

УДК 006.91:681.121.089

## МЕТРОЛОГІЧНА МОДЕЛЬ ЗВІРЕННЯ ЕТАЛОНІВ ОБ'ЄМУ ТА ОБ'ЄМНОЇ ВИТРАТИ ГАЗУ ДЗВОНОВОГО ТИПУ

*О.Є. Середюк, Я.М. Козут*

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,  
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, тел. (8-03422)4-60-77,  
e-mail: feivt@nung.edu.ua*

*Розглянуті технічна реалізація і метрологічний аналіз методології звірення еталонів об'єму та об'ємної витрати газу на базі дзвонових установок із застосуванням еталонних критичних сопел. Наведені результати чисельного аналізу метрологічної моделі звірення з використанням теорії невизначеності у вимірюваннях, які обґрунтовують можливість практичного застосування звірення у відповідності до чинної Державної повірочної схеми України для засобів вимірювання об'єму та об'ємної витрати газу.*

*Рассмотрены техническая реализация и метрологический анализ методологии сличения эталонных объема и объемного расхода газа на базе колокольных установок с применением эталонных критических сопел. Наведены результаты численного анализа метрологической модели сличения с использованием теории неопределенности в измерениях, которые обосновывают возможность практической реализации сличения в соответствии с действующей в Украине Государственной поверочной схемой для средств измерения объема и объемного расхода газа.*

*The technical realization and metrological analysis of the methodology of collation with standards of volume and volume flow of natural gas which is based on the bell with the critical nozzle flowmeter is considered in this article. The results of numeral analysis of metrological model of collection with the theory of the uncertainty are used. And the possibility of practical useful collation is confirmed according to the operating state verification scheme which is use for units of volume and volume flow of natural gas in Ukraine.*

Дзвонові витратовимірювальні установки є еталонами об'єму та об'ємної витрати газу, які призначені для точного відтворення та вимірювання витрат і об'ємів газу. Вони застосовуються для градування та повірки витратомірів і лічильників, які є одними з найбільш поширених засобів контролю за енергоощадністю паливно-енергетичних ресурсів, зокрема природного газу. Достатньо високі метрологічні характеристики цих еталонних установок (границя основної допустимої похибки не вище 0,15%), можливість їх конструктивного виконання для функціонування від малих (близько 1 м<sup>3</sup>/год) до надвеликих (близько 10000 м<sup>3</sup>/год) витрат, а також широкий діапазон (переважно не менше 1:200) відтворюваних витрат забезпечують їх застосування зі статусом державного (первинного) і робочих еталонів. Свідченням цього є створення на їх базі первинних еталонів у Австрії, Канаді, Німеччині, Італії, Мексиці, Польщі, Великобританії та інших країнах [1], в

тому числі і в Україні [2]. Відома також дзвонова установка, що створена у Польщі на базі одного з найбільших в світі мірників об'ємом 60 м<sup>3</sup> [3]. Однак ці установки є стаціонарного типу, внаслідок чого їх метрологічна атестація здійснюється на місці експлуатації геометричним методом або методом зважування об'єму рідини, який відповідає об'єму витісненого дзвоном повітря.

Тому з метою забезпечення єдності вимірювань у сфері обліку природного газу актуальним є проведення звірень цих еталонних установок як в межах однієї держави, так і проведення міждержавних звірень аналогічних установок.

Аналіз відомих методів та пристроїв для звірення еталонів показав, що для цієї мети в Україні застосовують еталони передавання на базі турбінних, роторних або барабанних лічильників газу [4] з використанням повітря як робочого середовища. За кордоном також набули поширення турбінні і роторні

лічильники, які реалізують звірення на повітрі і природному газі [5]. Однак ці засоби є складними в застосуванні, оскільки наявність механічних пристроїв у них потребують спеціального транспортування і частішої перевірки лічильників з метою недопущення відхилень від умов функціонування рухомих вузлів (турбін, роторів та інших чутливих елементів). Більш простішими і водночас достатньо точними засобами передавання одиниць об'єму і витрати є витратоміри на базі еталонних критичних сопел, які є загально визнаним засобом точного вимірювання витрати газу [6-8], що дає можливість створювати на їх базі робочі еталони і повірочні установки. Малі розміри, висока точність і можливість здійснення вимірювань на повітрі і природному газі за реальних умов роблять їх практично єдиним засобом-компаратором, що придатний для звірення стаціонарних державних і робочих еталонів. Поряд з цим застосування компараторів на базі критичних сопел за умов функціонування дзвонових еталонів обмежене складністю досягнення в соплах критичних режимів течії газу. Тому за участю одного із авторів статті розроблена методологія звірення дзвонових еталонів [9], яка відображена в нормативному документі [10] і технічно реалізована [11] на базі спеціального пристрою (компаратора) для проведення таких звірень. Однак ґрунтовний метрологічний аналіз такого методу звірення дотепер не виконувався.

Метою даної роботи є розроблення метрологічної моделі звірення еталонів об'єму та об'ємної витрати газу дзвонового типу для оцінки точності проведення цих метрологічних досліджень.

При звіренні за результатами вимірювань еталонного значення об'єму газу і параметрів потоку газу перед критичними соплами компаратора обчислюються їх коефіцієнти витрат  $\mu_C$  за формулою:

$$\mu_C = \frac{q_0}{\sqrt{RKFC}} \cdot \frac{p_0}{p_C} \cdot \frac{\sqrt{T_C}}{T_0}, \quad (1)$$

де  $\mu_C$  – коефіцієнт витрати критичного сопла;  $p_C$  та  $T_C$  – абсолютний тиск та температура ізоентропічно загальмованого газу перед соплом;  $F$  – площа горловини критичного сопла;  $C$  – функція критичної витрати газу через сопло;  $q_0$  – об'ємна витрата, яка відтворюється дзвоновим еталоном;  $K$ ,  $R$  – коефіцієнт стисливості за умов дзвонового еталона та питома газова стала повітря відповідно;  $p_0$ ,  $T_0$  –

абсолютний тиск та температура повітря в дзвоновому еталоні.

За результатами  $n$  вимірювань при проведенні  $k$ -их експериментів визначаються середні арифметичні значення  $\bar{\mu}_C$  коефіцієнтів витрати сопел компаратора і середнє квадратичне відхилення  $S(\mu_C)$  випадкових складових похибок визначених цих коефіцієнтів витрати:

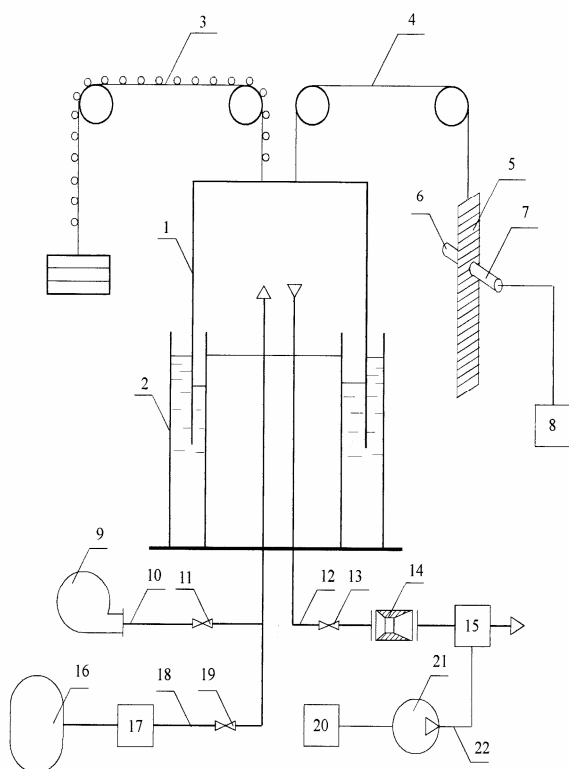
$$\bar{\mu}_C = \frac{\sum_{k=1}^n \mu_{Ck}}{n}, \quad (2)$$

$$S(\mu_C) = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (\mu_{Ck} - \bar{\mu}_C)^2}{n-1}}. \quad (3)$$

При звіренні еталонів значення коефіцієнтів витрати сопел компаратора визначають для кожного еталона дзвонового типу, наприклад, значення коефіцієнта  $\mu_{C1}$  для одного еталона і значення коефіцієнта  $\mu_{C2}$  для другого еталона і аналогічно для всіх інших звірюваних еталонів дзвонового типу.

Після цього здійснюють оброблення отриманих результатів, за якими оцінюють систематичну складову похибки кожного еталона і обчислюють характеристику випадкової складової похибки для кожного з них за методикою, відображеною в [10].

Основними вузлами пристрою для визначення коефіцієнта витрати критичних сопел компаратора (рис.1) є випробувальна ділянка з критичним соплом і система забезпечення критичного режиму потоку [12]. Досліджуваний дзвоновий еталон складається з дзвона 1, витіснювача 2, компенсаційної стрічки 3, лінійки 5, з'єднаної сталлюю стрічкою 4 з дзвоном, освітлювача 6, фотоприймача 7 і електронного вимірювача відтворюваного контрольного об'єму газу 8. Дзвоновий еталон також містить систему подачі газу для наповнення дзвона, яка конструктивно реалізована з повітродувки 9, джерела робочого газу 16, редуктора 17, запірних клапанів 11, 19 і повітряних трубопроводів 10, 18. До випробувальної ділянки з критичним соплом 14 газ подається трубопроводом 12 із запірним клапаном 13. Система забезпечення критичного режиму складається з газоструминного інжектора 15, джерела витрати стисненого повітря 21, блока керування 20 і трубопроводу 22.



**Рисунок 1 - Функціональна схема технічної реалізації методології визначення коефіцієнта витрати критичних сопел при звіренні дзвонових еталонів**

Визначення коефіцієнта витрати критичного сопла здійснюють таким чином. Перед початком випробування на повітряному газовому середовищі заповнюють простір під дзвоном 1 від джерела витрати 9 через трубопровід 10 і відкритий клапан 11. При цьому клапани 19 і 13 у відповідних трубопроводах 18 і 12 закриті. При досягненні дзвоном заданого верхнього положення клапан 11 закривають і припиняють подачу повітря від повітродувки 9. Дзвін набуває нерухомого зваженого стану. Далі за допомогою джерела витрати стисненого повітря 21 і блока керування 20 в залежності від параметрів критичного витратоміра створюють необхідну витрату повітря у газоструминному інжекторі 15, яке подається до нього додатковим трубопроводом 22. Цим забезпечується досягнення в робочій зоні інжектора абсолютного тиску, що є меншим від атмосферного.

Після відкриття клапана 13 дзвін починає опускатись під дією власної ваги і витискати повітря у вихідний трубопровід 12. Одночасно з опусканням дзвона вимірювачем 8 за допомогою лінійки 5, освітлювача 6 і

фотоприймача 7 фіксується заданий контрольний об'єм повітря. При цьому також вимірюють параметри тиску і температури повітря під дзвоном і перед критичним витратоміром, які забезпечують проведення обчислень згідно алгоритму (1). При опусканні дзвона до крайнього нижнього положення запірний клапан 13 закривають і подавання повітря від джерела 21 припиняють. Градувальний цикл на цьому закінчується.

У випадку проведення випробувань на робочому газі залежність (1) залишається незмінною, але функцію  $C$ , фактор  $K$  і сталу  $R$  попередньо розраховують для умов цього газу. За таких умов на початку градувального циклу заповнення дзвона здійснюється за допомогою трубопроводу 18 від джерела газу 16 високого тиску з пониженням його значення редуктором 17 до робочого тиску під дзвоном. Під час такого заповнення запірний клапан 11 закритий, а клапан 19 відкритий, який закривають після досягнення дзвоном заданого верхнього положення.

При побудові метрологічної моделі необхідно враховувати похибки всіх складових, що входять в алгоритм (1) функціонування дзвонового еталона при відтворюванні ним витрати газу за умови градування критичного сопла компаратора. Оскільки площа перерізу горловини критичного сопла є функцією його діаметра  $d$ , запишемо (1) у такому вигляді:

$$\mu_C = \frac{4q_0}{\pi\sqrt{RK}d^2C} \cdot \frac{p_0}{p_C} \cdot \frac{\sqrt{T_C}}{T_0} \quad (4)$$

Зважаючи на ту обставину, що інтеграція України до Євросоюзу і в міжнародний метрологічний простір зумовлює необхідність використання для вихідних і робочих еталонів, до яких відносяться дзвонові еталони, загальноприйнятих метрологічних характеристик, проведемо метрологічний аналіз визначення коефіцієнта витрати критичного сопла з використанням концепції невизначеності [13]. Тому для розрахунку сумарної невизначеності знаходження коефіцієнта  $\mu_C$  використаємо принцип незалежності похибки вимірювання параметрів у (4), що рекомендується застосовувати для практичних цілей розрахунку похибки витратомірів критичного витікання газу [14]. Таким чином, на базі алгоритму (4) і за умови припущення відсутності кореляційних зв'язків між значеннями його параметрів [13], запишемо такий вираз для досліджуваної метрологічної моделі:

$$U(\mu_c) = \left[ \begin{aligned} & \left( \frac{\partial \mu_c}{\partial q_0} U_B(q_0) \right)^2 + \left( \frac{\partial \mu_c}{\partial K} U(K) \right)^2 + \left( \frac{\partial \mu_c}{\partial d} U_B(d) \right)^2 + \\ & + \left( \frac{\partial \mu_c}{\partial C} U(C) \right)^2 + \left( \frac{\partial \mu_c}{\partial p_0} U_B(p_0) \right)^2 + \left( \frac{\partial \mu_c}{\partial p_c} U_B(p_c) \right)^2 + \\ & + \left( \frac{\partial \mu_c}{\partial T_c} U_B(T_c) \right)^2 + \left( \frac{\partial \mu_c}{\partial T_0} U_B(T_0) \right)^2 \end{aligned} \right]^{0.5}, \quad (5)$$

де  $\frac{\partial \mu_c}{\partial q_0}$ ,  $\frac{\partial \mu_c}{\partial K}$ ,  $\frac{\partial \mu_c}{\partial d}$ ,  $\frac{\partial \mu_c}{\partial C}$ ,  $\frac{\partial \mu_c}{\partial p_0}$ ,  $\frac{\partial \mu_c}{\partial p_c}$ ,  $\frac{\partial \mu_c}{\partial T_0}$ ,  $\frac{\partial \mu_c}{\partial T_c}$  – коефіцієнти впливу для розрахунку невизначеності параметрів  $q_0$ ,  $K$ ,  $d$ ,  $C$ ,  $p_0$ ,  $p_c$ ,  $T_0$ ,  $T_c$  відповідно;  $U(K)$ ,  $U(C)$ ,  $U_B(q_0)$ ,  $U_B(d)$ ,  $U_B(p_0)$ ,  $U_B(p_c)$ ,  $U_B(T_c)$ ,  $U_B(T_0)$  – стандартні невизначеності обчислення коефіцієнтів  $K$ ,  $C$  і вимірювання параметрів  $q_0$ ,  $d$ ,  $p_0$ ,  $p_c$ ,  $T_0$ ,  $T_c$  відповідно.

При цьому у формулі (5) невизначеність  $U_B(R)$  не вказана внаслідок того, що питома газова стала для повітря є фізичною константою  $R=287,0774$  Дж/(кг·К), яка подається в довідковій літературі.

Зважаючи, що на стадії попередньої оцінки метрологічних характеристик компаратора практично неможливо обчислити кількісні характеристики невизначеності без конкретних числових даних, а для обґрунтування можливості реалізації звірення з використанням критичних сопел необхідно оперувати конкретними числовими даними, то для розрахунку задамося такими попередньо визначеними оцінками значень вхідних величин для робочих умов функціонування дзвонового еталона:  $\bar{q}_0=5,55 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/с (20 м<sup>3</sup>/год);  $\bar{p}_0=105,325$  кПа;  $\bar{T}_0=293$  К;  $\bar{K}=0,9996$ ;  $\bar{C}=0,6853$  і таких параметрів критичного сопла:  $\bar{d}=5,96 \cdot 10^{-3}$  м;  $\bar{p}_c=105,275$  кПа;  $\bar{T}_c=292$  К.

Спочатку чисельно оцінимо всі невизначеності, які входять в (5). При цьому їх будемо обчислювати за типом В в силу неможливості застосування статистичних методів оцінки для обробки результатів багаторазових вимірювань.

Невизначеність, зумовлена неточністю відтворення еталонною об'ємною витратою газу  $U_B(q_0)$ , може бути визначена на підставі відомих метрологічних характеристик державного еталона України дзвонового типу [15]. Він забезпечує відтворення і вимірювання за робочих умов витрат повітря від 4 до 200 м<sup>3</sup>/год з значенням невилученої систематичної похибки  $5 \times 10^{-4}$  і середнього квадратичного відхилення  $\sigma_q=1 \times 10^{-3}$ , відношення яких є

меншим за значення 0,8. Тому за границю похибки еталона при досліджуваній витраті витраті  $\bar{q}_0=5,55 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/с приймається довірча границя його випадкової складової [16], яку можна обчислити за формулою:

$$\Delta(q_0) = k_t \sigma_q q_0 = 1,210 \times 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}, \quad (6)$$

де  $k_t$  – коефіцієнт Ст'юдента, який приймається рівним 2,179 при заданій ймовірності 0,95 для випадку нормального закону розподілу випадкової похибки при 13-разових спостереженнях за умов відтворення витрати еталонном.

Стандартна невизначеність відтворення об'ємної витрати з врахуванням нормального закону розподілу буде становити [13]:

$$U_B(q_0) = \frac{2 \cdot \Delta(q_0)}{\sqrt{36}} = 4,033 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}. \quad (7)$$

Ступінь впливу діаметра  $d$  на результати звірення визначається виходячи з встановленого допуску на точність виготовлення отвору критичного сопла. Згідно з [14] результат вимірювання діаметра отвору сопла не повинен відрізнятися від середнього значення більше, ніж на 0,1%. Тому невизначеності вимірювання вказаних діаметрів знайдені як стандартні невизначеності за типом В з прийнятим трикутним законом розподілу результатів спостережень [13], який має місце при вимірюванні лінійних розмірів циліндричних об'єктів:

$$U_B(d) = \frac{2 \cdot 0,01 \cdot \bar{d}}{100 \sqrt{24}} = 2,44 \times 10^{-7} \text{ м}. \quad (8)$$

Невизначеності вимірювання температури і тиску повітря визначаються метрологічними характеристиками використаних вимірювальних приладів. Застосування термометра з абсолютною похибкою рівною  $\Delta(T)=0,15$  К і вимірювального перетворювача тиску з границею основної похибки  $\delta(p)=\pm 0,1\%$  з врахуванням нормального закону розподілу результатів спостережень температури і тиску приводить до отримання таких значень відповідних невизначеностей [13]:

$$U_B(T_c) = U_B(T_0) = \frac{2 \cdot \Delta(T)}{\sqrt{36}} = 0,05 \text{ К}, \quad (9)$$

$$U_B(p_c) = U_B(p_0) = \frac{2 \cdot \delta(p) \cdot \bar{p}}{100 \sqrt{36}} = 35,44 \text{ Па}, \quad (10)$$

Для обчислення невизначеності фактора стисливості повітря використаємо результати досліджень [17], згідно з якими похибка його обчислення може не перевищувати  $\delta(K) = \pm 0,05\%$ . Тому, вибравши оцінку коефіцієнта  $\bar{K} = 0,9996$  як його значення за стандартних умов і з врахуванням рівномірного закону розподілу, отримуємо [13]:

$$U(K) = \frac{2 \cdot \delta(K) \cdot \bar{K}}{100\sqrt{3}} = 2,89 \times 10^{-4}. \quad (11)$$

Значення стандартної невизначеності  $U(C)$  для функції критичної витрати повітря розраховується із врахуванням табличних даних [14] цієї функції. Це дозволяє використати рівномірний закон розподілу похибки і записати таку формулу для обчислення невизначеності:

$$U(C) = \delta(C) \cdot \bar{C} / \sqrt{3} = 5 \cdot 10^{-5} \cdot 0,6853 / \sqrt{3} = 1,97 \cdot 10^{-5}. \quad (12)$$

У (12) похибка  $\delta(C)$  визначення функції  $C$  вибрана як половина останнього розряду табличного значення (0,00005) для вибраного значення оцінки функції  $\bar{C} = 0,6853$ .

Для кількісної оцінки коефіцієнтів впливу, які входять в (5), запишемо часткові похідні досліджуваного параметра  $\mu_c$  відносно параметрів, які формують його похибку, і підставимо у отримані формули визначені вище оцінки значень вхідних величин. Тому отримуємо:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \mu_c}{\partial q_0} &= -\frac{4}{\pi \sqrt{R \bar{K} \bar{C} \bar{d}^2}} \cdot \frac{\bar{p}_0}{\bar{p}_c} \cdot \frac{\sqrt{\bar{T}_c}}{\bar{T}_0} = 176,079 \text{ с/м}^3, \\ \frac{\partial \mu_c}{\partial K} &= -\frac{4 \bar{q}_0}{\pi \sqrt{R \bar{K}^2 \bar{C} \bar{d}^2}} \cdot \frac{\bar{p}_0}{\bar{p}_c} \cdot \frac{\sqrt{\bar{T}_c}}{\bar{T}_0} = -0,97763, \\ \frac{\partial \mu_c}{\partial C} &= -\frac{4 \bar{q}_0}{\pi \sqrt{R \bar{K} \bar{C}^2 \bar{d}^2}} \cdot \frac{\bar{p}_0}{\bar{p}_c} \cdot \frac{\sqrt{\bar{T}_c}}{\bar{T}_0} = -1,42600, \\ \frac{\partial \mu_c}{\partial d} &= -\frac{8 \bar{q}_0}{\pi \sqrt{R \bar{K} \bar{C} \bar{d}^3}} \cdot \frac{\bar{p}_0}{\bar{p}_c} \cdot \frac{\sqrt{\bar{T}_c}}{\bar{T}_0} = -325,7466 \text{ м}^{-1}, \\ \frac{\partial \mu_c}{\partial p_0} &= \frac{4 \bar{q}_0}{\pi \sqrt{R \bar{K} \bar{C} \bar{d}^2}} \cdot \frac{\sqrt{\bar{T}_c}}{\bar{p}_c \bar{T}_0} = 9,2 \cdot 10^{-6} \text{ м} \cdot \text{с}^2 / \text{кг}, \\ \frac{\partial \mu_c}{\partial p_c} &= -\frac{4 \bar{q}_0}{\pi \sqrt{R \bar{K} \bar{C} \bar{d}^2}} \cdot \frac{\bar{p}_0}{\bar{p}_c^2} \cdot \frac{\sqrt{\bar{T}_c}}{\bar{T}_0} = -9,2 \cdot 10^{-6} \text{ м} \cdot \text{с}^2 / \text{кг}, \end{aligned}$$

$$\frac{\partial \mu_c}{\partial T_c} = -\frac{2 \bar{q}_0}{\pi \sqrt{R \bar{K} \bar{C} \bar{d}^2}} \cdot \frac{\bar{p}_0}{\bar{p}_c \sqrt{\bar{T}_c \bar{T}_0}} = 1,6733 \cdot 10^{-3} \text{ К}^{-1},$$

$$\frac{\partial \mu_c}{\partial T_0} = -\frac{4 \bar{q}_0}{\pi \sqrt{R \bar{K} \bar{C} \bar{d}^2}} \cdot \frac{\bar{p}_0}{\bar{p}_c} \cdot \frac{\sqrt{\bar{T}_c}}{\bar{T}_0^2} = -3,3353 \cdot 10^{-3} \text{ К}^{-1}.$$

Таким чином, після підстановки у (5) розрахованих за формулами (7) ÷ (12) значень стандартних невизначеностей і відповідних значень коефіцієнтів впливу, отримаємо, що числове значення сумарної невизначеності вимірювання об'єму  $U(\mu_c) = 9,152 \cdot 10^{-4}$ .

Зважаючи, що для вибраних значень оцінок параметрів  $\bar{q}_0 = 5,55 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$  (20  $\text{м}^3/\text{год}$ );  $\bar{p}_0 = 105,325 \text{ кПа}$ ;  $\bar{T}_0 = 293 \text{ К}$ ;  $\bar{K} = 0,9996$ ;  $\bar{C} = 0,6853$ ;  $\bar{d} = 5,96 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ ;  $\bar{p}_c = 105,275 \text{ кПа}$ ;  $\bar{T}_c = 292 \text{ К}$  і сталой  $R = 287,0774 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$  згідно (4) розрахункове значення буде становити  $\mu_c = 0,9881$ , отримуємо таке числове значення відносної сумарної невизначеності:

$$\delta U(\mu_c) = \frac{U(\mu_c)}{\bar{\mu}_c} \cdot 100 = 0,09\%. \quad (13)$$

Для обчислення розширеної невизначеності визначення коефіцієнта  $\mu_c$  необхідно результат з (13) помножити на коефіцієнт охоплення  $k_0$  для відповідної довірчої ймовірності. Приймаючи  $k_0 = 2$  у відповідності до вибраної довірчої ймовірності  $P = 0,95$  [13], отримаємо  $U_p(\mu_c) = 0,18\%$ .

## ВИСНОВКИ

Розроблена метрологічна модель звірення еталонів об'єму та об'ємної витрати газу дзвонового типу і її кількісний метрологічний аналіз засвідчують можливість проведення таких метрологічних досліджень, так як похибку визначення коефіцієнта витрати можна віднести до невилученої систематичної похибки, яка становить  $\pm 0,18\%$ . Оскільки чинним нормативним документом [15] значення цієї похибки при звірнях не регламентується, то її співрозмірність з розрахованим значенням, а також з похибкою робочих еталонів обґрунтовують можливість застосування вказаної методології і технічних засобів з використанням витратомірів критичного витікання для звірення еталонів об'єму та об'ємної витрати газу дзвонового типу.

Простота конструкції пристрою для звірення еталонів, що зумовлена відсутністю складних рухомих вузлів, у поєднанні з незначними габаритами критичних сопел дозволяють створювати на їх базі мобільні компаратори, які можуть працювати як на повітрі, так і на реальному газі. Цим розширюється сфера застосування компараторів, зокрема при звірненні еталонних засобів, які функціонують на різних видах робочого середовища.

Досліджена методологія звірення може бути поширена для звірення робочих еталонів інших типів, наприклад, повірочних установок з еталонними лічильниками чи витратомірами, а також повірочних установок PVTt-типу.

### Література

1. John D.Wright. What is the "Best" Transfer Standard for Gas Flow?//www.cstl.nist.gov.
2. Державний спеціальний еталон одиниці об'єму та об'ємної витрати газу // І.С.Бродин, І.С.Петришин, А.Г.Бестелесний, П.І.Дикий // Український метрологічний журнал.–1997.–№3.–С.31-34.
3. Szegolowa Instrukcja obsługi Stanowiska pomiarowego do gasu SG-5 (60000dm3).-Warszawa: PKNM. – 1970. - NM 22-546.-98s.
4. Петришин І.С., Безгачнюк Я.В., Середюк Д.О. Впровадження еталонів передавання в повірочну практику засобів вимірювальної техніки об'єму та об'ємної витрати газу // Український метрологічний журнал. – 2006. - № 4. – С.55-59.
5. The International World Reference Value For High Pressure Natural Gas Flow / D.Dopheide, V.Mickan, R.Kramer and other // Метрологія та вимірювальна техніка (Метрологія – 2006): Наук. праці V міжнар. наук.-техн. конф. (м.Харків, 10-12 жовтня 2006 р.). Том 1. – Харків: ННЦ «Інститут метрології». – 2006. – С.15-25.
6. Область применения сопел Лаваля в расходоизмерительной технике / А.П. Герасимов, В.П. Иванов, В.М. Красавин и др. // Измерительная техника. – 2005.–№4. – С.48-52.
7. Pursley W.C. The Calibration of Flowmeters // Meas.and Contr. – 1986. – Vol. 19. - №5. – P.37-45.
8. Masahiro Ishibashi, Masaki Takamoto. Methods to calibrate a critical nozzle and flowmeter using reference critical nozzles // Flow Measurement and Instrumentation. – 2000. - №11. – P. 305-313.
9. Петришин І., Середюк О. Методологія звірення еталонів об'єму і об'ємної витрати газу // Системи транспортування, контролю якості та обліку енергоносіїв: 1-а міжнар. наук.-практ. конф., м. Львів, 27-29 листопада 1997 р.: матеріали доп. - Львів, - 1997. - С. 206-212.
10. Метрологія. Еталони об'єму та об'ємної витрати газу дзвонового типу. Методика звірень: РМУ-024-2008. / І.Петришин, О.Середюк, Я.Безгачнюк, Д.Середюк. – [Чинна від 2008-09-01]. – Івано-Франківськ: ДП "Івано-Франківськстандартметрологія", 2008. – II, 11 с. – (Нормативний документ Держспоживстандарту України: Інструкція).
11. Петришин І.С., Середюк О.Є. Технічне забезпечення звірення еталонів об'єму та витрати газу // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2001. - №1. – С.49-51.
12. Пат. 30411 С2 Україна, МПК 7 G 01 F 25/00. Пристрій для градування критичних витратомірів газу / Середюк О.Є., Петришин І.С. – №98031485; заявл. 25.03.98; опубл. 17.02.03, Бюл. №2. – 4с.
13. Захаров І.П. Кукуш В.Д. Теория неопределенности в измерениях. – Харьков: Консум, 2002. – 256 с.
14. ISO 9300:1990 (E). Measurement of gas flow by means of critical flow Venturi nozzles: [ИСО 9300: 1990 (E). Измерение расхода газа с использованием сопел Вентури критического истечения: Пер. с англ. – 25с.
15. Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювання об'єму та об'ємної витрати газу: ДСТУ 3383: 2007.– [Чинний від 2007-07-01; на заміну ДСТУ 3383-96].– К.: Держспоживстандарт України, 2007. – III, 9 с. – (Національний стандарт України).
16. ГСОЕИ. Эталоны. Способы выражения погрешностей: ГОСТ 8.381-80 (СТ СЭВ 403-76). – [Введен с 1981-01-01]. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 9 с.
17. Середюк О.Є., Костинюк В.В., Середюк Д.О. Метрологічний аналіз визначення коефіцієнта стисливості повітря при опосередкованому методі вимірювання витрати газу //Методи та прилади контролю якості. – 2005. - №13. – С.56-58.

Поступила в редакцію 05.05.2009р.

Рекомендував до друку докт. техн. наук,  
проф. Кісіль І.С.