

УДК 621.317

Й. Й. Білінський, д. т. н., проф.; М. О. Стасюк; М. В. Гладішевський
АНАЛІЗ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ ВИТРАТ РІДКИХ І
ГАЗОПОДІБНИХ СЕРЕДОВИЩ ТА ЇХНЯ КЛАСИФІКАЦІЯ

У статті проаналізовано основні методи та засоби контролю витрат рідких і газоподібних середовищ, розроблено їхню класифікацію. Це дозволяє виконати вибір витратоміра, який відповідав би індивідуальним вимогам.

Ключові слова: витратомір, контроль витрат, класифікація, динамічний діапазон, надійність, точність вимірювання, рухомі частини.

Вступ

Через щоденне зростання цін на різні види енергії важливим завданням сьогодення є максимально точний контроль витрат рідких і газоподібних середовищ.

Газ в Україні та інших країнах СНГ – основний енергоносіє, який є джерелом інших видів енергії – електричної та теплової. Крім того, газ – це товар і предмет комерційних угод між компанією, яка добуває, газотранспортними компаніями і кінцевими споживачами.

Основною проблемою комерційних відносин при поставках плинних і газоподібних середовищ є дисбаланс, що виникає під час фізичного обліку від постачальника до споживача. Загальними чинниками, що визначають виникнення цього дисбалансу, є похибки у вимірюванні об'єму речовини, відсутність достовірного обліку через невисоку точність і обмежений діапазон лічильників, несправності вузлів обліку [1]. Для уникнення такого дисбалансу необхідно вибрати витратомір, який має всі необхідні характеристики для забезпечення точного вимірювання витрат.

Контроль витрат рідких і газоподібних середовищ є важливим для металургії, харчової промисловості, будівництва, біохімії, виробництва збагачення руди та інших галузей промисловості.

Метою роботи є аналіз методів і засобів контролю витрат рідких і газоподібних середовищ та розробка класифікації на їхній основі.

Основна частина

На сьогодні існує величезна кількість витратомірів, які використовують для комерційного і технологічного контролю потоків рідин, газу та пари. На основі проведеного аналізу методів контролю витрати речовини [2 – 34] та вже наявної класифікації [35] запропоновано нову, удосконалену класифікацію (рис. 1), в основу якої покладено чотири основні класифікаційні ознаки, а саме: за вимірюваною величиною витрат, за фізичним явищем, за принципом роботи, за ефектами, що лежать в основі роботи та особливістю конструкції.

Витрата речовини – це кількість речовини (рідини або газу), яка протікає через поперечний переріз трубопроводу за одиницю часу. Розрізняють об'ємну витрату Q_V , яку вимірюють в одиницях об'єму за одиницю часу, і масову витрату Q_M , відповідно:

$$Q_V = V / t; \quad (1)$$

$$Q_M = M / t, \quad (2)$$

де V – об'єм рідини або газу, які пройшли через січення труби за час t ; M – маса рідини або газу, які пройшли через поперечний переріз труби за час t [2].

Отже, за вимірюваною величиною розрізняють об'ємні та масові витратоміри.

За фізичними явищами, що покладені в роботу, витратоміри об'єму поділяють на механічні, механіки рідин і газів, електродинамічні, хвильові, а масові лічильники – на теплові і механічні.

Згідно з принципом роботи до об'ємних механічних витратомірів належать тахометричні і осцилювальні витратоміри, а до масових механічних – інерційні.

За ефектами, що використовують, у тахометричних витратомірах можна виділити основні три групи: камерні (інші назви: діафрагмові або мембранні), турбінні і шарові [3]. Найчастіше використовують перші два види.

Камерні витратоміри призначені для вимірювання витрат прозорих рідин у замкнутих трубопроводах [4]. Принцип роботи таких лічильників ґрунтується на різниці тисків, що є наслідком закону збереження енергії, згідно з яким звуження каналу проходження потоку речовини спричиняє збільшення швидкості потоку, а отже, і збільшення кінетичної енергії. Це зумовлює падіння тиску речовини в найвужчій частині такого каналу, оскільки кінетична енергія збільшується за рахунок енергії тиску. При цьому відбувається переміщення рухомих перегородок вимірювальних камер під тиском досліджуваного газу. Залежність між падінням тиску і витратою описують:

$$Q = K\sqrt{\Delta P}, \quad (3)$$

де Q – витрата речовини; K – константа для цього приладу; ΔP – різниця тисків на кінцях звуження (це значення залежить від діаметру каналу звуження) [5].

Камерні витратоміри характеризують такі переваги:

- 1) можливість використання на (в) трубах із великим діаметром;
- 2) не потребують значних затрат під час монтажу;
- 3) перевірені часом, забезпечують надійну роботу протягом багатьох років;
- 4) економічний вид обліку за невеликих коливань витрат;
- 5) відсутність рухомих компонентів;
- 6) місце установки, монтажне положення і напрямок потоку не впливають на їх роботу [6].

До недоліків вищеописаних витратомірів належать:

- 1) динамічний діапазон, обмежений значенням 4:1 або 5:1;
- 2) можливе блокування системи через вигинання діафрагми від гідравлічного удару;
- 3) установочна довжина вимірювальної системи може мати велике значення;
- 4) через ерозію може змінюватися геометрія кромки отвору, що знижує точність всієї системи [7].

Виробниками камерних витратомірів є відомі міжнародні компанії: ООО «АППЭК» (компактний витратомір OriMaster, Росія), Mescon (витратомір FON4, Німеччина), Siemens (Німеччина), PietroFiorentini (Італія).

Турбінні витратоміри працюють за принципом лічильників із крильчаткою Вольдмана, тобто реєструють об'єм, що проходить через поперечний переріз, використовуючи при цьому середню швидкість потоку [8].

Такі витратоміри переважно застосовують на підприємствах з дуже високим споживанням природного газу, а також на магістралях із відносно високим тиском. Сучасний лічильний механізм турбінного витратоміра – це своєрідна комп'ютерна міні-система. Вона не лише підраховує імпульси й переводить їх у цифровий еквівалент, а й слідкує за правильністю роботи лічильника, сигналізує про несанкціоноване втручання в його роботу. Останнім часом такі механізми оснащують модемами, завдяки яким усі показання напряму передають на сервери служб підтримки [6].

На турбінних лічильниках необхідно періодично контролювати зміну перепаду тиску. Допустиме значення перепаду тиску на лічильнику для конкретних робочих умов розраховують

за формулою:

$$\Delta P = \Delta P_p \left(\frac{\rho_c \cdot P}{\rho_{cp} \cdot P_p} \right) \cdot \left(\frac{Q}{Q_p} \right)^2, \quad (4)$$

де ΔP_p – перепад тиску на лічильнику, регламентований у технічній документації, Па; P – тиск газу (абсолютний) за конкретних робочих умов, МПа; P_p – значення тиску газу за стандартних умов, для яких регламентовані втрати тиску; ρ_c – значення густини газу за стандартних умов; ρ_{cp} – значення густини газу за стандартних умов, для яких регламентовані втрати тиску; Q – витрата газу за конкретних робочих умов, м³/год; Q_p – витрата газу, для якої регламентовані втрати тиску, м³/год [9].

Оскільки турбінний витратомір складається із декількох рухомих деталей, необхідно враховувати такі чинники:

- 1) змащувальні властивості середовища;
- 2) зміну стану й розмірів лопатей;
- 3) знос підшипників і тертя;
- 4) температуру, тиск і в'язкість вимірюваного середовища;
- 5) падіння тиску на витратомірі;
- 6) профіль швидкості на вході й ефекти завихрень.

Саме через ці чинники необхідно виконувати калібрування й перевірку турбінних лічильників у робочих умовах.

До основних переваг цих витратомірів належать:

- 1) відмінна точність ($\pm 0,5\%$ від фактичного значення);
- 2) максимальний динамічний діапазон до 10:1;
- 3) витратоміри із байпасними каналами відносно дешеві [7];
- 4) енергонезалежність;
- 5) низький рівень шуму [10].

Турбінні лічильники чутливі до спотворень потоку на вході і на виході витратоміра, хоча сучасні вимоги до довжин прямих ділянок до і після пристрою є мінімальними і складають, відповідно, 2 і 1 діаметри умовного проходу витратоміра. Також до недоліків належить підвищена похибка під час вимірювання потоків газу, що пульсують.

Рекомендують обирати витратоміри тих типів, у яких лічильник температури й отвір для відбору тисків розміщені в корпусі. Не бажано встановлювати лічильники на ділянках, де можливе накопичення конденсату [11].

Серед виробників турбінних витратомірів відомі компанії «Elster Instromet», «КОНВЕЛС Автоматизация» (Росія), «Advantek Engineering» (США), «Cameron» (США), «Actaris» (Росія).

Осцилювальні витратоміри поділяють на вихрові лічильники і лічильники, що використовують ефект Коанда. Найпоширенішими витратомірами цього класу є вихрові, які застосовують на масштабних підприємствах, де відбувається споживання значної кількості природного газу. Як і на турбінних витратомірах, лічильний механізм вихрового витратоміра являє собою комп'ютерну міні-систему. Важливою перевагою цієї системи є нечутливість до пневмоударів і можливість роботи на забруднених газах [6].

У задній частині тіла особливої форми, яке обтікає потік середовища, утворюються завихрення. Ці завихрення утворюють так звану доріжку Кармана. Зрив завихрень з тіла, яке обтікає, можна виявити й розрахувати. У деякому діапазоні їхня кількість пропорційна витраті, що дозволяє виміряти швидкість руху середовища [12].

Частота утворення вихрів і швидкість середовища мають майже лінійну залежність, яку визначають:

$$f = S_t \cdot (v/d), \quad (5)$$

де f – частота виникнення вихрів; S_t – число Струхалія, яке визначають експериментально; v – швидкість потоку середовища; d – ширина тіла обтікання [12].

Частота утворення завихрень не змінюється під час зміни густини середовища [13].

До переваг вихрових витратомірів належать:

- 1) досить великий динамічний діапазон;
- 2) малий опір потоку;
- 3) відсутність рухливих деталей;
- 4) лінійний вихідний сигнал;
- 5) невелика втрата тиску;
- 6) простота й надійність в експлуатації, оскільки п'єзодатчики не контактують із середовищем [12].

Недоліками вихрових лічильників є:

- 1) можливий вплив вібрації на точність вимірювань;
- 2) значну роль відіграє правильна установка;
- 3) максимальні витрати відповідають швидкості потоку 80 або 100 м/с;
- 4) недостатня стабільність коефіцієнта перетворення в необхідному діапазоні, що практично не дозволяє рекомендувати пристрої цього типу для комерційного обліку газу без попереднього калібрування в умовах експлуатації;
- 5) необхідно передбачити прямі ділянки труби до і після витратоміра без перешкод [14].

Відома фірма-виробник «Endress+Hauser» ProlineProwirl [15]. Іншими виробниками таких витратомірів є ИПФ «Сибнефтеавтоматика» (Росія), «Emerson» (витратоміри Rosemount, США), корпорація «YokogawaElectric Corporation» (витратоміри YEWFL0, Японія).

Об'ємні витратоміри механіки рідин і газів за принципом дії поділяють на лічильники з тілом обтікання та манометричні. До витратомірів з тілом обтікання належать поршневі та ротаційні.

Ротаційний витратомір – це один з перших типів газових лічильників, які почали використовувати для підрахунку витрати газу. Ці витратоміри загалом використовують на підприємствах, де споживання природного газу не перевищує 200 кубометрів за годину [6]. Принцип роботи таких витратомірів ґрунтується на обертанні двох співвісно розташованих роторів під впливом потоку газу. Відліковий пристрій показує кількість газу (m^3), яка пройшла через лічильник за робочого тиску P і температури T . Перерахунок в об'ємні одиниці, V_H , до умов за ГОСТ 2939 проводять за формулою:

$$V_H = V_p \frac{P \cdot T_H}{T \cdot K \cdot P_H}, \quad (6)$$

де V_p – різниця показань лічильника за період вимірювання, m^3 ; P – абсолютний тиск газу, МПа; T – абсолютна температура газу, К; K – коефіцієнт стиснення газу; $P_H = 0,101325$ МПа і $T_H = 293,15$ К – відповідно стандартні тиск і температура за ГОСТ 2939 [16].

Такий витратомір є довговічним, має високою пропускну здатністю за відносно невеликих розмірів і маси, витримує перенавантаження, автоматичний перерахунок об'єму газу проводять за допомогою коректорів (обчислювачів) [17].

Незважаючи на вищенаведені переваги, ротаційний витратомір має низку недоліків, до яких відносять висока вартість. Вимірювальна система лічильника потребує ретельної підгонки всіх деталей і не здатна працювати із забрудненим газом [15].

Серед виробників ротаційних витратомірів виділяють бельгійську фірму «Instromet International», НПП «Овен-Урал» і ООО ЭПО «Сигнал» (Росія), підприємство «Actaris» і компанію «Elster Instromet» (Німеччина).

До манометричних витратомірів належать лічильники на основі гідравлічних опорів, звужувальних пристроїв. Також великою групою манометричних витратомірів є струменеві, відцентрові лічильники й осереднена напірна трубка.

Струменеві лічильники знайшли широке застосування в теплоенергетиці, медицині, паливній і хімічній промисловості, їх також використовують для комерційного й технологічного контролю потоків рідин, газу та пари.

Струменеві витратоміри дозволяють вимірювати невелику витрату газу, оскільки мають низький поріг чутливості [17]. Принцип роботи полягає у вимірюванні частоти перемикання струменевого автогенератора (САГ), що пропорційна швидкості витрат газу. Частота коливань потоку пропорційна витраті через сопло САГ:

$$f = Sh \cdot \frac{q}{l \cdot b \cdot h}, \quad (7)$$

де Sh – число Струхалія; l, b, h – характерні розміри, відповідно – довжина камери, ширина і глибина сопла струменевого елемента.

Відповідно до формули витрати

$$q = \mu \cdot h \cdot b \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}} \quad (8)$$

отримуємо, що частота коливань потоку САГ пропорційна перепаду тиску на струменевому елементі (швидкості потоку через нього) і густині середовища [19]:

$$f = Sh \cdot \frac{\mu}{l} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}}. \quad (9)$$

Отже, цей метод подібний до вихрового із тілом обтікання, тому що в обох випадках забезпечується створення аеродинамічного генератора коливань.

Залежно від форми струменя, а отже, і принципу функціонування, ці витратоміри у свою чергу поділяють ще на три групи:

1. Витратоміри з осцилювальним струменем (різновид вихрових витратомірів). Як і у вихровому методі, тут використовують принцип створення аеродинамічного генератора коливань із частотою, пропорційною витраті газу [17, 19]. Витратоміри цієї групи, окрім спільних недоліків із вихровими лічильниками, мають також надзвичайно великі розміри струменевого елемента щодо величини вимірюваної витрати й нестабільним коефіцієнтом перетворення.
2. Ударно-струменеві витратоміри. Ці витратоміри вимірюють залежний від витрати перепад тиску, що виникає під час удару струменя рідини або газу. Такі лічильники використовують лише для вимірювання малих витрат.
3. Витратоміри із відхиленням струменя, який витікає. Принцип дії полягає в залежності перепаду тиску від вимірюваної швидкості газу, що виникає за відхилення струменя допоміжного газу або рідини [19].

Виробниками струйних витратомірів є російські компанії «Газовик», ООО «Глобус», ГК «Промприбор», «ТБН енергосервис».

До стандартних звужувальних пристроїв належать діафрагми, сопла й труби Вентурі. Перевагами такого методу є: можливість реалізації методу без використання складних мікропроцесорних пристроїв, вимірювання витрати за малих швидкостей протікання рідини або газів (0,1...0,5 м/с) і висока стійкість до забрудненого вимірюваного середовища.

Недоліками таких пристроїв є:

- 1) висока трудомісткість монтажу;
- 2) невисока точність за невеликого діапазону вимірювання витрати (1:3);

3) значна втрата тиску на звужувальних пристроях, що у свою чергу призводить до додаткових затрат на роботу насосів [20].

Саме тому було доцільним введення нового методу «площа-швидкість» із використанням осередненої напірної трубки.

Цей прилад створює перепад тисків пропорційно квадрату швидкості потоку згідно з теоремою Бернуллі: сума енергій у будь-якій точці труби є сумою статичної (тиск, що створює речовина у всіх напрямках); кінетичної (швидкість речовини) і потенційної енергії (гравітаційний складник). У такому випадку теорему Бернуллі записують:

$$\frac{v_1}{2g} + \frac{p_1}{\rho} = \frac{v_2}{2g} + \frac{p_2}{\rho}, \quad (10)$$

де v – швидкість потоку; g – гравітаційна стала; p – тиск; ρ – густина речовини [21].

Осереднену напірну трубку використовують більш, ніж у мільйоні витратомірних вузлів і в трубах з великим діаметром. Це зумовлено стабільною і точною роботою з гарною повторюваністю результату. Також прилад має суттєві переваги над традиційними звужувальними діафрагмами завдяки простоті установки й низьким втратам тиску.

Недоліками витратомірів змінного перепаду тиску є низька точність їхнього застосування під час вимірювання малих витрат у трубах невеликого діаметра (менше 50 мм) і пульсувальних потоків [21].

Промисловий випуск осереднених напірних трубок налагоджений деякими зарубіжними фірмами. Наприклад, фірму США Hapejwell (австрійська філія) випускає витратоміри з напірними трубками типу Annubar.

Об'ємні електродинамічні витратоміри поділяють на іонізаційні, магнітні та електромагнітні витратоміри.

Принцип дії іонізаційних витратомірів полягає у вимірюванні інтенсивності випромінювання, направлено поперек потоку. Для зменшення похибки від мінливості джерела випромінювання переважно використовують диференційні перетворювачі з двома приймачами іонізаційного потоку (або ультразвукового випромінювання) [22].

До недоліків таких витратомірів належать: вплив параметрів газу, температури і тиску на величину іонізації. Усунення цих чинників значно ускладнює конструкцію імпульсних і чутливих елементів. Крім того, іонізаційні лічильники не можуть застосовувати для вимірювання витрати сильно іонізованих і розпечених газів [23].

Розробником іонізаційних витратомірів є ООО «Прамень».

Принцип дії магнітно-індуктивних витратомірів ґрунтується на вимірюванні пропорційній витраті електрорушійної сили, що індукована в потоці електропровідної речовини під дією зовнішнього магнітного поля (закон Фарадея). Згідно з цим законом для будь-якого замкнутого контуру індукована електрорушійна сила (ЕРС) пропорційна швидкості зміні магнітного потоку що проходить через цей контур.

Головною перевагою таких лічильників є те, що первинні перетворювачі не мають частин, які виступають всередину трубопроводу), а ізоляційні та антикорозійні покриття дозволяють вимірювати витрати агресивних і абразійних середовищ [24].

Недоліком магнітно-індуктивних витратомірів із постійним магнітом є поляризація чутливих елементів, яка призводить до зміни опору перетворювача. Це призводить до появи додаткових похибок. Крім цього, витратоміри чутливі до неоднорідностей потоку, турбулентності й нерівномірності розподілення швидкостей потоку в поперечному перерізі каналу.

Незважаючи на недоліки магнітно-індуктивні витратоміри знайшли широке використання в металургії, харчовій промисловості, у будівництві, біохімії, виробництві збагачення руди, у медицині, оскільки вони мають малу інерційність порівняно із витратомірами інших типів

[25].

Виробниками є: «Krohne», «Siemens», «Honeywell» (США).

Сьогодні набув популярності ще один метод вимірювання витрати – ультразвуковий. Він полягає в залежності часу розповсюдження ультразвукових коливань через потік газу в трубопроводі заданого діаметра [26].

Різниця часу $\Delta\tau$ прямо пропорційна швидкості потоку V :

$$\Delta\tau = \frac{2L}{c^2}v, \quad (11)$$

де c – швидкість звуку в середовищі; L – відстань проходження ультразвукових коливань [27].

В ультразвуковому лічильнику розташовані пари первинних перетворювачів. Наявність декількох пар дозволяє отримувати більш точні значення витрати. Кожен із датчиків здатен приймати й передавати сигнал. Вимірювання часу проходження сигналу між кожною парою відбувається одночасно. Сигнал генерують п'єзоелектричні кристали, до яких прикладено напругу, і навпаки, коли ультразвукова хвиля вдаряється об кристал, на кристалі виникає напруга. Збільшуючи кількість пар датчиків, можна точно визначити й математично компенсувати спотворення профілю потоку у всьому поперечному перерізі труби. Коли в трубі відсутній рух речовини, час передачі сигналу однаковий за течією і проти течії. Як тільки речовина починає текти по вимірювальній трубці, швидкість звукових сигналів збільшується в тому напрямку, у якому тече рідина, і зменшується в протилежному напрямку [29].

Ультразвукові витратоміри у свою чергу поділяють на:

- 1) частотні витратоміри, у яких вимірюють різницю частот повторення коротких імпульсів чи пакетів ультразвукових коливань;
- 2) фазові витратоміри, у яких вимірюють різницю фазових зсувів ультразвукових коливань;
- 3) часово-імпульсні витратоміри, у яких відбувається безпосереднє вимірювання різниці часу проходження коротких імпульсів [27];
- 4) резонансні витратоміри;
- 5) одноканальні (з двома п'єзоелементами);
- 6) двоканальні (наявні чотири п'єзоелементи);
- 7) багатоканальні [29].

Ультразвукові витратоміри є найперспективнішими для комерційного обліку, оскільки мають низку переваг:

- 1) відсутність рухомих частин і частин, що виступають у потік;
- 2) не створюють додаткових втрат напору;
- 3) упродовж тривалого часу можуть працювати від вбудованого автономного джерела живлення;
- 4) точність може калібруватися до $<0,1\%$;
- 5) вимірювання є відносно точними, навіть коли датчик виходить із ладу [30].

В інших первинних вимірювальних пристроях, таких як турбінні витратоміри, важко зрозуміти: чи дійсно вони все ще точно працюють після деякого періоду експлуатації. Такий чинник як забруднення від масла трубопроводу може вплинути на точність будь-якого датчика. Часто є необхідним візуальний огляд для перевірки належної роботи вимірювального пристрою. Для ультразвукових лічильників пропонують електронну діагностику, яка допомагає перевірити належний робочий стан і тим самим знижує внутрішнє втручання, яке часто потрібне для інших вимірювальних пристроїв. Внутрішню діагностику можна також використовувати для перевірки інших показників вимірювальної

конструкції, таких як: температура і газ [28].

Незважаючи на очевидні переваги ультразвукових лічильників, існують такі недоліки методу:

- 1) обмеження за мінімальною швидкістю потоку;
- 2) складність і висока вартість пристроїв, яка за інших рівних умов у 3 – 4 рази перевищує вартість тахометричних і електромагнітних витратомірів;
- 3) вплив на покази бульбашок повітря в потоці;
- 4) необхідність значних довжин лінійних ділянок до і після перетворювача [31].

На сьогодні існує величезна кількість компаній, які займаються розробкою ультразвукових витратомірів: «Krohne» (серія UFM, GFM, Altosonic), «Emerson» (Senior Sonic, Junior Sonic), «Sick Mahack» (США).

Ще одним класом вимірювання витрати газу є масові витратоміри, серед яких теплові і механічні витратоміри. До теплових належать калориметричні і термоанемометричні витратоміри, а до механічних – інерційні лічильники.

Каріюлісові витратоміри разом із турбосиловими і гігроскопічними належать до інерційних лічильників. У середині кожного каріюлісового витратоміра розташована трубка (наприклад, фірма Yokogawa пропонує розв'язок із двома трубками) [32]. Так званий збудник змушує трубку коливатися з певною тактовою частотою. Якщо в трубі відсутній рух вимірюваного середовища – вона коливається рівномірно.

Датчики, розташовані на вході і на виході з трубки реєструють ці рівномірні коливання. Як тільки вимірюване середовище починає переміщатися в трубі, з'являються додаткові подовжні коливання. Під дією сили Каріюліса вхідна і вихідна частини труби відхиляються в різні боки, тобто присутнє зміщення по фазі [33]. Високочутливі датчики сприймають ці коливання. Як результат, зміщення по фазі і є мірою витрати речовини. Чим вища швидкість потоку, тим більше періодів коливань укладається на вимірювальну ділянку [34].

Ця група витратомірів має високу точність і надійність, напрям руху потоку не впливає на роботу приладу, а за правильного встановлення каріюлісові витратоміри не чутливі до вібрацій і перепадів температури.

Такі витратоміри придатні лише для трубопроводів з невеликим діаметром, а їхні показання залежать від відкладень шлаків у трубах.

Серед виробників каріюлісових витратомірів компанія «Emerson» і ГК «Endress+Hauser» (Швейцарія).

Висновки

Одним із найважливіших завдань сучасної енергетики є забезпечення максимально точного контролю витрати рідких і газоподібних середовищ. На сьогодні існує безліч методів вимірювання витрати. Кожен із лічильників має свої переваги та недоліки, згідно з якими знаходить своє застосування в промисловості. Зважаючи на вищезазначене, у роботі проаналізовано сучасні методи вимірювання витрати й запропоновано їхню класифікацію. Встановлено, що завдяки своєму широкому динамічному діапазону, надійній роботі, високій точності і зручній діагностиці найперспективнішим методом є ультразвуковий. Незважаючи на свої очевидні переваги, ультразвукові витратоміри є досить вартісними, а підвищення кількості каналів значно ускладнює програмну реалізацію обробки інформації.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ряховский С. В. Основные принципы создания единой системы учета газа в региональной компании поставщика газа / С. В. Ряховский, Л. Г. Паскаль // Энергосбережение. – 2005. – № 10. – С. 54 – 58.
2. Тюленев Л. Н. Методы и средства измерений, испытаний и контроля / Л. Н. Тюленев, В. В. Шушерин, А. Ю. Кузнецов; под ред. С. В. Кортов. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ УПИ, 2005. – 76 с.
3. ЭлектроТехИнфо: информационная торговая система [Электронный ресурс]: Тахометрические счетчики и

расходомеры. Устройство, принцип действия, типы и виды тахометрических счетчиков и расходомеров. – Режим доступа: http://www.eti.su/articles/izmeritelnaya-tehnika/izmeritelnaya-tehnika_527.html. – Назва з екрану.

4. MESKOTEX MESS- UND KONTROLLTECHNIK [Електронний ресурс]: Диафрагменные расходомеры. – Режим доступа: <http://www.meskotex.com/diaphragm.htm>. – Назва з екрану.

5. DS/OM–RU Редакция 2 [Електронний ресурс]: Компактный диафрагменный расходомер OriMaster. Техническое описание. – Режим доступа: [http://www05.abb.com/global/scot/scot203.nsf/veritydisplay/0b3b45a281a88c9bc12575a80037b487/\\$file/ds_om-ru_2.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot203.nsf/veritydisplay/0b3b45a281a88c9bc12575a80037b487/$file/ds_om-ru_2.pdf). – Назва з екрану.

6. To build [Електронний ресурс]: Виды газовых счётчиков: мембранные, ротационные, турбинные счётчики. Вихревой расходомер. – Режим доступа: <http://gas.to-build.ru/content/view/56/44/>. – Назва з екрану.

7. LICON [Електронний ресурс]: Типы расходомеров. – Режим доступа: http://eclicon.ru/?page_id=1450. – Назва з екрану.

8. MESKOTEX MESS- UND KONTROLLTECHNIK [Електронний ресурс]: Турбинные расходомеры. – Режим доступа: <http://www.meskotex.com/hm.htm>. – Назва з екрану.

9. Правила метрологии ПР 50.2.019-2006 «Методика выполнения измерений при помощи турбинных, ротационных и вихревых счетчиков» / ред. В. Н. Копысов. – М. : ФГУП «Стандартинформ», 2007. – 33 с.

10. Журнал «Энергетика и ТЭК» [Електронний ресурс]: Расходомеры: принципы работы и опыт эксплуатации. – Режим доступа: http://www.energetika.by/arch/~page__m21=6~news__m21=140. – Назва з екрану

11. Газовик [Електронний ресурс]: Турбинные счетчики газа. – Режим доступа: <http://gazovik-gaz.ru/spravochnik/consum/turbinnyie-schetchiki-gaza.html>. – Назва з екрану.

12. YOKOGAWA [Електронний ресурс]: Вихревой расходомер, вихревой расходомер – принцип действия. – Режим доступа: <http://www.yokogawa.ru/measurementcharge?prod=443>. – Назва з екрану.

13. Технический паспорт D184S035U03 Rev. 12 [Електронний ресурс]: 2-проводное компактное устройство. Измерительный преобразователь на базе цифрового сигнального процессора. – Режим доступа: [http://www05.abb.com/global/scot/scot211.nsf/veritydisplay/53187d45f8a21695c1257950003daaec/\\$file/D184S035U03-RU-12-11_2011.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot211.nsf/veritydisplay/53187d45f8a21695c1257950003daaec/$file/D184S035U03-RU-12-11_2011.pdf). – Назва з екрану.

14. Руководство по эксплуатации 00809-0107-4860 [Електронний ресурс]: Расходомеры вихревые Rosemount 8600D. – Режим доступа: <http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Rosemount%20Documents/00809-0107-4860.pdf>. – Назва з екрану.

15. Научно-производственная фирма "Раско" [Електронний ресурс]: О применимости различных методов измерения расхода для коммерческого учета газа. – Режим доступа: <http://www.packo.ru/node/1763>. – Назва з екрану.

16. Руководство по эксплуатации 2.784.000 РЭ [Електронний ресурс]: СЧЁТЧИК ГАЗА РОТАЦИОННЫЙ РГ-К-Ех. – Режим доступа: http://www.ppx.ru/product/re_rgk.pdf. – Назва з екрану.

17. ПРАМЕНЬ [Електронний ресурс]: Струйные расходомеры. – Режим доступа: <http://npropramen.ru/information/other-flowmeters/specific-methods/3-jet-flowmeters>. – Назва з екрану.

18. Научно-производственная фирма "Раско" [Електронний ресурс]: О применении струйного автогенераторного метода измерения в бытовых счетчиках газа и поверочных установках. – Режим доступа: <http://www.packo.ru/node/2151>. – Назва з екрану.

19. Чаплыгин Э. И. Математическая модель струйного расходомера. / Э. И. Чаплыгин, Ю. В. Земсков, В. В. Корзин // Журнал технической физики. – 2004. – т. 74. – № 4. – С. 16 – 19.

20. Измерение расхода с использованием осредняющих напорных трубок [Електронний ресурс] / В. Н. Жук // Энергетика и ТЭК. – 2010. – № 2. http://www.energetika.by/arch/~year__m21=2010~month__m21=2~page__m21=1~news__m21=568.

21. ETS [Електронний ресурс]: Основные принципы измерения расхода газа с помощью осредняющей напорной трубки. – Режим доступа: <http://www.ets.inf.ua/PDF/Intra/%D0%9E%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BD%D1%8B%D0%B5%20%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%BD%D1%86%D0%B8%D0%BF%D1%8B%20%D0%B8%D0%B7%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F%20%D1%80%D0%B0%D1%81%D1%85%D0%BE%D0%B4%D0%B0%20ITAVAR-%D0%B7%D0%BE%D0%BD%D0%B4.pdf>. – Назва з екрану.

22. Автоматизация производственных процессов [Електронний ресурс]: Ионизационные расходомеры. – Режим доступа: <http://ru-auto.info/post/101488904990008/>. – Назва з екрану.

23. Мегапаскаль – инфопортал [Електронний ресурс]: Ионизационные расходомеры. – Режим доступа: <http://megapaskal.ru/pribory/rashod-pribor/228-i-snova-rashodomery-rashodomery-ionizacionnye.html>. – Назва з екрану.

24. Прамень [Електронний ресурс]: Электромагнитные расходомеры. – Режим доступа:

<http://npropramen.ru/information/other-flowmeters/physycal-phenomena/12-electromagnetic-flowmeters>. – Назва з екрану.

25. Расходомер.ру. [Електронний ресурс]: Что такое электромагнитный расходомер?!. – Режим доступу: http://www.td-rashodomer.ru/info/articles/elektromagnitnii_rashodomer.htm. – Назва з екрану.

26. Новый способ измерения расхода природного газа ультразвуковым методом [Електронний ресурс] / А. М. Деревягин, А. С. Фомин, В. В. Козлов // Газпром Россия. – 2008. – Режим доступу: <http://nprovumpel.ru/files/pdf/hyperflow-us.pdf>.

27. Андрішшин М. П. Вимірювання витрати та кількості газу: Довідник / М. П. Андрішшин. – Івано-Франківськ: ПП “Сімик”, 2004. – 160 с.

28. American school of gas measurment technology [Електронний ресурс]: Fundamentals of multipath ultrasonic flow meters for gas measurement. – Режим доступу: <http://asgmt.com/wp-content/uploads/pdf-docs/2011/1/F05.pdf>. – Назва з екрану.

29. Взлет.ру. [Електронний ресурс]: От однолучевых ультразвуковых расходомеров к многолучевым: критерий выбора. – Режим доступу: <http://www.vzljet.ru/files/publications/odnoluch-ultrasonic.pdf>. – Назва з екрану.

30. Chattopadhyay P. Flowmeters & Flow Measurement Ч. 2. / P. Chattopadhyay. – New Delhi, 2006. – 76 с.

31. Электротехинфо. [Електронний ресурс]: Ультразвуковые расходомеры. Устройство, принцип действия, типы и виды ультразвуковых расходомеров. – Режим доступу: http://www.eti.su/articles/izmeritelnaya-tehnika/izmeritelnaya-tehnika_529.html. – Назва з екрану.

32. YOKOGAWA. [Електронний ресурс]: Измерения расхода с помощью кориолисовых расходомеров в случае двухфазного потока. – Режим доступу: <http://www.yokogawa.ru/default.aspx?mode=binary&id=502>. – Назва з екрану.

33. Естествознание и математика. [Електронний ресурс]: Сила кориолиса в общем курсе физики. – Режим доступу: http://www.pskgu.ru/projects/pgu/storage/wt/wt141/wt141_02.pdf. – Назва з екрану.

34. Autoworks. [Електронний ресурс]: Измерение массового расхода. Кориолисовый расходомер. – Режим доступу: <http://autoworks.com.ua/teoreticheskie-svedeniya/izmerenie-massovogo-rasxoda-koriolisovuj-rashodomer/>. – Назва з екрану.

35. Организация учета природного газа. Основные принципы, методы и средства обеспечения метрологической надежности узлов коммерческого учета газа [Електронний ресурс] / С. А. Золотаревский, О. Г. Гущин // Ежегодный сборник научно-технических статей, выпускаемый ООО “ЭЛЬСТЕР Газэлектроника”. – 2012. – Режим доступу: <http://www.packo.ru/node/2150>.

Білінський Йосип Йосипович – д. т. н., професор, завідувач кафедри електроніки.

Стасюк Марина Олексіївна – магістрант кафедри електроніки.

Вінницький національний технічний університет.

Гладишевський Микола Володимирович – провідний фахівець метрологічного центру.

НАК “Нафтогаз України”.