

DOI: 10.20535/1970.69(1).2025.331832

УДК 621.121

МЕТОДИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ЯКОСТІ ОБЛІКУ ПРИРОДНОГО ГАЗУ*Горжій І. В., Писарець А. В.**Національний технічний університет України**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна**E-mail: igor.vnz2016@gmail.com, anna.v@ukr.net*

Питання достовірного та надійного обліку природного газу є критично важливими в умовах трансформаційних процесів, що відбуваються в газотранспортній та газорозподільній системах нашої країни, які пов'язані зі зменшенням обсягів транспортування газу, занепадом промисловості, переходом споживачів на альтернативні енергоресурси та іншими структурними змінами в енергетичному секторі. Особливо актуальною ця проблема є для промислових підприємств та газорозподільних станцій (ГРС), де спостерігаються значні коливання витрат газу.

Зокрема, ГРС часто працює в режимах, які виходять за межі оптимальних діапазонів роботи стандартних засобів вимірювальної техніки. Тому традиційні вузли обліку газу (побудовані на застосуванні одного приладу вимірювання витрати за робочих умов) не завжди забезпечують необхідні діапазон та точність вимірювань у всьому діапазоні робочих витрат, що призводить до економічних втрат як постачальників, так і споживачів газу.

У зв'язку з цим актуальності набувають питання, пов'язані із застосуванням декількох вимірювальних ліній з різними діапазонами вимірювання та системою автоматичного перемикання діапазонів.

Авторами запропоновано структурний склад автоматизованого комплексу обліку природного газу, обґрунтовано вимоги до структурних елементів, розроблено алгоритм керування перемиканням діапазонів вимірювання ліній системи обліку природного газу, розглянуто можливі варіанти реалізації пристроїв перемикання діапазонів.

Важливим для забезпечення точності вимірювання і надійної роботи комплексу є вибір комбінації запірної арматури та приводу, що здійснюється з урахуванням робочих параметрів середовища, вимог до швидкодії, точності, безпеки експлуатації та економічної доцільності.

Перспективою подальшої роботи є проведення додаткових досліджень метрологічних характеристик автоматизованого комплексу, оптимізація алгоритмів перемикання діапазонів та розробка методики калібрування.

Ключові слова: природний газ; автоматизований комплекс; якість обліку; об'єм; витрата; діапазон вимірювання.

Вступ. Постановка проблеми

Питання достовірного та надійного обліку природного газу є критично важливими в умовах трансформаційних процесів, що відбуваються в газотранспортній та газорозподільній системах нашої країни, які пов'язані зі зменшенням обсягів транспортування газу, занепадом промисловості, переходом споживачів на альтернативні енергоресурси та іншими структурними змінами в енергетичному секторі. Особливо актуальною ця проблема є для промислових підприємств та газорозподільних станцій (ГРС), де спостерігаються значні коливання витрат газу, як у часі, так і за величиною [1].

Традиційні вузли обліку газу, організовані із застосуванням одного приладу вимірювання витрати за робочих умов, не завжди забезпечують необхідні діапазон і точність вимірювань у всьому діапазоні робочих витрат через технічні обмеження засобів вимірювальної техніки, що призводить

до економічних втрат як постачальників, так і споживачів газу [2].

Проблема обліку газу в умовах змінних витрат обумовлена тим, що кожен клас перетворювачів витрати має обмежений діапазон вимірювання, у якому нормується точність. При роботі вузла обліку поза межами нормованого діапазону цей показник суттєво знижується, що спричиняє виникнення значних похибок у комерційному обліку газу [3-5].

Сучасні вузли обліку природного газу базуються на принципах комерційного обліку, що регламентуються нормативними документами [2, 6, 7], і повинні відповідати таким вимогам:

- забезпечення високої точності вимірювань у всьому діапазоні робочих витрат;
- безперервність вимірювань та збереження результатів;
- автоматичне приведення об'єму газу до стандартних умов;

- мінімізація втрат тиску на вимірювальних елементах;
- резервування критичних елементів системи;
- забезпечення можливості дистанційного моніторингу та керування.

Основними елементами вузла обліку газу є первинні перетворювачі витрати (лічильники або витратоміри), тиску та температури, обчислювачі об'єму газу, а також система збору та передачі даних [2, 6, 7]. На промислових підприємствах та ГРС найбільшого поширення набули системи обліку, що ґрунтуються на застосуванні методів змінного перепаду тиску (із звужувальними пристроями, зазвичай – стандартна діафрагма), тахометричного (турбінні витратоміри та лічильники, роторні лічильники) та ультразвукового. Одним із основних недоліків традиційних вузлів обліку газу є обмеження діапазону вимірювання характеристиками витратоміра або лічильника, а також значне зниження точності вимірювань за витрат, близьких до мінімальної, що особливо критично для промислових підприємств із змінним характером споживання. Засоби вимірювальної техніки забезпечують нормовану точність лише в певному діапазоні витрат, зазначеному у технічній документації на прилад, що визначається співвідношенням мінімальної $Q_{\min}$ та максимальної $Q_{\max}$ витрат.

Для приладів різних класів діапазон вимірювання становить [3-5]:

- роторні лічильники – 1:30...1:200;
- турбінні лічильники – 1:20...1:30;
- ультразвукові лічильники – 1:100...1:200;
- метод змінного перепаду тиску із застосуванням стандартної діафрагми – 1:3...1:30.

При цьому реальний діапазон коливання витрати газу на промислових об'єктах може перевищувати вищевказані межі зміни витрати.

Тому актуальності набувають питання розширення діапазону вимірювання об'єму та об'ємної витрати газу.

Метою роботи є дослідження методів розширення діапазону вузлів обліку газу, аналіз їх метрологічних властивостей та розробка алгоритму функціонування автоматизованого комплексу обліку газу.

Аналіз сучасного стану проблеми

У витративимірювальній практиці розширення діапазону вимірюваних витрат здійснюється застосуванням структурних змін, які полягають у встановленні кількох вимірювальних приладів [9-11]. Такий підхід є основою для створення установок порівняння, що використовуються для метрологічного обслуговування приладів вимірювання витрати й кількості рідин. У такому разі властивості установки окреслюються структурою і характеристиками зразкового витратоміра, зокрема діапазоном вимірюваних витрат. У випадку

послідовної установки зразковий витратомір містить один або декілька послідовно встановлених первинних перетворювачів, які мають однаковий діапазон вимірювань і дублюють один одного; для паралельних установок – застосовується набір паралельно ввімкнених первинних перетворювачів, сума верхніх меж вимірювань яких утворює верхню межу вимірювань зразкового витратоміра, а номінальні діаметри окремих вимірювальних ліній є різними.

Паралельне та послідовне встановлення двох первинних перетворювачів витрати у одному корпусі є основою функціонування комбінованих лічильників води, які застосовуються для загально будинкового обліку, де залежно від зміни витрати облік здійснюється тим перетворювачем, який за цієї витрати забезпечує меншу похибку вимірювання, а перемикання між перетворювачами здійснюється вбудованим пружинним клапаном [11, 12].

У галузі метрологічного обслуговування приладів обліку природного газу також застосовуються повірочні установки із зразковими лічильниками [13], які утворюються набором паралельно ввімкнених еталонних первинних перетворювачів витрати з різними діапазонами вимірювань [10]. Встановлення вимірювальних перетворювачів витрати із застосуванням різних фізичних методів у складі комплексу вимірювання витрати і кількості природного газу запропоновано у роботі [14]. Застосування турбінного та ультразвукового перетворювачів витрати, розміщених на вимірювальній ділянці з просторовою геометричною формою, близькою до труби Вентурі, дозволило значно розширити діапазон вимірювання.

Концепція побудови автоматизованого комплексу обліку газу із розширеним діапазоном вимірювання

Для розширення діапазону вимірюваних витрат запропоновано схему із застосуванням кількох вимірювальних ліній, що містять вимірювальні прилади з різними номінальними діаметрами, оснащених пристроями перемикання діапазонів (ППД).

Запропонована структура комплексу обліку природного газу містить:

- три вимірювальні трубопроводи великого, середнього та малого номінальних діаметрів;
- первинні перетворювачі витрати ($PВ_1$, $PВ_2$ та $PВ_3$), що характеризуються певним діапазоном вимірювання у межах

$$Q_{\min 1} \div Q_{\max 1}, Q_{\min 2} \div Q_{\max 2} \text{ та } Q_{\min 3} \div Q_{\max 3}$$

відповідно, а також первинні перетворювачі температури ($ТО_1$, $ТО_2$ та $ТО_3$) та тиску ($ПТ_1$, $ПТ_2$ та $ПТ_3$);

- пристрої перемикання діапазонів ППД₁, ППД₂ та ППД₃, які представляють собою запірну арматуру з електроприводами та слу-

гують для перемикання потоку між вимірювальними лініями;

– обчислювач.

У такому разі паралельне встановлення трьох вимірювальних ліній з різними номінальними діаметрами та діапазонами вимірюваних витрат вимагає встановлення на вході комплексу додаткового витратоміра, за результатами вимірювань якого приймається рішення про вибір вимірювальної лінії. Така конфігурація

вимірювального комплексу не є прийнятною через високу вартість і недоцільність.

Тому авторами запропоновано іншу конфігурацію (рис. 1). Система включає в себе три вимірювальні лінії, при чому відгалуження з великої на середню та з середньої на малу відбувається після вузла вимірювання але до пристрою перемикання діапазону. Принцип роботи комплексу ґрунтується на автоматичному перемиканні між трьома вимірювальними лініями залежно від величини витрати газу активної лінії.

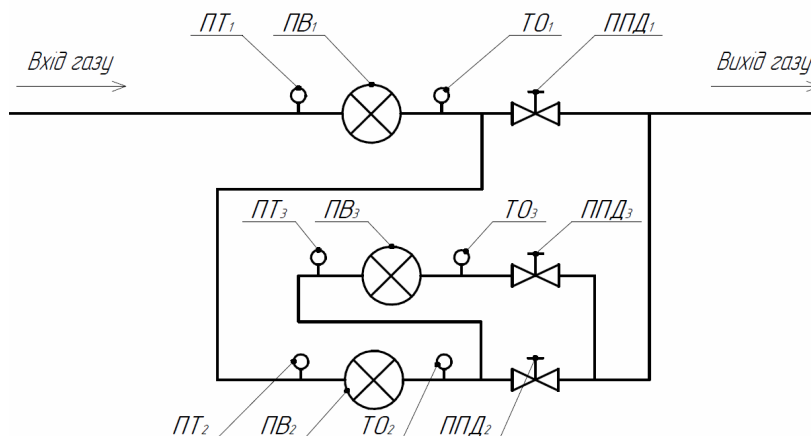


Рис. 1. До принципу дії комплексу обліку газу, де: ПВ – первинний перетворювач витрати; ТО – первинний перетворювач температури; ПТ – первинний перетворювач тиску; ППД – пристрій перемикання діапазону; індекси 1, 2, 3 відповідають номеру вимірювальної гілки

Функціонування комплексу здійснюється за наступним алгоритмом (рис. 2).

Первинний пуск газу відбувається трубопроводом ВТ₁.

ВТ₁:

Якщо згідно перетворювача ПВ₁ витрата знаходиться у межах

$$Q_{\min 1} < Q \leq Q_{\max 1},$$

то значення витрати розраховується згідно стандартних алгоритмів обчислювача з урахуванням вимірювальних даних перетворювачів ПВ₁, ТО₁ та ПТ₁. При цьому ППД₁, ППД₂, ППД₃ – у відкритому положенні.

Якщо згідно перетворювача ПВ₁ значення витрати $Q > Q_{\max 1}$ – спостерігається перевищення діапазону, фіксація аварії у архів обчислювача; значення витрати розраховується згідно стандартних алгоритмів обчислювача з урахуванням вимірювальних даних перетворювачів ПВ₁, ТО₁ та ПТ₁.

У випадку фіксації перетворювачем ПВ₁ значення витрати $Q < Q_{\min 1}$, обчислювач подає команду на закриття ППД₁ на ВТ₁. Після цього витрата розраховується згідно стандартних алгоритмів обчислювача з урахуванням вимірювальних даних перетворювачів ПВ₂, ТО₂

та ПТ₂; при цьому ППД₃ та ППД₂ – у відкритому положенні, а ППД₁ – у закритому положенні.

ВТ₂:

Якщо згідно перетворювача ПВ₂ значення витрати знаходиться в межах контрольованого діапазону

$$Q_{\min 2} < Q < Q_{\max 2},$$

то витрата розраховується згідно стандартних алгоритмів обчислювача з урахуванням вимірювальних даних перетворювачів ПВ₂, ТО₂ та ПТ₂; при цьому ППД₂ та ППД₃ – у відкритому положенні, а ППД₁ – у закритому положенні.

У випадку фіксації перетворювачем ПВ₂ значення витрати $Q \geq Q_{\max 2}$, обчислювач подає команду на відкриття ППД₁ на ВТ₁. Після цього витрата розраховується згідно стандартних алгоритмів обчислювача з урахуванням вимірювальних даних перетворювачів ПВ₁, ТО₁ та ПТ₁; при цьому ППД₁, ППД₂, ППД₃ – у відкритому положенні.

У випадку фіксації перетворювачем ПВ₂ значення витрати $Q < Q_{\min 2}$, обчислювач подає команду на закриття ППД₂ на ВТ₂. Після цього витрата розраховується згідно стандартних алгоритмів обчислювача з урахуванням вимірювальних даних перетворювачів ПВ₃, ТО₃ та ПТ₃; при цьому ППД₃ – у відкритому

положенні, ППД₁ та ППД₂ – у закритому положенні.

ВТ₃:

Якщо згідно перетворювача ПВ₃

$$Q_{\min 3} \leq Q < Q_{\max 3},$$

то витрата розраховується згідно стандартних алгоритмів обчислювача з урахуванням вимірювальних даних перетворювачів ПВ₃, ТО₃ та ПТ₃; при цьому ППД₃ – у відкритому положенні, ППД₁ та ППД₂ – у закритому положенні.

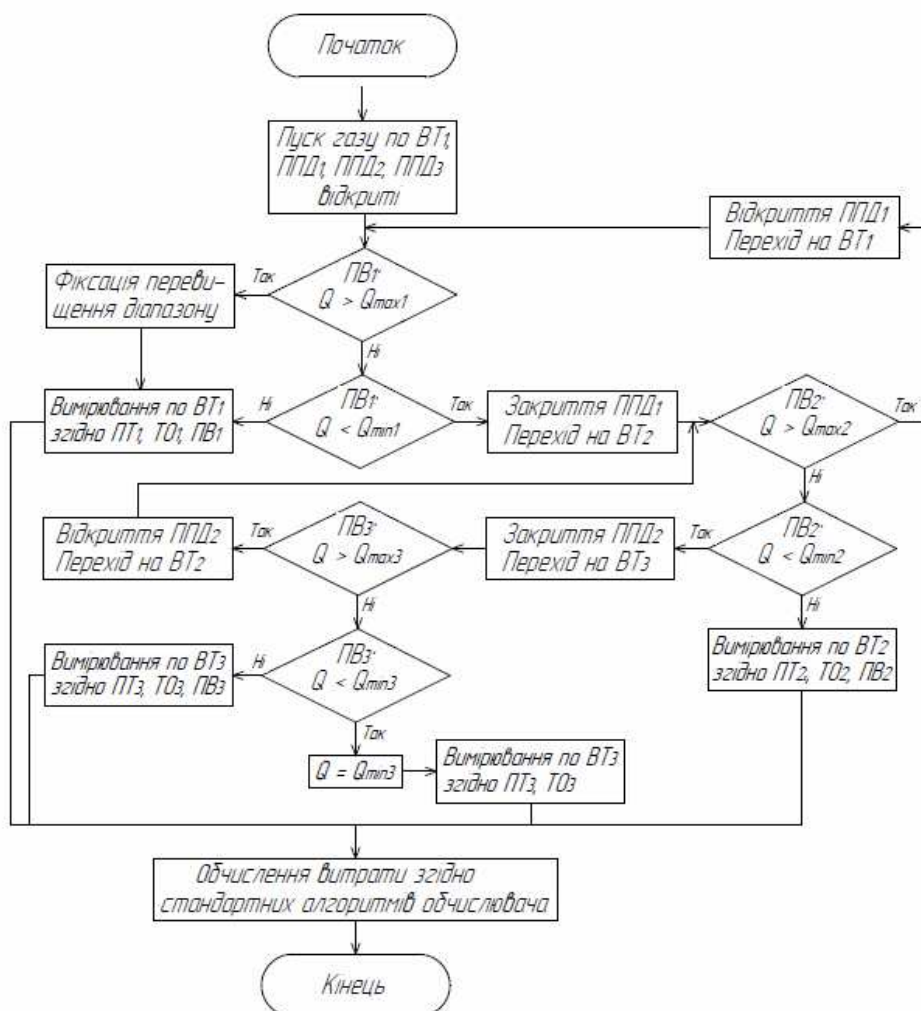


Рис. 2. Блок-схема алгоритму роботи комплексу

У випадку фіксації перетворювачем ПВ₃ значення витрати $Q \geq Q_{\max 3}$, обчислювач подає команду на відкриття ППД₂ на ВТ₂. Після цього витрата розраховується згідно стандартних алгоритмів обчислювача з урахуванням вимірювальних даних перетворювачів ПВ₂, ТО₂ та ПТ₂; при цьому ППД₂ та ППД₃ – у відкритому положенні, а ППД₁ – у закритому положенні.

Якщо згідно перетворювача ПВ₁ $Q < Q_{\min 3}$ – перевищення діапазону, до розрахунку приймається витрата $Q = Q_{\min 3}$ та розраховується згідно стандартних алгоритмів обчислювача з урахуванням вимірювальних даних перетворювачів ТО₃ та ПТ₃.

Ефективність виконання розробленого алгоритму визначається характеристиками ППД, що є

виконавчим пристроєм дросельного типу [15]. Такий пристрій функціонує за принципом зміни інтенсивності гідромеханічного розсіювання енергії потоку через зміну площі живого перерізу і складається з двох структурних елементів: запірної арматури та приводу.

В якості запірної арматури у галузі постачання, транспортування та розподілу газу широкого застосування набули крани, засувки та заслінки (табл. 1).

Привідна частина виконавчого пристрою забезпечує переміщення затвора запірної арматури та може керуватися електричним, пневматичним, гідравлічним або комбінованим способами, що визначають тип приводу (табл. 2).

Таблиця 1. Характеристики запірної арматури

Тип арматури	Швидкодія	Втрати тиску	Габаритні розміри	Складність конструкції	Надійність	Герметичність
Кран	Висока	Низькі	Середні	Середня	Висока	Висока
Засувка	Низька	Низькі	Великі	Низька	Середня	Середня
Заслінка	Висока	Середні	Малі	Низька	Висока	Середня

Таблиця 2. Загальна характеристика приводів

Тип приводу	Джерело живлення	Швидко-дія	Точність позиціонування	Зусилля	Складність	
					конструкції	обслуговування
Електричний	Електроенергія	Висока	Висока	Великі	Середня	Середня
Пневматичний	Стиснене повітря	Висока	Середня	Середні	Низька	Низька
Гідравлічний	Рідина під тиском	Середня	Висока	Дуже великі	Висока	Висока

Вибір комбінації запірної арматури та приводу є критично важливим для забезпечення надійної роботи системи автоматичного регулювання та точності вимірювання і здійснюється з урахуванням робочих параметрів середовища, вимог до швидкодії, точності, безпеки експлуатації та економічної доцільності.

Висновки

В умовах трансформаційних процесів у газотранспортній та газорозподільній системі України наявна критична необхідність вирішення проблеми обмеженого діапазону вимірювання традиційних вузлів обліку природного газу. Реальні коливання витрати газу на промислових підприємствах та газорозподільних станціях можуть перевищувати діапазони вимірювання стандартних приладів, що призводить до значних економічних втрат як постачальників, так і споживачів газу.

Запропоновано концепцію побудови вимірювального комплексу для обліку газу з розширеним діапазоном вимірювання при збереженні високої точності в усьому робочому діапазоні витрат, що передбачає застосування трьох вимірювальних ліній різних номінальних діаметрів та системи автоматичного перемикання діапазонів. Розроблено алгоритм функціонування автоматизованого комплексу обліку газу, що забезпечує безперервність вимірювань та автоматичне перемикання між вимірювальними лініями залежно від поточної витрати газу, мінімізує похибки вимірювання та забезпечує оптимальну роботу системи.

Впровадження таких систем обліку природного газу є особливо доцільним на об'єктах із значними коливаннями витрати, зокрема, промислових підприємствах та газорозподільних станціях.

Перспективою подальшої роботи є проведення додаткових досліджень метрологічних характеристик автоматизованого комплексу, оптимізація алгоритмів перемикання діапазонів та розробка

методики калібрування.

Література

- [1] Л. Г. Волянська, Г. М. Нікітіна, В. В. Ратинський, І. Г. Бабічев, “Підвищення ефективності роботи газорозподільної станції в умовах змінного навантаження”, *Наукоємні технології*, том 62, № 2, с. 209–218, 2024. DOI: 10.18372/2310-5461.62.18818
- [2] Кодекс газорозподільних систем. Затверджено постановою Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг 30.09.2015 № 2494. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 06 листопада 2015 р. за № 1379/27824.
- [3] Лічильники роторні Delta. Паспорт. [Електронний ресурс]. Доступно: https://europrylad.com/files/%D0%9F%D0%B0%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82_Delta_compressed.pdf.
- [4] TZ/FLuxі. Лічильники газу турбінного типу. [Електронний ресурс]. Доступно: https://tehnoincom.com.ua/upload/files/TZ_Fluxi.pdf
- [5] Лічильник газу ультразвуковий Зонд-2. Настанова щодо експлуатації. [Електронний ресурс]. Доступно: https://zond.dp.ua/wp-content/uploads/2017/04/%D0%A0%D0%AD_%D0%97%D0%942_2016.pdf
- [6] Правила обліку природного газу під час його транспортування газорозподільними мережами, постачання та споживання. Введені наказом Мінпаливенерго України №618 від 27.12.2005 р. та зареєстровані в Міністерстві юстиції України 26.01.2006 р. за №67/11941.
- [7] РМУ 037-2015 Рекомендація. Метрологія. Вузли обліку природного газу з лічильниками та коректорами. Метод та основні принципи вимірювань, характеристики та загальні вимоги.
- [8] А. В. Писарець, І. В. Горжий, “Автоматизований комплекс вимірювання об'єму природно-

- го газу”, *Вісник КПІ. Серія Приладобудування*, Вип. 65(1), с. 117-122, 2023.
DOI: 10.20535/1970.65(1).2023.283466
- [9] Стенди для калібрування газових лічильників. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://tekknow.com.ua/uk-ua/flow-measurement/stendi-dlya-kalibruvannya-gazovih-lichilnikov>
- [10] Установка для перевірки промислових лічильників газу ПУЛГ-9.А1. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://isker.com.ua/spec-obladnannya/pulg-9-a1.ua>
- [11] MeiTwin SENSUS. Високоточний комбінований лічильник холодної води. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://in-prem.ua/kombinovanyj-lichilnyk-holodnoyi-vody-meitwin-rf-z-ybudovanym-radiomodulom-ta-elektronnym-lichilnym-mehanizmom-eregister>
- [12] Elster/Honeywell C4000 Combi Bulk Water Meter. [Online]. Available: <https://www.mobipower.co.za/product/elster-honeywell-c4000-combi-bulk-water-meter/#tab-specification>
- [13] Науково-технічні дослідження у галузі обліку природного газу: колективна монографія / заг. ред. О.С. Середюк. – Академія технічних наук України. – Івано-Франківськ, Україна: Видавець Кушнір Г.М., 2023.
- [14] І. В. Коробко, О. О. Драчук, “Приладовий комплекс реєстрації об’єму та об’ємної витрати газу”, *Mechanics and Advanced Technologies*, № 3 (84), с. 61-68, 2018.
DOI: 10.20535/2521-1943.2018.84.143848
- [15] І. С. Васильківський, В. О. Фединець, Я. П. Юсик, *Виконавчі пристрої систем автоматизації: навчальний посібник*. Львів, Україна: Видавництво Львівської політехніки, 2020.

UDC 621.121

I. V. Horzhyi, A. V. Pysarets*National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine***METHODS FOR IMPROVING THE ACCURACY OF NATURAL GAS MEASUREMENT**

The issue of reliable and accurate natural gas metering is critically important in the context of ongoing transformational processes in the gas transmission and distribution systems of our country. These processes are associated with reduced gas transportation volumes, industrial decline, shifts of consumers toward alternative energy sources, and other structural changes in the energy sector. This issue is particularly relevant for industrial enterprises and gas distribution stations (GDSs), where significant fluctuations in gas flow rates are observed.

In particular, GDS equipment often operates outside the optimal operating ranges of standard measuring instruments. Consequently, traditional gas metering units - based on the use of a single flow measuring instrument under operating conditions - do not always provide the required measurement range and accuracy across the entire spectrum of operating flow rates. This leads to economic losses for both gas suppliers and consumers.

Due to this, issues related to the use of several measuring lines with different measurement ranges and an automatic range switching system become relevant.

The authors proposed a structural composition of an automated natural gas metering system, substantiated the requirements for structural elements, developed an algorithm for controlling the switching of measurement ranges of the natural gas metering system lines, and considered possible options for implementing range switching devices.

The combination selection of shut-off valves and actuators is an important issue for ensuring measurement accuracy and reliable operation of the system. It's made taking into account the operating parameters of the medium, requirements for response speed, measurement accuracy, operational safety and economic feasibility.

Further research will be focused on investigation of the automated system performances, optimizing the flow range switching algorithms, and developing a calibration methodology.

Keywords: natural gas; automated system; metering accuracy; volume; flowrate; measurement range.

*Надійшла до редакції
15 квітня 2025 року*

*Рецензовано
20 травня 2025 року*



© 2025 Copyright for this paper by its authors.
Use permitted under Creative Commons License Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).