

## АНАЛІЗ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ ВИТРАТИ ПЛИННИХ СЕРЕДОВИЩ

*Розроблена і представлена загальна класифікація сучасних типів ультразвукових витратомірів (далі – УЗВ). На основі запропонованої класифікації проведена оцінка метрологічних характеристик ультразвукових витратомірів, широко використовуваних на території України, а також детально оглянуті класифікації по методам вимірювання витрати, кількості вимірювальних каналів, напрямлення випромінювання та виду акустичних каналів. Описані як переваги, так і недоліки таких витратомірів.*

*Ключові слова:* ультразвуковий витратомір, класифікація витратомірів, аналіз витратомірів, метрологічні характеристики.

Y. Y. BILYNSKY

Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine

M. V. GLADYSHEVSKYI

Metrological Center of NJSC “Naftogaz of Ukraine”, Boyarka, Ukraine

### ULTRASONIC FLOW METERS ANALYSIS FOR FLOWING MEDIUM

*Abstract – This work presents classification of different modern types of ultrasonic flow meters and based on this classification, evaluation of its metrological characteristics was conducted.*

*For this research those Ultrasonic flow meters were picked which are commonly used for fiscal metering under the scope of PJSC “Ukrtransgaz”. This is was done in order to see what flow meter has better performance and why since the majority of manufacturers for this flow meters use the same ultrasonic measuring principle. Despite this, all of them have used different approaches to reach better metrological characteristics at the end. Such approaches as piezoelectric transducers location, number of measuring paths and its direction and much more are described in this work with the summery in what particular way these parameters affect overall flow meter performance.*

*Thus, knowing all the drawbacks of existing ultrasonic flow metering approaches, a new ultrasonic method for flowing medium metering which was proposed in previous articles [1] can be compared with existing ones what would be in a scope of future work.*

*Keywords:* ultrasonic meter, flow meter classification, flow meter analysis, metrological characteristics.

### Вступ

Протягом останніх років значно виросло використання ультразвукових витратомірів для комерційного обліку природного газу. На сьогодні майже на кожному об'єкті газотранспортної мережі та на багатьох об'єктах газорозподільчих мереж використовується технологія ультразвукового вимірювання для комерційних та технічних потреб. Таке високе зростання застосування УЗВ спонукала велика кількість переваг такої технології, до яких відноситься:

- Похибка при калібруванні може складати до 0,1%;
- здатність працювати в широкому діапазоні швидкостей потоку;
- за своєю природою двонаправлений: вимірює швидкість плинного середовища в двох напрямках;
- стійкість до «вологого» газу, що є важливо для видобувних компаній;
- відсутність механічних частин;
- відсутність падіння тиску;
- не потребують частого обслуговування;
- самодіагностика: дані для визначення стану лічильника легко доступні.

Значення витрат можуть лежати в широкому діапазоні: від частин кубометрів до декількох тисяч кубічних метрів. При цьому плинні середовища за своїми фізико-хімічними властивостями можуть сильно відрізнятися. Все це в поєднанні з умовами застосування та вимогами до точностей вартості визначає значне число типів і конструкцій засобів вимірювання витрат.

Метою роботи – виконати порівняльний аналіз сучасних ультразвукових методів і засобів контролю витрат рідких і газоподібних середовищ, оцінити переваги та недоліки та обґрунтувати вибір найбільш перспективного засобу.

### Принцип роботи ультразвукових витратомірів

Акустичні витратоміри засновані на використанні того чи іншого акустичного ефекту, що залежить від витрати, при проходженні акустичних коливань через потік плинного середовища. Практично усі акустичні витратоміри працюють в діапазоні ультразвукових коливань, тому називаються ультразвуковими та в, основному, призначені для вимірювання об'ємної витрати. Однак шляхом додавання акустичного перетворювача, що реагує на зміну густини вимірюваного плинного середовища, можна здійснювати і вимірювання масової витрати;

В роботі [2] запропоновано класифікацію методів та засобів вимірювання витрат, на основі якої

можна стверджувати, що за методом вимірювання ультразвукові витратоміри поділяються на частотні, часово-імпульсні, фазові, кореляційні, доплерівські. За кількістю використаних каналів УЗВ можуть бути: одноканальними (з двома п'єзоелементами); двоканальними (наявні чотири п'єзоелементи); багатоканальними [3]. Розрізняють також перетворювачі без заломлення і з заломленням ультразвукової хвилі. До перших належать перетворювачі, у яких п'єзоелементи безпосередньо контактують з плинним середовищем або через захисні мембрани, площини яких паралельні площинам п'єзоелементів, У цьому випадку кут між променем і випромінюючою чи приймальною площиною становить  $90^\circ$ , і цей промінь не змінює свого напрямку при вході в газ. В інших випадках п'єзоелемент випромінює і приймає коливання через звукопровід, вихідна площина якого не паралельна площині п'єзоелемента. Якщо звукопровід безпосередньо передає коливання газу, то на межі звукопровід-газ має місце заломлення променя.

На рис. 1 показано деякі схемні рішення конструкцій ультразвукових вимірювальних перетворювачів швидкості плинних середовищ перетворювачів Часово-імпульсний метод, який набув найбільш використання, оснований на вимірюванні часу проходження променя від передавача до приймача. [4] При цьому час проходження ультразвукового імпульсного сигналу через потік може бути виміряний як в прямому напрямку, так і та зворотному. Конструкція вимірювального перетворювача лічильника, основаного на часово-імпульсному методі, показана на рис. 1.

Попри те, що кожен з виробників має використовує деякі відмінні конструктивні рішення у вимірювальному перетворювачі, принцип роботи залишається незмінним.

Часово-імпульсний метод, який набув найбільш використання, оснований на вимірюванні часу проходження променя від передавача до приймача [5] При цьому час проходження ультразвукового імпульсного сигналу через потік може бути виміряний як в прямому напрямку, так і та зворотному. При цьому можуть бути використані або два незалежних канали, що вимірюють швидкість за та проти потоку, або один суміщений, який працює за та проти потоку по чергово.

Попри те, що кожен з виробників має використовує деякі відмінні конструктивні рішення у вимірювальному перетворювачі, принцип роботи залишається незмінним. Швидкість потоку плинного середовища визначається як

$$V = \frac{L^2}{2 \times X} \left( \frac{T_{21} - T_{12}}{T_{21} \times T_{12}} \right), \quad (1)$$

де  $L$  – відстані між двома перетворювачами;

$X$  – відстань між двома перетворювачами вздовж осі труби;

$c$  – швидкість звуку (SOS);

$T_{12}$  та  $T_{21}$  – час проходження імпульсного сигналу в кожному з напрямків.

Таким чином, маючи розміри  $L$  та  $X$ , та час проходження  $T_{12}$  та  $T_{21}$  можна виміряти швидкість потоку та швидкість звуку (SOS) для кожного шляху [6].

Нажаль, визначення точної витрати є завданням не із легких, оскільки швидкість, необхідна для визначення об'ємної витрати, є середньою швидкістю по всьому перерізу лічильника. В трубопроводі швидкісний профіль потоку не завжди рівномірний та часто має завихрення та асиметричний профіль потоку через лічильник. Тому виробники лічильників мають різні методології для знаходження середньої швидкості потоку. В загальному випадку робоча витрата визначається як:

$$Q = \bar{V} \times A, \quad (5)$$

де  $A$  – це площа перерізу лічильника;

$\bar{V}$  – середня швидкість.

Частотні ультразвукові витратоміри працюють на основі вимірювання частоти імпульсного рециркуляційного сигналу. Такі засоби за своїми характеристика є близькими до часово-імпульсних витратомірів.

Доплерівські витратоміри основані на ефекті Доплера, а саме на зсуві доплерівської частоти, який виникає при відбитті звуку від рухомих частинок (рис. 2. в). В таких витратомірах хвиля повинна відбиватися від якої-небудь частинки, яка рухається з потоком. Якщо ж відбиття йде від стінки трубопроводу, то хвиля

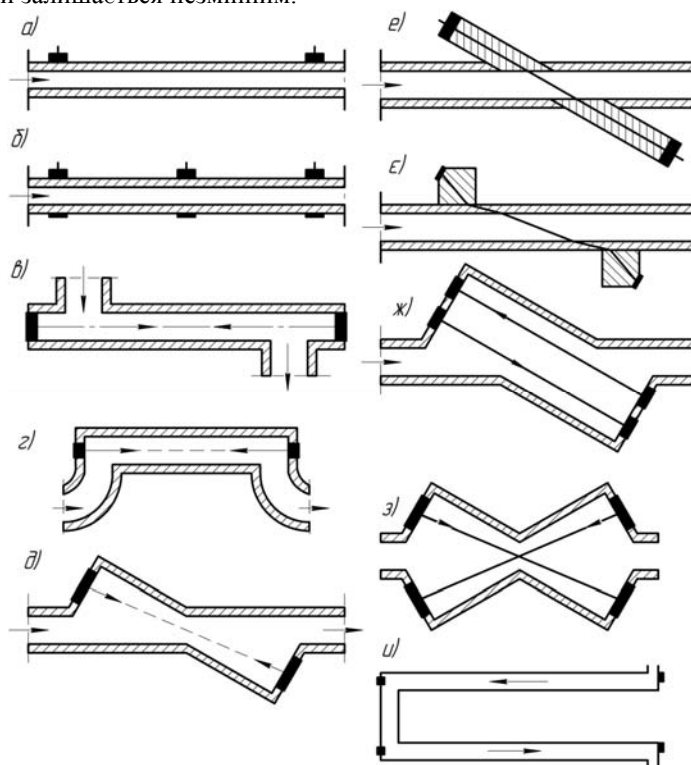


Рис. 1. Схемні рішення конструкцій ультразвукових вимірювальних перетворювачів швидкості плинних середовищ а) одноканальна схема, б) двоканальна з трьома п'єзоелементами, в), г), к) випромінювачі направляються вздовж осі труби, д), з), и) трубопроводи обладнуються особливими впадинами, в яких розміщуються п'єзоелементи, е) вільний простір кишень заповнений звукопроводом із металу чи органічного скла, ж) ззовні трубопроводу розміщені звукопроводи, на яких розміщені п'єзоелементи

зберігатиме свою довжину та частоту. Але, якщо відбувається відбиття від рухомої частинки, фронт хвилі буде влучати в рухомий об'єкт з часовим інтервалом відмінним від свого періоду в стаціонарному середовищі. Як результат, відображена хвиля матиме новий період, частоту та довжину хвилі[4]. В загальному випадку доплерівська частота знаходиться як

$$\Delta f = 2 \times f_i \frac{V}{c} \cos \theta, \quad (1)$$

де  $\Delta f$  – різниця частот між вхідним та вихідним значеннями частоти звуку;  
 $f_i$  – частота передавання;  
 $V$  – швидкість потоку;  
 $c$  – швидкість звуку;  
 $\theta$  – кут між напрямком потоку та променем.

Виходячи з вище сказаного, можна зробити висновок що найбільш широке застосування мають ультразвукові витратоміри на основі часово-імпульсного методу. Фазові та кореляційні витратоміри на сьогодні не набули широкого застосування за рахунок високої чутливості до завад, які мають місце.

### Аналіз використовуваних УЗВ

Найбільш широке застосування на об'єктах ПАТ «Укртрансгаз» отримали ультразвукові витратоміри: ECOSONICX12 компанії RMA, USZ компанії RMG, QSonic компанії ElsterInstromet та FlowSic 600 компанії SICKMAIHAK, а також вітчизняні УЗВ ГУВР-011 та КУРС-01 компаній Енергооблік та КУРС відповідно.

Як вже було зазначено раніше, всі ці витратоміри об'єднує єдиний підхід у використанні ультразвукової технології вимірювання витрати плинних середовищ шляхом визначення часу проходження променя за та проти потоку. Незважаючи на однаковий принцип вимірювання, використовувани витратоміри можна класифікувати за такими ознаками: за видом акустичного шляху; за кількістю акустичних каналів; за типом розміщення

За видом акустичного шляху ультразвукові витратоміри виробництва різних компаній можна розділити залежно від напрямку ультразвукового променя, а саме – без відбиття та з відбиттям. Це означає, що ультразвукові перетворювачі без відображення працюють у двох напрямках, тобто як приймають, так і передають імпульсний сигнал. Принцип розміщення перетворювачів без відбиття реалізований компаніями RMA, RMG, Sick та КУРС в ультразвукових витратомірах ECOSONICX12, USZ-08 та USM GT400, FlowSic 500, 600, 600 QUATRO, 600 PLEX та КУРС-01 виконання А відповідно.

Перевагою конструкції з акустичними шляхами без відбиття є простота визначення довжини акустичного шляху, що дає змогу застосувати більш простий алгоритм визначення швидкості плинного середовища та меншої чутливості до сторонніх шумів.

ECOSONIC X12 використовує на сьогодні шість незалежних вимірювальних каналів (рис.2). Вони розміщені на трьох рівнях. На кожному рівні є дві симетричні вимірювальні канали, які перетинаються. Це розміщення допомагає визначити такі характеристики потоку як завихрення та асиметрію. Записаної інформації про профіль потоку достатньо: навіть, якщо один канал вийде із ладу [7].

Ультразвуковий лічильник USZ-08 (рис.3) складається також з шести вимірювальних каналів. Розташування каналів таким чином, забезпечує значну незалежність від профілю потоку. Завдяки цьому, навіть при перешкодах, які викликають завихрення, асиметрію або поперечний потік, досягається висока точність вимірювання без вирівнювання потоку.

Вихід із ладу двох будь-яких вимірювальних каналів не приведе у 6-канальних витратомірів до втрати необхідної вимірювальної інформації. Канали, які вийшли з ладу, імітуються за допомогою наявних у витратомірі функцій на основі застосуванням результатів вимірювання всіх каналів. Таким чином, чим більше вимірювальних каналів тим більш точніші результати. Такі результати були отримані в ході випробувань в Сполучених Штатах Америки.

УЗВ USMGT400 принципово не відрізняється від USZ-08. Лічильник GT400 було конструктивно гармонізовано під Американський ринок та стандарти [8].

Витратоміри FLOWSIC600 можуть мати 1, 2 або 4 ультразвукові вимірювальні канали і обладнані одним комплектом електроніки. Один або два канали витратоміра зазвичай використовуються для технологічних потреб (рис.4а). Лічильники з 4 каналами можуть використовуватися для комерційного обліку газу в будь-якому сегменті ринку природного газу, включаючи добування, транспортування, розподілення та зберігання[9].

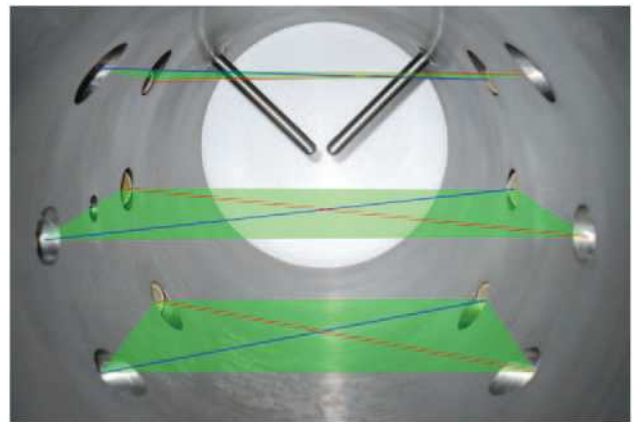


Рисунок 2. Розміщення вимірювальних ниток в ECOSONIC X12 (на задньому плані два температурних кармана)

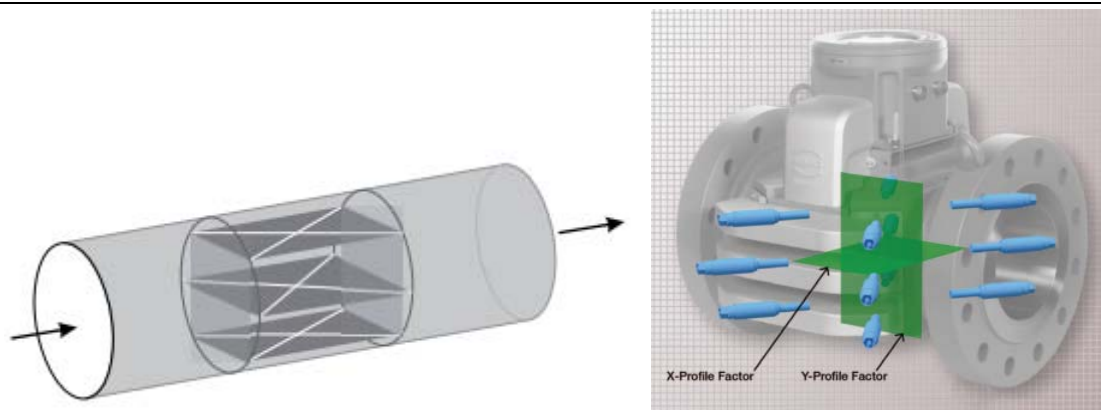


Рис.3. Розміщення вимірювальних ниток в USZ-08 та USMGT400

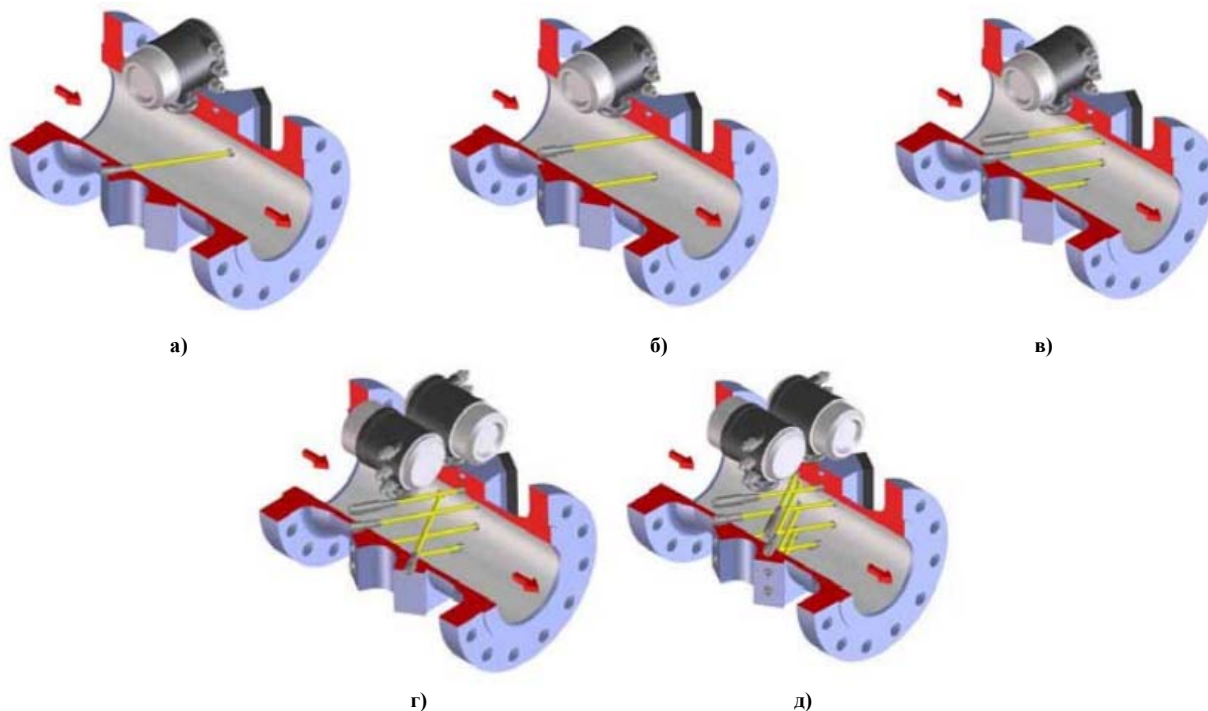


Рис.4. Схема розташування променів FLOWSIC600: а) 1-променевої; б) 2-променевої; в) 4-променевої г) 2plex; д) Quatro  
Витратомір FLOWSIC6002plex (рис.4г) є комбінацією комерційного та діагностичного витратомірів: контрольний лічильник з однією парою перетворювачів та комерційний з чотирма парами перетворювачів. Обидва витратоміра інтегровані в один корпус, але є незалежними. Через різне розташування каналів, як результат, отримуємо різну чутливість, таким чином можна ідентифікувати збурення потоку (викликані частками, пульсаціями чи шумом) на ранній стадії та попередити заздалегідь про можливість впливу на комерційний облік [10].

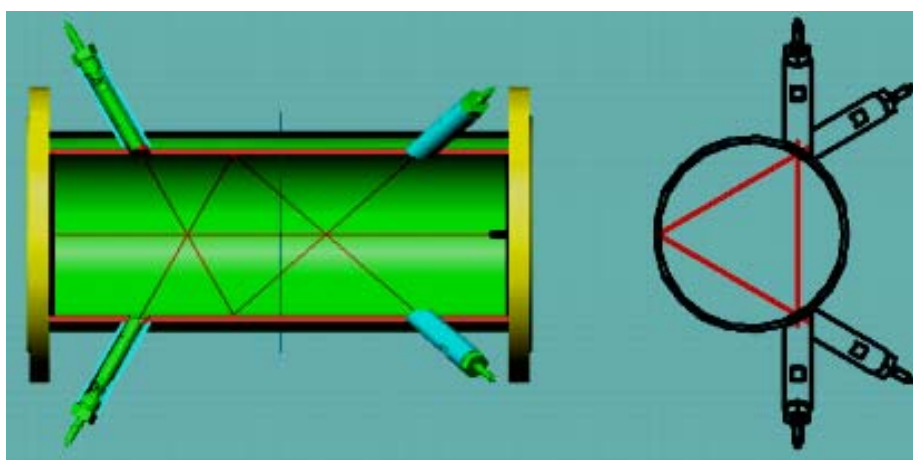


Рис.5. Схема розташування променів в ГУВР-011

УЗВ FLOWSIC600Quatro складається з двох 4х променевої комерційних лічильників, кожен із яких визначає витрату незалежно. Головною перевагою такої конструкції є те, що дві різні компанії можуть використовувати один лічильник, але, при цьому, мати незалежні електрично-ізовані вимірювальні



системи. На додаток, при виході з ладу одного з перетворювачів першої системи, друга продовжить надавати точні вимірювані дані. УЗВ FLOWSIC600Quatroтакож може працювати, як 8-ми каналний витратомір в калібрувальних центрах[11].

Невелика кількість виробників реалізували схему з багаторазовим відбиттям променя, серед яких вітчизняний виробник з ультразвуковим витратоміром ГУВП-011 (рис.5) та витратомірами Q.Sonic фірми Elster-Instromet(рис.6, 7).

Зондування в кожному із каналів УЗВ ГУВП-011 відбувається по  $\Delta$ -та схемі. Таким чином, збільшується шлях проходження ультразвукової хвилі, а отже і час проходження. Це дає змогу підвищити чутливість вимірювання витрат в цілому. Промені в просторі розташовані таким чином, що кожен дві однойменні промені лежать в одній площині, а їх напрямки протилежні [12].

На рис 6 показані схеми розташування вимірвальних каналів витратомірів Q.Sonic компанії Elster-Instromet. УЗВ Q.Sonic залежно від виконання може задовольняти різні потреби. Так 3х променевий витратомір є стандартом для комерційного обліку, простий, надійний і менш затратний. В 4х променевій версії на додачу до двох променів подвійного відбиття, реалізованих в Q.Sonic-3 додається два промені одинарного відбиття, які перетинають один одного під кутом  $90^\circ$ . Це робить лічильник менш чутливим до асиметрії потоку і призводить до зменшення довжини вхідної прямої ділянки трубопроводу, яка повинна складати довжину в десять діаметрів труби. Q.Sonic-5 має найвищу чутливість і точність та впродовж довгого часу вважався найбільш точним та гнучким ультразвуковим витратоміром через унікальну схему розташування каналів.

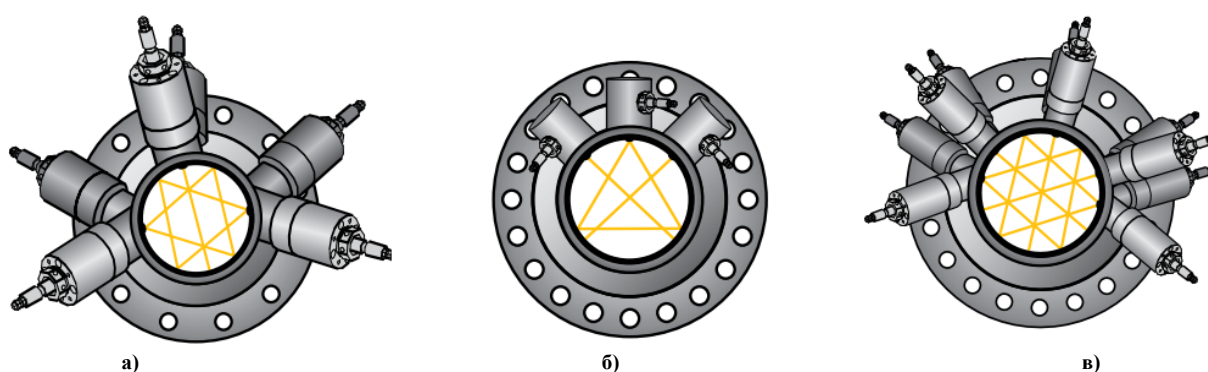


Рис.6. Схема розташування вимірвальних каналів в Q.Sonic:  
а) Q.Sonic-3 б) Q.Sonic-4 в) Q.Sonic-5

УЗВ Q.SonicPLUS використовуються дві пари перетворювачів з подвійним відбиттям променя та дві пари з однократним відбиттям. Розрахувавши середнє значення часу проходження ультразвукової хвилі по обох парах, можна знайти симетричне середньозважене значення, що дає змогу підвищити точність вимірювання. Крім цього використання так званих спарених каналів забезпечує визначення асиметрії потоку вздовж площини і є додатковою діагностичною функцією[13].

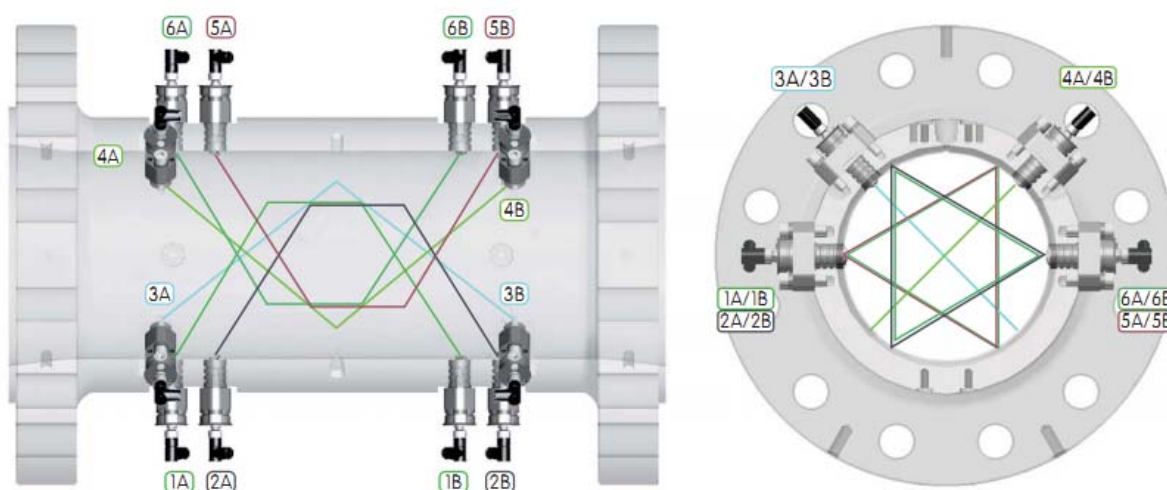


Рис.7. Схема розташування променів в Q.SonicPLUS

Витратомір Q.SonicPLUS використовується також на трубопроводах з малим діаметром, оскільки має меншу чутливість до пульсацій потоку через збільшення часу проходження променя та використання багаторазового відбиття.

З вище сказаного випливає, що для досягнення кращих результатів вимірювання, ультразвукові витратоміри як правило виготовляються в багатоканальному виконанні. Серед згаданих вище витратомірів,

тільки витратомір компанії КУРС реалізований в одноканальному виконанні [14].

Кількість вимірювальних променів на пряму впливають на точність вимірювання, але, відповідно, при збільшенні їх кількості збільшується вартість таких витратомірів. Таким чином ті ультразвукові витратоміри, які є одноканальними переважно використовуються лише для технологічного обліку, тобто не є комерційними і, звичайно, мають меншу вартість. Двоканальні та багатоканальні витратоміри переважно використовуються для комерційного обліку природного газу на газовимірювальних станціях та в якості еталонів в калібрувальних центрах.

#### **Аналіз метрологічних характеристик УЗВ**

В цілому, як вже було зазначено раніше, всі відомі виробники ультразвукових витратомірів використовують однаковий підхід в ультразвуковому вимірюванні витрати природного газу. І саме з цієї причини, всі вони декларують приблизно однакові метрологічні характеристики. В першу чергу, всі зазначені витратоміри відповідають законодавчим вимогам аби мати право використання для комерційного обліку, тобто відповідають межах допустимої відносної похибки в  $\pm 1,0\%$  при діапазоні витрат від  $Q_{\max} \geq Q \geq Q_t$  та  $\pm 2,0\%$  в діапазоні витрат  $Q_t > Q \geq Q_{\min}$ .

Як зазначає виробник, лічильники ECOSONIC X12 характеризуються високою точністю вимірювання, що становить  $\pm 0,2\%$  від виміряної величини та відтворюваністю менше  $0,1\%$  від виміряної величини. Ці характеристики забезпечуються за рахунок шести незалежних каналів в трьох площинах та циклічності до десяти 10 незалежних вимірювань в секунду на кожний канал. При цьому мають клас точності 1 відповідно до OIMLR137-1:2006 (Міжнародна організація законодавчої метрології. Міжнародні рекомендації. Лічильники газу). Розраховані такі витратоміри для роботи під тиском до 100 бар [15].

Ультразвукові витратоміри USZ-08 мають похибку вимірювання в  $\pm 0,25\%$  від виміряної величини в діапазоні витрат від  $10\%$  до  $100\%$  від  $Q_{\max}$  та при умові калібрування на високому тиску похибка зменшується до  $\pm 0,15\%$  при відтворюваності менше  $0,1\%$ . Використовуються ультразвукові перетворювачі двох типів з номінальною частотою випромінювання 120 кГц або 200 кГц. Вимірювання виконуються з інтервалом в 1 оновлення за секунду. Зберігає свої метрологічні характеристики в діапазоні швидкостей потоку від 0,3 до 40 м/с для кожного напрямку [16].

Ультразвуковим витратомірам компанії Elster-Instromet характерна невизначеність вимірювання  $\pm 0,5\%$  від виміряної величини в діапазоні витрат від  $5\%$  до  $100\%$  від  $Q_{\max}$  з відтворюваністю менше  $0,05\%$ . При калібруванні на високому тиску невизначеність вимірювання становить  $\pm 0,3\%$ . Як і для витратомірів компанії RMG, витратоміри Q.Sonic працюють на частотах як в 120 кГц так і на 200 кГц. Інтервал оновлення значень витрат складає 1 секунда і здатний працювати зі швидкостями потоку до 30 м/с [17].

Виробник ультразвукових витратомірів FlowSic зазначає, що при калібруванні на високому тиску досягається вимірювання з похибкою  $0,1\%$  при відтворюваності менше  $0,1\%$ . Також характерні 10 вимірювань на секунду для кожної пари перетворювачів. Характерна можливість роботи під тиском до 450 бар. Вище зазначені витратоміри відповідають вимогам OIMLR 137-1:2006 для першого класу точності [18].

Поміж інших виробників слід виділити УЗВ моделі FlowSic 500 компанії SICK, який є має особливі конструктивні властивості та переваги. Наявність імітаційного методу перевірки в сукупності з картриджною концепцією вимірювальної частини, дозволяє оперативно проводити перевірку приладу безпосередньо на місці експлуатації. І що не менш важливе, такий витратомір не потребує вхідні і вихідні прямолінійні ділянки, що робить його унікальним. При цьому FlowSic 500 характеризується високими метрологічними характеристиками. Максимально допустиме значення відносної похибки вимірювання об'ємної витрати та об'єму природного газу в діапазоні  $0,1Q_{\max} \dots Q_{\max}$  становить  $\pm 0,8\%$ . Після калібрування проливним методом в діапазоні  $0,1Q_{\max} \dots Q_{\max}$  можна знизити похибку до  $\pm 0,2\%$  при повторюваності менше  $0,1\%$  [19].

Також непогано себе зарекомендували і вітчизняні лічильники ГУВР-011 та КУРС-01, які також відповідають класу точності одиниця та в першу чергу перевершують своїх зарубіжних конкурентів цінними показниками.

#### **Висновки**

Проаналізовані найбільш широко використовувані ультразвукові витратоміри на об'єктах ПАТ «Укртрансгаз». Встановлено, що в цілому всі виробники УЗВ використовують однаковий метод вимірювання витрати газу і мають тільки відмінності в конструктивних рішеннях таких витратомірів та кінцевому результату обробки отриманих даних. Крім цього, реалізовані різні підходи самодіагностики та виявлення і своєчасне попередження про можливі впливові фактори на комерційний облік газу. Така одноманітність спонукає до більш глибокого вивчення ультразвукових методів та впровадження нових методів ультразвукових вимірювань.

#### **Література**

1. Білинський Й.Й., Новий ультразвуковий метод вимірювання витрат плинних середовищ / Й.Й. Білинський, М.В.Гладишевський // Нафтогазова галузь України – 2016, №2.
2. Білинський Й.Й., Аналіз методів і засобів контролю витрат рідких і газоподібних середовищ та їхня класифікація / Й.Й. Білинський, М.О. Стасюк, М.В.Гладишевський // Наукові праці ВНТУ – 2015, №1. [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://praci.vntu.edu.ua/article/view> – Назва з екрану.
3. Взлет.ру. [Електронний ресурс]: От однолучевых ультразвуковых расходомеров к

- многолучевым: критерий выбора. – Режим доступу: <http://www.vzljot.ru/files/publications/odnoluch-ultrasonic.pdf><http://ru-auto.info/post/101488904990008/>. – Назва з екрану.
4. Baker, R.C. (2000) Flow measurement handbook: industrial designs, operating principles, performance and applications. Cambridge university press, New York.
5. Андріішин М. П. Вимірювання витрати та кількості газу: Довідник. / М. П. Андріішин. – Івано-Франківськ: ПП “Сімик”, 2004. – 160 с.
6. Lansing J. (2003) Principles of operation for ultrasonic gas flow meters. American school of gas measurement technology.
7. M. Rychagov, S. Tereshchenko, B. Dean, L. Lynnworth (1999) Multipath Flowrate Measurements of Symmetric and Asymmetric Flows. 1st World Congress on Industrial Process Tomography, Buxton, Greater Manchester.
8. Honeywell Process Solutions. (2014) Ultrasonic Flowmeter USM-GT-400 leaflet.
9. Асу-нг.ру. [Електронний ресурс]: Рекомендации по подбору и применению ультразвукового счетчика газа Flowsic 600. – Режим доступу: [http://www.asu-ng.ru/index.php?option=com\\_content&view=article&id=75%3A-flowsic-600&catid=43%3Aflawsic-600&Itemid=108](http://www.asu-ng.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=75%3A-flowsic-600&catid=43%3Aflawsic-600&Itemid=108). – Назва з екрану.
10. Sick.in.ua. [Електронний ресурс]: FLOWSIC600 2PLEX. - Режим доступу: <http://sick.in.ua/produksiya/rashodomery-gaza-dlya-promyshlennyh-izmerenij/dlya-transportirovki-gaza-i-promyshlennyh-izmerenij-s-povyshennoj-tochnostyu/flawsic600-2plex-2/#2>. – Назва з екрану.
11. Sick.in.ua. [Електронний ресурс]: FLOWSIC600 QUATRO. - Режим доступу: <http://sick.in.ua/flawsic600-quatro>. – Назва з екрану.
12. energo.kh.ua. [Електронний ресурс]: Ультразвуковые счетчики газа ГУВР-011. - Режим доступу: <http://energo.kh.ua/rusvs/Produkcija/GUVR-011>. – Назва з екрану.
13. Statusgas.com. [Електронний ресурс]: Q.Sonic@plus. - Режим доступу: [http://www.statusgas.com/DS\\_QSonicplus\\_EN.pdf](http://www.statusgas.com/DS_QSonicplus_EN.pdf). – Назва з екрану.
14. Sovlad.com.ua. [Електронний ресурс]: Счётчик газа ультразвуковой «Курс-01». Руководство по эксплуатации. - Режим доступу: [http://sovlad.com.ua/files/curs-01\\_manual\\_2009.pdf](http://sovlad.com.ua/files/curs-01_manual_2009.pdf). – Назва з екрану.
15. RMA Mess-und Regeltechnik GmbH & Co. KG. (2012) Ultrasonic gas meter ECOSONICX12.
16. Honeywell Process Solutions. (2010) Ultrasonic flowmeter USZ-08.
17. Elster Instromet. (2009) Q.Sonic Ultrasonic gas flow meters.
18. SICK MAIHAK GmbH. (2008) FLOWSIC Volume Flow and Gas Flow Measuring Devices.
19. Sick.in.ua. [Електронний ресурс]: FLOWSIC500 CIS Ультразвуковой счетчик газа. - Режим доступу: <http://sick.in.ua/wp-content/uploads/2015/07/FLOWSIC500-CSI.pdf>. – Назва з екрану.

## References

1. Bilynskiy Y.Y., Noviy ultrazvukovy metod vymiryuvannavyatratplynnykhseredovysch / Y.Y. Bilynskiy, M.V.Hladysheskiy // NaftohazovahaluzUkrainy – 2016, #2.
2. Bilynskiy Y.Y., Analizmetodivizasobivkontroliuvyatradykhkhazopodibnykhseredovysch ta yikhiaklasyfikatsiia / Y.Y. Bilynskiy, M.O. Stasiuk, M.V.Hladysheskiy // Naukovopratsi VNTU – 2015, #1. [Elektronnyiresurs] Rezhymdostupu: <http://praci.vntu.edu.ua/article/view> – Nazva z ekranu.
3. Vzlet.ru. [Elektronnyiresurs]: Otdnoluchevykhultrazvukovykhkrashodomerov k mnogoluchevym: kryteryivybora. – Rezhymdostupu: <http://www.vzljot.ru/files/publications/odnoluch-ultrasonic.pdf><http://ru-auto.info/post/101488904990008/>. – Nazva z ekranu.
4. Baker, R.C. (2000) Flow measurement handbook: industrial designs, operating principles, performance and applications. Cambridge university press, New York.
5. Andriishyn M. P. Vymiryuvannavyatraty ta kilkostihazu: Dovidnyk. / M. P. Andriishyn. – Ivano-Frankivsk: PP “Simyk”, 2004. – 160 s.
6. Lansing J. (2003) Principles of operation for ultrasonic gas flow meters. American school of gas measurement technology.
7. M. Rychagov, S. Tereshchenko, B. Dean, L. Lynnworth (1999) Multipath Flowrate Measurements of Symmetric and Asymmetric Flows. 1st World Congress on Industrial Process Tomography, Buxton, Greater Manchester.
8. Honeywell Process Solutions. (2014) Ultrasonic Flowmeter USM-GT-400 leaflet.
9. Asu-nh.ru. [Elektronnyiresurs]: Rekomendatsyypodboru y pryimeneniyultrazvukovohoschetkykhaza Flawsic 600. – Rezhymdostupu: [http://www.asu-ng.ru/index.php?option=com\\_content&view=article&id=75%3A-flawsic-600&catid=43%3Aflawsic-600&Itemid=108](http://www.asu-ng.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=75%3A-flawsic-600&catid=43%3Aflawsic-600&Itemid=108). – Nazva z ekranu.
10. Sick.in.ua. [Elektronnyiresurs]: FLOWSIC600 2PLEX. - Rezhymdostupu: <http://sick.in.ua/produksiya/rashodomery-gaza-dlya-promyshlennyh-izmerenij/dlya-transportirovki-gaza-i-promyshlennyh-izmerenij-s-povyshennoj-tochnostyu/flawsic600-2plex-2/#2>. – Nazva z ekranu.
11. Sick.in.ua. [Elektronnyiresurs]: FLOWSIC600 QUATRO. - Rezhymdostupu: <http://sick.in.ua/flawsic600-quatro>. – Nazva z ekranu.
12. energo.kh.ua. [Elektronnyiresurs]: Ультразвуковые счетчики газа ГУВР-011. - Rezhymdostupu: <http://energo.kh.ua/rusvs/Produkcija/GUVR-011>. – Nazva z ekranu.
13. Statusgas.com. [Elektronnyiresurs]: Q.Sonic@plus. - Rezhymdostupu: [http://www.statusgas.com/DS\\_QSonicplus\\_EN.pdf](http://www.statusgas.com/DS_QSonicplus_EN.pdf). – Nazva z ekranu.
14. Sovlad.com.ua. [Elektronnyiresurs]: Schetchykhazaultrazvukovoi «Kurs-01». Rukovodstvopooksplyuatatsyy. - Rezhymdostupu: [http://sovlad.com.ua/files/curs-01\\_manual\\_2009.pdf](http://sovlad.com.ua/files/curs-01_manual_2009.pdf). – Nazva z ekranu.
15. RMA Mess-und Regeltechnik GmbH & Co. KG. (2012) Ultrasonic gas meter ECOSONICX12.
16. Honeywell Process Solutions. (2010) Ultrasonic flowmeter USZ-08.
17. Elster Instromet. (2009) Q.Sonic Ultrasonic gas flow meters.
18. SICK MAIHAK GmbH. (2008) FLOWSIC Volume Flow and Gas Flow Measuring Devices.
19. Sick.in.ua. [Elektronnyiresurs]: FLOWSIC500 CIS Ultrazvukovoi schetchykhaza. - Rezhym dostupu: <http://sick.in.ua/wp-content/uploads/2015/07/FLOWSIC500-CSI.pdf>. – Nazva z ekranu.

Рецензія/Peer review : 14.6.2016 р.

Надрукована/Printed : 27.6.2016 р.

Рецензент: професор, Осадчук Олександр Володимирович