

УДК 006.91:681.121

М. В. Кузь, канд. техн. наук

ВИЗНАЧЕННЯ НЕСТАБІЛЬНОСТІ ПЕРВИННОГО ТА ВТОРИННИХ ЕТАЛОНІВ ОДИНИЦЬ ОБ'ЄМУ ТА ОБ'ЄМНОЇ ВИТРАТИ ГАЗУ

Розглянуто номенклатуру методів визначення нестабільності первинних та вторинних еталонів одиниць об'єму та об'ємної витрати газу. Встановлено, що оцінювання нестабільності державних еталонів за даними періодичних міжнародних звірень ефективніше, ніж оцінювання на основі досліджень еталона в часі, оскільки дозволяє побачити стан точності відтворення одиниці фізичної величини у порівнянні з національними еталонами інших країн.

Вступ

Старіння деяких вузлів державних первинних чи вторинних еталонів може викликати зміну як технічних так і метрологічних характеристик цих еталонів. Внаслідок цього виникає потреба в оцінюванні стабільності метрологічних характеристик державних еталонів хоча б один раз на рік під час проведення їх державної метрологічної атестації.

З метою забезпечення визнання на міжнародному рівні національних первинних еталонів, відповідно до вимог [1], а також результатів вимірювань, повірки та калібрування, що виконуються відповідно, вимірювальними, повірочними та калібрувальними лабораторіями, метрологічні характеристики цих еталонів мають підтверджуватися звіренням з відповідними еталонами інших держав і міжнародними еталонами. Технічне забезпечення звірвання еталонів об'єму та об'ємної витрати газу описане в [2]. В [3] розроблена методологія звірвання еталонів об'єму і об'ємної витрати газу.

Згідно з [4] похибка державних первинних еталонів одиниць фізичних величин, крім невиключеної систематичної похибки та випадкової похибки, характеризується ще й нестабільністю, яку можна визначати на основі досліджень еталона в часі, а також за даними періодичних міжнародних звірень. Нестабільність вторинних еталонів, відповідно до вимог [4], має визначатися на основі звірень з первинним еталоном на початку і в кінці періоду, для якого вона визначається.

Постановка задачі

Метою роботи є оцінка необхідності та достатності використання наведених методів для визначення стабільності первинного та вторинних еталонів одиниць об'єму та об'ємної витрати газу.

Аналіз шляхів розв'язання задачі

Нестабільність Державного первинного еталона одиниць об'єму та об'ємної витрати газу визначається за формулою [5]

$$\chi_{q_j} = \frac{S_{q_j}}{q_j} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де S_{q_j} — нестабільність еталона при j -й витраті, що визначається за формулою

$$S_{q_j} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (q_{ij} - \bar{q}_j)^2}{n(n-1)}}, \quad (2)$$

де q_{ij} — поточні значення витрати для j -ї витрати; n — кількість вимірювань; \bar{q}_j — середнє значення витрати, яке обчислюють за формулою

$$\bar{q}_j = \frac{\sum_{i=1}^n q_{ij}}{n} \quad (3)$$

Документ [5] не встановлює числове значення границь нестабільності Державного первинного еталона одиниць об'єму та об'ємної витрати газу. В національному стандарті [6] в бюджеті метрологічних характеристик первинного і вторинних еталонів взагалі відсутня така характеристика, як нестабільність. Єдиний документ, в якому вказано, що нестабільність Державного первинного еталона не має перевищувати 0,02 %, є Паспорт Державного первинного еталона одиниці об'єму та об'ємної витрати газу.

Інший метод визначення нестабільності еталонів — проведення періодичних міжнародних звірень. Для реалізації цього методу з квітня 2006 р., в рамках проекту KOOMET № 219/Sk-00 розпочались звірення Державного еталона з національними еталонами інших країн. У цій частині проекту, (рівень «В»), взяли участь 4 незалежні лабораторії: Німеччина (PTB), Білорусь (BELGIM), Росія (VNIIR) і Україна (IF DCSMS). Ці лабораторії взяли участь у встановленні початкового значення витрати KCRV (key comparison reference value) для кожної випробувальної точки. У категорію залежних лабораторій були включені: Словаччина (SMU — AMS Premagas), Словаччина (SPP) і Литва (LEI). Ці лабораторії мають прив'язку до еталонних засобів вимірювання Німеччини (PTB). Автор роботи був відповідальним співробітником від України за проведення міжнародних звірень в рамках проекту KOOMET № 219/Sk-00.

Під час проведення вимірювань кожна лабораторія-учасниця використовувала свою процедуру калібрування та виклала в [7, 8] методику визначення похибки вимірювань, схему (рис. 1) та характеристики еталонів, які піддаються міжнародним звіренням.

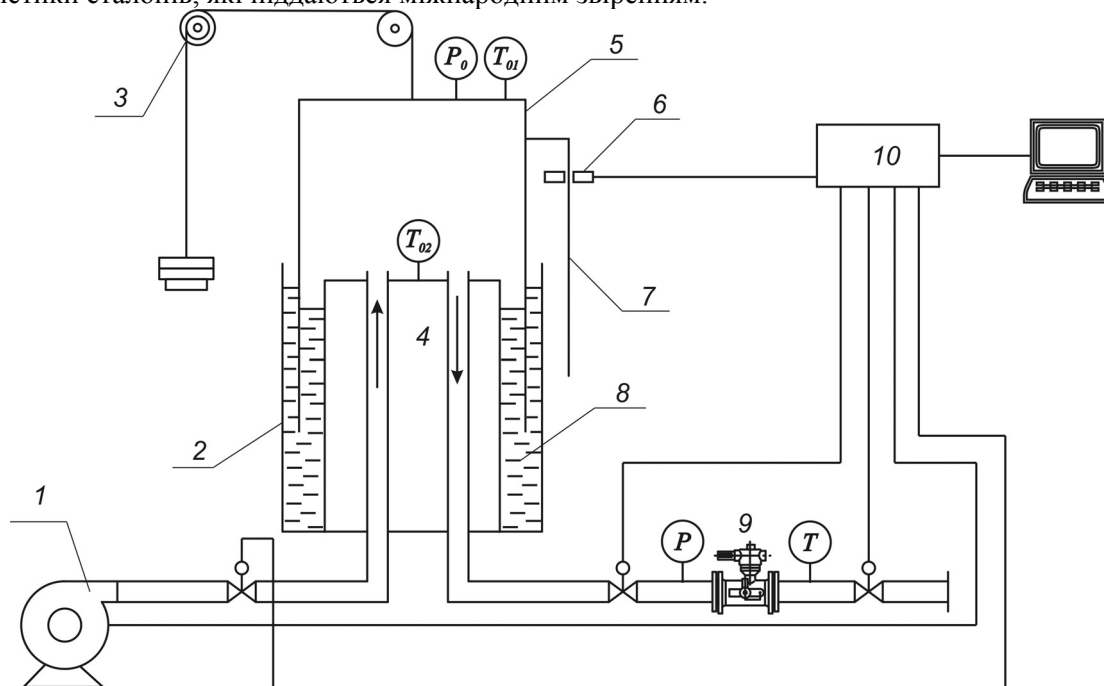


Рис. 1. Схема Державного еталона одиниць об'єму та об'ємної витрати газу:
 1 — повітродувка, 2 — корпус, 3 — компенсатор (евольвента) виштовхувальної (Архімедової) сили,
 4 — витіснювач, 5 — дзвоновий мірник, 6 — перетворювач лінійного переміщення дзвонового мірника,
 7 — лінійка, 8 — запірні рідини, 9 — лічильник, що піддається випробуванням, 10 — система керування,
 збору і обробки інформації, P_0, T_{01}, T_{02} — датчі тиску та температури повітря, відповідно, у дзвоновому мірнику,
 P, T — датчі тиску та температури повітря, відповідно, у лічильнику, що піддається випробуванням

Об'єм газу (повітря) V_{Π} , який пройшов через лічильник, що піддається випробуванням, визначається на основі рівняння газового стану:

$$V_{\Pi} = V_K \frac{p}{p_0} \frac{T_0}{T}, \quad (4)$$

де V_K — контрольний об'єм газу, який відтворюється еталоном; p, p_0 — абсолютний тиск на вході в лічильник, що піддається випробуванням, і під дзвоном, відповідно; T, T_0 — температура вимірюваного середовища в лічильнику, що піддається випробуванням, і під дзвоном, відповідно, причому $T_0 = \frac{T_{01} + T_{02}}{2}$.

Об'єм, вимірний лічильником, визначається за формулою

$$V_{\text{Л}} = \frac{N}{K_{\text{НОМ}}}, \quad (5)$$

де N — кількість імпульсів з лічильника; $K_{\text{НОМ}}$ — номінальне значення коефіцієнта перетворення лічильника, імпульс/м³.

Похибка лічильника обчислюється за формулою

$$e_r = \frac{V_{\text{Л}} - V_{\text{П}}}{V_{\text{П}}} \cdot 100 \%. \quad (6)$$

Комбінована стандартна невизначеність вимірювань в окремих лабораторіях-учасницях $u_{x_1}, u_{x_2}, \dots, u_{x_n}$ з урахуванням невизначеності, що впливає зі стабільності засобу вимірювання, що звіряється, розрахована з рівняння [9]:

$$u_{x_i} = \sqrt{\left(\frac{U_{xi_lab}}{2}\right)^2 + \left(\frac{U_{tm}}{2}\right)^2}, \quad (7)$$

де U_{xi_lab} — розширена невизначеність ($k=2$), що розрахована в i -й лабораторії і наведена в результатах вимірювання i -ї лабораторії; U_{tm} — оцінка розширеної невизначеності вимірювання, що впливає зі стабільності засобу вимірювання, що звіряється.

Значення різниці між двома лабораторіями, так зване «Lab to Lab», встановлюється з рівняння

$$d_{ij} = x_i - x_j, \quad (8)$$

де x_i — результат i -ї лабораторії і x_j — результат j -ї лабораторії.

Під час розрахунку значення підсумкової невизначеності вимірювання між двома незалежними лабораторіями не виникає взаємовплив. В цьому випадку підсумкова невизначеність вимірювання формулюється відповідно до такого рівняння:

$$u(d_{ij}) = \sqrt{u_{xi}^2 + u_{xj}^2}, \quad (9)$$

де u_{xi} — значення комбінованої стандартної невизначеності i -ї лабораторії і u_{xj} — значення комбінованої стандартної невизначеності j -ї лабораторії.

Між двома залежними лабораторіями із загальною прив'язкою до однієї лабораторії значення невизначеності вимірювання розраховується з такого рівняння:

$$u(d_{ij}) = \sqrt{u_{xi}^2 + u_{xj}^2 - 2 \cdot u_{SourceLab}^2}, \quad (10)$$

де $u_{SourceLab}$ — комбінована стандартна невизначеність лабораторії, до якої є прив'язка.

Розширена невизначеність вимірювання, таким чином, обчислюється таким чином:

$$U(d_{ij}) = k u(d_{ij}) = 2u(d_{ij}). \quad (11)$$

Основою для оцінювання успішної участі лабораторії в цій частині звірень є параметр ступеня еквівалентності (Degree of Equivalence DoE) E_{ij} . Він обчислюється відповідно до рівняння

$$E_{ij} = \left| \frac{d_{ij}}{U(d_{ij})} \right|. \quad (12)$$

Для оцінювання успішності лабораторії-учасника прийнято використання ліміту у виразі $E_{ij} \leq 1$.

Метрологічні характеристики засобу звірень, отримані Україною, наведені в табл. 1 та на рис. 2.

Таблиця 1

Метрологічні характеристики засобу звірень, отримані лабораторією України з використанням Державного еталона одиниці об'єму та об'ємної витрати газу

Витрата ЗВТ м ³ /год	Похибка ЗВТ x_i , %	Розширена невизначеність $U_{x_i}(k=2)$ %	KCRV $x_{ref} = y$, %	Розширена невизначеність $U_y(k=2)$, %	Контроль відповідності *	d_i	Нормальне відхилення E_i	Результат
1000	0,10	0,26	-0,05	0,13	так	0,15	0,67	задов.
900	0,02	0,26	-0,03	0,13	так	0,05	0,25	задов.
800	0,08	0,26	0,07	0,11	так	0,01	0,05	задов.
700	0,07	0,26	0,05	0,11	так	0,02	0,10	задов.
600	0,01	0,26	-0,01	0,11	так	0,02	0,10	задов.
500	-0,12	0,26	-0,15	0,11	так	0,03	0,14	задов.
400	-0,20	0,26	-0,26	0,11	так	0,06	0,25	задов.
300	-0,30	0,26	-0,42	0,11	так	0,12	0,54	задов.
200	-0,30	0,26	-0,34	0,11	так	0,04	0,17	задов.
100	-0,02	0,26	-0,15	0,11	так	0,13	0,56	задов.
					Середнє	0,06	0,28	задов.

Примітка: * Слово так означає, що результат лабораторії брав участь при встановленні вихідного значення KCRV

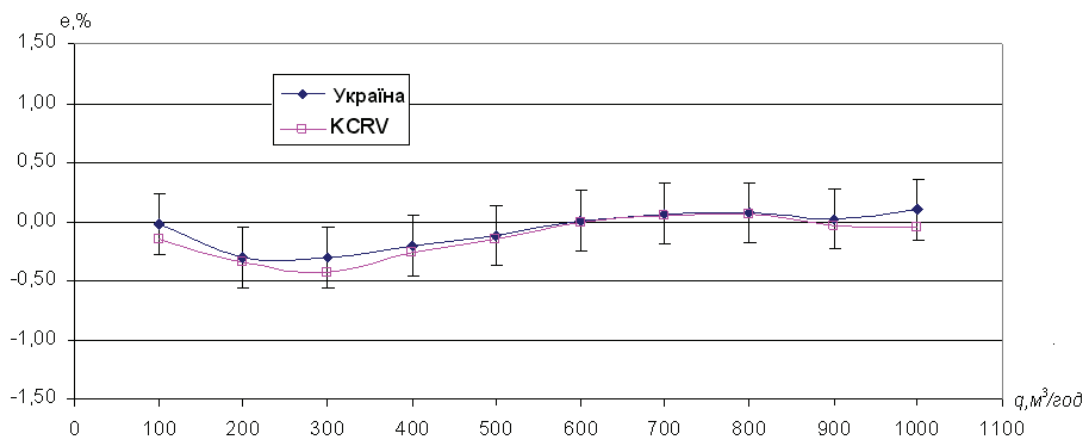


Рис. 2. Графіки залежностей похибок засобу звірень, визначених в Україні та KCRV

Результати звірень в рамках проекту KOOMET № 219/Sk-00 наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Результати міжнародних звірень

ЗВТ, яке звірялося, турбінний лічильник газу типу DAE розмір G650, зав. № 0004455							
Витрата q м ³ /год	Незалежні лабораторії				Залежні лабораторії		
	Німеччина	Білорусь	Росія	Україна	Литва	Словаччина SMU (Premagas)	Словаччина SPP
1000	задов.	незадов.	незадов.	задов.	задов.	задов.	задов.
900	задов.	незадов.	незадов.	задов.	задов.	задов.	задов.
800	задов.	незадов.	задов.	задов.	задов.	задов.	задов.
700	задов.	незадов.	задов.	задов.	задов.	задов.	задов.
600	задов.	незадов.	задов.	задов.	задов.	задов.	задов.
500	задов.	незадов.	задов.	задов.	задов.	задов.	задов.

Продовження табл. 2

ЗВТ, яке звірялося, турбінний лічильник газу типу DAE розмір G650, зав. № 0004455							
Витрата q $\text{м}^3/\text{год}$	Незалежні лабораторії				Залежні лабораторії		
	Німеччина	Білорусь	Росія	Україна	Литва	Словаччина SMU (Premagas)	Словаччина SPP
400	задов.	поперед.	задов.	задов.	задов.	задов.	задов.
300	задов.	задов.	задов.	задов.	задов.	задов.	задов.
200	задов.	задов.	задов.	задов.	задов.	задов.	задов.
100	задов.	задов.	задов.	задов.	поперед.	задов.	задов.
Оцінка	задов.	незадов.	задов.	задов.	задов.	задов.	задов.

В табл. 3 показаний аналіз результатів звірень, який подано у відсотковій оцінці успішності вимірювань досягнутих результатів лабораторій-учасниць у відношенні до вихідного значення.

Таблиця 3

Аналіз результатів звірень

Аналіз результатів							
Оцінка	Незалежні лабораторії				Залежні лабораторії		
	Німеччина	Білорусь	Росія	Україна	Литва	Словаччина SMU (Premagas)	Словаччина SPP
Задовільні результати	10	3	8	10	9	10	10
Попереджувальні результати	0	1	0	0	1	0	0
Незадовільні результати	0	6	2	0	0	0	0
Кількість вимірювань точок витрати	10	10	10	10	10	10	10
Успішність, %	100	30	80	100	90	100	100

На рис. 3 показані криві похибок засобу звірень (турбінного лічильника газу DAE G650, зав. № 0004455), які отримані окремими лабораторіями-учасницями.

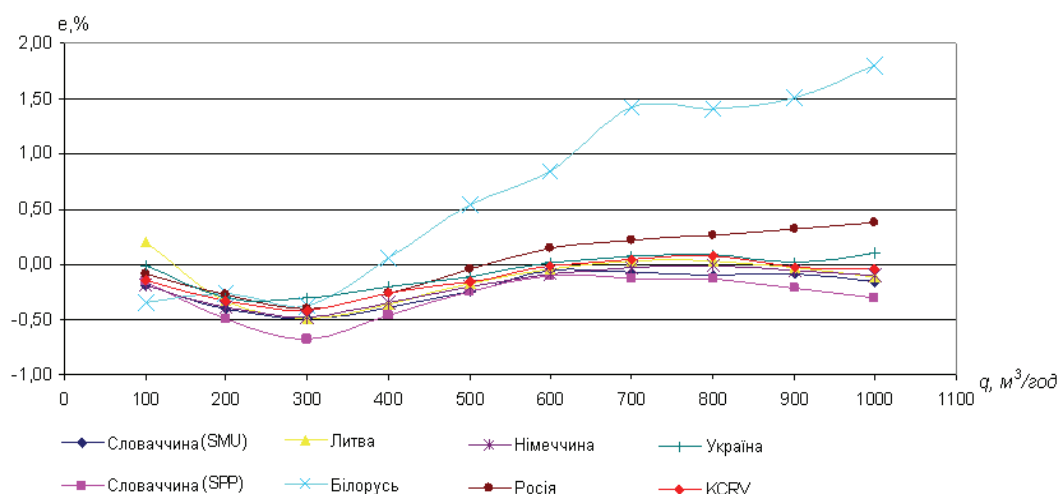


Рис. 3. Криві похибок засобу звірень

Висновки

Отже, як свідчать результати міжнародних звірень, оцінювання нестабільності державних еталонів за даними періодичних міжнародних звірень ефективніша, ніж на основі досліджень еталона в часі, оскільки дозволяє побачити стан точності відтворення одиниці фізичної величини у порівнянні з національними еталонами інших країн. Результати звірень засвідчили високий рівень точ-

ності Державного первинного еталона одиниць об'єму та об'ємної витрати газу України у порівнянні з аналогічними національними еталонами країн-учасниць проведених звірень.

Предметом подальших наукових досліджень буде розроблення методології метрологічної атестації Державного первинного еталона одиниць об'єму та об'ємної витрати газу з урахуванням результатів міжнародних звірень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» [від 11.02.98 р. № 113: у редакції від 15.06.04 р. № 1765-IV] // Відомості Верховної Ради України. — Офіц. вид. — К. : Парлам. вид-во. — 2004. — № 37. — Ст. 449. — С. 1434—1453.
2. Петришин І. С. Технічне забезпечення звіряння еталонів об'єму та об'ємної витрати газу / І. С. Петришин, О. Є. Середюк // Вимірвальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах : міжнар. наук.-техн. журнал. — 2001. — № 1. — С. 49—51.
3. Петришин І. С. Методологія звіряння еталонів об'єму і об'ємної витрати газу / І. С. Петришин, О. Є. Середюк // Транспортування, контроль якості та облік енергоносіїв : матер. міжнар. наук.-практ. конфер., м. Львів, 26—29 листопада 1997 р. — Львів, 1998. — С. 206—212.
4. ГСИ. Эталоны. Способы выражения погрешностей : ДСТУ ГОСТ 8.381:2008. — [Чинний від 2008-10-01]. — М. : Изд-во стандартов, — 10 с. — (Національний стандарт України).
5. Метрологія. Державний спеціальний еталон одиниці об'єму і об'ємної витрати газу. Програма і методика державної метрологічної атестації: МДУ. — [Чинний від 2004-04-16]. — Івано-Франківськ : ДП «Івано-Франківськстандарт-метрологія», 2004. — 16 с. — (Нормативний документ Держспоживстандарту України: Методика).
6. 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).
7. Проект КОOMET № 219/Sk-00/A. Окончательный отчет уровень А. Международные сличения в области расхода и объема газа «Обеспечение сличения испытательных установок для поверки мембранных бытовых газосчетчиков в диапазоне расхода (0,12—10) м³·ч⁻¹».
8. Проект КОOMET № 219/Sk-00/B. Окончательный отчет уровень В. Международные сличения в области расхода и объема газа «Обеспечение сличения испытательных установок для поверки промышленных газосчетчиков в диапазоне расхода (100—1000) м³/ч».
9. Cox M. G. Evaluation of key comparison data / M. G. Cox // Metrologia. — 2002. — № 39. — P. 589—595.

Рекомендована кафедрою метрології та промислової автоматики

Стаття надійшла до редакції 8.02.2013
Рекомендована до друку 12.02.2013

Кузь Микола Васильович — доцент кафедри будівництва.

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