



---

**Методи і прилади вимірювання витрати  
рідкої і газоподібної фаз**

---

*Прийнято 29.10.2025. Прорецензовано 24.12.2025. Опубліковано 29.12.2025.*

УДК 620.11:006

DOI: 10.31471/1993-9981-2025-2(55)-68-81

**ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ЛІЧИЛЬНИКІВ ГАЗУ  
ШЛЯХОМ ГРАДУЮВАННЯ НА ЕТАЛОННІЙ БАЗІ  
ДП «ІВАНО-ФРАНКІВСЬКСТАНДАРТМЕТРОЛОГІЯ»****Бас О. А.**

Кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник науково-дослідної лабораторії  
центру наукового забезпечення

Державне підприємство «Івано-Франківський науково-виробничий центр стандартизації,  
метрології та сертифікації»

76006, вул. Вовчинецька, 127, м. Івано-Франківськ, Україна

<https://orcid.org/0000-0002-0732-6906>

e-mail: ifstandartmetrology@gmail.com

**Середюк Д. О.**

Кандидат технічних наук, начальник центру наукового забезпечення

Державне підприємство «Івано-Франківський науково-виробничий центр стандартизації,  
метрології та сертифікації»

76006, вул. Вовчинецька, 127, м. Івано-Франківськ, Україна

<https://orcid.org/0000-0001-5454-4263>

e-mail: ifstandartmetrology@gmail.com

**Пелікан Ю. Т.**

Начальник науково-дослідної лабораторії центру наукового забезпечення

Державне підприємство «Івано-Франківський науково-виробничий центр стандартизації,  
метрології та сертифікації»

76006, вул. Вовчинецька, 127, м. Івано-Франківськ, Україна

<https://orcid.org/0000-0002-8302-9532>

e-mail: ifstandartmetrology@gmail.com

---

Запропоноване посилання: Бас, О. А., Середюк, Д. О., Пелікан, Ю. Т., Тисяк, А. В., Катамай, В. Б. & Мануляк, Р. Т. (2025). Підвищення точності ультразвукових лічильників газу шляхом градуювання на еталонній базі ДП «Івано-Франківськстандартметрологія». Методи та прилади контролю якості, 2(55), 68-81. doi: 10.31471/1993-9981-2025-2(55)-68-81

\* Відповідальний автор



Copyright © The Author(s). This is an open access article distributed under the terms of the  
Creative Commons Attribution License 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

**Тисяк А. В.**

Інженер з метрології випробувальної лабораторії центру наукового забезпечення  
Державне підприємство «Івано-Франківський науково-виробничий центр стандартизації,  
метрології та сертифікації»

76006, вул. Вовчинецька, 127, м. Івано-Франківськ, Україна

<https://orcid.org/0009-0004-8730-9437>

e-mail: ifstandartmetrology@gmail.com

**Катамай В. Б.**

Інженер з метрології випробувальної лабораторії центру наукового забезпечення  
Державне підприємство «Івано-Франківський науково-виробничий центр стандартизації,  
метрології та сертифікації»

76006, вул. Вовчинецька, 127, м. Івано-Франківськ, Україна

<https://orcid.org/0009-0000-0724-3943>

e-mail: ifstandartmetrology@gmail.com

**Мануляк Р. Т.**

Науковий співробітник науково-дослідної лабораторії центру наукового забезпечення  
Державне підприємство «Івано-Франківський науково-виробничий центр стандартизації,  
метрології та сертифікації»

76006, вул. Вовчинецька, 127, м. Івано-Франківськ, Україна

<https://orcid.org/0000-0002-6749-6632>

e-mail: ifstandartmetrology@gmail.com

**Анотація.** У статті досліджується процес градування ультразвукових лічильників газу як ключовий елемент забезпечення надійності та точності системи обліку. Завдяки своїм перевагам – відсутності механічних рухомих елементів, високій точності вимірювань, стабільності характеристик і тривалому терміну служби – ультразвукові лічильники набувають дедалі більшого поширення. Водночас, для підвищення точності ультразвукових лічильників газу можливо провести їх градування, оскільки вони містять вбудовані пристрої корекції похибок. У роботі запропоновано та проаналізовано математичні методи корекції похибок, зокрема із застосуванням сталого коефіцієнта, поліноміальних функцій другого–четвертого порядків та кусково-лінійної апроксимації. Представлено результати експериментальних досліджень і проведено розрахунок середньозважених похибок. Показано, що виконання градування істотно зменшує невизначеність вимірювань дозволяє зменшити систематичні відхилення та підвищити достовірність даних вимірювань. Окрему увагу приділено еталонним установкам ДП «ІВАНО-ФРАНКІВСЬКСТАНДАРТМЕТРОЛОГІЯ», зокрема обґрунтовано необхідність проведення градування на еталонних установках, що забезпечують виконання вимірювань із найменшим значенням невизначеності. Додатково підкреслюється, що результати градування мають безпосередній вплив на комерційний облік газу, а отже, такі роботи повинні виконуватись тільки в акредитованих лабораторіях, які володіють відповідним досвідом та обладнанням.

**Ключові слова:** об'єм, об'ємна витрата газу, простежуваність, еталон, установка, калібрування, градування, невизначеність.

**Вступ**

Ультразвукові лічильники газу посідають одне з провідних місць у сучасних системах вимірювання та комерційного обліку природного газу. Їх стрімке поширення зумовлене поєднанням високої точності вимірювань, надійності, стабільності показників та відсутності механічних ру-

хомих елементів, що мінімізує вплив зносу і забезпечує тривалий термін експлуатації. Завдяки цим характеристикам ультразвукові лічильники широко застосовуються як на магістральних газопроводах, так і в системах розподільчих мереж, на комерційних вузлах обліку та промислових підприємствах.

Принцип роботи ультразвукових лічильників базується на вимірюванні часу проходження ультразвукових імпульсів крізь потік газу. Залежно від швидкості руху середовища, змінюється час поширення сигналу від одного перетворювача до іншого, що дозволяє точно визначити швидкість потоку, а отже та об'ємну витрату або об'єм газу. Використання кількох пар датчиків дає змогу враховувати профіль швидкостей у трубопроводі, компенсуючи турбулентність і нерівномірність потоку. На відміну від традиційних турбінних чи ротаційних лічильників, ультразвукові прилади характеризуються низьким гідравлічним опором, не викликають втрат тиску в системі та забезпечують вимірювання навіть у складних умовах, зокрема за наявності домішок, пилу, вологи або незначних коливань температури.

Переваги ультразвукових лічильників доповнюються широкими можливостями інтеграції з сучасними інформаційними системами моніторингу та автоматизованого керування. Вони підтримують цифрові протоколи зв'язку, здатні до самодіагностики та передавання даних у реальному часі, що робить їх важливим елементом інтелектуальних енергетичних мереж. Разом із тим, навіть найсучасніші конструкції потребують регулярного метрологічного контролю для забезпечення стабільності вимірювань упродовж усього терміну експлуатації.

Одним із ключових процесів, який гарантує достовірність показів ультразвукових лічильників, є процедура градування. На відміну від повірки, що лише підтверджує відповідність приладу встановленим нормам, градування передбачає визначення і коригування його метрологічних характеристик у реальних умовах експлуатації. Ця процедура дозволяє усунути систематичні відхилення, уточнити коефіцієнт перетворення лічильника та підвищити достовірність. Зокрема, для ультразвукових лічильників градування дає змогу адаптувати алгоритми обробки сигналів до індивідуальних особливостей конкретного зразка, що істотно покращує його метроло-

гічну характеристику та підвищує точність у всьому робочому діапазоні.

Таким чином, актуальність дослідження полягає у вдосконаленні процесів градування ультразвукових лічильників газу з метою підвищення точності та достовірності їхніх метрологічних характеристик.

**Мета роботи** – аналіз, обґрунтування та експериментальна перевірка методів градування, що застосовуються на еталонній базі ДП «ІВАНО-ФРАНКІВСЬК-СТАНДАРТМЕТРОЛОГІЯ», а також визначення їхнього впливу на загальну невизначеність вимірювань.

### Основний текст статті

У практиці вимірювань витрати та об'єму газу особливого значення набуває градування ультразвукових лічильників. Хоча чинне законодавство України прямо не вимагає проведення цієї процедури, вона все частіше впроваджується операторами газотранспортних та газорозподільних мереж, які прагнуть досягти максимальної точності та відповідності європейським підходам.

На відміну від процесу повірки, градування не лише перевіряє відповідність метрологічних характеристик встановленим вимогам, а й дозволяє здійснювати їхнє коригування як на апаратному, так і на програмному рівнях. Завдяки багатопробним конфігураціям ультразвукові лічильники можуть проходити градування із застосуванням вбудованого програмного забезпечення, що адаптує алгоритми обробки сигналів до індивідуальних особливостей кожного приладу.

Процедура градування здійснюється відповідно до вимог стандарту ДСТУ ISO 17089-1 [1] та експлуатаційної документації. Процедура включає: перевірку метрологічних характеристик лічильника [2], виявлення та аналіз похибок, а також їх подальшу корекцію. Для забезпечення достовірності результатів необхідно дотримуватись регламентованих при проведенні повірки умов температури, тиску та вологості. Окрім зазначеного, важливим моментом є застосування еталонної установки, яка

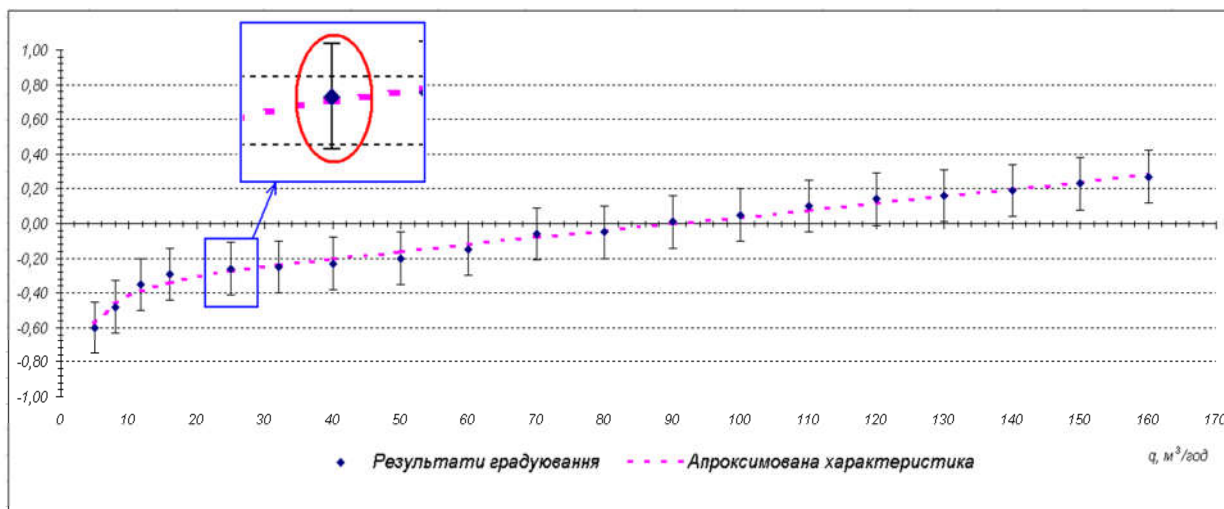


Рисунок 1 – Градувальна характеристика лічильника газу зі значеннями невизначеності

забезпечує виконання вимірювань із мінімальним значенням невизначеності. Слід звернути увагу на те, що під час здійснення процедури градування змінена характеристика лічильника газу буде застосована зі значенням невизначеності, яке не може бути меншим від невизначеності отриманих результатів вимірювань за допомогою відповідної еталонної установки, на якій проводилося градування.

На рис. 1 наведені результати градування лічильника газу у вигляді набору окремих похибок. За допомогою програмного продукту виробника або ж програми Excel здійснюється апроксимація отриманих даних для побудови характеристики лічильника, яку можливо описати лінійною залежністю (в ідеальному варіанті) або ж поліноміальною залежністю різних порядків. Також на рис. 1 зображений фрагмент характеристики лічильника газу із границями невизначеності, яка присвоєна лічильнику газу після процедури градування. Границі невизначеності, якщо розглянути спрощену модель вимірювання, будуть складатися із випадкової складової, яка характеризує повторюваність лічильника (тип А) та невизначеності еталонної установки, на якій проводилося градування (тип В). Розрахунок розширеної невизначеності вимірювання лічильником матиме наступний вигляд:

$$U_M = \sqrt{2 \cdot (u_{AM})^2 + U_E^2}, \quad (1)$$

де  $u_{AM}$  – невизначеність по типу А лічильника, градування якого проводиться на еталоні;

$U_E$  – розширена невизначеність еталона.

Тому, при проведенні процедури градування лічильника газу ультразвукового типу надзвичайно важливим є відповідальний вибір еталонної установки, на якій буде проводитись дана процедура. Оскільки, на перший погляд, процедура, яка наразі є не обов'язковою і здебільшого добровільною, має під собою цілком метрологічне підґрунтя. Проведення градування на установці, яка не пройшла процедуру калібрування, не простежується та не отримала розмір одиниці вимірювання від державного первинного та вторинного еталонів або ж її оцінені під час калібрування значення невизначеності, які складають суттєву величину від границь максимально допустимої похибки (МДП) лічильника газу під час градування лічильника суттєво погіршить достовірність його вимірювання, а не покращить її. Таким чином, за деяких обставин можлива ситуація, коли процедура градування насправді тільки «погіршить» характеристику лічильника, оскільки реальне значення буде близьке або ж навіть і перевищувати його МДП. Хоча, за результатами градування в лічильника буде практично лінійна характеристика.

З огляду, на вищезазначене, процедури градування лічильників газу ультразвукового типу рекомендовано проводити на



**Рисунок 2 – Національний державний первинний еталон одиниць об'єму та об'ємної витрати газу ДЕТУ 03-01-15**

еталонних установках, які мають найвищу точність в Україні, та, відповідно, здійснюють вимірювання з найменшою невизначеністю.

В ДП «ІВАНО-ФРАНКІВСЬК-СТАНДАРТМЕТРОЛОГІЯ» як науковому метрологічному центрі створений комплекс еталонів та еталонних установок, які мають найширший динамічний діапазон об'ємної витрати газу в Україні та забезпечують отримання результату вимірювань зі значенням найменшої невизначеності. Зокрема, вимірювальні та калібрувальні можливості національного первинного та вторинних еталонів одиниць об'єму та об'ємної витрати газу занесені до Баз даних проведених звірень національних еталонів Міжнародного бюро мір та ваг (KCDV BIPM) з ідентифікатором СМС – рядків під шифрами UA1 – UA4 в діапазоні об'ємної витрати газу від 0,016 до 7800 м<sup>3</sup>/год [3].

Залежно від необхідного діапазону об'ємної витрати газу, ДП «ІВАНО-ФРАНКІВСЬК-СТАНДАРТМЕТРОЛОГІЯ» може провести градування ультразвукових лічильників газу на одному із наступних еталонів.

Державний первинний еталон являє собою установку дзвоного типу [4], яка реалізує відтворення одиниць об'єму та об'ємної витрати газу шляхом витіснення з дзвоного мірника порції повітря, приведеної до стандартних умов, об'єм якої чітко визначений шляхом забезпечення стабільності геометричних параметрів мірника: діаметра та висоти. Відтворення одиниць об'ємної витрати газу, в свою чергу, реалізується при умові стабільного вертикального переміщення дзвоного мірника з різним значенням заданої швидкості за певний часовий проміжок. Метрологічні характеристики державного первинного еталона одиниць об'єму та об'ємної витрати газу (рис. 2) наступні: діапазон вимірювання об'ємної витрати газу від 1 м<sup>3</sup>/год до 250 м<sup>3</sup>/год, розширена невизначеність 0,07 %.

Вторинні еталони функціонально об'єднані в одну еталонну установку [5]. Принцип роботи установки побудовано з використанням методу сумування або ж накопичення значення об'ємної витрати газу шляхом застосування в складі установки наборів паралельно встановлених спе-



**Рисунок 3 – Процес градуювання ультразвукового лічильника газу із застосуванням вторинних еталонів одиниць об'єму та об'ємної витрати газу ВЕТУ 03-01-03-11 та ВЕТУ 03-01-04-12**

ціалізованих еталонних лічильників, кожен з яких отримує одиницю об'єму та об'ємної витрати газу шляхом індивідуального калібрування безпосередньо на державному первинному еталоні ДЕТУ 03-01-15 (UA1) або від набору аналогічних ідентичних еталонів порівняння, які, в свою чергу, також застосовуються паралельно для отримання необхідного значення об'ємної витрати газу. В склад установки входять дев'ять еталонних лічильників газу. На рис. 3 показаний процес градуювання ультразвукового лічильника газу із застосуванням вторинних еталонів ВЕТУ 03-01-03-11 та ВЕТУ 03-01-04-12 (UA4).

Сумарний об'єм еталонної установки, приведений до стандартних умов  $V_E$ , з врахуванням індивідуальної поліноміальної характеристики еталонних лічильників розраховується за формулою:

$$V_E = \sum_i^n \left( \frac{V_{N,i}}{1 + \frac{\delta_{N,i}}{100}} \cdot \frac{P_{N,i} \cdot 293,15K}{T_{N,i} \cdot 101,325Pa} \right), \quad (2)$$

де  $V_N$  – об'єм виміряний  $i$ -им еталонним лічильником;  $\delta_N$  – значення коефіцієнта перетворення еталонного лічильника, розрахованого згідно апроксимаційного полінома;  $P_N$  – абсолютне значення тиску на  $i$ -му еталонному лічильнику;  $T_N$  – значення температури на  $i$ -му еталонному лічильнику.

Метрологічні характеристики вторинних еталонів одиниць об'єму та об'ємної витрати газу ВЕТУ 03-01-03-11 та ВЕТУ 03-01-04-12 (UA4) наступні: в діапазоні вимірювання об'ємної витрати газу від 1 до 1250 м<sup>3</sup>/год розширена невизначеність становить 0,11%; в діапазоні від 50 до 6500 м<sup>3</sup>/год розширена невизначеність – 0,12%; в діапазон від 6500 до 7800 м<sup>3</sup>/год розширена невизначеність – 0,14 %.

Окрім комплексу національних еталонів, фахівцями ДП «ІВАНО-ФРАНКІВСЬК-СТАНДАРТМЕТРОЛОГІЯ» спроектована та виготовлена еталонна установка з максимальною витратою до 25000 м<sup>3</sup>/год, яка складається із системи трубопроводів з агрегатами для створення потоку газу, набору паралельно встановлених еталонних



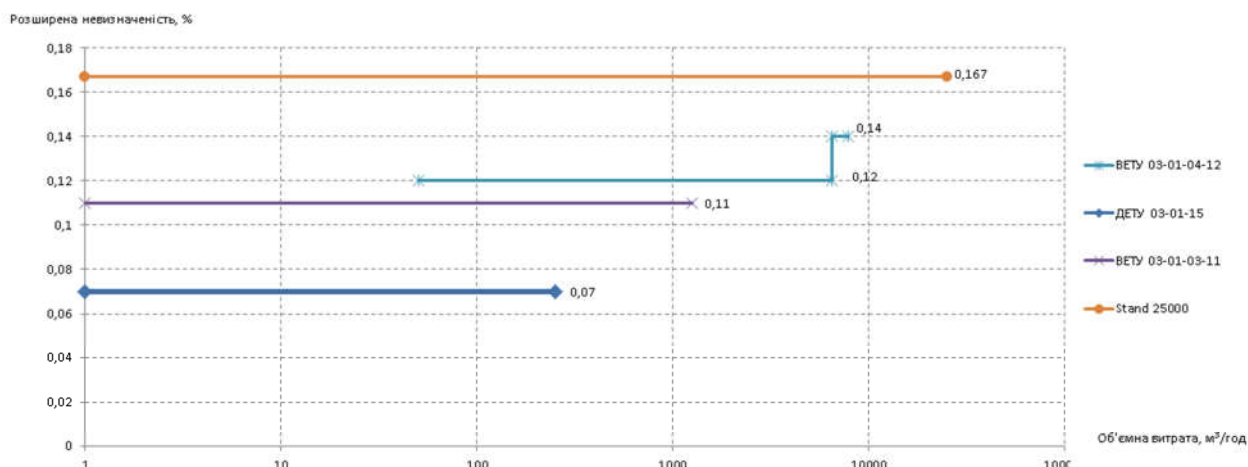
**Рисунок 4 – Еталона установка одиниць об'єму та об'ємної витрати газу Stand-25000 в діапазоні об'ємної витрати від 1 м<sup>3</sup>/год до 25000 м<sup>3</sup>/год**

лічильників газу (ЕЛ) і досліджуваного лічильника газу, встановленого послідовно до еталонних лічильників, системи регулювання витрати, перетворювачів температури й тиску, системи збору, передачі та 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 м<sup>3</sup>/год пропорційні зростанню значення досліджуваної витрати [6].

Принцип установки побудований на порівнянні приведеного до стандартних умов об'єму газу, який облікував еталонний лічильник з об'ємом, виміряним дослідним лічильником, який повіряється. В якості еталонних лічильників в установці застосований набір з чотирьох турбінних та двох роторних лічильників. На рис. 4 представлений зовнішній вигляд установки одиниць об'єму та об'ємної витрати газу з еталонними лічильниками Stand-25000 в діапазоні об'ємної витрати від 1 до 25000 м<sup>3</sup>/год.

Паралельне використання таких еталонних лічильників газу у складі еталонної установки дозволяє збільшити діапазон вимірюваної витрати газу, що залежить від кількості встановлених і задіяних еталонних лічильників газу, забезпечити метрологічну простежуваність вимірювань до національної еталонної бази, а саме до вторинних еталонів. Лічильники пройшли калібрування на вторинних еталонах одиниць об'єму та об'ємної витрати газу ВЕТУ 03-01-03-11 та ВЕТУ 03-01-04-12 (UA4), які за результатами міжнародних звірень мають підтверджені метрологічні характеристики, 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 за одного спільного значення об'ємної витрати газу.

Метрологічні характеристики установки з еталонними лічильниками Stand-25000 наступні: діапазон вимірювання об'ємної витрати газу від 1 до 25000 м<sup>3</sup>/год, розширена невизначеність – 0,167 %.



**Рисунок 5 – Графічна інтерпретація співвідношення діапазонів одиниці об'ємної витрати газу еталонними установками із значеннями розширеної невизначеності вимірювання**

Для візуального оцінювання співвідношення діапазонів вимірювання одиниці об'ємної витрати газу національного первинного еталона ДЕТУ 03-01-15 (UA1), вторинних еталонів ВЕТУ 03-01-03-11 та ВЕТУ 03-01-04-12 (UA4) та установок з еталонними лічильниками Stand- 25000 з врахуванням значення розширеної невизначеності, наведений рис.5. Для наочності значення одиниці об'ємної витрати газу представлені у вигляді логарифмічної шкали в діапазоні об'ємної витрати від 1 до 25000 м³/год, що наразі є найширшим діапазоном в Україні із найменшим значенням розширеної невизначеності.

Тепер розглянемо основні етапи проведення градування лічильників газу ультразвукового типу на еталоні. Основні етапи градування передбачають: підготовку до досліджень, визначення метрологічних характеристик лічильника, розрахунок середньозваженої похибки та застосування методів корекції (постійний коефіцієнт, поліноміальна апроксимація, кусочно-лінійна інтерполяція), після чого виконується повторна перевірка метрологічних характеристик та пломбування.

Підготовка до градування передбачає, що ультразвуковий лічильник газу монтується на еталонну установку, після чого проводиться перевірка герметичності та контроль витоків, щоб забезпечити його правильну роботу.

Процедура градування:

#### 1. Визначення метрологічних характеристик лічильника

На цьому етапі проводиться серія вимірювань у визначених точках діапазону витрат, щоб оцінити точність приладу та виявити характер відхилень.

#### 2. Розрахунок середньозваженої похибки

На основі отриманих результатів вимірювань обчислюється середньозважена похибка, яка враховує вплив кожної точки в діапазоні на загальну точність лічильника.

#### 3. Градування одним із методів, залежно від характеру відхилень:

Постійний коефіцієнт: застосовується, якщо похибка стабільна по всьому діапазону.

Поліном: використовується у випадку плавного нелінійного відхилення, дозволяє побудувати коригувальний поліном (наприклад, II, III, порядку або IV порядку).

Кусково-лінійна апроксимація: ефективна при наявності ділянок з різною поведінкою похибки, де точність краще забезпечити розділенням діапазону на інтервали з окремими коефіцієнтами.

В таблиці 1 та на рис. 6 наведені реальні метрологічні характеристики ультразвукового лічильника газу типорозміру G1600. На його прикладі проведемо градування для усіх доступних методів та оцінимо результати такої процедури.

Для здійснення градування методом постійного коефіцієнта необхідно провести

Таблиця 1 – Результати дослідження ультразвукового лічильника газу типорозміру G1600

| Об'ємна витрата,<br>м³/год | 20<br>Qmin | 125<br>0.05Qmax | 250<br>0.1Qmax | 625<br>0.25Qmax | 1000<br>0.4Qmax | 1750<br>0.7Qmax | 2500<br>Qmax |
|----------------------------|------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------|
| Похибка, %                 | -0,23      | -0,14           | -0,53          | -0,60           | -0,63           | -0,76           | -0,88        |

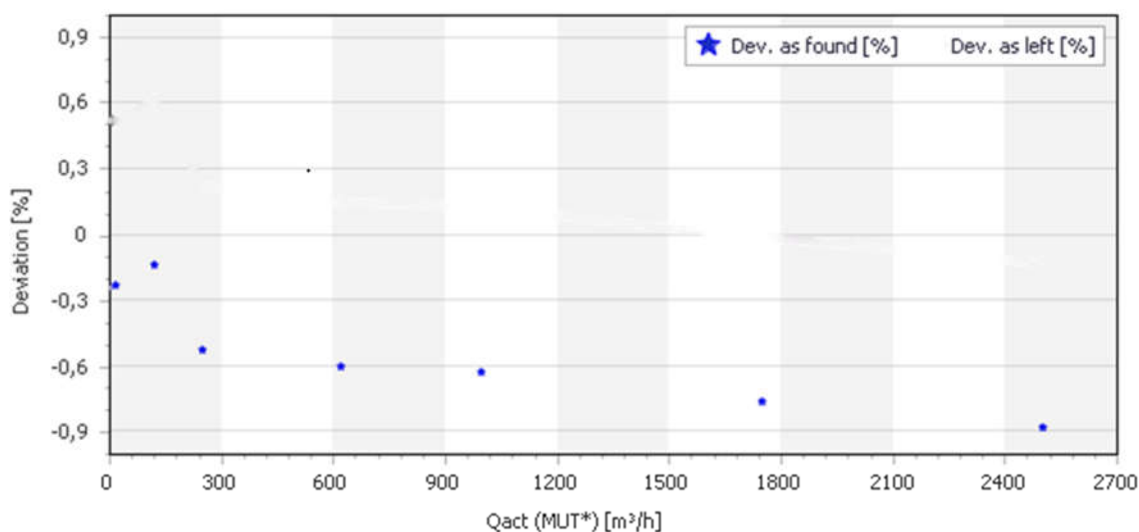


Рисунок 6 – Отримане значення метрологічних характеристик ультразвукового лічильника

розрахунок середньозваженої похибки (WME). Розрахунок здійснюється за такою формулою:

$$WME = \frac{\sum_{i=1}^n k_i \delta_i}{\sum_{i=1}^n k_i}, \quad (3)$$

$\delta$  – основна відносна похибка лічильника, що повіряється (у відсотках);  $q_i$  – значення об'ємної витрати газу;

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

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

Для отриманої метрологічної характеристики лічильника газу, розраховане значення складає  $WME = -0,7479$ .

Проведемо градування методом постійного коефіцієнта AF, розрахунок якого здійснюється згідно:

$$AF = \frac{1}{1 + \frac{WME}{100\%}} = 1,00753. \quad (4)$$

Наступний метод градування полягає у застосуванні поліноміальної корекції. Залежно від кількості точок визначення метрологічних характеристик в діапазоні від  $Q_{\min}$  до  $Q_{\max}$ , обирається порядок полі-

нома. Зокрема, градування може здійснюватися із застосування полінома II, III або IV порядку.

Наведемо розрахунок полінома II порядку при проведенні градування зі значенням метрологічних характеристик для 5 дослідних точок.

Формула градувального полінома наступна (5):

$$(Q1) = a_{-1}Q^{-1} + a_0 + a_1Q. \quad (5)$$

Коефіцієнти полінома:

$$a_{-1} = -3,500830 \cdot 10^{-2};$$

$$a_0 = 1,003762;$$

$$a_1 = 2,218830 \cdot 10^{-6}.$$

Наступним представимо розрахунок полінома III порядку при проведенні градування зі значенням метрологічних характеристик для 6 дослідних точок.

Формула градувального полінома наступна (6):

$$(Q2) = a_{-1}Q^{-1} + a_0 + a_1Q + a_2Q^2. \quad (6)$$

Коефіцієнти полінома:

$$a_{-1} = -1,251669 \cdot 10^{-2};$$

$$a_0 = 1,00280;$$

$$a_1 = 4,981434 \cdot 10^{-6};$$

$$a_2 = -1,041072 \cdot 10^{-9}.$$

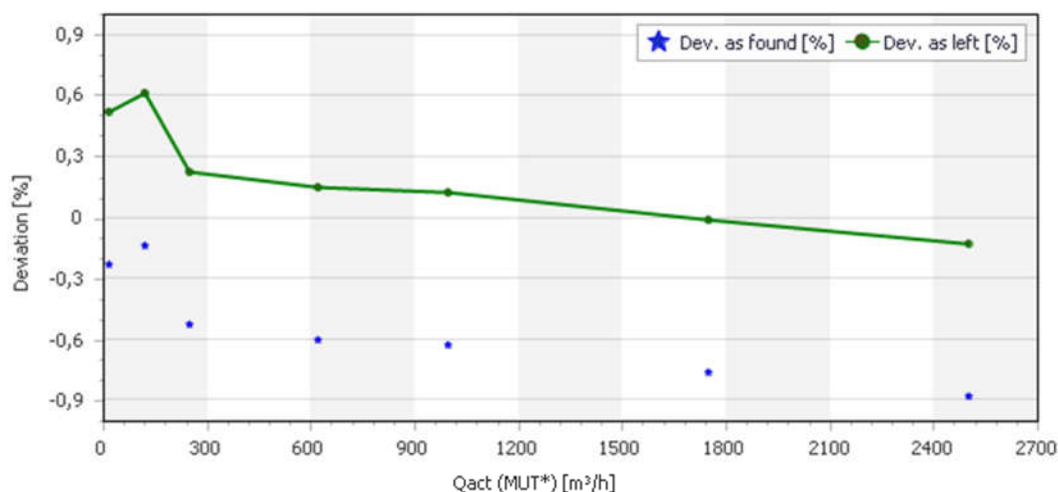


Рисунок 7 – Характеристика ультразвукового лічильника після градування методом постійного коефіцієнта

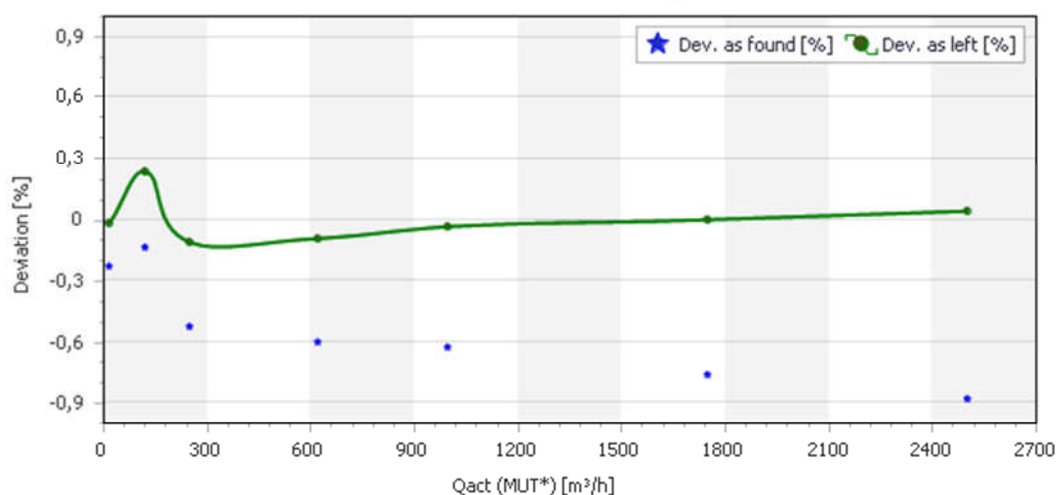


Рисунок 8 – Характеристика ультразвукового лічильника після градування із застосуванням полінома II порядку

Останній варіант передбачає застосування полінома IV порядку при проведенні градування зі значенням метрологічних характеристик для 7 дослідних точок.

Формула градувального полінома наступна (7):

$$(Q3) = a_{-2}Q^{-2} + a_{-1}Q^{-1} + a_0 + a_1Q + a_2Q^2. \quad (7)$$

Коефіцієнти полінома:

$$a_{-2} = 1,938767 \cdot 10^{-1};$$

$$a_{-1} = -1,115551;$$

$$a_0 = 1,009676;$$

$$a_1 = -3,261947 \cdot 10^{-6};$$

$$a_2 = 1,272136 \cdot 10^{-9}.$$

Останній метод градування передбачає застосування кусково-лінійної апроксимації, тобто характеристика лічильника описується набором лінійних прямих. При

цьому розрахункова характеристика лічильника виражена горизонтальною лінією, максимально наближеною до характеристики лічильника з «нульовим» відхиленням.

### Висновки

З огляду на розвиток енергетичної інфраструктури України, підвищення точності обліку природного газу набуває стратегічного значення. Невеликі похибки у вимірюванні витрати та об'єму можуть призводити до значних фінансових втрат у комерційних операціях, тому впровадження регулярного градування із застосуванням високоточних еталонів є не лише технічним, а й економічно обґрунтованим кроком.

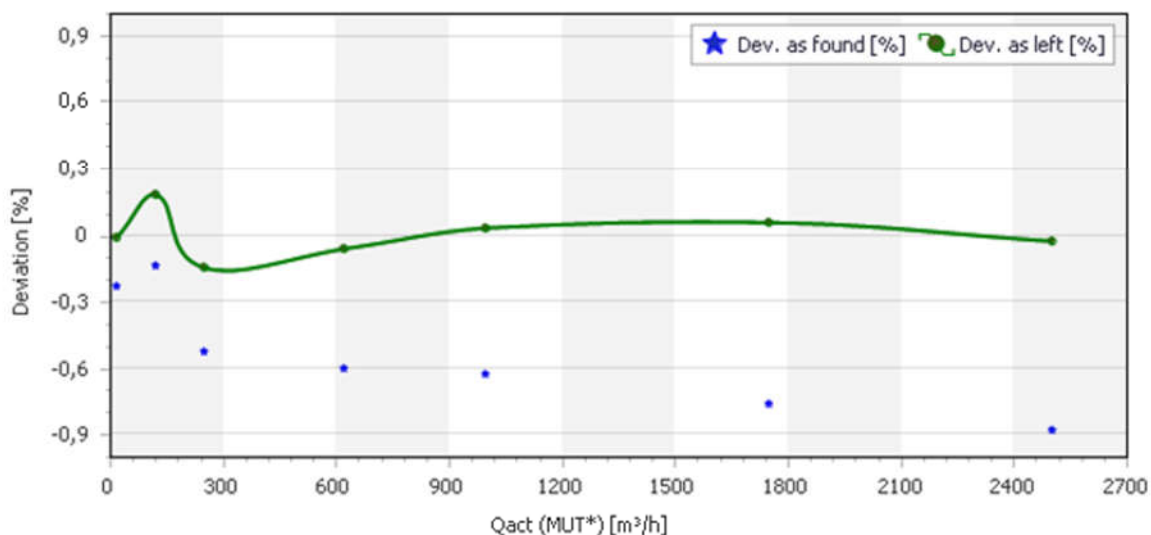


Рисунок 9 – Характеристика ультразвукового лічильника після градування із застосуванням полінома III порядку

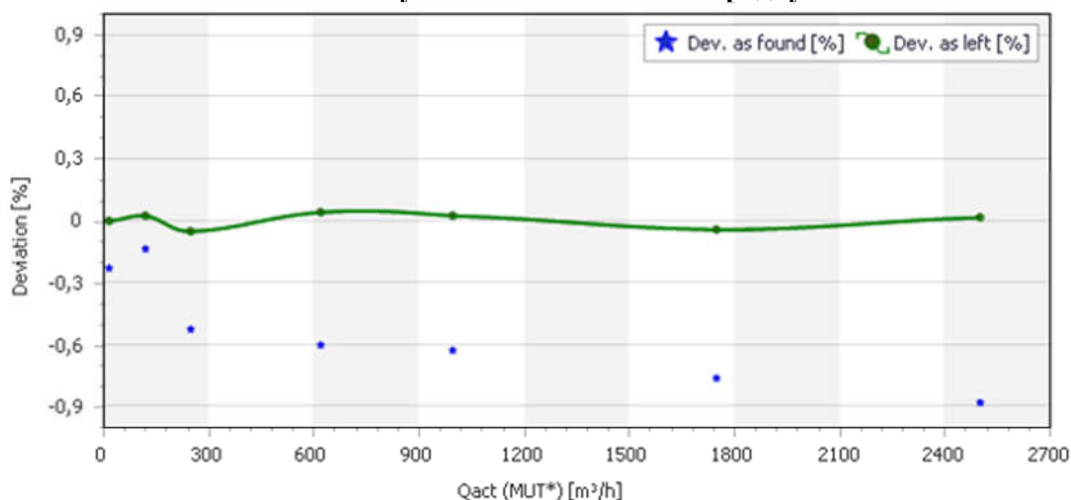


Рисунок 10 – Характеристика ультразвукового лічильника після градування із застосуванням полінома IV порядку

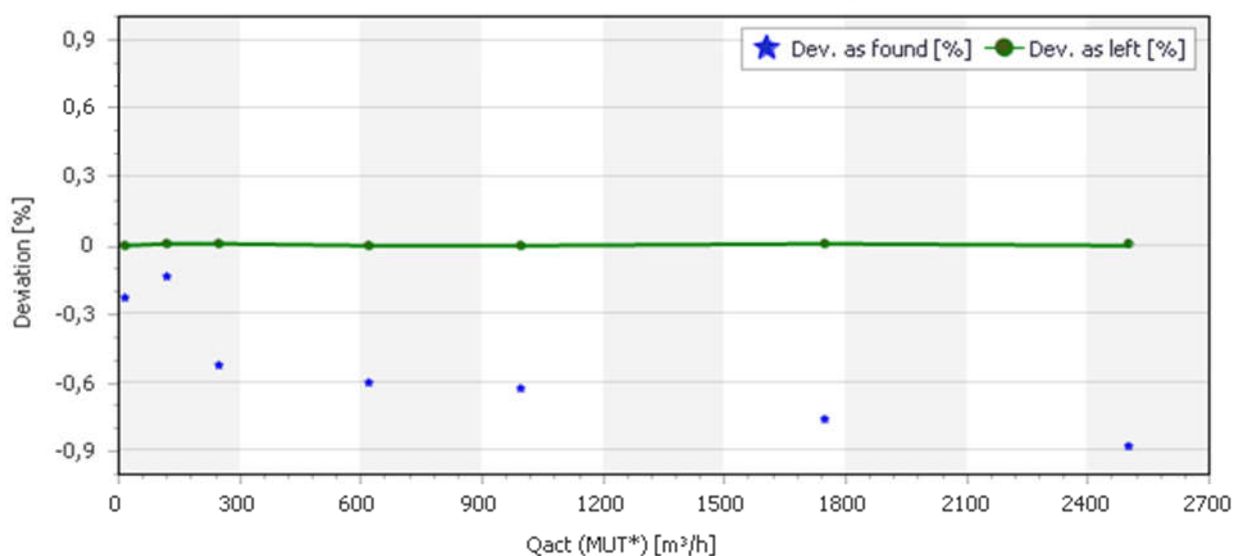


Рисунок 11 – Характеристика ультразвукового лічильника після градування із застосуванням кусково-лінійної апроксимації

На відміну від стандартної повірки, градування дозволяє не лише перевірити відповідність приладу метрологічним характеристикам, а й здійснити їх коригування, підвищивши точність вимірювань у всьому робочому діапазоні. Застосування різних методів корекції (метод постійного коефіцієнта, поліноміальна апроксимація, кусково-лінійна інтерполяція) дає змогу індивідуально враховувати особливості кожного приладу, мінімізуючи похибки вимірювань.

Здійснення градування можливе лише на еталонних установках із гарантованою простежуваністю до міжнародної системи SI. У цьому контексті особливе значення

має діяльність ДП «ІВАНО-ФРАНКІВСЬК-СТАНДАРТМЕТРОЛОГІЯ», на базі якого створено комплекс еталонних установок одиниць об'єму та об'ємної витрати газу. Використання таких установок дає змогу отримувати результати вимірювань із мінімальними значеннями невизначеності, яке відповідає вимогам міжнародних стандартів ДСТУ ISO 17089-1 та ДСТУ OIML R 137-1-2.

#### Подяки

Відсутні.

#### Конфлікт інтересів

Відсутній.

#### Список використаних джерел

1. ДСТУ ISO 17089-1:2021 Вимірювання потоку плинного середовища в закритих каналах. Ультразвукові лічильники газу. Частина 1. Лічильники для комерційного обліку та вимірювання в газорозподільчих системах (ISO 17089-1:2019, IDT)
2. ДСТУ OIML R 137-1-2:2018 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)
3. Державне підприємство "Івано-Франківськстандартметрологія", Україна. URL: <https://www.bipm.org/kcdb/cmc/quick-search?includedFilters=cmcBranches.Fluid+flow&excludedFilters=&page=0&cmcStatus=&keywords=ukraine>
4. Петришин І. С., Вошинський В. С., Джочко П. Я., Безгачнюк Я. В., Середюк Д. О., Вошинський В. В., Андрук М. С. Удосконалення державного первинного еталона одиниці об'єму та об'ємної витрати газу. *Методи та прилади контролю якості*. 2016. № 1 (36). С. 38 – 47. URL: <https://mpky.nung.edu.ua/index.php/mpky/article/view/306/311>
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.
6. Малісевич В. В., Середюк, Д. О., Пелікан Ю. Т., Катамай В. Б. (2024). Проведення метрологічних досліджень лічильників газу в діапазоні об'ємної витрати газу до 25 000 м<sup>3</sup>/год в рамках енергетичної безпеки України. *Методи та прилади контролю якості*. 2024. № 2(53). С. 33–45. doi: 10.31471/1993-9981-2024-2(53)-33-45

#### References

1. DSTU ISO 17089-1:2021. Measurement of fluid flow in closed conduits. Ultrasonic gas meters. Part 1: Meters for custody transfer and distribution metering (ISO 17089-1:2019, IDT) [in Ukrainian]
2. DSTU OIML R 137-1-2:2018. Gas meters. Part 1: Metrological and technical requirements. Part 2: Metrological and technical performance tests (OIML R 137-1-2:2014, IDT) [in Ukrainian]
3. State Enterprise "Ivano-Frankivskstandardmetrologia", Ukraine. URL: <https://www.bipm.org/kcdb/cmc/quick-search?includedFilters=cmcBranches.Fluid+flow&excludedFilters=&page=0&cmcStatus=&keywords=ukraine>
4. Petryshyn I. S., Voshchynskyi V. S., Dzhochko P. Ya., Bezgachniuk Ya. V., Sedyuk D. O., Voshchynskyi V. V., Andruk M. S. Improvement of the national primary standard of the unit of gas volume and volumetric flow rate. *Methods and Devices of Quality Control*. 2016. Vol. 1 (36). P. 38–47. URL: <https://mpky.nung.edu.ua/index.php/mpky/article/view/306/311> [in Ukrainian]

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. [in Ukrainian]

6. Malisevych V. V., Seredyuk D. O., Pelikan Yu. T., Katamay V. B. Conducting Metrological Research of Gas Meters in the Flow Range up to 25,000 m<sup>3</sup>/h within the Framework of Ukraine's Energy Security. *Methods and Devices of Quality Control*. 2024. Vol. 2(53). P. 33–45. doi: [10.31471/1993-9981-2024-2\(53\)-33-45](https://doi.org/10.31471/1993-9981-2024-2(53)-33-45)[in Ukrainian]

## IMPROVING THE ACCURACY OF ULTRASONIC GAS METERS THROUGH CALIBRATION AT THE REFERENCE STANDARDS OF SE "IVANO-FRANKIVSKSTANDARTMETROLOGY"

### **Bas O. A.**

Candidate of Technical Sciences, senior researcher of the research laboratory of the scientific support center  
State enterprise "Ivano-Frankivsk scientific-production center for standardization, metrology and certification"  
76006, 127 Vovchynetska St., Ivano-Frankivsk, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-0732-6906>  
e-mail: ifstandartmetrology@gmail.com

### **Serediuk D. O.**

Candidate of Technical Sciences, head of the scientific support center  
State enterprise "Ivano-Frankivsk scientific-production center for standardization, metrology and certification"  
76006, 127 Vovchynetska St., Ivano-Frankivsk, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-5454-4263>  
e-mail: ifstandartmetrology@gmail.com

### **Pelikan Yu. T.**

Head of the scientific research laboratory of the scientific support center  
State enterprise "Ivano-Frankivsk scientific-production center for standardization, metrology and certification"  
76006, 127 Vovchynetska St., Ivano-Frankivsk, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-8302-9532>  
e-mail: ifstandartmetrology@gmail.com

### **Tysiak A. V.**

Metrology engineer of the testing laboratory of the scientific support center  
State enterprise "Ivano-Frankivsk scientific-production center for standardization, metrology and certification"  
76006, 127 Vovchynetska St., Ivano-Frankivsk, Ukraine  
<https://orcid.org/0009-0004-8730-9437>  
e-mail: ifstandartmetrology@gmail.com

**Katamai V. B.**

Metrology engineer of the testing laboratory of the scientific support center  
State enterprise "Ivano-Frankivsk scientific-production center for standardization, metrology and certification"  
76006, 127 Vovchynetska St., Ivano-Frankivsk, Ukraine  
<https://orcid.org/0009-0000-0724-3943>  
e-mail: ifstandartmetrology@gmail.com

**Manuliak R. T.**

Researcher of the research laboratory of the scientific support center  
State enterprise "Ivano-Frankivsk scientific-production center for standardization, metrology and certification"  
76006, 127 Vovchynetska St., Ivano-Frankivsk, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-6749-6632>  
e-mail: ifstandartmetrology@gmail.com

**Abstract.** The article explores the calibration process of ultrasonic gas meters as a key element in ensuring the reliability and accuracy of metering systems. Due to their advantages – the absence of mechanical moving parts, high measurement accuracy, stability of characteristics, and long service life – ultrasonic meters are becoming increasingly widespread. At the same time, to enhance the accuracy of ultrasonic gas meters, calibration can be carried out, as they contain built-in error correction devices. The paper proposes and analyzes mathematical methods of error correction, including the use of a constant coefficient, polynomial functions of the second to fourth order, and piecewise-linear approximation. The results of experimental studies are presented, and the calculation of weighted average errors is performed. It is shown that calibration significantly reduces measurement uncertainty, helps to minimize systematic deviations, and increases the reliability of measurement data. Special attention is given to the reference facilities of SE "IVANO-FRANKIVSKSTANDARTMETROLOGY", in particular, the necessity of performing calibration on reference installations that ensure measurements with the lowest possible uncertainty is substantiated. Additionally, it is emphasized that calibration results have a direct impact on commercial gas metering. Therefore, such work must be performed only in accredited laboratories with the necessary experience and equipment.

**Keywords:** gas volume; volumetric flow rate; traceability; standard; prover; calibration; uncertainty.