

АВТОМАТИКА ТА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА

УДК 006.91:681.121

М. В. Кузь¹**МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ГІДРАВЛІЧНИХ РОБОЧИХ
ЕТАЛОНІВ ОБ'ЄМУ ГАЗУ**¹Івано-Франківський університет права імені Короля Данила Галицького

Запропоновано розмір одиниці об'єму газу отримувати від еталонів з Державної повірочної схеми для засобів вимірювання об'ємної та масової витрати рідини й об'єму та маси рідини. Сформовано номенклатуру метрологічних характеристик гідравлічних робочих еталонів об'єму газу та розроблено методичне забезпечення для визначення цих характеристик.

Ключові слова: метрологічні характеристики, гідравлічний робочий еталон об'єму газу, методика

Вступ

Провідними метрологічними установами у галузі витратометрії газу є три метрологічні інститути: Фізико-технічний федеральний інститут (PTB — Physikalisch-Technische Bundesanstalt), Німеччина; Нідерландський метрологічний інститут (Nmi — Netherlands metrological institute), Нідерланди; Словацький інститут метрології (SMU — Slovak Institute of Metrology), Словаччина. Повірочна схема засобів вимірювання витрати газу Німеччини наведена в [1]. Очолують цю повірочну схему чотири еталони: довжини, часу, тиску, температури, які непрямими методами передають одиницю об'ємної витрати газу робочим еталонам. Повірочну схему засобів вимірювання витрати газу Нідерландів [1] очолують три еталони: маси, довжини та часу.

Вимірювання об'єму та об'ємної витрати газу є підвидом вимірювання об'єму та об'ємної витрати рідини та газу, тому розмір одиниці об'єму та об'ємної витрати газу в Україні доцільно було би отримувати від Державного первинного еталона одиниць об'ємної та масової витрати рідини й об'єму та маси рідини, еталонів передавання, вторинного еталона чи робочих еталонів з повірочної схеми [2].

Для реалізації можливості передавання розміру одиниці об'єму газу лічильникам та витратомірам газу від еталонів з повірочної схеми [2] розроблено гідравлічний робочий еталон об'єму газу [3]. Робочий еталон [3] містить мірну та компенсувальну ємність (з датчиками температури та тиску), які з'єднані переливним трубопроводом, трубопроводи з клапанами для під'єднання лічильника газу, що повіряється, та з'єднання з атмосферою. Мірна ємність містить стабілізатор потоку рідини, переливний трубопровід містить вмонтований рідинний насос, керований регулятором частоти. Пульт керування та відображення інформації, виконаний з можливістю збору вимірювальної інформації, з'єднаний зі згаданими датчиками тиску та температури регулятором частоти та клапанами. Робочий еталон обладнаний набором еталонних лічильників рідини, що перетворюють виміряні об'єми рідини в пропорційну кількість імпульсів, які з'єднані з пультом керування та відображення інформації.

Рідина з мірної ємності переливається в компенсувальну ємність і одночасно лічильниками рідини вимірюється об'єм перелитої рідини. У мірній ємності виникає розрідження і в неї через лічильники газу надходить повітря, об'єм якого вимірюється цими лічильниками.

Постановка задачі

Метою дослідження є формування номенклатури метрологічних характеристик гідравлічних робочих еталонів об'єму газу та розроблення методики їх визначення.

Аналіз шляхів розв'язання задачі

Для кожного вимірювання за певних значень витрат обчислюється значення об'єму V_{Π} , приведенного до стандартних умов, який відтворюється гідравлічним робочим еталоном об'єму газу, за формулою

$$V_{\Pi} = V_{\text{мс}} \cdot \frac{p_{\text{мс}}}{p_{\text{с}}} \cdot \frac{T_{\text{с}}}{T_{\text{мс}}}, \quad (1)$$

де $V_{\text{мс}}$ — об'єм газу (повітря), витіснений з мірної ємності; $p_{\text{мс}}$ і $T_{\text{мс}}$ — тиск і температура газу (повітря) в мірній ємності, відповідно; $p_{\text{с}} = 101325$ Па і $T_{\text{с}} = 293,15$ °К — тиск і температура газу за стандартних умов, відповідно.

$$V_{\Pi} = V_{\text{мс}} \frac{p_{\text{мс}}}{101325} \frac{293,15}{T_{\text{мс}}} = \frac{V_{\text{мс}} p_{\text{мс}}}{345,64 T_{\text{мс}}}. \quad (2)$$

Об'єм газу (повітря), витіснений з мірної ємності буде рівний об'єму рідини, відтвореному еталоном витратоміром рідини, тобто

$$V_{\text{мс}} = V_{\text{евр}}, \quad (3)$$

де $V_{\text{евр}}$ — об'єм рідини, відтворений еталоном витратоміром рідини.

Тоді формула (2) з урахуванням формули (3) набуде вигляду:

$$V_{\Pi} = \frac{V_{\text{евр}} p_{\text{мс}}}{345,64 T_{\text{мс}}}. \quad (4)$$

Границі невилученої систематичної похибки (НСП) гідравлічного еталона за їх кількості більше 4 обчислюються, згідно з [4], за формулою:

$$\Theta = \pm k \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial F}{\partial Y_i} \cdot \Delta Y_i \right)^2}, \quad (5)$$

де k — поправковий коефіцієнт, який визначається прийнятою довірчою ймовірністю і кількістю складових НСП (для довірчої ймовірності $P = 0,95$, $k = 1,1$); ΔY_i — НСП вимірювання величини Y_i у i -му спостереженні; $\frac{\partial F}{\partial Y_i}$ — коефіцієнти впливу величини Y_i на величину F , що виражається частковою похідною функції вимірювання

$$F = f(Y_1, Y_2, \dots, Y_i), \quad (6)$$

де i — кількість фізичних величин, що вимірюються.

Середнє квадратичне відхилення (СКВ) результату непрямих вимірювань величини обчислюється за формулою з [4]:

$$S = \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial Y_1} \right)^2 \cdot S_1^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial Y_2} \right)^2 \cdot S_2^2 + \dots + \left(\frac{\partial F}{\partial Y_i} \right)^2 \cdot S_i^2}, \quad (7)$$

де $S_1 \dots S_i$ — СКВ результатів прямих вимірювань величин $Y_1 \dots Y_i$ з багатьма спостереженнями, яке обчислюється за формулою [4]

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (Y_{ij} - \bar{Y}_j)^2}{n(n-1)}}, \quad (8)$$

де \bar{Y}_j — результат вимірювань, обчислений як середнє арифметичне результатів j спостережень.

Сума НСП передачі гідравлічним робочим еталоном одиниці об'єму газу визначається за формулою

$$\Theta = \pm 1,1 \sqrt{\left(\frac{\partial V_{\Pi}}{\partial V_{\text{евр}}} \frac{\delta V_{\text{евр}}}{100}\right)^2 + \left(\frac{\partial V_{\Pi}}{\partial T_{\text{ме}}} \Delta T_{\text{е}}\right)^2 + \left(\frac{\partial V_{\Pi}}{\partial P_{\text{ме}}} \Delta P_{\text{е}}\right)^2 + \left(\frac{\partial V_{\Pi}}{\partial T_{\text{ме}}} \Delta T_{\text{с}}\right)^2 + \left(\frac{\partial V_{\Pi}}{\partial P_{\text{ме}}} \Delta P_{\text{с}}\right)^2 + \left(\frac{\delta_{\text{ок}}}{100}\right)^2}, \quad (9)$$

де $\delta V_{\text{евр}}$ — максимальна відносна похибка еталонних витратомірів рідини (береться зі свідчення про державну метрологічну атестацію або перевірку), %; $\Delta T_{\text{е}}$ — абсолютна похибка робочого еталона температури (термостату), за допомогою якого проводилась перевірка каналів вимірювання температури, °С; $\Delta P_{\text{е}}$ — абсолютна похибка робочого еталону тиску, за допомогою якого проводилась перевірка каналів вимірювання тиску, Па; $\Delta T_{\text{с}}$ — абсолютна систематична похибка каналу вимірювання температури гідравлічного робочого еталона, °С; $\Delta P_{\text{с}}$ — абсолютна систематична похибка каналу вимірювання тиску гідравлічного робочого еталона, Па; $\delta_{\text{ок}}$ — похибка обчислювального компонента гідравлічного робочого еталона, %, яка визначається відповідно до методики, описаної в [5, 6]; $\frac{\partial V_{\Pi}}{\partial V_{\text{евр}}}$, $\frac{\partial V_{\Pi}}{\partial T_{\text{ме}}}$, $\frac{\partial V_{\Pi}}{\partial P_{\text{ме}}}$ — коефіцієнти впливу вимірюваних величин на об'єм газу.

$$\frac{\partial V_{\Pi}}{\partial V_{\text{евр}}} = \frac{P_{\text{ме}}}{345,64 T_{\text{ме}}}. \quad (10)$$

Зміна температури на 1 °С зумовлює зміну об'єму на $\approx 0,34$ %, тобто

$$\frac{\partial V_{\Pi}}{\partial T_{\text{ме}}} = 3,4 \cdot 10^{-3}. \quad (11)$$

Зміна тиску на 1 Па зумовлює зміну об'єму на $\approx 0,00099$ %, тобто

$$\frac{\partial V_{\Pi}}{\partial P_{\text{ме}}} = 9,9 \cdot 10^{-6}. \quad (12)$$

Абсолютна похибка каналу вимірювання температури визначається за формулою

$$\Delta T_{\text{с}j} = T_{j\text{ме}} - T_{j\text{зад.ме}}, \quad (13)$$

де $T_{j\text{ме}}$ — значення температури при j -му заданому значенні, °С; $T_{j\text{зад.ме}}$ — j -те задане значення температури, °С.

З множини отриманих метрологічних характеристик вибираються їх максимальні значення

$$\Delta T_{\text{с}} = \max(\Delta T_{\text{с}j}). \quad (14)$$

Абсолютна похибка кожного каналу вимірювання тиску визначається за формулою

$$\Delta P_{\text{с}j} = P_{j\text{ме}} - P_{j\text{зад.ме}}, \quad (15)$$

де $P_{j\text{ме}}$ — значення тиску (розрідження) при j -му заданому значенні, Па; $P_{j\text{зад.ме}}$ — j -те задане значення тиску (розрідження), Па.

З множини отриманих метрологічних характеристик вибираються їх максимальні значення

$$\Delta P_{\text{с}} = \max(\Delta P_{\text{с}j}). \quad (16)$$

З урахуванням величини коефіцієнтів впливу формула (7) запишеться в такому вигляді:

$$\Theta = \pm 1,1 \sqrt{\left(\frac{P_{\text{ме}} \cdot \delta V_{\text{евр}}}{34564 \cdot T_{\text{ме}}}\right)^2 + 0,34 \cdot (\Delta T_{\text{ме}}^2 + \Delta T_{\text{с}}^2) + 9,9 \cdot 10^{-4} \cdot (\Delta P_{\text{ме}}^2 + \Delta P_{\text{с}}^2) + \left(\frac{\delta_{\text{ок}}}{100}\right)^2}. \quad (17)$$

СКВ передачі гідравлічним робочим еталоном одиниці об'єму газу

$$S = \sqrt{\left(\frac{\partial V_{\Pi}}{\partial T_{\text{мс}}}\right)^2 \cdot S_{T_{\text{мс}}}^2 + \left(\frac{\partial V_{\Pi}}{\partial P_{\text{мс}}}\right)^2 \cdot S_{P_{\text{мс}}}^2}, \quad (18)$$

де $S_{T_{\text{мс}}}$, $S_{P_{\text{мс}}}$ — максимальні значення СКВ результатів вимірювання відповідних параметрів вимірювальними каналами, що визначаються з формул

$$S_{T_{\text{мс}}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_{j\text{мс}} - \overline{T_{\text{мс}}})^2}{n-1}}, \quad (19)$$

де

$$\overline{T_{\text{мс}}} = \frac{\sum_{i=1}^n T_{j\text{мс}}}{n}, \quad (20)$$

де $T_{j\text{мс}}$ — значення температури за j -го заданого значення, °С.

$$S_{P_{\text{мс}}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_{j\text{мс}} - \overline{P_{\text{мс}}})^2}{n-1}}, \quad (21)$$

де

$$\overline{P_{\text{мс}}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{j\text{мс}}}{n}, \quad (22)$$

де $P_{j\text{мс}}$ — значення тиску (розрідження) за j -го заданого значення, Па; n — кількість вимірювань.

$$S = \sqrt{0,34 S_{T_{\text{мс}}}^2 + 9,9 \cdot 10^{-4} S_{P_{\text{мс}}}^2}. \quad (23)$$

Оцінка СКВ, НСП і випадкових похибок передачі одиниці об'єму газу гідравлічним робочим еталоном обчислюється за формулою:

$$S_{\Sigma} = \sqrt{S^2 + S_{\Theta}^2}, \quad (24)$$

де S — СКВ суми випадкових похибок; S_{Θ} — СКВ суми НСП,

$$S_{\Theta} = \sqrt{1/3 \sum \Theta^2}. \quad (25)$$

Границі відносної похибки передачі розміру одиниці об'єму газу до ЗВТ об'єму газу визначаються за такою формулою:

$$\delta_{\Pi} = \pm t_{\Sigma} S_{\Sigma} \cdot 100 \%, \quad (26)$$

де

$$t_{\Sigma} = \frac{\sum \Theta + tS}{S_{\Theta} + S}; \quad (27)$$

t — квантіль нормального закону розподілу для відповідної довірчої ймовірності (для довірчої ймовірності $P = 0,95$, $t = 1,96$).

Гідравлічний робочий еталон вважають придатним для перевірки лічильників газу, якщо границі відносної похибки передачі розміру одиниці об'єму газу не перевищують $\pm 0,3 \%$ при повірці лічильників газу з нормованими границями відносної похибки не більше $\pm 1,0 \%$, або не перевищують $\pm 0,5 \%$ при повірці лічильників газу з нормованими границями відносної похибки не більше $\pm 1,5 \%$.

За кожного значення об'ємної витрати визначається відхилення від нормованого значення коефіцієнта перетворення еталона передавання і обчислюється (згідно з алгоритмом розрахунку по-

хибки гідравлічного робочого еталона), аналогічно як в [7]:

— середнє значення відхилення за j -го значення об'ємної витрати

$$\bar{\delta}_j = \frac{\sum_{i=1}^n \delta_{ji}}{n}, \quad (28)$$

де n — кількість вимірювань за j -го значення об'ємної витрати; δ_{ji} — відхилення від нормованого значення коефіцієнта перетворення еталона передавання, визначене на гідравлічному робочому еталоні в i -му вимірюванні за j -го значення об'ємної витрати;

— обчислюється СКВ результату вимірювань за j -го значення об'ємної витрати

$$S_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\delta_{ji} - \bar{\delta}_j)^2}{n-1}}; \quad (29)$$

— визначаються довірчі границі відхилення від нормованого значення коефіцієнта перетворення еталона передавання за j -го значення об'ємної витрати

$$\varepsilon_{2j} = 2\sqrt{\frac{\delta_{\Pi}^2}{3} + S_j^2}, \quad (30)$$

де δ_{Π} — границі відносної похибки передачі розміру одиниці об'єму газу гідравлічного робочого еталона;

— визначається рівень еквівалентності за j -го значення об'ємної витрати

$$E_{Nj} = \frac{\bar{\delta}_j - \delta_{jE}}{\sqrt{\varepsilon_{1j}^2 + \varepsilon_{2j}^2}}, \quad (31)$$

де δ_{jE} — відхилення від номінального значення коефіцієнта перетворення еталона передавання, визначене на державному або вторинному еталоні за j -го значення об'ємної витрати (береться зі свідоцтва про державну метрологічну атестацію еталона передавання); ε_{1j} — довірчі границі похибки еталона передавання визначені на державному або вторинному еталоні за j -го значення об'ємної витрати (береться зі свідоцтва про державну метрологічну атестацію еталона передавання).

Гідравлічний робочий еталон разом із еталонними витратомірами рідини вважають придатним для повірки лічильників газу, якщо значення рівня еквівалентності E_N за всіх об'ємних витрат $E_N < 1$.

У випадку, коли хоча б за одного значення об'ємної витрати $E_N \geq 1$, гідравлічний робочий еталон визнається непридатним.

Висновки

Використання розробленого робочого еталона дасть змогу здійснювати передавання розміру одиниці об'єму та об'ємної витрати в рамках одного виду вимірювань: від еталонних витратомірів води до лічильників та витратомірів газу. Предметом подальших наукових досліджень буде розроблення нормативної та організаційної основ метрологічного забезпечення гідравлічного робочого еталона об'єму газу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Забезпечення відтворення та зберігання одиниць об'єму та об'ємної витрати газу, що відтворюються державним еталонном : Звіт про НДР (заключний) / ДП «Івано-Франківськстандартметрологія». — Івано-Франківськ., 2006. — 111 с.
2. Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювання об'ємної та масової витрати рідини й об'єму та маси рідини, що протікає по трубопроводу: ДСТУ 4403:2005. — [Чинний від 2005-10-01]. — К. : Держспоживстандарт України, 2006. — 7 с. — (Національний стандарт України).
3. Кузь М. В. Робочий еталон для передавання розміру одиниці об'єму газу лічильникам та витратомірам газу від еталонних витратомірів рідини / М. В. Кузь // Наука в інформаційному просторі : матеріали IX Міжнародної науково-практичної конференції : наук. пр. конфер. у 8 томах. — Т. 3. — Дніпропетровськ, 2013 — С. 37—40.

4. ГСИ. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей : МИ 2083-90. — [Чинний від 1992-01-01]. — М. : Издательство стандартов, 1991. — 9 с. — (Инструкция).

5. Кузь М. В. Оцінка складових похибки обчислювальних компонентів засобів вимірювань об'єму газу на основі якісних показників програмного забезпечення / М. В. Кузь // Методи та прилади контролю якості. — 2012. — № 2 (29). — С. 77—83.

6. Середюк О. Є. Методологія визначення метрологічних характеристик програмного забезпечення еталонів одиниці об'єму газу / О. Є. Середюк, М. В. Кузь // Вісник національного технічного університету «ХПІ». Серія : Автоматика та приладобудування. — 2012. — № 37. — С. 60—71.

7. Метрологія. Установки повірочні з еталонними лічильниками газу. Методика повірки: МПУ 168/03-2006. — [Чинний від 2006-05-18]. — Івано-Франківськ : Івано-Франківськстандартметрологія, 2006. — 12 с. — (Методичний документ з метрології).

Рекомендована кафедрою метрології та промислової автоматики ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 21.11.2013

Кузь Микола Васильович — канд. техн. наук, доцент кафедри будівництва, e-mail: kuz@list.ru.

Івано-Франківський університет права імені Короля Данила Галицького, Івано-Франківськ

M. V. Kuz¹

Method of determining the metrological characteristics of the hydraulic operating standards of gas volume

¹Ivano-Frankivsk University of Law of King Danylo Galician

An amount per unit volume of gas to get from standards from the State hierarchy scheme for the measurement of volume and mass flow rate and the volume and mass of the liquid is suggested in the paper. The range of metrological characteristics of hydraulic operating standards of gas volume is formed and methodological support to determine these characteristics is developed.

Keywords: metrological characteristics, hydraulic working standard gas volume, method.

Kuz Mykola V. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor of the Chair of Construction, e-mail: kuz@list.ru

Н. В. Кузь¹

Методика определения метрологических характеристик гидравлических рабочих эталонов объема газа

¹Ивано-Франковский университет права имени Короля Даниила Галицкого

Предложено размер единицы объема газа получать от эталонов с Государственной поверочной схемы для средств измерений объемного и массового расхода жидкости и объема и массы жидкости. Сформирована номенклатура метрологических характеристик гидравлических рабочих эталонов объема газа и разработано методическое обеспечение для определения этих характеристик.

Ключевые слова: метрологические характеристики, гидравлический рабочий эталон объема газа, методика.

Кузь Николай Васильевич — канд. техн. наук, доцент кафедры строительства, e-mail: kuz@list.ru