УДК 681.121.8

Зенкін М. А., Коваленко А. Є.

СУЧАСНІ ЗАСОБИ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТ ПРИРОДНОГО ГАЗУ

У статті проаналізовано й розглянуто відомі сучасні засоби вимірювання об'єму і витрати плинного середовища. Зроблено висновок щодо перспектив застосування найпрогресивніших інноваційних вимірювальних технологій, а саме методи з використанням акустичних сигналів, зазвичай в ультразвуковому діапазоні.

Ключові слова: *засоби вимірювання, ультразвукові витратоміри, ультразвук, витрати природного газу.*

Постановка проблеми в загальному вигляді. Вимірювання витрати природного газу є одним з найважливіших завдань у газовій промисловості. Система обліку витрати середовищ не можлива без засобів вимірювальної техніки, які засновані на різноманітних методах вимірювання витрати [1]. Дуже важливим є також постійне оновлення вимірювальних технологій і впровадження сучасних прогресивних засобів та методів вимірювання. Сьогодні у світовій газовій індустрії найпрогресивнішими інноваційними вимірювальними технологіями є методи з використанням акустичних сигналів, зазвичай в ультразвуковому діапазоні.

Проведення досліджень зі встановлення високоточних приладів та засобів обліку витрати й кількості газу є безперечно актуальним завданням тому що, це одна з необхідних на сьогодні передумов для мінімізації фінансових витрат підприємств, а впровадження подібного позитивного досвіду може стати необхідним кроком на шляху до енергетичної незалежності України та побудови енергоефективної економіки в усіх галузях господарства.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз літературних джерел засвідчив, що найпоширенішими класами лічильників, які придатні для виконання вимірювань на вузлах обліку III – V категорій, є об'ємні (роторні), швидкісні (турбінні) та ультразвукові лічильники газу, кожному з яких притаманні окремі переваги та недоліки [2].

Відсутність метрологічної ув'язки з еталонами витрати (об'єму), наявність у процедурі легалізації діафрагми дій, пов'язаних з суб'єктивними оцінками, суттєвий вплив на результат вимірювання найменших витоків на імпульсних трубках приводить до багатьох конфліктних ситуацій, які оцінюються сумами набагато більшими за вартість найсучасніших лічильників [3].

Вже кілька десятків років відомі й використовують роторні та турбінні лічильники. Але наявність у складі таких лічильників рухомих елементів вимагають під час їх використання приділяти особливу увагу очищенню газу та особливих режимів стабілізації подавання газу.

Розроблені, випробувані та широко впроваджуються ультразвукові лічильники-витратоміри природного газу. Ультразвуковий метод вимірювання витрати рідин та газів відомий порівно давно, але необхідна точність вимірювання проміжків часу (похибка менше ніж 10–7 с) стала досяжною тільки в цьому столітті.

Зважаючи на це, на сьогодні відчувається відсутність практичного досвіду експлуатації таких приладів обліку, що часто призводить до отримання хибних та неточних результатів вимірювання та заважає повній реалізації потенціалу ультразвукових лічильників-витратомірів об'єму газу.

Метою статті є вивчення та аналіз відомих сучасних засобів вимірювання об'єму і витрати плинного середовища.

Викладення основного матеріалу. Ультразвук – це звукові коливання з частотою, вищою за чутну для вуха людини (зазвичай 18 кГц). На рисунку 1 ілюструються частоти, що трапляються в природі, й ті, які зазвичай застосовують в УЗ-витратометрії.

Рисунок 1. Звукові частоти, що трапляються в природі та застосовуються в ультразвуковій витратометрії

Для поширення УЗ-хвиль з мінімальним загасанням:

– УЗВ для рідин працюють у мегагерцовому діапазоні;

– УЗВ для газів працюють у діапазоні сотень кілогерц.

Звукові хвилі поширюються в різних середовищах із певною швидкістю *c*. На рисунку 2 ілюструють швидкості поширення звуку в різних матеріалах.

Рисунок 2. Швидкість звуку в різних середовищах (за стандартних умов)

Акустичні витратоміри – засновані на вимірюванні того чи іншого акустичного ефекту, що залежить від витрати, під час проходження акустичних коливань через потік плинного середовища [4].

Практично всі акустичні витратоміри працюють в діапазоні ультразвукових коливань, тому називаються ультразвуковими. В основному вони призначені для вимірювання об'ємної витрати, однак додаванням акустичного перетворювача, що реагує на зміну густини вимірюваного плинного середовища, можна здійснювати й вимірювання масової витрати. Першу пропозицію щодо застосування ультразвуку для вимірювання об'ємної витрати запропоновано німцями в 1931 році.

На практиці застосовують три основних типи ультразвукових витратомірів, а саме:

а) засновані на вимірюванні зміни часу поширення ультразвукових сигналів у плинному середовищі – часово-імпульсні;

б) засновані на Допплерівському ефекті – допплерівські;

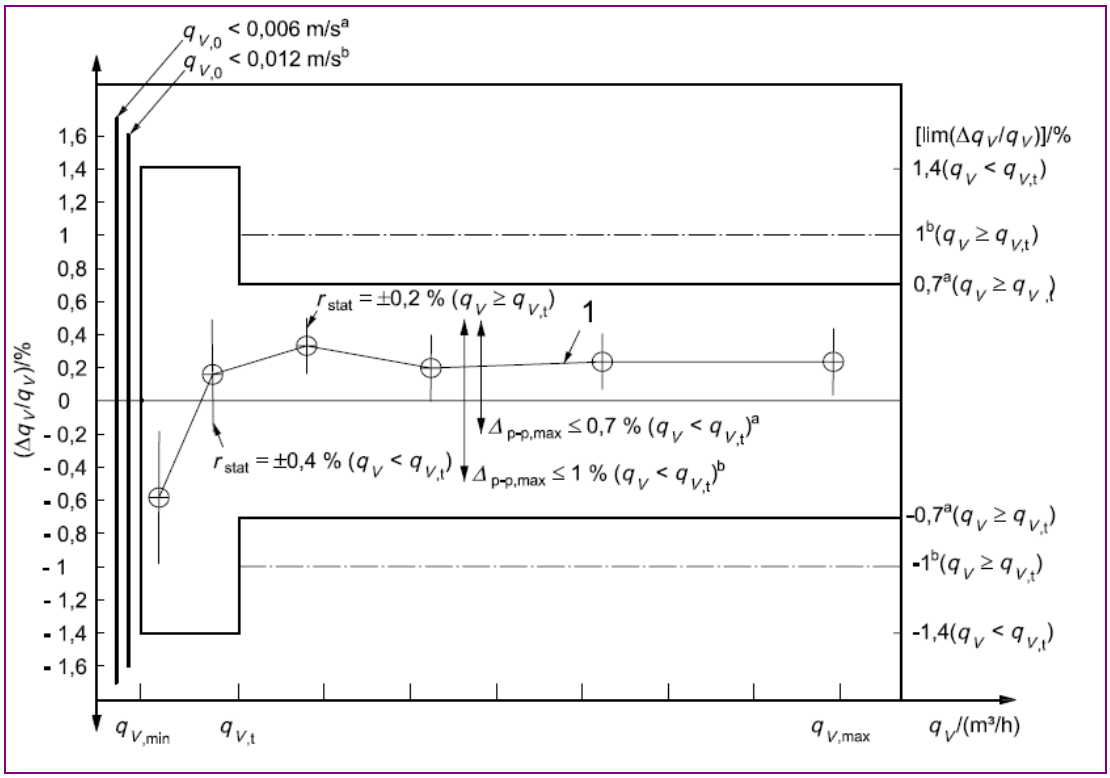
в) засновані на вимірі часу проходження вихорів у потоці – кореляційні.

ISO 17089: «Для того, ащоб допомогти користувачеві вибрати витратомір, спираючись на необхідну для вимірювання сумарну невизначеність, усі УЗВ за типом виконання розділяють на класи точності» [5, 6].

Клас	Рекомендоване застосування	Типова невизначеність (довірчий інтервал 95%, витрата об'ємна)*	Частина ISO 17089
1	Комерційна передача	В межах ±0,7 % для $q_v > q_{V,t}$	Частина 1
2	Розподіл в мережах	В межах ±1,5 % для $q_v > q_{V,t}$	Частина 1
3	Технологічний або пальниковий газ	В межах від ±1,5 до 5 % для $q_v > q_{V,t}$	Частина 2
4	Контроль викидів пальникового або продувочного газу	В межах від ±5 до 10 % для $q_v > q_{V,t}$	Частина 2

Рисунок 3. Класи точності ультразвукових витратомірів

Робочі характеристики ультразвукових витратомірів, охоплюючи сумарну невизначеність, повторюваність, роздільну здатність і максимальну похибку між піковими значеннями, залежать від багатьох параметрів, зокрема й від внутрішнього діаметра трубопроводу, довжини акустичної траєкторії, кількості акустичних траєкторій, складу газу та пов'язаної з ним швидкості звуку, а також повторюваності визначення цих параметрів.

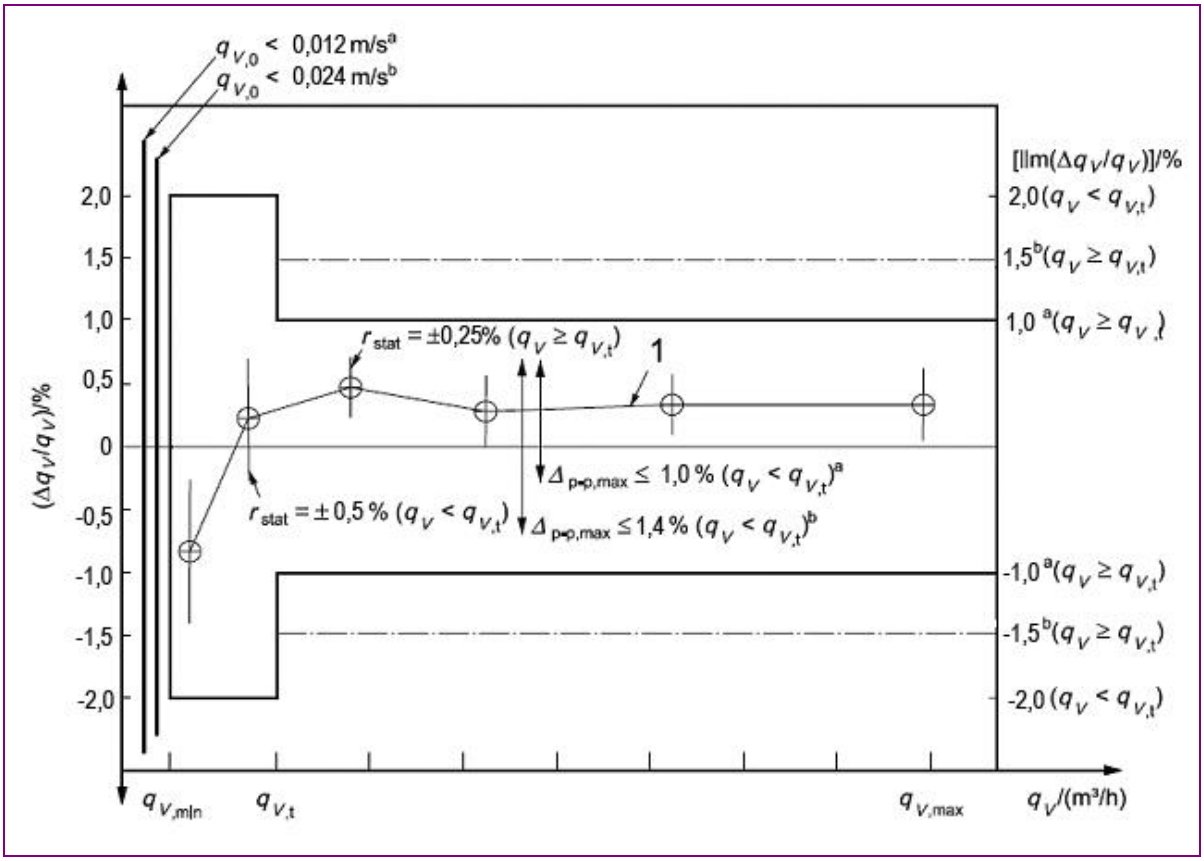


q_V – об'ємна витрата; 1 – крива похибок (калібрування); lim [$\Delta q_V/q_V$] – МДП вимірювання витрати; $\Delta q_V/q_V$ – похибка вимірювання витрати; $q_{V,0}$, $q_{V,t}$ – межі за нульової та за перехідної витрати відповідно; $q_{V,max}$, $q_{V,min}$ – проектна макс. та мін. витрата; r_{stat} – повторюваність; $\Delta_{p\text{-}p,max}$ – максимальна похибка між піковими значеннями.

[a] Для великих УЗВ ≥ 12 (DN300).

[b] Для малих УЗВ < 12 (DN300).

Рисунок 4. Типова характеристична крива УЗВ класу 1 згідно з ISO 17089-1



q_V – об'ємна витрата; 1 – крива похибок (калібрування); lim [$\Delta q_V/q_V$] – МДП вимірювання витрати; $\Delta q_V/q_V$ – похибка вимірювання витрати; $q_{V,0}$, $q_{V,t}$ – межі за нульової та за перехідної витрати відповідно; $q_{V,max}$, $q_{V,min}$ – проектна макс. та мін. витрата; r_{stat} – повторюваність; $\Delta_{p-p,max}$ – максимальна похибка між піковими значеннями.

[a] Для великих УЗВ ≥ 12 (DN300).

[b] Для малих УЗВ < 12 (DN300).

Рисунок 5. Типова характеристична крива УЗВ класу 2 згідно ISO 17089-1

Основні характеристики, які цікавлять користувача, що вибирає ультразвуковий витратомір для комерційних вимірювань, такі: якнайнижча невизначеність, якнайкраща надійність. Коли потенційний користувач аналізує специфікації УЗВ, крім явних відмінностей у конструкції, їх експлуатаційні характеристики виглядають більш-менш однаково:

Невизначеність	≤ ±0,5% від виміряного значення – без калібрування
	≤ ±0,2% від виміряного значення – при калібруванні на високому тиску (залежно від калібрувальної лабораторії)
	≤ ±0,1% від виміряного значення – при калібруванні та лінеаризації характеристики в робочому діапазоні
Повторюваність	≤ ±0,1%

Рисунок 6. Експлуатаційні характеристики ультразвукових витратомірів

Інформація, яку не можна знайти в рекламних проспектах або на сайтах виробника, – це простежуваність калібрувальної кривої, отриманої в близьких до ідеальних умовах калібрувальної лабораторії, до реальних робочих умов на місці експлуатації**,** а також вплив

залишків конденсату й бруду, що переносяться вимірюваним газом, на внутрішній стан ультразвукового витратоміра й, відповідно, його експлуатаційні характеристики.

Серед переваг сучасних ультразвукових лічильників-витратомірів насамперед варто відзначити конструктивні (повнопрохідна вимірювальна секція і, як наслідок, мінімальне серед згаданих вище класів падіння тиску) та експлуатаційні (низька чутливість до забруднення вимірюваного середовища, широкий динамічний діапазон).

З урахуванням високих метрологічних характеристик (за умов правильного застосування можливе досягнення похибки обліку на рівні 0,5%), їх високої стабільності в часі (в конструкції немає будь-яких рухомих механічних елементів) та широких інформаційних можливостей (вбудовані інструменти самодіагностики та сигналізації аварійного стану, що убезпечує від недостовірного обліку) переваги застосування саме лічильників ультразвукового класу є очевидними.

Разом з тим ультразвуковому методу вимірювання притаманні й недоліки, основними та найбільш вагомими серед яких є значний вплив гідродинамічних характеристик потоку на величину похибки, їх висока вартість та необхідність калібрування в умовах, близьких до умов застосування.

На сьогодні всі промислові лічильники газу, які використовують в Україні, мають клас точності 1.0, тобто максимально допустима похибка вимірювання об'єму газу, виражена у відносних одиницях, діапазоні витрат від максимальної до перехідної не перевищує ± 1,0 %, а в діапазоні від перехідної до мінімальної становить ± 2,0%. Водночас, якщо для лічильників роторного класу це забезпечується виконанням вимог до встановлення, регламентованих виробником, то лічильники швидкісного класу за тиску вимірювального середовища, що перевищує 4 бари, потребують калібрування на робочому середовищі за передбаченого робочого тиску. В свою чергу, це потребує відповідного метрологічного устаткування, якого на сьогодні в Україні немає.

Із врахуванням високих метрологічних характеристик (за умов правильного застосування можливе досягнення похибки обліку на рівні 0,5%), їх високої стабільності в часі (в конструкції немає будь-яких рухомих механічних елементів) та широких інформаційних можливостей (вбудовані інструменти самодіагностики та сигналізації аварійного стану, що убезпечує від недостовірного обліку) переваги застосування саме лічильників ультразвукового класу є очевидними.

Із досвіду передових закордонних підприємств найперспективнішими вважають багатоканальні ультразвукові лічильники природного газу. Вартість запровадження ДСТУ ISO 8.586.1-5 в повному обсязі – заміна близько двох тисяч діафрагм та прямих дільниць вимірювальних трубопроводів, яку намічено завершити до 2020 року, майже відповідає вартості впровадження сучасних ультразвукових лічильників-витратомірів, похибка яких суттєво менша діафрагменних вузлів обліку. З огляду на це, доцільніше використовувати ультразвукові лічильники-витратоміри [7].

Висновки. Проведений аналіз дає можливість стверджувати, що впровадження високоточних приладів і засобів обліку витрати та кількості газу, безперечно, є однією з необхідних на сьогодні передумов для мінімізації фінансових витрат, а застосування подібного позитивного досвіду може стати необхідним кроком на шляху до енергетичної незалежності України та побудови енергоефективної економіки в усіх галузях народного господарства.

З розглянутих методів, на мій погляд, найперспективнішим для використання насамперед з метрологічної точки зору є ультразвуковий метод.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пістун Є. П., Лесовой Л. В. Нормування витратомірів змінного перепаду тиску. — Львів: Видавництво ЗАТ «Інститут енергоаудиту та обліку енергоносіїв», 2006. — 576 с. — ISBN 966-553-541-2
2. Власюк Я. М. Аналіз застосування контрольних лічильників газу для підвищення точності обліку природного газу / Я. М. Власюк, О. Є. Середюк, В. В. Малісевич // Методи та прилади контролю якості. – 2009. – №23. – С.66–72.
3. Клочко Н. Б. Вдосконалення методів оцінювання точності турбінних лічильників газу/Н. Б. Клочко, С. А. Чеховський // Метрологія та прилади. – 2014. – №1II(45). – С.46–48.
4. Бабіченко А. К., Тошинський В. І. та ін. Промислові засоби автоматизації. Ч.1. Вимірювальні пристої. — Х.: ООО «Роми», 2001. – С.65–66.
5. ISO 17089 Measurement of fluid flow in closed conduits. Ultrasonic meters for gas — Part 1: Meters for custody transfer and allocation measurement 2010 – Стандарт Міжнародної Організації Стандартів ISO 17089 Вимірювання витрати газу у закритих трубопроводах. Ультразвукові лічильники газу. Частина 1. Лічильники для застосування в системах захищеної передачі й розподілу газу, 2010 р.
6. ISO 17089 Measurement of fluid flow in closed conduits. Ultrasonic meters for gas — Part 2: Meters for industrial applications 2012 – Стандарт Міжнародної Організації Стандартів ISO 17089 Вимірювання витрати газу у закритих трубопроводах. Ультразвукові лічильники газу. Частина 2. Лічильники для промислового застосування, 2012 р.
7. ДСТУ ГОСТ 8.586.1:2009 (ISO 5167-1:2003) Метрологія. Вимірювання витрати та кількості рідини й газу із застосуванням стандартних звужувальних пристроїв. Частина 1. Принцип методу вимірювання та загальні вимоги.

Зенкин Н. А., Коваленко А. Є.

СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДОВ ПРИРОДНОГО ГАЗА

В статье проанализированы и рассмотрены известные современные средства измерения объема и расхода текучей среды. Сделан вывод о перспективах применения самых инновационных измерительных технологий, а именно методы с использованием акустических сигналов, как правило, в ультразвуковом диапазоне.

Ключевые слова: *средства измерения, ультразвуковые расходомеры, ультразвук, расход природного газа.*

M. Zenkin, A. Kovalenko

MODERN FACILITIES OF MEASURING OF NATURAL GAS CHARGES

In the articles analysed and the considered all known modern facilities of measuring of volume and expense of fluid environment. Drawn conclusion in relation to the prospects of application of the most progressive innovative measuring technologies, namely methods are with the use of acoustic signals, as a rule in an ultrasonic range.

Keywords: *measuring facilities, ultrasonic flowmeters, ultrasound, charges of natural gas.*

Рецензент: Здоренко В. Г., д-р техн. наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну