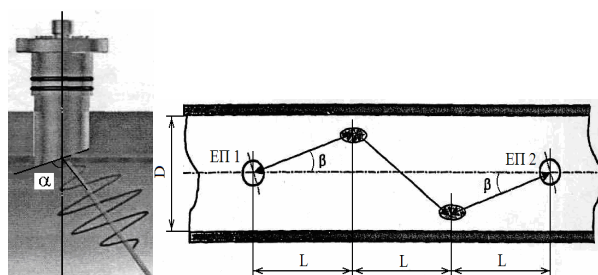


Рис. 5. ЕП: а – розміщення; б – зв'язок по трьох хордах

Таке розташування ЕП забезпечує акустичний зв'язок між електроакустичними перетворювачами по трьох хордах [12] і, як результат, покращання відношення сигнал/шум.

Довжину акустичного каналу можна подовжити за рахунок багаторазового відбиття сигналу від стінок трубопроводу, але таке технічне рішення потребує старанного юстирування приймально-передавальних ЕП акустичного каналу.

Первинні перетворювачі розглянутих вище типів забезпечують отримання інформації, яка підлягає обробці з метою визначення величин  $t_1$  і  $t_2$ , оцінювання значення  $V$  за формулою (5) і розрахунку об'ємної витрати (6). Ці операції доцільно виконувати з використанням сучасних інформаційних технологій.

Структура витратоміра (рис. 6) може бути подана як сукупність первинного перетворювача (ПП), вимірального блоку (ВБ) та відлікового пристрою (ВП).

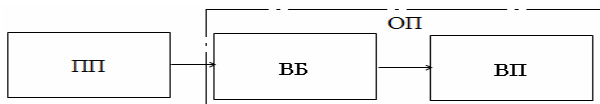


Рис. 6. Структура витратоміра

Функції ВБ і ВП можуть бути об'єднані у структурі обчислювального пристрою (ОП). Якщо в якості ОП використовувати персональний комп'ютер (ПК), то отримаємо так званий віртуальний прилад (ВіП). У періодичній технічній літературі [13] для визначення подібних приладів застосовують нестандартизований термін «персональна автоматизована вимірвальна система». Така система може управляти процесом вимірювання (комутувати режими роботи ЕП на прийом та передавання ультразвукового імпульсного сигналу, оцінювати різниця  $\Delta t$  часів розповсюдження сигналів вздовж і проти потоку тощо), виконувати розрахунки та відображувати результати, наприклад, миттєві значення витрати на екрані дисплею (рис. 7). Останній, окрім функцій відображення результатів вимірювання, може використовуватися для завдання режимів роботи системи обліку (рис. 8).

## Висновки

Можливість побудови системи вимірювання та обліку витрат речовини на базі ультразвукового часо-імпульсного методу із застосуванням сучасних інформаційних технологій підтверджено на практиці у витратомірі УВР-011 фірми "ТАХІОН" (Україна, м. Харків).

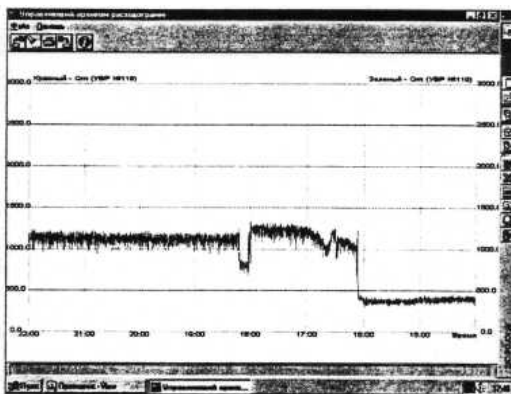


Рис. 7. Значення витрати

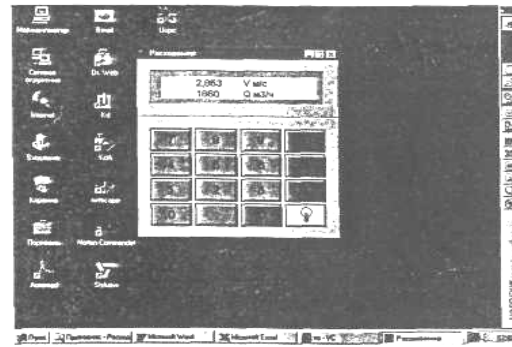


Рис. 8. Режими роботи

## Список літератури

1. Про Комплексну державну програму енергозбереження України. Постанова Кабінету Міністрів України від 5 лютого 1997 р. N 148 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу – [www.darom.info/kopleksna\\_prog\\_1997-2010.doc](http://www.darom.info/kopleksna_prog_1997-2010.doc).
2. Хансуваров К.И. Техника измерения давления, расхода, количества и уровня жидкости, газа и пара / К.И. Хансуваров, В.Г. Цейтлин. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 278 с.
3. «Про метрологію та метрологічну діяльність» Закон України. - [www.rada.gov.ua](http://www.rada.gov.ua), Офіційний сайт Верховної Ради України.
4. Хамидуллин В.К. Ультразвуковые контрольно-измерительные устройства и системы / В.К. Хамидуллин – Л. Изд-во ЛГУ. 1989 – 245 с.
5. Чистяков В.С. Краткий справочник по теплотехническим измерениям / В.С. Чистяков. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 320 с.
6. Ультразвуковые расходомеры и система учета на их основе / В. Близнюк, В. Костылев, В. Сорокопуть, А. Стеценко, А. Стеценко // Современные технологии автоматизации. – М.: СТА-Пресс, 1998. – №2. – с. 70-73.
7. Деклараційний патент України 29777А G01 F1/66 на винахід Ультразвуковий спосіб вимірювання витрат рідини в трубопроводі/ Близнюк В.І., Костильов В.В., Сорокопуть В.Л., Стеценко А.А.
8. Цейтлин В.Г. Расходоизмерительная техника / В.Г. Цейтлин. – М.: Изд-во стандартов, 1977. – 240 с.
9. Ультразвук. Маленькая энциклопедия / Под ред. И.П. Голяминой – М. Сов. Энциклопедия 1979 – 400 с.
10. Применение ультразвука в медицине. Физические основы / Пер. сангл. Под ред Л.Р. Гаврилова. – М.: Мир, 1989. – 278 с.
11. Киясбейли А.Ш. Частотно-временные ультразвуковые расходомеры и счетчики / А.Ш. Киясбейли, А.М. Измайлов, В.М. Гуревич. – М.: Машиностроение, 1984. – 424 с.
12. Пат. 2277700 Россия, МПК G 01 F 1/66. Врезная секция ультразвукового расходомера/ А.И. Стеценко, А.А. Стеценко, В.Л. Сорокопуть, В.В. Костылев, А.А. Чумаченко (Украина). – 2004102383/28; Заявлено 29.01.2004; Опубл. 10.06.2006, Бюл. №16.
13. Вышков В.А. Персональные измерительные системы / В.А. Вышков, В.А. Кузнецов, Е.Ю. Тимофеев// Измерительная техника. – №11. – 1995. – №2, №3. – 1996. – С. 54 – 59.

Надійшла до редколегії 11.06.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Б. Кононов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

**СИСТЕМА УЧЕТА ВЕЩЕСТВ НА БАЗЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ РАСХОДОМЕРОВ**

С.Д. Недзельський, А.А. Стеценко

*Рассмотрены вопросы возможности построения системы измерения и учета расхода вещества на базе ультразвукового время-импульсного метода с использованием современных информационных технологий. Возможность и методы практически реализованы в расходомере-счетчике УВР-011.*

**Ключевые слова:** измерение расхода, информационные технологии.

**THE ACCOUNTING SYSTEM OF SUBSTANCES ON THE BASIS OF ULTRASONIC FLOWMETERS**

S.D. Nedzelsky, A.A. Stecenko

*The questions of the possibility of constructing a system of measuring and recording the flow of matter on the basis of ultrasonic time-pulse method with the use of modern information technology.*

**Keywords:** flow measurement, information technology.