

ВИМІРЮВАННЯ НЕЕЛЕКТРИЧНИХ ВЕЛИЧИН

УДК 681.121

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ ДЛЯ ЗАДАЧ ОБЛІКУ ПРИРОДНОГО ГАЗУ НА АГНКС

© Федір Матіко, 2000

Державний університет "Львівська політехніка", кафедра "Автоматизації теплових та хімічних процесів",
вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

Проаналізовано можливість застосування методів вимірювання витрати для вимірювання витрати та кількості природного газу при наповненні балонів автомобілів на газонаповнювальних станціях.

Проанализована возможность применения методов измерения расхода для измерения расхода и количества природного газа при заправке баллонов автомобилей на газонаполнительных станциях.

Article contains the analysis of application possibility of the methods of flow rate measurement for measurement of the flow rate and quantity of natural gas when filling the car gas-cylinders at compressor stations.

Різноманітність технологічних умов, при яких працюють витратоміри, підвищення вимог щодо їх точності та надійності зумовили розроблення численних методів вимірювання витрати, в основу яких покладено різні фізичні закони та явища.

Розроблені методи дозволяють будувати витратоміри для переважної більшості промислових та науково-дослідних сфер застосування. Тому сьогодні більша увага приділяється вдосконаленню та модифікації існуючих методів. Вирішальну роль відіграє впровадження мікропроцесорної техніки у засоби вимірювання. Вдосконалення конструкції перетворювача та використання мікропроцесорної обробки сигналів дозволяють будувати витратоміри з високими метрологічними характеристиками на базі класичних методів.

Перелік методів, які застосовують для вимірювання витрати газових потоків в промисловості, складається з таких груп [1, 2]: змінного перепаду тиску із звужувальними пристроями; обтікання; тахометричні; силові; вихреві; ультразвукові.

Розроблено широку гаму витратомірів газових потоків на базі кожної із виділених груп методів як вітчизняними [1, 2], так і зарубіжними [5-11] виробниками. Нами проаналізовано стан розробки витратомірів для кожної із виділених груп з погляду можливості застосування витратомірів даних груп для вимірювання витрати природного газу в умовах

наповнення балонів автомобілів на автомобільних газонаповнювальних компресорних станціях (АГНКС).

Складні умови даного вимірювання, зокрема широкий діапазон зміни тиску (від 0 до 20 МПа) та витрати ($Q_{\max}/Q_{\min} > 10:1$ [3]), невеликий внутрішній діаметр газопроводу (15 мм), вимоги щодо незначної тривалості процесу заправки та високої точності вимірювання витрати ускладнюють завдання розробки витратоміра для обліку природного газу при наповненні балонів.

Надзвичайно привабливою є ідея використання для вимірювання витрати природного газу на АГНКС методу змінного перепаду тиску.

Завдяки універсальності застосування, зручності масового виробництва, використанню стандартних пристроїв звуження потоку, які не потребують зразкових градувальних установок, витратоміри методу змінного перепаду тиску набули найширшого застосування в промислових вимірюваннях [1]. Питання розробки, метрологічного забезпечення, експлуатації таких витратомірів добре опрацьовані і висвітлені в багатьох роботах. Всі згадані чинники створюють передумови для розроблення системи вимірювання витрати природного газу для АГНКС на базі даного методу.

Однак деякі недоліки (квадратична залежність між витратою та перепадом тиску; малий діапазон

вимірювання $Q_{\max}/Q_{\min}=3/1$, непристосованість методу до вимірювання змінних витрат) вимагають вжити ряд заходів щодо розширення діапазону вимірювання Q_{\max}/Q_{\min} , або щодо звуження діапазону зміни перепаду тиску на пристрої звуження.

Певне розширення діапазону вимірювання може бути здійснене завдяки використанню сучасних дифманометрів. Наприклад, прилад моделі 3051C (Rosemount Inc.) забезпечує вимірювання перепаду тиску з похибкою $\pm 0.075\%$ шкали в діапазоні $\Delta P_{\min}/\Delta P_{\max}=1:10$. Можливе розширення діапазону $\Delta P_{\min}/\Delta P_{\max}$ до 1:100, однак відносна похибка в області перепаду $\Delta P < \Delta P_{\max}/10$ істотно зростає.

Звуження діапазону зміни перепаду тиску на пристрої звуження потоку вимагає введення регуляторів перепаду тиску, однак необхідне вдосконалення конструкції перетворювача для того, щоб уникнути збільшення тривалості процесу наповнення.

В даний час розроблені і впроваджені на декількох АГНКС колонки наповнення ЕТ6, побудовані на базі нестандартних пристроїв звуження потоку [3]. Однак не наведено інформації про метрологічну базу, на основі якої побудовані колонки, хоча при тиску, більшому від 8 МПа нормовані нині чинними Правилами РД 50-213-80 методики розрахунку теплофізичних параметрів природного газу не працюють.

Перевагами витратомірів обтікання є широкий діапазон вимірювання $Q_{\max}/Q_{\min}=8\div 10$, простота їх конструкції та надійність. Однак здебільшого витратоміри обтікання потребують індивідуального градуювання.

Приведені похибки індивідуально градуйованих приладів та приладів з розрахунковою шкалою істотно відрізняються. Для ротаметрів приведена похибка вимірювання витрати при шкалі, отриманій за розрахунком, в два – три рази більша, ніж при індивідуальному градуюванні і досягає $2 \div 4\%$. Індивідуально градуйований ротаметр, за умови рівності густини вимірюваного середовища та середовища, при якому виконано градуювання, забезпечує вимірювання з похибкою $(0.3\div 0.4)\%$ [4].

Значним недоліком ротаметрів та поплавкових витратомірів є необхідність перерахунку статичної характеристики, якщо густина вимірюваного середовища відрізняється від густини середовища градуювання. Існуючі методики перерахунку вносять додаткову похибку не менше $\pm 1\%$ в статичну характеристику приладів [4]. Залежність статичної характеристики ротаметрів та поплавкових витратомірів від густини вимірюваного середовища значно погіршує їх метрологічні характеристики при використанні для вимірювання витрати середовищ із змінною густиною.

Проведений аналіз показує, що розроблення витратомірів обтікання для вимірювання витрати природного газу на АГНКС зв'язане з істотними труднощами внаслідок зміни густини вимірюваного середовища в широких межах та високих швидкостей потоку.

Тахометричні витратоміри та лічильники становлять більшу частину парку побутових приладів, а також значну частку промислових приладів. Найпоширенішими серед тахометричних витратомірів та лічильників кількості турбінні та камерні прилади.

Турбінні прилади застосовують для вимірювання витрати та кількості як рідинних, такі газових потоків. Їх перевагами є швидкодія та широкий діапазон вимірювання. Турбінні витратоміри і лічильники можуть виготовлятися для труб діаметром від 4 до 750 мм, для тисків до 250 МПа і температур від $-240\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+700\text{ }^{\circ}\text{C}$ [1]. Статична характеристика приладів лінійна в діапазоні великих та середніх чисел Рейнольдса і може мати значну нелінійність при малих значеннях Re. Зміна густини та в'язкості середовища, особливо газу, помітно впливає на градуювальну характеристику турбінних витратомірів [1].

Прикладами турбінних лічильників для промислових вимірювань кількості природного газу є прилади типу ТУРГАС (ВО "Геофізприлад") та моделі FLUXI NM/TZ (Schlumberger). Звертають на себе увагу обмеження за надлишковим тиском, при якому працюють згадані прилади (відповідно 0.6 МПа та 10 МПа) та невеликі діапазони вимірювання витрати Q_{\max}/Q_{\min} , в яких забезпечується приведена похибка 1% (відповідно 3:1 та 5:1). Зауважимо, що

значення похибок вказані для вимірювання об'єму газу в робочих умовах.

Камерні витратоміри є найточнішими в групі тахометричних витратомірів. Відносна приведена похибка вимірювання об'єму газу в робочих умовах для багатьох моделей становить $\pm 1\%$ [1] для діапазону вимірювання Q_{\max}/Q_{\min} , який може досягати 50:1 [5].

Камерні (роторні) лічильники виготовляються для різних технологічних умов. Однак максимальний робочий тиск, як для вітчизняних, так і для закордонних приладів не перевищує 10 МПа [5, 6],

Застосування турбінних та роторних лічильників для обліку газу при наповненні балонів автомобілів на АГНКС принципово можливе, хоча високі швидкості газового потоку спричинятимуть швидке зношення обертових частин. Крім того, приведення вимірюваного об'єму газу до стандартних умов внесе додаткову похибку в кінцевий результат вимірювання.

Силкові витратоміри вимірюють масову витрату. Це є їх головною перевагою. Іншими перевагами є придатність для вимірювання витрати змінних і пульсуючих витрат, незначна залежність від профілю швидкостей, відсутність жорстких вимог щодо прямих ділянок трубопроводу перед витратоміром, принципова можливість використання силкових витратомірів для вимірювання витрати двофазних середовищ.

Вібраційні коріолісові витратоміри з початку 90-х років все ширше застосовують у промислових вимірюваннях. В роботі [7] наведено інформацію про те, що станом на 1990 рік вже 15 найбільших світових виробників - Vorrp&Reuther, Danfoss, Endress&Hauser, Fischer&Porter, Foxboro, K-Flow, Micromotion, Exac та інші представили на ринку серії масових коріолісових витратомірів. Для більшості серій витратомірів похибка становить $\pm (0.2 \div 0.3)\%$ від вимірюваного значення в діапазоні зміни витрати вимірюваного середовища 1:5, 1:10, 1:20. Vorrp&Reuther вказують діапазон 1:50 при похибці $\pm 0.5\%$ від вимірюваного значення витрати.

Цікавим, на наш погляд, є аналіз застосовності різних методів вимірювання витрати, зокрема методу сили Коріоліса, поданий у [8]. Рекомендації [8] було зіставлено з матеріалами Fischer Porter (Guid to flow measurement) [9]. Узагальнені ре-

зультати порівняння подані нами у вигляді таблиці, з якої видно, що масові коріолісові витратоміри працюють з більшістю видів рідинних та газових потоків.

Основою перетворювача витрати сучасного коріолісового витратоміра є труба певної конфігурації, яка здійснює коливання. Тобто вимірювання проводяться без введення в потік будь-яких рухомих чи нерухомих елементів. Зміни температури, тиску, густини, в'язкості, електропровідності та профілю швидкостей потоку істотно не впливають на зниження точності вимірювань.

Недоліками коріолісових витратомірів є складність виготовлення та висока ціна. У [7] для порівняльного розрахунку економічної ефективності застосування витратомірів різних методів прийнято: середня вартість коріолісового витратоміра 6000\$; середня вартість витратоміра змінного перепаду тиску з діафрагмою 1000\$.

Вихрові витратоміри засновані на вимірюванні частоти коливань, що утворюються в потоці внаслідок вихроутворення. Перевагами вихрових витратомірів є відсутність будь-яких рухомих елементів всередині трубопроводу, лінійність шкали в широкому діапазоні та достатня висока точність вимірювання. Приведена похибка вимірювання оцінюється значеннями $0.5 \div 2\%$ в діапазоні $Q_{\max}/Q_{\min}=10 \div 20$. Найменше значення числа Рейнольдса, при якому зберігається лінійність статичної характеристики, $Re=10^4 \div 2 \cdot 10^4$ [1].

Фірмою Rosemount розроблено вихрові витратоміри для вимірювання витрати газу при температурі потоку $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \div +232\text{ }^{\circ}\text{C}$ для діаметрів труб від 1 до 8 дюйм. За даними [10] відносна похибка приладів для газу становить $\pm 1.4\%$ вимірюваного значення в робочих умовах в межах діапазону вимірювання 38:1.

Ультразвукові витратоміри частіше застосовуються для вимірювання витрати рідинних потоків, оскільки гази, порівняно з рідиною, мають малий акустичний опір та на декілька порядків вищий коефіцієнт поглинання акустичних коливань [1]. Оскільки коефіцієнт поглинання прямо пропорційний до квадрата частоти, газові ультразвукові витратоміри працюють на низьких частотах (16 - 17 кГц).

Аналіз застосовності методів вимірювання витрати

			Чисті рідини	Забруднені рідини	Агресивні рідини	В'язкі рідини	Абразивні рідини	Суспензії	Потоки низької швидкості	Пара або газ	Високотемпературні потоки	Криогенні потоки	Незаповнені канали	Неньютонівські потоки	Відкриті канали	
1	Метод змінного перепаду	Діафрагма	▨		▨		▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨		▨	
		Вентурі	▨	▨												▨
		Інші труби і сопла	▨								▨			▨		▨
		Напірні трубки	▨		▨		▨	▨			▨			▨	▨	▨
		Коліно	▨	▨	▨		▨		▨		▨			▨		▨
2	Електромагнітний		▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨		▨		▨		
3	Масові	Сили Коріоліса	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨				▨	▨	▨	
		Тепловий	▨						▨	▨		▨				▨
4	Виреві	З тілом обтікання	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨			▨	▨	▨	
		За ефектом флотації	▨		▨		▨	▨	▨	▨				▨	▨	▨
		З прецесією вихора	▨	▨			▨	▨	▨	▨			▨			▨
5	Позитивних переміщень (камерні)		▨	▨		▨	▨	▨	▨				▨	▨	▨	
6	Тахометричний (турбіна)		▨			▨	▨	▨		▨			▨	▨	▨	
7	Ультразвукові	Часовий	▨			▨	▨	▨		▨	▨		▨	▨	▨	
		Доплерівський	▨	▨						▨	▨	▨	▨		▨	▨
8	Постійного перепаду		▨	▨	▨	▨	▨			▨	▨		▨	▨	▨	
9	Змінного рівня		▨	▨		▨			▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	

Умовні позначення:



– метод розроблено для даного середовища;



– метод застосовний при виконанні певних умов;



– нормально застосовний для даного середовища;



– метод незастосовний

Зокрема, фірмою PANAMETRICS виготовляються ультразвукові витратоміри моделі 7068 для вимірювання об'ємної витрати природного газу [11]. Витратоміри побудовані на основі ефекту переміщення ультразвукових коливань. Виготовляються прилади для трубопроводів діаметром від 6 до 48 дюймів (від 152 до 1219 мм).

Обчислювач витрати, який працює в парі з ультразвуковим перетворювачем, розраховує значення об'ємної витрати та приводить його до стандартних умов. Значення коефіцієнта стискуваності знаходять розв'язуванням рівняння американської газової асоціації NX-19. Похибка вимірювання витрати становить $\pm 2\%$ при зміні швидкості потоку від 0.3 м/с до 15 м/с [11].

Застосування ультразвукових витратомірів для обліку природного газу при наповненні балонів автомобілів на АГНКС пов'язане із істотними труднощами у зв'язку з малим діаметром підвідного газопроводу. Крім того, клас точності більшості моделей газових ультразвукових витратомірів значно перевищує 1 %.

Отже, провівши аналіз застосовності методів та приладів вимірювання витрати для вимірювання витрати та кількості природного газу при наповненні балонів автомобілів на АГНКС, можна зробити такі висновки:

- на даний час не розроблено приладів, які б прямо розв'язували дане завдання. Про розробки, які перебувають на стадії випробування, не наведено інформації про їх технічні характеристики та нормативну базу;
- існують передумови для створення якісної та відносно недорогої системи вимірювання на

базі методу змінного перепаду тиску. Розробка такої системи вимагає проведення досліджень щодо побудови як методик розрахунку теплофізичних параметрів природного газу (коефіцієнта стискуваності, показника адіабати) в реальних діапазонах вимірювання.

Нами запропоновано нову методику розрахунку коефіцієнта стискуваності природного газу та ведеться перевірка розробленої методики розрахунку показника адіабати. Отже, створюються необхідна теоретична база для реалізації системи вимірювання.

1. Кремлевский П.П. *Расходомеры и счетчики количества: Справочник. 4-е изд., перераб. и доп. Л., 1989.* 2. *Промышленные приборы и средства автоматизации: Справочник / В.Я. Баранов и др.; Под общ. ред. В.В. Черенкова. Л., 1987.* 3. Розкин С.М. *Кинетика процесса заправки баллонов компримированным природным газом // Нафта і газ України. Полтава, 1998. Т.2. С. 295-297.* 4. Балдин А.А. и др. *Ротаметры. Л., 1983.* 5. DELTA. *Промышленные счетчики газа роторного типа // Материалы фирмы Schlumberger Industries.* 6. Гордюхин А.И., Гордюхин Ю.А. *Измерение расхода и количества газа и его учет. Л., 1987.* 7. Wayne Labs. *Flowmeters: Accuracies are better, prices lowe // I&CS. Instrument and control system, February, 1990. P. 29-33.* 8. Jean-Francois Peyrucat. *Mesures de debit: ne vous laissez pas abuser // Mesures, le magazine de l'instrumentation de l'automatisation et des systemes. 12 novembre 1990, Numero 628. P.31-39.* 9. *Guid to flow measuremen // I&CS. Instrument and control system, February, 1990. P. 59-62.* 10. *Model 8800 Smart Vortex Flowmeter. Product Data Sheet PDS 4003 // Rosemount Inc., August 1993.* 11. *Natural gas, Transit Time Flowmeter & Molecular Weight Analyser. Model 7068. Panametrics Inc.*