

УДК 697.85, 004.4

DOI 10.31471/1993-9981-2024-2(53)-33-45

ПРОВЕДЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЛІЧИЛЬНИКІВ ГАЗУ В ДІАПАЗОНІ ОБ'ЄМНОЇ ВИТРАТИ ГАЗУ ДО 25 000 М³/ГОД В РАМКАХ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ УКРАЇНИ

В. В. Малісевич, Д. О. Середюк, Ю. Т. Пелікан, В. Б. Катамай

*Державне підприємство «Івано-Франківський науково-виробничий центр стандартизації, метрології та сертифікації»; вул. Вовчинецька, 127, м. Івано-Франківськ, 76006, Україна;
e-mail: ifstandartmetrology@gmail.com*

У статті описано розробку робочого еталону для повірки та калібрування лічильників і витратомірів газу в діапазоні об'ємних витрат газу від 1 м³/год до 25 000 м³/год. Основна мета розробки - створення робочого еталону (установки), яка простежуватиметься до національного еталону України та забезпечить високу достовірність вимірювань та відповідність сучасним технічним і метрологічним стандартам. Вибір принципу роботи проведений на основі аналізу існуючих типів установок, включно з установками дзвонового типу, поршневыми установками, установками PVTt-типу, сопловими установками та установками на базі еталонних лічильників газу. Врахувавши їх переваги, недоліки та обмеження, було обрано тип установки, що дає змогу ефективно вирішувати поставлені задачі. Дана установка базується на багатолінійній системі еталонних лічильників турбінного та роторного типів, яка може забезпечити відповідну метрологічну простежуваність і дасть можливість розширити діапазон відтворюваних витрат існуючої еталонної бази України. Застосування багаторівневої системи регулювання витрат газу, яка реалізована на частотному управлінні обертами двигунів та позиційному регулюванні запірної арматури, дає можливість задавати та стабілізувати витрати на різних режимах роботи установки. Важливим аспектом розробки є застосування сучасних алгоритмів розрахунку, які враховують вплив температури, тиску на зміну об'єму під час дослідження. Крім того, програмне забезпечення установки інтегрує вимоги сучасних методик повірки лічильників турбінного, роторного, ультразвукового типів та лічильників із вбудованими перетворювачами об'єму. Це забезпечує автоматизацію процесів роботи установки та формування відповідних електронних протоколів повірки. Результати експериментальних досліджень підтвердили високу ефективність обраного типу установки і актуальність розробки. Дана установка здатна працювати в широкому діапазоні витрат, а саме від 1 м³/год до 25 000 м³/год, що робить її унікальним рішенням для метрологічного забезпечення промислових лічильників газу. Також відзначається потенціал для міжнародної інтеграції та подальшого визнання вимірювальних та калібрувальних можливостей в ДП «ІВАНО-ФРАНКІВСЬКСТАНДАРТМЕТРОЛОГІЯ» на міжнародному рівні.

Ключові слова: Об'єм та об'ємна витрата газу, простежуваність, робочий еталон, повірочна установка, повірка, калібрування.

The article describes the development of a working standard for the verification and calibration of gas meters and flowmeters within a volumetric gas flow range from 1 m³/h to 25,000 m³/h. The primary goal of the development is to create a working standard (facility) traceable to the national standard of Ukraine, ensuring high measurement accuracy and compliance with modern technical and metrology standards. The principle of operation was selected based on an analysis of existing types of facilities, including bell-type systems, piston systems, PVTt-type systems, nozzle systems, and systems based on reference gas meters. Considering their advantages, disadvantages, and limitations, a facility type was chosen that effectively addresses the set objectives. It is based on a multi-line system of reference turbine and rotary meters, which provides the necessary metrological traceability and allows for an expanded range of flow rates compared to the existing reference base of Ukraine. The use of a multi-level gas flow control system, implemented through frequency control of motor speed and positional regulation of shut-off valves, allows for setting and stabilizing flow rates across different operating modes of the facility. An important aspect of the development is the application of modern calculation algorithms that consider the effects of temperature and pressure on volume changes during testing. Additionally, the facility's software integrates the requirements of current verification methodologies for turbine, rotary, ultrasonic meters, and meters with built-in volume converters. This ensures the automation of the facility's operations and the generation of corresponding electronic verification protocols. The results of experimental studies confirmed the high efficiency of the selected facility type and the relevance of the development. This facility can operate over a wide range of flow rates, from 1 m³/h to 25,000 m³/h, making it a unique solution for the metrological support of industrial gas meters. Moreover, it highlights the

potential for international integration and further recognition of the measurement and calibration capabilities of SE "IVANO-FRANKIVSKSTANDARTMETROLOGY" at the international level.

Keywords: Gas volume and volumetric flow, traceability, working standard, verification facility, verification, calibration.

Вступ

Облік природного газу є однією з ключових складових сучасної енергетичної системи, адже цей ресурс відіграє критично важливу роль у промисловості, енергетиці, комунальному господарстві та побутовому секторі. У світі, де постійно зростає попит на енергоресурси та їх вартість, забезпечення достовірності та прозорості в обліку спожитого газу є критично важливим завданням, що напряму впливає не тільки на економіку в цілому, але і на кінцевого споживача. Це питання охоплює широкий спектр аспектів - від технічних рішень до економічної ефективності, оптимізує використання ресурсів і забезпечує прозорість у розрахунках.

Сучасні системи обліку газу повинні відповідати високим технічним і метрологічним стандартам, забезпечуючи достовірність вимірювань за будь-яких умов експлуатації. Надійний облік газу має важливе значення не лише для економіки України, підприємств, які видобувають, зберігають, транспортують та споживають цей ресурс, але й для звичайних споживачів газу. Ефективний облік газу не лише знижує витрати, але й сприяє формуванню відповідальної енергетичної політики для сталого економічного розвитку та європейської інтеграції України.

Це питання особливо актуальне в умовах підвищення цін на енергоносії, необхідності зменшення технічних втрат та реалізації стратегії енергоефективності, що стоїть перед багатьма країнами світу. У цьому контексті вивчення механізмів, технологій і підходів до обліку газу набуває першочергового значення.

У промисловості, де обсяги споживання газу можуть сягати значних масштабів, особливо важливу роль відіграють промислові лічильники газу

великого діаметра. Лічильники газу діаметром від DN300 до DN500 є частиною газотранспортної системи України, які вже використовуються в газорозподільних станціях, нафтогазових підприємствах та великих промислових об'єктах для обліку при транспортуванні газу у магістральних і розподільних мережах. Високоточні промислові лічильники забезпечують не лише надійний контроль обсягів споживання, але й сприяють зниженню втрат та оптимізації обліку природного газу. Застосування таких лічильників дозволяє вимірювати значні обсяги газу при застосуванні мінімальної кількості засобів та допоміжного обладнання.

У цьому контексті важливою є належна метрологічна база, яка дозволить на відповідному рівні проводити роботи з повірки, випробування та калібрування лічильників газу діаметром понад 300 мм.

Мета роботи - Здійснити розробку та проектування робочого еталону одиниць об'єму та об'ємної витрати газу в діапазоні від 1 м³/год до 25000 м³/год, який буде простежуватися до національних еталонів України, що мають міжнародно визнані вимірювальні та калібрувальні можливості для забезпечення високої довіри та достовірності вимірювань у відповідності до міжнародних стандартів.

Аналіз існуючих установок

Робочі еталони (установки) для повірки, випробування та калібрування лічильників і витратомірів газу можна поділити на кілька основних типів в залежності від їхньої конструкції та принципу дії, а саме на: дзвонові, поршневі, PVTt-типу, соплові і установки на базі еталонних лічильників.

Робочий еталон об'єму газу дзвонового типу [1] складається з резервуара з рідиною, у якому розміщений дзвін, збалансований противагою, що кріпиться гнучким тросом через шків. До його

складу входять пристрій компенсації ваги дзвону, контрольна лінія з мінімальними прорізами, трубопровід для встановлення газового лічильника, регулятор витрат, датчики переміщення дзвону, температури і тиску, а також контролер для збору та обробки результатів. Пристрій компенсації ваги має форму комбінованого шківів, що включає циліндричну та конічну поверхні з багатовитковою канавкою для троса. Геометрія шківів розрахована для забезпечення рівноваги дзвона залежно від його характеристик, густини рідини та ваги противаги.

Дзвоніві установки характеризуються високою метрологічною точністю, простотою конструкції та тривалим терміном служби. Однак їхні недоліки включають великі розміри, обмежений діапазон відтворювальних витрат, обмежений контрольний об'єм, а також чутливість до мікровитоків.

Поршнева установка для лічильників та витратомірів газу [2] включає калібрований вимірювальний трубопровід із поршневим розділювачем, два детектори його положення, реверсивне джерело витрат та обліковий пристрій. Поршневий розділювач, виконаний у вигляді пористого еластичного тора з внутрішнім тиском, вищим за статичний тиск у трубопроводі, оснащений ніпельним пристроєм, вбудованим в його стінку. Установка дозволяє забезпечити високу точність і достовірність визначення метрологічних характеристик лічильників і витратомірів газу для різних робочих середовищ (наприклад, повітря, природний газ) та параметрів тиску.

Установки з поршневими еталонами функціонують за принципом вимірювання об'єму газу, витісненого поршнем у замкнутій системі, що забезпечує високу точність результатів. Вони чудово підходять для калібрування установок на невеликих витратах, але мають обмеження при роботі з великими витратами і відзначаються складністю експлуатації.

Повірочні установки PVTt-типу [3] (тиск, об'єм, температура, час), метрологічну основу яких складає ємність із засувками та приєднувальною арматурою, у внутрішній порожнині якої вмонтовані датчики температури, при цьому ємність має відводи для вимірювання надлишкового тиску в ній, а об'єм газу, який витікає із ємності через лічильник, що повіряється, визначається за рівнянням газового стану на основі об'ємів ємності і арматури, даних фізико-хімічного складу робочого середовища, часу витікання через лічильник та значень температури і тиску, отриманих на початку і в кінці вимірювань. Проте ці установки мають низьку продуктивність роботи, що пояснюється збільшенням часу вимірювання через необхідність додаткового витримування для стабілізації процесів у системі. В Україні вони застосовуються тільки при повірці побутових лічильників газу, оскільки повірка промислових лічильників газу вимагає великої матеріалоемності резервуара та вирішення проблем, що виникають при вимірюванні температур в ньому.

Принцип дії установок на критичних соплах [4] ґрунтується на створенні за допомогою джерела витрати критичного режиму витікання через відкаліброване сопло. В даному режимі витрата через дослідну ділянку залишається стабільною. Режим потоку визначається номіналом сопла критичного витікання та перепадом тиску на ньому, який не повинен перевищувати 0,7. Швидкість потоку в найбільш звуженому місці сопла встановлюється рівній швидкості звуку, що забезпечує надзвичайно високу стабільність витрати. Характерною особливістю цих установок є стабільність відтворення об'ємної витрати протягом тривалого часу.

Джерелами похибок цих установок є точність виготовлення профілю критичного сопла, точність його встановлення в трубопровід (співвісність,

наявність прямих ділянок тощо) та дотримання відповідного перепаду тиску на ньому.

Перевагою соплових установок є висока стабільність їх характеристик в часі, саме тому критичні сопла використовують в якості передавальних еталонів в багатьох країнах, а також при міжнародних звіряннях. Недоліком цих установок є те, що точність вимірювання залежить від наявності домішок в газі, які впливають на геометричні розміри сопла, а також фіксованості витрат, що можуть бути відтворені виходячи з наявних в установці номіналів сопел критичного витоку.

Принцип дії установок на базі еталонних лічильників газу ґрунтується на порівнянні результатів вимірювань лічильником газу, що досліджується, та еталонним лічильником газу, витрата для яких забезпечується за допомогою керованого джерела створення витрати. За допомогою системи керування та вимірювання, та відповідного прикладного програмного забезпечення, здійснюється автоматичне керування процесом виставлення витрати та самим вимірюванням, а також збереження та формування відповідного протоколу вимірювання.

Перевагою таких установок є можливість розширення діапазону відтворення об'єму та об'ємної витрати газу під час дослідження лічильника газу, який має значно ширший діапазон витрат та потребує пропускання великого контрольного об'єму газу для отримання достовірного результату вимірювання.

Після проведеного аналізу було прийнято рішення використати для реалізації робочого еталона установку, реалізовану на базі пристрою для калібрування та повірки лічильників і витратомірів газу [5], що складатиметься з однотипних еталонних лічильників включених паралельно. Принцип дії такої установки ґрунтується на явищі адитивності потоків, що проходять через еталонні лічильники.

Цей аналіз дав змогу оцінити недоліки і переваги існуючих установок, зробити відповідні висновки і врахувати їх при розробці робочого еталону для повірки та калібрування лічильників і витратомірів газу в діапазоні об'ємних витрат від 1 до 25 000 м³/год.

Формування цілей статті

Необхідність створення такої установки продиктована відсутнім в Україні метрологічним забезпеченням для повірки та калібрування лічильників газу типорозмірами до G16000 з внутрішнім діаметром до 500 мм. Тому розробка та проектування робочого еталону (РЕ), а саме установки в діапазоні об'ємної витрати до 25000 м³/год, яка зможе забезпечити належну простежуваність до національної еталонної бази, що має міжнародно визнані вимірювальні та калібрувальні можливості і зберігається в ДП "ІВАНО-ФРАНКІВСЬКСТАНДАРТ МЕТРОЛОГІЯ", має велику актуальність у контексті енергонезалежності нашої країни.

Основний текст статті

Робочий еталон DN50 – DN500 з максимальною витратою до 25000 м³/год розробляється з дотриманням вимог ДСТУ 3383:2007 [6] та призначений для повірки лічильників газу згідно з «Порядком проведення повірки законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки» [7] у відповідності до: ДСТУ 9033:2020 [8], ДСТУ 9034:2020 [9], ДСТУ 9036:2020 [10], ДСТУ 9037:2020 [11], а також може бути застосований при випробуваннях та оцінці відповідності лічильників газу на відповідність вимогам Технічного регламенту засобів вимірювальної техніки [12].

Сформуємо перелік вимог до еталонної установки в діапазоні об'ємної витрати до 25000 м³/год:

- робочий еталон повинен забезпечувати простоту та надійність (герметичність) під'єднання лічильників згідно з вимогами до монтування лічильників різного типу (турбінного,

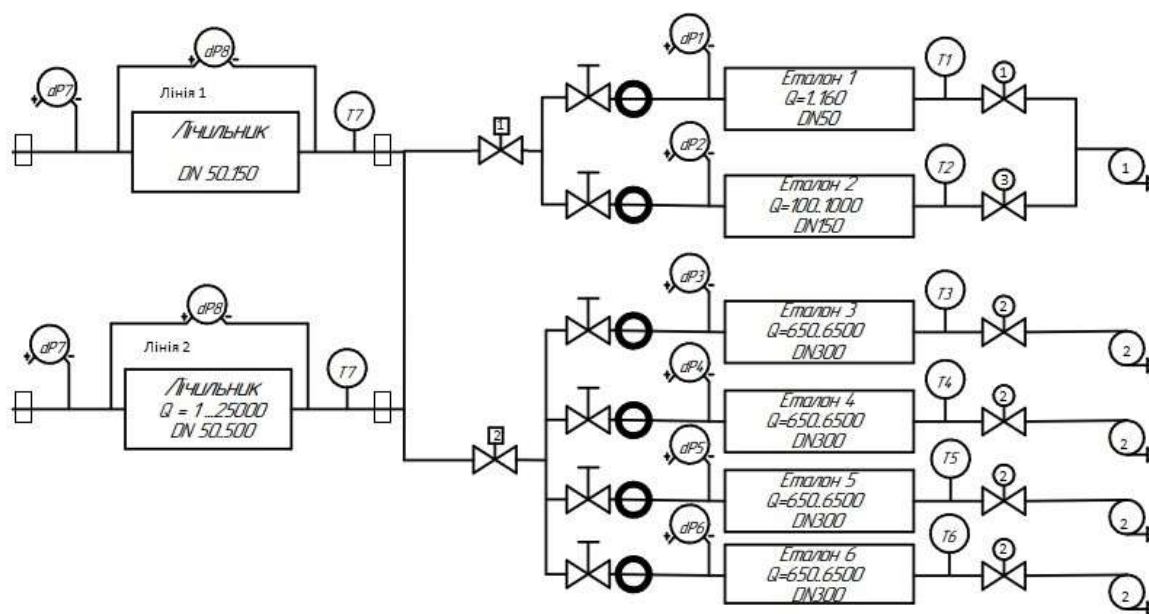


Рисунок 1 – Структурна схема робочого еталона

роторного та ультразвукового), що містяться в ЕД на ці лічильники;

- місця встановлення перетворювачів тиску й температури робочого середовища в лічильниках, що досліджують, мають відповідати вимогам, установленим в експлуатаційній документації на лічильник;

- конструктивне оформлення робочого еталона повинно відповідати сучасним вимогам ергономіки та дизайну;

Структурна схема робочого еталона наведена на рис. 1.

Умовні позначення та номенклатура елементів, зображених на структурній схемі, наведені у таблиці 1.

Проектування здійснювали керуючись наступними вимогами:

- конструкція еталона повинна забезпечувати зручне його обслуговування та доступ до всіх його елементів, а саме, еталонних лічильників, перетворювачів тиску та температури, засувок тощо;

- дослідні лінії 1-2 та еталонні лічильники 2–6 повинні бути розміщені на висоті 950 мм над рівнем підлоги (Еталон 1 повинен бути розміщений на одній висоті з Еталоном 2 або над ним);

- дослідні та еталонні лінії повинні забезпечувати приєднання перетворювачів температури на відстані 2DN до

еталона/лічильника та 2DN після еталона/лічильника.

- Дослідні та еталонні лінії повинні мати фітинги для відбору тиску/розрідження на відстані 2DN до еталона/лічильника та 2DN після еталона/лічильника;

- дослідні лінії повинні бути оснащені допоміжними елементами для монтажу/демонтажу за допомогою кран-балки або тельфера;

- під дослідними лініями повинні бути розроблені переносні регулюючі опори для утримання відповідних прямих ділянок DN50, DN80, DN100, DN150, DN200, DN250, DN300, DN400, DN500;







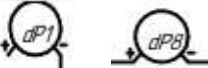





- всі виготовлені елементи робочого еталона повинні бути покриті захисним покриттям (фарба/гальванічне покриття);

- вхідні ділянки трубопроводів перед Еталонними лічильниками 1 – 6, а також перед досліджуваним лічильником не повинні бути меншими ніж 10DN;

- вихідні ділянки трубопроводів після Еталонних лічильників 1 – 6, а також після досліджуваного лічильника не повинні бути меншими ніж 5DN;

- відстань перед вхідною ділянкою лічильника і будь-якою перешкодою не повинна бути меншою за 3.5 м.

Таблиця 1 - Умовні позначення та номенклатура необхідних елементів,
 які будуть застосовані в складі установки

Позначення	Номенклатура
	Вентилятор – 1 шт.
	Вентилятори з електродвигуном 45 кВт. 3000 об/хв. - 4 шт.
	Поворотний затвор DN50 PN16 виробництва – 1 шт.
	Поворотний затвор DN300 PN16 виробництва – 4 шт.
	Поворотний затвор DN150 PN16 виробництва – 1 шт.
	Перетворювачі температури з зовнішньою різьбою M20x1.5 – 7 шт.
	Перетворювачі перепаду тиску – 8 шт.
	Вібровставка, EPDM, Ру16 (Діаметр у відповідності до місця монтажу) – 6 шт.
	Кран фланц. Ду 50/50 цільнозварний (Ру=16, Т=-35...+180°C) – 1шт. Кран кульовий фланцевий 565 Ду 150 Ру=16 – 1 шт. Кран фланц. Ду 300/300 цільнозварний з редуктором (Ру=16, Т=-30...+180°C) – 1шт. <i>(Місце встановлення відповідно до діаметру трубопроводу)</i>
	Затвор дисковий поворотний міжфланцевий, батерфляй DN150 PN16 – 1 шт.
	Затвор дисковий поворотний міжфланцевий, батерфляй DN500 PN16 – 1шт.
	Фланцеві під'єднання : Лінія 1 – від DN50 до DN150 Лінії 2 – від DN50 до DN500
Еталон 1	Еталон роторного типу G100 – 1 шт.
Еталон 2	Еталон роторного типу G650 – 1шт.
Еталон 3 – Еталон 6	Еталон турбінного типу G4000 DN300 – 4шт.
Лінія 1	Дослідна лінія для монтажу лічильників газу роторного, турбінного, ультразвукового типів умовного діаметру від 50 мм до 150 мм з універсальним фланцевим під'єднанням до фланців лічильника розрахованого на тиск від PN6 до PN100
Лінія 2	Дослідна лінія для монтажу лічильників газу роторного, турбінного, ультразвукового типу умовного діаметру від 50 мм до 500 мм з універсальним фланцевим під'єднанням до фланців лічильника розрахованого від PN6 до PN100

Принцип установки побудований на порівнянні приведеного до стандартних умов об'єму газу, який облікував еталонний лічильник із об'ємом, вимірним дослідним лічильником, який повіряється. В якості еталонних лічильників в установці застосований набір з чотирьох турбінних та двох роторних лічильників.

Робочий еталон, який спроектований фахівцями ДП "ІВАНО-ФРАНКІВСЬК-СТАНДАРТМЕТРОЛОГІЯ" [13] з максимальною витратою до 25000 м³/год, складається з системи трубопроводів з агрегатами для створення потоку газу, набору паралельно встановлених еталонних лічильників газу (ЕЛ) і досліджуваного лічильника газу, встановленого послідовно до еталонних лічильників, системи регулювання витрати, перетворювачів температури і тиску, системи збору, передачі і обробки інформації. В складі установки паралельно встановлені еталонні лічильники DN 300 з можливістю одночасної роботи. При цьому набір з шести ЕЛ механічно розв'язаний від агрегатів створення потоку газу і досліджуваного лічильника газу через спеціалізовані вібровставки, чотири паралельних еталонних ліній з ЕЛ з витратою 6500 м³/год пропорційні зростанню значення досліджуваної витрати. Система регулювання витрати газу через досліджуваний лічильник газу виконана багатоступенева і включає агрегати для створення потоку з частотним управлінням, для чотирьох ліній, регулятор витрати з позиційним регулюванням стабілізації потоку при різних режимах роботи агрегату і засувки з обертовими приводами і позиційним регулюванням для забезпечення точного виставлення витрати в кожній еталонній лінії. 3D-модель робочого еталону одиниць об'єму та об'ємної витрати газу в діапазоні об'ємної витрати від 1 м³/год до 25000 м³/год наведена на рис.2.

Паралельне використання таких еталонних лічильників газу у стенді

дозволяє збільшити діапазон відтворюваних витрат, що залежить від кількості встановлених і задіяних еталонних лічильників газу, забезпечити метрологічну простежуваність вимірювань до національної еталонної бази, а саме до вторинних еталонів в діапазоні об'ємної витрати газу до 7800 м³/год, що володіють міжнародно визнаними вимірювальними можливостями та опублікованими СМС-рядками в міжнародній базі KCDB під грифом UA4.

Лічильники пройшли калібрування на державному вторинному еталоні одиниць об'єму та об'ємної витрати газу ВЕТУ 03-01-03-11 та ВЕТУ 03-01-04-12 таким чином їхні динамічні діапазони будуть перетинатися за декількох значень об'ємних витрат. Це дає суттєві переваги, в порівнянні із типовими повірочними установками з еталонними лічильниками, в яких діапазони еталонних лічильників перетинаються тільки в одній спільній точці.

Тобто із застосуванням програмного забезпечення установки є можливість проведення діагностичних вимірювань з метою постійного контролю стабільності метрологічних характеристик та невизначеності вимірювань установки.

У відповідності до Порядку калібрування вторинних та робочих еталонів [14], установки, які застосовуються для проведення повірки законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки – лічильників газу, повинні пройти обов'язкову процедуру калібрування із розрахунком значення розширеної невизначеності.

Розрахунок розширеної невизначеності вимірювань еталонної установки здійснюється під час проведення її калібрування. Процедура калібрування проводиться згідно методики [15]. Методика на початковому етапі передбачає поетапне калібрування каналів вимірювання тиску та температури (на лініях еталонних лічильників та на дослідній лінії) і часу. Калібрування

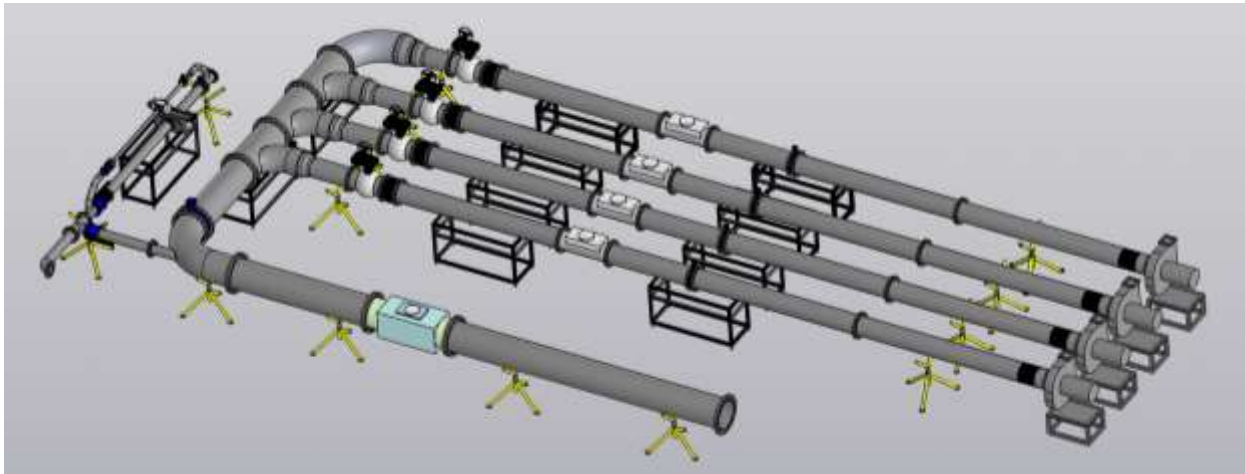


Рисунок 2 – 3D-модель робочого еталону одиниць об'єму та об'ємної витрати газу в діапазоні об'ємної витрати від 1 м³/год до 25000 м³/год

вказаних каналів проводиться в складі установки для виключення впливу монтажу, забезпечення герметичності та перевірки роботи програмного забезпечення. Для калібрування застосовують калібратор тиску, термостат з еталонним термометром та частотомір. Для кожного каналу визначається складова сумарної невизначеності за типом *A* та типом *B* (з врахуванням невизначеності еталонного засобу, яким проводили калібрування).

Калібрування каналу вимірювання об'єму газу, тобто еталонного лічильника, відбувається із застосуванням еталонів передавання. Еталони передавання проходять періодичне калібрування на національних державних первинних та вторинних еталонах об'єму та витрати газу.

Крім того, проводиться розрахунок складової невизначеності, яка зумовлена ефектом накопичення об'єму через зміну температури за час проведення калібрування. Для зменшення впливу цього ефекту, установка сконструйована із застосуванням чотирьох паралельних ліній (Ду 300 мм) для монтажу лічильників, з можливістю відсікання додаткового приєднаного об'єму. При цьому, розрахунки проводяться для кожного еталонного лічильника в складі установки.

Розрахунок цієї складової невизначеності здійснюється за наступною формулою:

$$\Delta_{V_{EH}^i} = V_T \cdot \left(\left| \frac{T_{enMM} - T_{stMM}}{T_{stMM} + 273,15} \right| + \left| \frac{T_{enTM} - T_{stTM}}{T_{stTM} + 273,15} \right| \right), \quad (1)$$

V_T – сумарний об'єм внутрішнього простору установки між еталоном передавання та еталонним лічильником, м³, T_{enMM} , T_{stMM} , T_{enTM} , T_{stTM} – температури в кінці (*en*) та на початку (*st*) вимірювання перетворювачів на еталонному лічильнику (ММ) та на еталоні передавання (ТМ) відповідно, °С.

Невизначеність вимірювання, зумовлена ефектом накопичення об'єму:

$$u_{BV_{EH}^i} = 100 \cdot \frac{\Delta_{V_{EH}^i}}{\sqrt{3} \cdot V_K}, \quad (2)$$

V_K – контрольний об'єм, який проходить через еталонний лічильник за час одного вимірювання, м³.

Наступним етапом проводиться калібрування еталонних лічильників. Калібрування еталонних лічильників рекомендується проводити в порядку спадання максимальної витрати. Калібрування кожного еталонного лічильника проводиться не менше ніж в 9-ти точках об'ємної витрати, розподілених у всьому діапазоні об'ємної витрати у

порядку спадання. Допускається дослідження у додаткових точках витрат якщо форма характеристики еталонного лічильника вимагає детальніших досліджень частини діапазону. Калібрування еталонного лічильника установки полягає у визначенні коефіцієнта перетворення (K), що відповідає 1 м^3 . Його розрахунок здійснюється за наступною формулою:

$$K_i = \frac{N_i}{V_i}, \quad (3)$$

N_i – кількість імпульсів еталонного лічильника, що відповідає об'єму V_i .

Слід врахувати, що при підрахунку імпульсів виникає невизначеність, яка пов'язана із неврахуванням імпульсів за i -ого значення об'ємної витрати, яка визначається як:

$$u_{BN_i} = 100 \cdot \frac{1}{\sqrt{6}} \cdot \frac{2}{N_i}, \quad (4)$$

N_i – кількість імпульсів з еталонного лічильника за i -того значення об'ємної витрати.

За результатами всіх вимірювань, використовуючи метод найменших квадратів, визначають коефіцієнти апроксимаційного полінома для кожного еталонного лічильника наступного виду:

$$K(q) = A_{-2}q^{-2} + A_{-1}q^{-1} + A_0 + A_1q + A_2q^2, \quad (5)$$

A_i – коефіцієнти апроксимаційного полінома, які визначаються за результатами калібрування; q – об'ємна витрата, $\text{м}^3/\text{год}$.

Для визначення складової невизначеності за типом B для кожного еталонного лічильника, проводять не менше, ніж 3 вимірювання за допомогою еталона передавання та обчислюють невизначеність за формулою:

$$u_{B_{MM_i}} = \frac{(\overline{\delta_{PR_j}} - \delta_{TM_j})}{\sqrt{3}}. \quad (6)$$

$\overline{\delta_{PR_j}}$ – середнє значення похибки, отриманої для еталона передавання на

установці за i -ого значення об'ємної витрати, %;

δ_{TM_j} – значення похибки еталона передавання, отримане під час його калібрування на національному первинному або вторинному еталонах за i -ого значення об'ємної витрати, %

Після чого здійснюють розрахунок невизначеності вимірювання за типом A під час проведення калібрування еталонної установки з врахуванням наступних складових:

$$u_{A_i} = \sqrt{u_{AMM_i}^2 + u_{AP}^2 + u_{AT}^2}. \quad (7)$$

u_{AMM_i} – невизначеність за типом A еталонного лічильника (ММ);

u_{AP} – невизначеність за типом A вимірювання тиску;

u_{AT} – невизначеність за типом A вимірювання температури.

Відповідно невизначеність за типом B еталонної установки буде аналогічно визначатись з урахуванням наступних складових:

$$u_{B_i} = \sqrt{u_{TM}^2 + u_{B_{MM_i}}^2 + u_{BP}^2 + u_{BT}^2 + u_{BN_i}^2 + u_{BV_{EH^i}}^2}. \quad (8)$$

u_{TM} – невизначеність еталона передавання;

$u_{B_{MM_i}}$ – невизначеність за типом B еталонного лічильника;

u_{BP} – невизначеність за типом B вимірювання тиску;

u_{BT} – невизначеність за типом B вимірювання температури;

u_{BN_i} – невизначеність неврахування імпульсів; $u_{BV_{EH^i}}$ – невизначеність впливу ефекту накопичення.

Розширена стандартна невизначеність вимірювання об'єму U_i розраховується індивідуально для кожного i -того еталонного лічильника з врахуванням складових за типом A (7) та складових за типом B (8), за наступною формулою:

$$U_i = 2 \cdot \sqrt{u_{A_i}^2 + u_{B_i}^2}, \quad (9)$$



Рисунок 3 – Робочий еталон одиниць об'єму та об'ємної витрати газу в діапазоні об'ємної витрати від 1 до 25000 м³/год

За результатами розрахунків вибирається найбільше значення розширеної невизначеності вимірювання.

Програмне забезпечення еталонної установки містить обов'язкові вимоги до нових методик повірки на лічильники газу турбінного, роторного, ультразвукового типів та лічильники із вбудованими пристроями перетворення, які містяться в національних стандартах [8 – 11]. Зокрема, передбачено формування електронного протоколу повірки із збереження необхідних первинних даних. Також передбачений розрахунок контрольної суми параметрів налаштування програми, яка чинить вплив на метрологічні характеристики, зокрема: коефіцієнти перетворення еталонних лічильників та параметри калібрування вимірювальних перетворювачів, що входять до складу еталона. Відповідно до пунктів методик повірки повинно виконуватись два вимірювання за кожного значення об'ємної

витрати газу. Слід відзначити, що для оцінки придатності з двох значень отриманої основної відносної похибки лічильника, обирають більше за модулем, а не середнє арифметичне значення з двох послідовних вимірювань.

Загальний вигляд робочого еталону одиниць об'єму та об'ємної витрати газу в діапазоні об'ємної витрати газу від 1 до 25000 м³/год наведено на рис. 3.

В установці, в залежності від параметрів лічильника, який повіряється, реалізовано наступний метод повірки: «старт з ходу», тобто установка забезпечує початок і закінчення відліку контрольного об'єму за сигналом (імпульсом) від лічильника газу.

Крім того, в переліку операцій повірки, яка здійснюється після ремонту лічильника газу введено вимоги обов'язкового визначення середньозваженої похибки (WME), яка визначається за наступною формулою:

$$WME = \frac{\sum_{i=1}^n k_i \delta_i}{\sum_{i=1}^n k_i}. \quad (10)$$

δ – основна відносна похибка лічильника, що повіряється (у відсотках);
 q_i – значення об'ємної витрати газу, на якому проводиться повірка;

$$k_i = \frac{q_i}{q_{\max}} \text{ при } q_i \leq 0,7 q_{\max};$$

$$k_i = 1,4 - \frac{q_i}{q_{\max}} \text{ при } 0,7 q_{\max} < q_i \leq q_{\max}.$$

Для розробленої установки передбачене перспективне застосування для проведення серії різноманітних випробувань лічильників газу в рамках проведення оцінки відповідності вимогам Технічного регламенту засобів вимірювальної техніки. Зокрема, згідно нормативних документів [16, 17], які є доказовою базою, зазначено перелік випробувань на збурення потоку. Конструкцією установки передбачена технічна можливість встановлення завод на збурення потоку низького рівня і збурення потоку високого рівня, в тому числі, встановлення різного типу місцевих опорів та трубопроводів з поворотом на 90° в одній та двох площинах одночасно.

Висновки

В Україні до недавнього часу була відсутня метрологічна база для повірки, калібрування та дослідження лічильників газу великих діаметрів DN400-DN500. Це створювало значну технічну прогалину у забезпеченні надійності та достовірності вимірювань та відповідності сучасним стандартам.

Відповідно до наведених вимог розроблено структурну схему робочого еталону у діапазоні об'ємної витрати від 1 до 25 000 м³/год. Описано конструктивні особливості установки та її принцип дії при виконанні робіт з повірки та калібрування та дослідження лічильників газу.

Здійснено оцінку невизначеності вимірювань, яка показала відповідність робочого еталону вимогам метрологічної простежуваності, що дало можливість підвищити ефективність процесу калібрування та знизити експлуатаційні витрати. Отримані дані підтвердили можливість використання системи робочого еталону для повірки лічильників (до DN500), що раніше не було реалізовано в Україні.

Запропонована методологія має перспективи для подальшої адаптації та інтеграції у міжнародні метрологічні системи. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на розширення міжнародно визнаних вимірювальних та калібрувальних можливостей ДП «ІВАНО-ФРАНКІВСЬКСТАНДАРТМЕТРОЛОГІЯ».

Список використаних джерел

1. Робочий еталон об'єму газу дзвонового типу: пат 76283 Україна № 20040705918; заявл. 19.07.2004; опубл. 17.07.2006. Бюл. № 7 . 6 с.
2. Калібрувальна поршнева установка одиниць об'єму та об'ємної витрати газу на реальному середовищі при високих тисках: пат 85973 Україна № u201306810; заявл. 31.05.2013; опубл.10.12.2013. Бюл. № 23. 3 с.
3. Автоматизована установка повірки промислових лічильників газу: пат 59795 Україна № u201015246; заявл. 17.12.2010; опубл. 25.05.2011. Бюл. № 10 . 16 с.
4. ISO 9300:2022 Measurement of gas flow by means of critical flow nozzles.
5. Пристрій для калібрування, метрологічної атестації та повірки лічильників і витратомірів газу: пат 63180 Україна № u201105256; заявл. 26.04.2011; опубл. 26.09.2011. Бюл. № 18. 8 с.
6. ДСТУ 3383:2015 Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювання об'єму та об'ємної витрати газу.

7. Порядок проведення повірки законодавчо регульованих засобів виміральної техніки, що перебувають в експлуатації, та оформлення її результатів, затверджений Наказом Мінекономрозвитку від 08.02.2016 р. № 193.

8. ДСТУ 9033:2020 Метрологія. Лічильники газу турбінні. Методика повірки ДСТУ.

9. ДСТУ 9034:2020 Метрологія. ЛІЧІЛЬНИКИ ГАЗУ РОТОРНІ. Методика повірки.

10. ДСТУ 9036:2020 Метрологія. Лічильники газу ультразвукові. Методика повірки ДСТУ.

11. ДСТУ 9037:2020 Метрологія. Лічильники газу з вбудованими пристроями перетворення об'єму. Методика повірки.

12. Технічний регламент засобів виміральної техніки, затверджений Постановою КМУ від 24.02.2016 р. № 163.

13. Катамай В., Коржак О., Малісевич В., Середюк Д., Бас О., Лемішка В. Оцінка розширеної невизначеності робочого еталону в діапазоні об'ємної витрати до 25000 м³/год тези: II міжнародна науково-практична конференція (м. Львів, 13-14 листопада 2024). м. Львів. 2024. С. 26-27.

14. Україна. Накази. Про затвердження Порядку калібрування вторинних та робочих еталонів [Текст]: Наказ [прийнятий Мінекономрозвитку України 10.08.2020 р. № 1518. Київ: Офіційний вісник України [2020 р.]. № 84, с. 180, стаття 2728.

15. МК 004 РД/03-2023 Метрологія. Установки з еталонними лічильниками. Методика калібрування.

16. ДСТУ OIML R 137-1-2:2018 Лічильники газу. Частина 1. Метрологічні й технічні вимоги. Частина 2. Методи підтвердження метрологічних і технічних характеристик (OIML R 137-1-2:2014, IDT)

17. ДСТУ EN 12261:2019 Лічильники газу. Турбінні лічильники газу (EN 12261:2018, IDT).

References

1. Working gas volume standard of bell-type: patent 76283 Ukraine No. 20040705918; filed 19.07.2004; published 17.07.2006 Bulletin No. 7, 6 p. [in Ukrainian]

2. Calibration piston unit for volume and volumetric gas flow measurement under real conditions at high pressures: patent 85973 Ukraine No. u201306810; filed 31.05.2013; published 10.12.2013 Bulletin No. 23, 3 p. [in Ukrainian]

3. Automated verification unit for industrial gas meters: patent 59795 Ukraine No. u201015246; filed 17.12.2010; published 25.05.2011 Bulletin No. 10, 16 p. [in Ukrainian]

4. ISO 9300:2022 Measurement of gas flow by means of critical flow nozzles.

5. Device for calibration, metrological certification, and verification of gas meters and flow meters: patent 63180 Ukraine No. u201105256; filed 26.04.2011; published 26.09.2011 Bulletin No. 18, 8 p. [in Ukrainian]

6. DSTU 3383:2015 Metrology. National verification scheme for instruments measuring gas volume and volumetric flow. [in Ukrainian]

7. Order of the Ministry of Economic Development dated 08.02.2016 No. 193 "On the approval of the Procedure for the verification of legally regulated measuring instruments in operation and the documentation of its results," registered with the Ministry of Justice on 24.02.2016 No. 278/28408. [in Ukrainian]

8. DSTU 9033:2020 Metrology. Turbine gas meters. Verification methodology. [in Ukrainian]

9. DSTU 9034:2020 Metrology. Rotary gas meters. Verification methodology. [in Ukrainian]

10. DSTU 9036:2020 Metrology. Ultrasonic gas meters. Verification methodology. [in Ukrainian]

11. DSTU 9037:2020 Metrology. Gas meters with built-in volume conversion devices. Verification method. [in Ukrainian]

12. Technical regulations for measuring instruments, approved by the Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 24.02.2016 No. 163. [in Ukrainian]

13. Katamay V., Korzhak O., Malisevich V., Seredyuk D., Bas O., Lemishka V. Estimation of the expanded uncertainty of the working standard in the range of volumetric flow up to 25000 m³/h Abstracts: II International Scientific and Practical Conference Lviv November 13-14, 2024. Lviv. 2024 P. 26-27. [in Ukrainian]

14. Ukraine. Orders. On approval of the Procedure for calibration of secondary and working standards [Text]: Order [adopted by the Ministry of Economic Development of Ukraine on 10.08.2020 No. 1518. Kyiv: Official Gazette of Ukraine [2020]. No. 84, p. 180, article 2728. [in Ukrainian]

15. MK 004 RD/03-2023 Metrology. Installations with reference meters. Calibration methodology. [in Ukrainian]

16. DSTU OIML R 137-1-2:2018 Gas meters. Part 1. Metrological and technical requirements. Part 2. Methods of confirmation of metrological and technical characteristics (OIML R 137-1-2:2014, IDT). [in Ukrainian]

17. DSTU EN 12261:2019 Gas meters. Turbine gas meters (EN 12261:2018, IDT). [in Ukrainian]

**CONDUCTING METROLOGICAL
RESEARCH OF GAS METERS IN THE
RANGE OF GAS VOLUME FLOW
UP TO 25,000 M³/HOUR WITHIN THE
FRAMEWORK OF UKRAINE'S ENERGY
SECURITY**

V. V. Malisevich, D. O. Seredyuk,
Y. T. Pelikan, V. B. Katamay

State Enterprise "Ivano-Frankivsk Scientific and
Production Center of Standardization, Metrology and
Certification";

127 Vovchynetska St., Ivano-Frankivsk, 76006,
Ukraine;

e-mail: ifstandartmetrology@gmail.com