

УДК 681.121.84:681.11.035

РОЗШИРЕННЯ ДІАПАЗОНУ ВІДТВОРЮВАНИХ ВИТРАТ ВТОРИННОГО ЕТАЛОНА ОБ'ЄМУ І ОБ'ЄМНОЇ ВИТРАТИ ГАЗУ ВЕТУ 03-01-01-08*І.С. Петришин, Т.І. Присяжнюк, Н.І.Петришин*

ДП "Івано-Франківськстандартметрологія", вул. Вовчинецька 127, м. Івано-Франківськ, 76000, тел. 3-02-00, dcsms@-if.ukrtel.net

Проведено аналіз існуючих еталонних засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) для вимірювання витрати газу в діапазоні від 0,016 до 4 м³/год. Вибрано в якості оптимального ЗВТ для відтворення витрати в діапазоні від 0,016 до 4 м³/год гравіметричну установку – вторинний еталон об'єму і об'ємної витрати газу ВЕТУ 03-01-01-08. Сформульовано основні причини виникнення похибок і запропоновано метод їх усунення – використання для стабілізації рівня посудини Маріотта.

Ключові слова: вторинний еталон, гравіметрична установка, посудина Маріотта, вторинний еталон, дивертор, вимірювання малих витрат, стабільність витрати.

Произведен анализ существующих эталонных систем измерительной техники (СИТ) для измерения расхода газа в диапазоне от 0,016 до 4 м³/час. Выбрано в качестве оптимального СИТ для воспроизведения расхода в диапазоне от 0,016 до 4 м³/час гравиметрическую установку - вторичный эталон объема и объемного расхода газа ВЕТУ 03-01-01-08. Сформулированы основные причины возникновения погрешностей и предложен метод их устранения - использование для стабилизации уровня сосуда Мариотта.

Ключевые слова: вторичный эталон, гравиметрическая установка, сосуд Мариотта, вторичный эталон, дивертор, измерение малых расходов, стабильность расхода.

The analysis of existing standard measuring instruments for measuring gas flow in the range from 0,016 to 4 m³/h. Chosen as the best measuring devices for producing flow in the range from 0,016 to 4 m³/h gravimetric setup - a secondary standard volume and gas flow VETU 03-01-01-08. The basic causes of the errors and propose a method to address them - to use to stabilize the level of the vessel Mariotte.

Keywords: secondary standard, gravimetric installation, vessel Mariotte, secondary standard, diverter, measuring low flow rate, stability of flow rate.

Відтворення витрат і об'єму газу в межах від 0,016 до 4 м³/год з похибкою 0,15% здійснюється за допомогою вторинного еталона об'єму і об'ємної витрати газу ВЕТУ 03-01-01-08. Даний еталон побудований за гравіметричною схемою. Принцип дії установок цього типу полягає у зважуванні об'єму рідини, витісненої газом, який пройшов через засіб вимірювань, що повіряється або випробовується. При цьому для визначення об'ємної витрати газу необхідно знати густину рідини та час її витіснення.

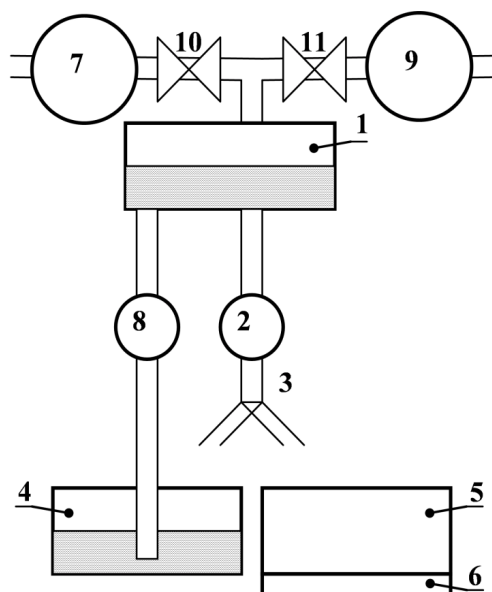
Менші значення витрати відтворюються зразковими ротаметрами та барабаними лічильниками газу з класом точності 0,5. Для метрологічного забезпечення вимірювання витрати в діапазоні від 0,003 до 0,016 м³ з похибкою 0,15% необхідно доопрацювати існуючу еталонну базу з метою розширення діапазону вимірюваних або відтворюваних витрат в менший бік. Логічним рішенням є

модифікація вторинного еталона об'єму і об'ємної витрати газу ВЕТУ 03-01-01-08, який має значні резерви підвищення метрологічних характеристик.

Принцип дії даного еталона (рис.1) наступний: мастило виливається в один із баків 4 або 5 в залежності від положення перемикача потоку (дивертора) 3. Витрата мастила задається регулятором витрати 2. В залежності від необхідності кранами 10 і 11 до контейнера 1 може бути підключений лічильник 7 або зразковий мірник дзвонового типу 9, за допомогою яких фіксується об'єм повітря, що витісняється з контейнера 1. Бак 5 знаходиться на вазі 6. В якості мастила використовується стабільне маловипаровуване спеціальне мастило з малою кінематичною в'язкістю. В зворотному напрямку мастило перекачується насосом 8.

Мастило в баку 5 зважується, і, знаючи його густину при температурі випробувань, визначається його об'єм. З урахуванням тиску в

лічильнику 7 та контейнері 1, температури мастила та повітря в контейнері визначається об'єм повітря, що пройшов через лічильник 7.



1 – контейнер; 2 – регулятор витрати; 3 – перемикач потоку; 4, 5 – баки; 6 – вага; 7 – лічильник; 8 – насос; 9 – еталон витрати газу дзвонового типу; 10, 11 – крани

Рисунок 1 – Схема еталонної установки рідинного витіснювання

Як показали дослідження [1], при урахуванні всіх впливових факторів випадкова складова похибки задання витрати такої установки не перевищує 0,01% в діапазоні витрат від 1 до 4 м³/год.

Аналіз еталонних установок рідинного витіснювання показує, що поряд з високою точністю відтворення одиниці об'єму газу залишається проблемою стабільність відтворення одиниці об'ємної витрати за рахунок зміни гідростатичного тиску рівня стовпа рідини, що витікає, а також обмежений діапазон відтворення витрати [2].

В роботі [2] встановлено таке рівняння вимірювання гравіметричної установки:

$$V_d = \frac{P_c T_d}{T_c P_d} \frac{m}{\rho_m} \left(1 + \frac{\rho_{mp}}{\rho_m} \right), \quad (1)$$

де V_d – об'єм повітря через дослідну ділянку; P_d , P_c – тиск повітря на дослідній ділянці і в ємності відповідно; T_d , T_c – температура повітря на дослідній ділянці і в ємності відповідно; m – маса масла; ρ_{mp} , ρ_m – густини повітря і масла відповідно.

В результаті метрологічного аналізу рівняння вимірювання з урахуванням часткових похідних встановлено, що найбільш вагомими джерелами сумарної невизначеності вимірювання об'єму є невизначеність вимірювання температури і густини масла. Зміна гідростатичного стовпа рідини нелінійно впливає на зміну витрати. Для виключення цього впливу в перспективі можна застосувати автоматичні регулятори витрати. Іншим варіантом, запропонованим авторами, є стабілізація рівня мастила у контейнері.

На значення заданої витрати впливають два основних чинники: рівень масла та температура, зміна якої спричиняє зміну в'язкості масла, а, відповідно, і швидкості його витікання. Зважаючи на те, що вторинний еталон знаходиться в термостатованому приміщенні з відхиленням температури не більше 0,2 К, вплив температури на нестабільність витрати практично виключений. У вторинному еталоні ВЕТУ 03-01-01-08 в процесі вимірювання рівень масла в контейнері знижується на 0,25 м при висоті стовпа рідини 2,5 м. Це спричиняє зміну витрати, спричинену зміною гідростатичного тиску.

При турбулентному потоці, який має місце в місцевому гідроопорі регулятора витрати, перепад тиску на ньому P пропорційний квадрату витрати Q згідно такого рівняння [3]:

$$P = \frac{128\mu L Q}{\pi D^4} + \frac{8\rho Q^2}{\pi^2 D^4} (K_c + K_e), \quad (2)$$

де μ – динамічна в'язкість газу; L – довжина трубки; D – діаметр трубки; ρ – густина газу; K_c – коефіцієнт стискуваності газу; K_e – коефіцієнт розширення газу.

При числах Рейнольдса більше 2300 другий доданок (2) значно більший від першого, тому першим доданком у (2) можна знехтувати [3]. Тоді відносна зміна тиску $\Delta P/P$ буде пов'язана з відносною зміною витрати $\Delta Q/Q$ таким співвідношенням:

$$\frac{\Delta P}{P} = \left(\frac{\Delta Q}{Q} \right)^2, \quad (3)$$

або

$$\frac{\Delta Q}{Q} = \sqrt{\left(\frac{\Delta P}{P} \right)}. \quad (4)$$

Відповідно, в процесі вимірювання відхилення витрати від номінального значення складає $\pm 1\%$, що підтверджено вимірюваннями.

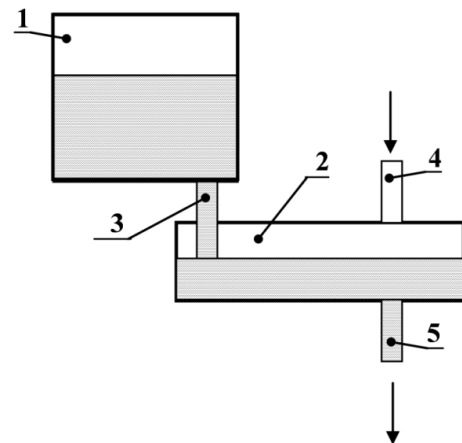
Для того, щоб при розширенні діапазону

вимірювання не вплинути на роботу вторинного еталона в діапазоні витрат від 0,016 до 4 м³/год, доцільно встановити паралельно основному контуру циркуляції мастила додатковий контур з резервуаром малої ємності (0,01 м³), який слід виконати у вигляді посудини Маріотта (рис. 2). Принцип дії посудини полягає у використанні рівня рідини як клапана, що пропускає повітря в посудину. При незначному витіканні рідини з повністю заповненої посудини тиск у ній буде меншим атмосферного, а тиск в горизонтальній площині, що збігається з нижнім кінцем трубки, рівний атмосферному.

При зниженні рівня рідини у нижньому резервуарі 2 під дією сили тяжіння нижче від краю трубки 3, що сполучає резервуари, повітря з верхнього патрубку 4 потрапляє через трубку у верхній резервуар 1. Воно заміщає рідину, яка через ту ж трубку поступає у нижній резервуар то того моменту, поки рівень рідини не підвищиться до нижнього рівня трубки і не перекриє потік повітря у верхній резервуар. Процес триває до того моменту, поки вся рідина з верхнього резервуара не витече в нижній.

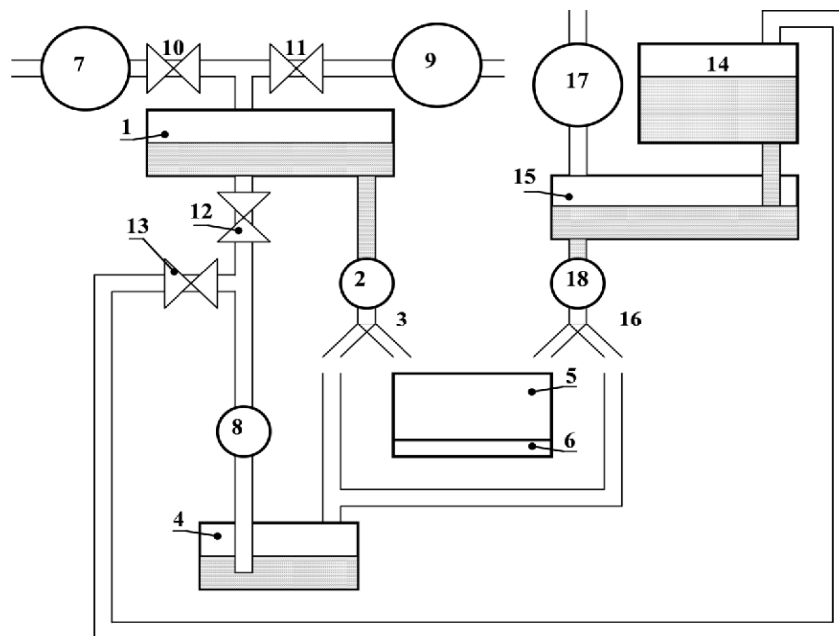
Посудина Маріотта забезпечує стабільне підтримання рівня рідини природним чином, що виключає основну складову нестабільності витрати. Існуючий дивертор розрахований на широкий діапазон витрат (від 0,016 до 4 м³/год) і

вимагає ручної заміни насадків для правильного формування потоку. Тому для правильного формування потоку малих витрат в контурі потоку мастила від посудини Маріотта встановлюється спеціальний дивертор, розрахований на вузький діапазон витрат (від 0,003 до 0,016 м³). Схема модифікованого еталона ВЕТУ 03-01-01-08 зображена на рис. 3.



1 – верхній резервуар; 2 – нижній резервуар; 3 – сполучна трубка; 4 – впуск повітря; 5 – випуск рідини

Рисунок 2 – Посудина Маріотта



1 – контейнер; 2 – основний регулятор витрати; 3 – основний дивертор; 4, 5 – баки; 6 – вага; 7 – лічильник; 8 – насос; 9 – еталон витрати газу дзвонового типу; 10, 11, 12, 13 – крани; 14 – верхній резервуар; 15 – нижній резервуар; 16 – дивертор малих витрат; 17 – лічильник малих витрат; 18 – регулятор малих витрат

Рисунок 3 – Схема двоконтурної еталонної установки рідинного витіснювання

Контур вимірювання малих витрат (рис. 3) складається з посудини Маріотта, яка складається з верхнього резервуара 14 та нижнього резервуара 15, лічильника 17, що повіряється, та дивертора малих витрат 16. Крани 12 і 13 визначають діапазон задання витрати. Робота контура з посудиною Маріотта аналогічна основному контуру.

Решта обладнання (прецизійна електронна вага, вимірювальні перетворювачі тиску та температури, автоматика тощо) залишається незмінним. Підвищення точності задання витрати дає можливість використовувати вторинний еталона об'єму і об'ємної витрати газу ВЕТУ 03-01-01-08 для перевірки не тільки лічильників, а і витратомірів малих витрат в діапазоні від 0,003 до 0,016 м³/год., а при розробленні нових установок гравіметричного типу доцільно на етапі проектування закладати даний метод стабілізації рівня рідини для підвищення метрологічних характеристик таких установок.

ВИСНОВКИ

Використання посудини Маріотта для стабілізації витрати виключає необхідність використання стабілізаторів витрати на основі систем автоматичного регулювання. Це дозволяє суттєво розширити діапазон робочих

витрат гравіметричної установки, а також підвищити точність задання і стабільність підтримання витрати, виключивши один з найбільших недоліків таких установок – низьку стабільність відтворення одиниці об'ємної витрати газу.

1. *Петришин І. С. Метрологічне забезпечення вимірювань об'єму та об'ємної витрати природного газу в комунально-побутовій сфері (діапазон витрат від $2,8 \times 10^{-6}$ до $4,4 \times 10^{-3}$ м³/с) (від 0,01 до 16 м³/год) : дис. ... канд. техн. наук: 20.04.97 / Петришин Ігор Степанович. - Івано-Франківськ, 1997. - 200с. 2. *Петришин І. С. Науково-методологічні та технічні засади забезпечення точності вимірювань витрати природного газу : дис. ... докт. техн. наук: 22.02.07 / Петришин Ігор Степанович. - Івано-Франківськ, 2007. - 381с. 3. *A laminar flow element with a linear pressure drop versus volumetric flow : ASME Fluids Engineering Division Summer Meeting, June 21-25, 1998, Washington, DC, FEDSM98 4910.***

Поступила в редакцію 11.06.2010р.

**Рекомендував до друку докт. техн. наук,
проф. Середюк О. Є.**