



УДК 006.91:681.122

## ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ТА СТАБІЛЬНОСТІ УСТАНОВОК ДЛЯ ПОВІРКИ ЛІЧИЛЬНИКІВ ГАЗУ

**І.С. Петришин**, доктор технічних наук, професор, генеральний директор ДП "Івано-Франківськстандартметрологія"

**П.Я. Джочко**, начальник центру наукового забезпечення вимірювань об'єму та об'ємної витрати газу ДП "Івано-Франківськстандартметрологія"

**Я.В. Безгачнюк**, начальник науково-дослідної лабораторії ДП "Івано-Франківськстандартметрологія"



І.С. Петришин

П.Я. Джочко

Я.В. Безгачнюк

Пропонується для підвищення точності та стабільності повірочних установок для повірки лічильників газу використовувати два принципово різних типи еталонів, з'єднаних паралельно, а саме, сопел критичного витоку та еталонного лічильника газу.

*It is proposed for improving the accuracy and stability of test rigs for verification of gas meters to use two different types of standards connected in parallel, namely critical flow nozzles and reference gas meter.*

Для повірки лічильників газу застосовуються повірочні установки на базі еталонних лічильників газу роторного, турбінного та барабанного типів або ж на базі критичних сопел.

Кожен з перелічених типів лічильників та витратомірів має як свої переваги, так і недоліки. Проаналізуємо їх.

Еталонний лічильник газу роторного типу має широкий діапазон вимірювань, а також хорошу довгострокову стабільність метрологічних характеристик. Використовується, як правило, в діапазоні витрат від 0,25 до 250 м<sup>3</sup>/год. Але основним із недоліків такого типу лічильників є створення пульсацій вимірюваного середовища, що зумовлено конструкцією лічильника та можливими резонансними явищами (рис. 1), які можуть впливати на лічильник, що повіряється.

Турбінному лічильнику газу властиві хороша лінійність і повторюваність градувальної характеристики, проте він менш стабільний у часі, чут-

ливий до профілю вхідного потоку вимірюваного середовища та до наявності збурень як на його вході, так і на виході. Застосовується переважно в діапазоні витрати вище 25 м<sup>3</sup>/год.

У діапазоні витрат менше 0,6 м<sup>3</sup>/год на сьогодні часто застосовують еталонні лічильники барабанного типу. Вони є досить точними еталонами об'єму газу, але потік вимірюваного середовища через них пульсуючий, що зумовлено їх будовою. Крім того, при їх застосуванні для правильного передавання розміру одиниці об'єму газу пропущений об'єм вимірюваного середовища повинен бути кратний об'єму вимірювальних камер, що вимагає проведення тривалих вимірювань. Також одним із недоліків є випаровування замкової рідини, особливо проблема проявляється при застосуванні води в якості останньої.

Одним із найстабільніших еталонних засобів на сьогодні є сопло критичного витоку, оскільки в ньому немає механічних рухомих частин, а при дотриманні чистоти внутрішньої поверхні сопла воно може як завгодно довго зберігати свої характеристики.

Принцип роботи еталонних установок з критичними соплами ґрунтується на створенні критичного витоку через сопло певного номіналу або через набір сопел різних номіналів, критичного перепаду тисків для досягнення критичного режи-

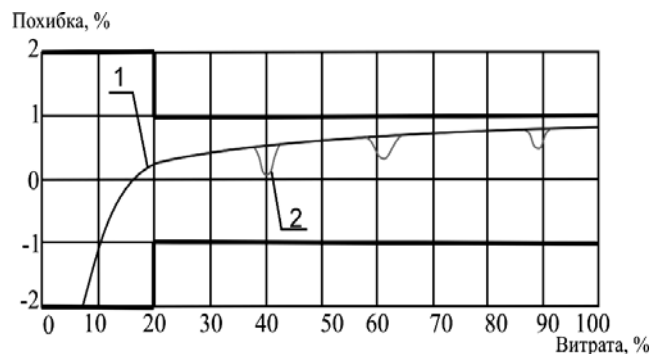


Рис. 1. Типова крива залежності величини похибки роторного лічильника від витрати: 1 – без резонансних коливань; 2 – з резонансними коливаннями

му течії. При встановленні критичного режиму течії масова витрата через сопло залишається постійною, а при постійності густини вимірюваного середовища постійною буде залишатися і об'ємна витрата газу.

Критичний перепад тиску, тобто відношення статичного тиску в критичному перерізі сопла  $p$ , до тиску ізоентропійно заторможеного газу на вході в сопло  $p_0$ , визначається із термодинамічних властивостей вимірюваного середовища:

$$\left(\frac{p^*}{p_0}\right)^* \approx \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}} = r^*. \quad (1)$$

В (1) позначення  $*$  над відношенням тисків означає, що це відношення тисків, при якому досягається критичний режим течії через сопло;  $r^*$  – критичне відношення тисків.

Для повітря при  $k \approx 1,4$   $r^* \approx 0,528$ .

На практиці користуються поняттям максимально допустимий ступінь дроселювання або максимально допустиме відношення тиску на виході сопла  $p_2$  до тиску ізоентропійно заторможеного газу на вході в сопло  $p_0$  – це величина, при якій ще зберігається критичний режим течії через сопло (рис. 2).

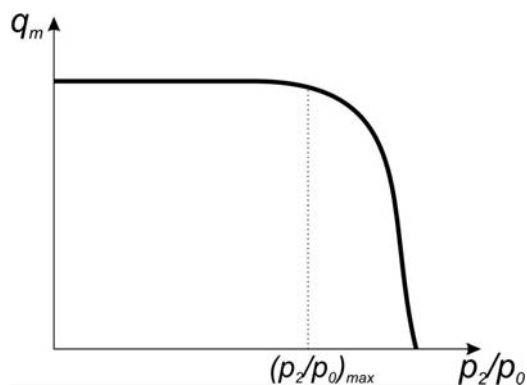


Рис. 2. Максимально допустимий ступінь дроселювання

Для критичних сопел Вентурі з тороїдальною горловиною та з вихідним дифузором при числах Рейнольдса для горловини сопла більше  $2 \cdot 10^5$  максимально допустиме відношення тисків знаходиться в межах  $0,7 \dots 0,9$  і визначається геометричними параметрами сопла [1].

Для критичних сопел з прямими твірними з вихідним дифузором максимально допустиме відношення тисків становить  $0,84$ , а для сопел без вихідного дифузора –  $0,6$  [2].

При досягненні критичного перепаду тисків швидкість потоку в горловині стає рівною місцевій швидкості звуку, при цьому вихідні збурення потоку не поширюються уверх за течією.

Застосування критичного сопла як еталона дозволяє скоротити час вимірювання, через те що витрата в системі встановлюється, по суті, майже миттєво і підтримується стабільною, а час вимірюється з високою точністю, тобто похибка, зумовле-

на дискретністю вимірювань, визначається тільки точністю та роздільною здатністю системи вимірювання інтервалів часу.

Одним із недоліків критичного сопла є те, що воно відтворює при певних умовах тільки одне значення витрати. Для усунення цього обмеження застосовують набір сопел різних номіналів для відтворення різних значень витрати.

Для набору з  $n$  сопел можна реалізувати  $(2^n - 1)$  значень витрат.

Наприклад, для набору із шести сопел можна відтворити 63 значення витрати.

Другим недоліком застосування критичних сопел є значна споживана потужність вакуумних агрегатів. Чим більше значення витрати необхідно відтворити, тим більшою повинна бути електрична потужність вакуумного агрегату. Так, для відтворення витрати порядку  $100 \text{ м}^3/\text{год}$  необхідна потужність близько  $7 \text{ кВт}$ , а при витраті порядку  $1000 \text{ м}^3/\text{год}$  – більше  $25 \text{ кВт}$ .

На сьогодні в Україні експлуатуються близько 200 повірочних установок з еталонними лічильниками газу та близько 30 установок на критичних соплах. З урахуванням вищеперелічених міркувань, авторами пропонується для забезпечення точності та помірною енергоспоживання використовувати переваги обох типів установок, тобто використовувати в повірочних установках для повірки лічильників газу паралельне під'єднання еталона на базі критичних сопел та еталона на базі лічильника газу, при цьому відмовитись, по можливості, від використання барабаних лічильників, особливо з водяним рідинним затвором.

Для забезпечення малого енергоспоживання сопла критичного витoku пропонується застосовувати тільки в діапазоні витрат від  $0,016$  до  $16 \text{ м}^3/\text{год}$ , при цьому споживана потужність вакуумного агрегату не повинна перевищувати  $1 \text{ кВт}$ .

Для повірки лічильників газу найбільш прийнятною конструкцією для монтування критичних сопел є конструкція з використанням вхідної форкамери. При такому конструктивному рішенні сопла монтуються в основу вхідного колекторафоркамери так, що вони не виступають за рівень цієї основи. При цьому слід дотримуватися геометричних розмірів згідно з рис. 3 [3]. Монтаж кожного сопла можна здійснювати, як показано на рис. 4.

Перевагою такої конструкції є те, що всі сопла беруть повітря з однієї ємності, об'єм якої є умовно нескінченним. І тому для вимірювання тиску та температури перед кожним соплом достатньо вимірювання тиску та температури повітря у вхідному колекторі.

Кожне сопло на виході блокується двома відсікаючими клапанами для забезпечення внутрішньої герметичності системи. Створюючи надлишковий тиск або вакуум між двома відсічними клапанами, можна провести надійну перевірку на герметичність кожної лінії зокрема і всього еталона в цілому.

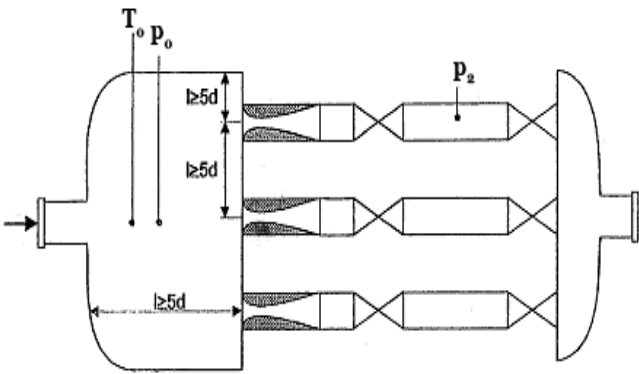


Рис. 3. Конструкція еталона на основі паралельного підключення критичних сопел із використанням вхідного колектора-форкамери

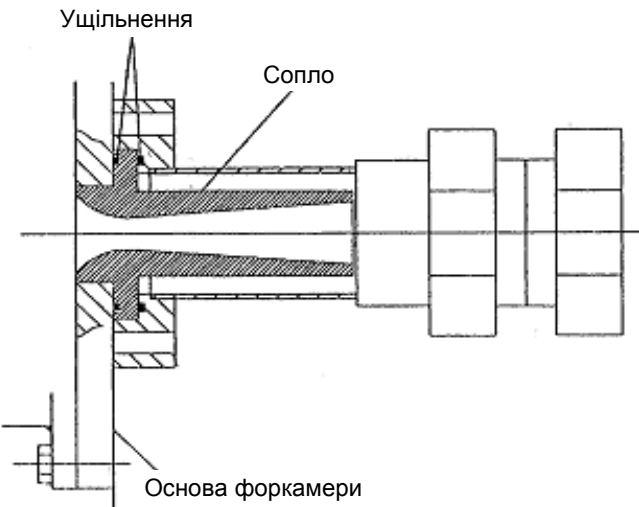


Рис. 4. Приклад монтажу критичного сопла у форкамеру [3]

Проаналізуємо роботу повірочної установки, наведеної на рис. 5, на базі еталонного лічильника газу та еталона на критичних соплах при їх паралельній роботі.

При паралельній роботі обох еталонів повинна бути виключена можливість виникнення перехресних потоків між еталонами.

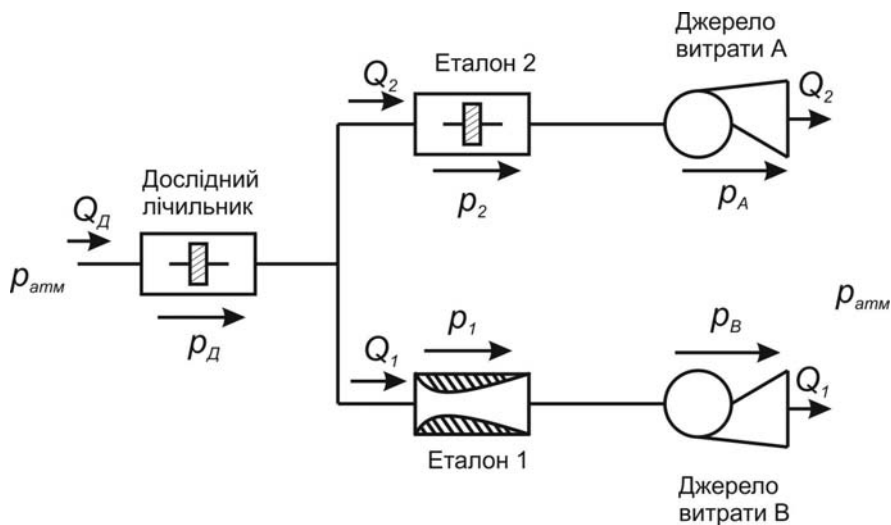


Рис. 5. Приклад повірочної установки з паралельним підключенням еталонного лічильника та еталона на критичних соплах

Для аналізу подамо гідравлічну схему (рис. 5) запропонованої установки у вигляді еквівалентної електричної схеми за способом, наведеним в [4] (рис. 6).

Еталони витрати газу в електричній схемі можуть бути подані резисторами, опір яких еквівалентний втратам тиску на кожному еталоні. Аналогічно до всмоктувального джерела витрати, яке створює від'ємний тиск  $p$  у відношенні до атмосферного тиску і цим самим створює потік з витратою  $Q$ , напруга  $U$  джерела живлення створює струм  $I$ . Повітря в установку засмоктується із навколишнього середовища через дослідний лічильник і повертається назад через джерело витрати. Звідси, вхід і вихід установки знаходяться під тим самим атмосферним тиском. В електричній схемі це відповідає одному опорному потенціалу джерел живлення  $U_A$  та  $U_B$  і резистора  $R_D$ .

Згідно із законом Кірхгофа, для електричного кола (рис. 6) можуть бути записані такі співвідношення:

$$\begin{aligned} U_A &= U_2 + U_D; \\ U_B &= U_1 + U_D; \\ I_D &= I_1 + I_2. \end{aligned} \tag{2}$$

Перехресні потоки між еталонами установки відображаються на еквівалентній електричній схемі зміною напрямку одного із двох струмів  $I_1$  або  $I_2$ .

Тому необхідно визначити критерій для струму, який би не призводив до зміни його напрямку.

Спираючись на рівняння (2), після відповідних перетворень отримуємо вираз для струму  $I_1$ :

$$I_1 = \frac{U_B \cdot R_2 - R_D \cdot (U_A - U_B)}{R_2 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_D} \tag{3}$$

Знаменник рівняння (3) завжди додатний. Струм  $I_1$  не змінюватиме свого напрямку, якщо чисельник рівняння (3) буде більше нуля, тобто, якщо виконуватиметься така умова:

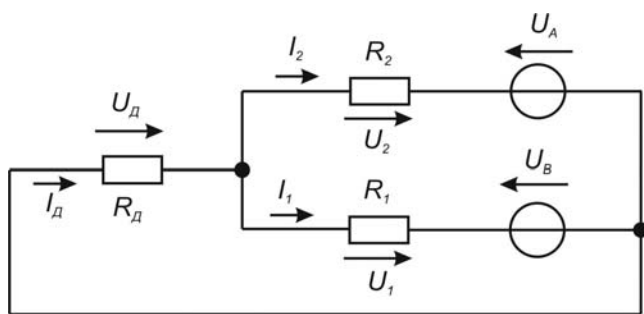


Рис. 6. Еквівалентна електрична схема повірочної установки

$$U_B \cdot R_2 > R_D \cdot (U_A - U_B). \quad (4)$$

Уведемо коефіцієнт  $a$ , який дорівнює

$$a = \frac{R_D}{R_2}.$$

Тоді нерівність (4) можна записати як

$$\frac{U_A}{U_B} < 1 + \frac{1}{a}. \quad (5)$$

Здійснивши зворотну трансформацію електричної схеми в гідравлічну, нерівність (5) можна записати так:

$$\frac{p_A}{p_B} < 1 + \frac{1}{a}. \quad (6)$$

Для гідравлічної схеми коефіцієнт  $a$  визначається як відношення гідравлічних опорів дослідного лічильника і еталона 2, які подано відповідними падіннями тиску  $p_D$  та  $p_1$ .

Отже, при проектуванні запропонованої установки, тиски  $p_A$  та  $p_B$ , а також відношення гідропорів, повинні вибиратися з урахуванням нерівності (6) так, щоб були відсутні перехресні потоки між еталонами установки.

З урахуванням того, що максимальне розрідження для еталонних лічильників майже ніколи не перевищує  $-5$  кПа, а мінімальне розрідження для критичних сопел становить не більше  $-30$  кПа, можна зробити висновок, що в запропонованій установці на базі двох еталонів не будуть виникати перехресні потоки при їх одночасній роботі.

На сьогодні ДП “Івано-Франківськстандартметрологія” створено прототип запропонованої

установки на базі пересувної повірочної установки TZKD-16 виробництва фірми “Justur s.r.o.”, Словацька Республіка, та еталонного лічильника газу Delta S-Flow G25 виробництва фірми “Itron”. Ця установка дозволяє ефективніше проводити повірку лічильників газу в діапазоні витрати від  $0,016$  до  $40 \text{ м}^3/\text{год}$  при точності порядку  $0,2 \dots 0,25 \%$ . Протягом двох років експлуатації розробленої установки проводилися щоквартальні перевірки метрологічних характеристик еталонів, що входять до її складу, які засвідчили високу стабільність метрологічних характеристик як еталона на базі критичних сопел, так і еталона на базі еталонного лічильника. Відмінності характеристик еталонів, отриманих у результаті щоквартальних перевірок, від характеристик, отриманих перед початком експлуатації, знаходилися в межах  $\pm 0,05 \%$ .

Отже, паралельне застосування еталонів на базі еталонного лічильника газу та критичних сопел дозволить підвищити довгострокову стабільність та точність відтворення повірочною установкою одиниць об’єму та об’ємної витрати газу і при цьому забезпечити помірне енергоспоживання. І ще однією з переваг запропонованого конструктивного рішення є скорочення часу повірки.

#### Список літератури

1. Measurement of gas flow by means of critical flow Venturi nozzles: ISO 9300:2005. – ISO International Organization for Standardization, Genf 2005.
2. Методические указания. Государственная система обеспечения единства измерений. Критические расходомеры. Методика выполнения измерений массового расхода газа: МИ 1538-86. – Казань: ВНИИФТРИ, Казанский филиал, 1986.
3. PTB-Testing instructions. Volume 25: Gas meters. Test rigs with critical nozzles. – Braunschweig and Berlin: PTB, 1998.
4. Nath B. Parallel use of sonic nozzles and turbine gas master meters for high-accuracy test rigs / B. Nath, H. Dietrich // 9<sup>th</sup> Int. symposium on flow measurement: FLOMEKO’98. – Lund, Sweden, 1998.